Európsky **sociálny** fond

PALIVO BUDÚCNOSTI TERMOJADROVÁ SYNTÉZA

V súčasnosti sa na výrobu elektrickej energie využíva najmä energia z fosílnych palív: ropy uhlia a zemného plynu, ako aj vodná energia a energia zo štiepenia jadra. Zdroje fosílnych palív sú ale obmedzené. Je otázkou času, kedy budú vyčerpané.

Výroba energie v jadrových elektrárňach, ktorá ich môže nahradiť je však doprevádzaná problémami s vyhoreným jadrovým odpadom. A tiež je závislá od zásob uránu na Zemi.

Preto pre krytie energetických potrieb budúcnosti potrebuje Európa ďalší bezpečnejší a nevyčerpateľný zdroj energie. Termonukleárna syntéza, nazývaná tiež fúziou je jedným z nich.

Fúzia

Fúzia je bezpečným zdrojom energie s prakticky nevyčerpateľnými zásobami paliva. Z dlhodobého hľadiska je fúzia schopná produkovať dostatočné množstvo energie s minimálnym vplyvom na životné prostredie.

Elektrárň na princípe riadenej fúzie nájde uplatnenie v husto obývaných oblastiach a priemyselných zónach s vysokým dopytom po energii. Zároveň bude produkovať vodík využiteľný v priemysle, alebo napríklad na pohon áut.

Fúzia je spôsob, akým produkuje energiu Slnko a ostatné hviezdy.

Princíp fúzie je založený na zlučovaní jadier ľahkých atómov a vytváraní ťažších prvkov, ktoré sprevádza uvoľnenie veľkého množstva energie.

Najvhodnejším palivom prvej generácie budúcich fúznych reaktorov budú dva izotopy vodíka, deutérium (D) a tricium (T). Fúzne reakcie s použitím iných prvkov tiež vyžadujú v reaktore oveľa vyššie teploty.

Deutérium je možné získavať z morskej vody (cca 35 g na meter kubický) a jeho zdroje sú prakticky nevyčerpateľné.

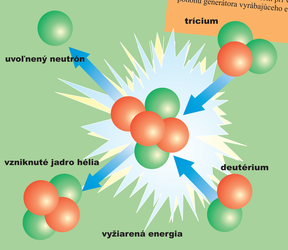
Tricium sa v prírode voľne nevyskytuje, je ho však možné získať štiepením lítia - ľahkého kovu, ktorého zásoby na Zemi sú obrovské.

Pri jednej fúznej reakcii deutéria a trícia vzniká tzv. alfa častica (jadro hélia) a neutrón. Zároveň je uvoľňované obrovské množstvo energie, omoho väčšie ako je tomu pri štiepnej reakcii.

$$D + T = 4He + n + 17{,}6\ MeV$$

Neutróny, ktoré unikajú z plazmy pri fúznych reakciách sú spomaľované v plášti reaktora, ktorý pozostáva z lítia. Lítiový neutrónov a lítia vzniká tricium, ktoré ako palivo je odvádzané späť do reaktora za účelom jeho vstupu do fúznej reakcie.

Energia, ktorá sa uvoľní pri vzniku trícia je využitá k pohonu generátora vyrábajúceho elektrickú energiu.



Fúzia na Zemi

Termojadrová fúzia prebieha v jadre Slnka vďaka vysokému tlaku vyvolanému gravitačnými silami a pri teplote „iba" 10 miliónov °C.

Na Zemi s využitím súčasných technológií dokážeme dosiahnuť len zhruba 10 miliárd násobne nižší tlak ako na Slnku. Aby sa dostalo zapáleniu fúznych reakcií v dostatočnom rozsahu, musí byť toto obmedzenie vyvážené omnoho vyššou teplotou - až 100 miliónov °C. Pri tejto teplote sa látky nachádzajú v stave plazmy.

Celý problém dosiahnutia vysokej teploty plazmy spočíva v potrebe prekonania elektrickej odpudivej sily medzi dvoma kladnými iónmi vodíka - deutériom a tríciom. Ako ióny potrebujeme zblížiť natoľko, aby jadrové sily, ktoré udržujú jadrá pokope. Aby došlo k zblíženiu kladných iónov potrebujeme im udeliť dostatočne vysokú rýchlosť. A tá je dôsledkom vysokých teplôt.

Na Slnku sú rýchlo pohybujúce sa ióny v dostatočnom množstve a vo vysokej teplote, dostatočne veľa narážajú tak často, že produkujú plazmy. Tým sú splnené podmienky ustálenej jadrovej syntézy.

Na zemi sa potrebné vysoké teploty dosiahli iba pri výbuchu atómovej bomby (fúzny proces). Uvolnené teplo je však dostatočne na nastartovanie len neriadenej fúznej syntézy - výbuch vodíkovej bomby. Nepreskonaným problémom totiž ostáva spracovanie rýchlo uvolnenej energie v prospech dlhotrvajúcich podmienok potrebných na udržanie jadrovej syntézy - fúzie.

Vodíková bomba

Vodíková bomba je bomba, ktorej hlavný zdroj energie tvoria ťažké izotopy vodíka - deutérium a tricium. Každá vodíková bomba obsahuje menšiu štiepnu nálož na báze uránu, plutónia alebo niektorého ďalšieho transuránu, ktorá funguje ako rozbuška. Atómový výbuch štiepnej nálože vytvorí počiatočnú teplotu niekoľko miliónov stupňov Celsia a dostočný tlak a následne rozbehne jadrovú fúziu.

Výsledkom môže byť výbuch o sile viac než 100 Mt (megaton), pri ktorom bomba ničí domy v okruhu 20 km a zapaľuje horľavé predmety do vzdialenosti 100 km. Horná hranica pre výkon vodíkovej nálože neexistuje, v možnostiach súčasnej technológie je výroba nálože s výkonom 1 gigatona pri hmotnosti menej ako 250 ton.

Tokamak

Na vhodné **izolovanie plazmy** sa využíva, že plazma je zmes kladne a záporne nabitých častíc, ktoré sa silným magnetickým poľom môžu udržať vo vymedzenom objeme. Tokamak je vlastne magnetická nádoba v tvare prstenca - toroidu. Priamnym vinutím okolo prstenca sa vytvára vo vnútri uzavreté magnetické pole, v ktorom sa vznášajú nabité častice plazmy bez kontaktu so stenou reaktora. Tým, že plazma nie je ochladzovaná pri kontakte so stenou, udržiava si svoju energiu, čo pri sústavnom ohrievaní umožňuje dosahovať čoraz vyššiu teplotu.

Tokamak je doposiaľ najúspešnejším takýmto zariadením na izolovanie plazmy a predstavuje základnú líniu výskumu fúzie v Európe. Európsky tokamak JET (Joint European Torus) v anglickom Culhame je v súčasnosti najväčším experimentálnym fúznym reaktorom. V roku 1997 bol v tomto tokamaku dosiahnutý doposiaľ najvyšší fúzny výkon 16 MW.

Na ohrev plazmy sa dnes využívajú tri princípy:

Uzavretý prstenec plazmy v tokamaku možno považovať za sekundárne vinutie pomyseľného transformátora. V prípade navinutia externej primárnej cievky je možné v sekundári generovať elektrický prúd. Keďže plazma má určitý elektrický odpor, tento prúd zároveň spôsobuje aj zahrievanie plazmy (podobne ako elektrický prúd zahrieva špirálu v rýchlovarnej kanvici). Ide o ohmický ohrev.

Na veľkých tokamakoch je takýmto spôsobom možné dosiahnuť teplotu až niekoľko miliónov stupňov (asi 1 dosatina potrebnej teploty na zapálenie fúznych reakcií). Z technologických príčin transformátor generujúci prúd v primárnom vinuti nie je schopný pracovať bez prerušenia. To obmedzuje „životnosť" plazmy resp. vyžaduje dosahovať stacionárny stav plazmy pomocou dodatočnej technológie.

Na dosiahnutie vyšších teplôt sa preto využívajú tieto ďalšie externé formy ohrevu.

Ohrev pomocou vsteľovania neutrálnych častíc je založený na schopnosti neutrálnych častíc ľahko prenikať magnetickým poľom. Lúč energetických neutrálnych častíc je vstreľený do plazmy a zrážkami odovzdáva časticiam plazmy svoju energiu.

Vysokofrekvenčný ohrev (podobný ohrevu v mikrovlnnej rúre) využíva výkonné generátory elektromagnetických vĺn. Ak má generovaná vĺna špecifickú frekvenciu, nastáva pri jej interakcii s plazmou rezonančný jav a vĺna je schopná odovzdať celú svoju energiu plazme.

Bezpečnosť

Primárne palivo, deutérium a lítium, rovnako ako aj produkt fúznej reakcie hélium, sú úplne neškodné. „Prechodné" palivo trícium je rádioaktívne, má však relatívne krátky polčas rozpadu (12,6 roka) v porovnaní napríklad s uránom (106 109 roka). Pri rozpade trícia vzniká elektrón (tzv. beta rozpad) s veľmi nízkou energiou. Dolet tohto elektrónu vo vzduchu je len niekoľko milimetrov a nie je schopný preniknúť ani listom papiera. Nebezpečné teda môže byť iba samotné tricium, ak prenikne do ľudského tela. Z toho dôvodu sú zavedené vo fúznych reaktoroch prísne bezpečnostné kritériá pri narábaní s tríciom.

Keďže trícium vzniká a je spotrebované v bezprostrednej blízkosti reaktora, v budúcnosti nebudú potrebné žiadne transporty rádioaktívneho paliva do alebo z fúznej elektrárne.

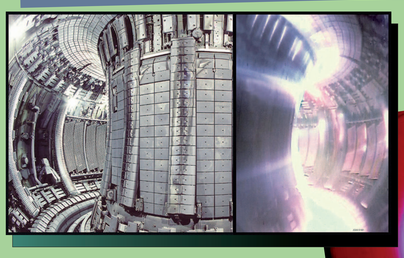
Fúzna reakcia dokáže sama zhasnúť po niekoľkých sekundách, ak dôjde k prerušeniu dodávky paliva. Nejde teda o lavinovú reakciu ako v prípade štiepnej reakcie pri delení jadra, ktorú je potrebné neustále kontrolovať. Akýkoľvek chybný postup pri obsluhe fúzneho reaktora vedie k okamžitému ochladeniu plazmy na stenách komory a následnému zastaveniu reakcií.

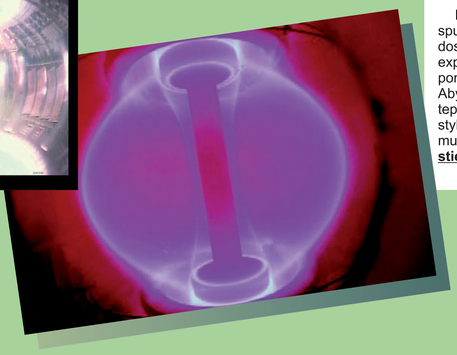
Výkonnosť

Fúzna elektráreň bude spotrebúvať extrémne nízke množstvo paliva.

Palivo fúznej elektrárne, ktoré by vystačilo na ročné zásobovanie miliónového mesta elektrickou energiou, by sa zmestilo do jedného nákladného automobilu.

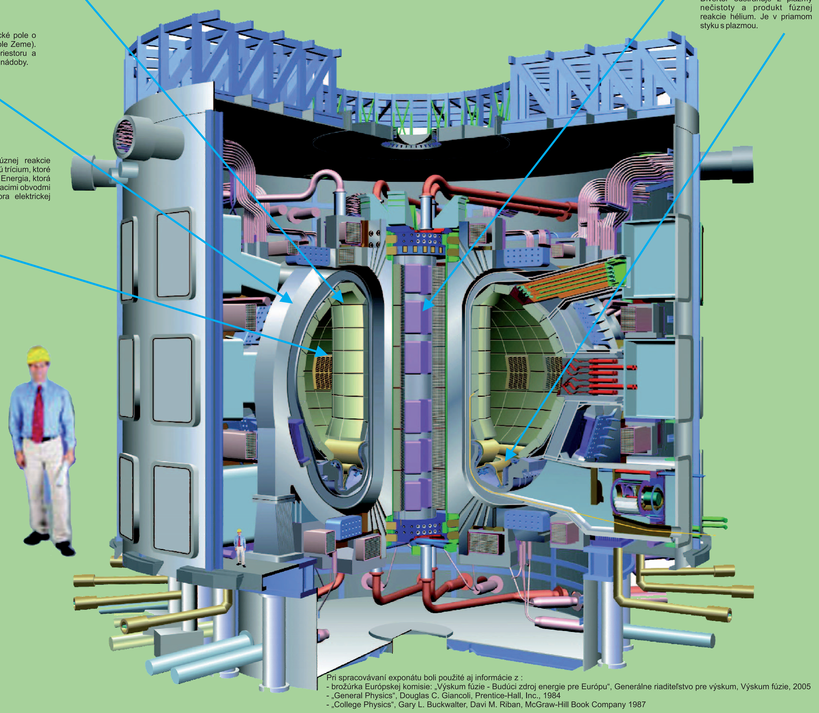
Reaktor s výkonom 1 GW si ročne vyžiada asi 100 kg deutéria a 3 tony prírodného lítia na výrobu 7 miliárd kWh elektrickej energie. Súčasné elektrárne spaľujúce uhlie spotrebujú na výrobu rovnakého množstva energie až 1,5 milióna ton paliva! Takmer miliónkrát viac. Dôležité je, že fúzia neprodukuje žiadne skleníkové plyny vedúce ku klimatickým zmenám, resp. tie produkty znečisťujúce životné prostredie.





Dve podmienky potrebné na udržanie jadrovej syntézy:

Potrebná teplota plazmy na spustenie fúznych procesov sa dosahuje v súčasných experimentálnych reaktoroch pomocou **výkonného ohrevu**. Aby sa predišlo výrazným tepelným stratám plazmy v styku s okolitým prostredím musí byť **plazma izolovaná od stien reaktora**.



Pri spracovávaní exponátu boli použité aj informácie z :
- brožúrka Európskej komisie: „Výskum fúzie - Budúci zdroj energie pre Európu", Generálne riaditeľstvo pre výskum, Výskum fúzie, 2005
- „General Physics", Douglas C. Giancoli, Prentice-Hall, Inc., 1984
- „College Physics", Gary L. Buckwalter, Davi M. Riban, McGraw-Hill Book Company 1987