

ENERGIE PRO 21. STOLETÍ

STOJÍME SKUTEČNĚ NA PRAHU TERMOJADERNÉ ÉRY?

Převzato z *Akademického bulletinu*, 12/2005.

Ceny energie a paliv rostou, zásoby fosilních paliv se pomalu ztenčují, zásoby uranu ubývají a obnovitelné zdroje energie zřejmě nebudou schopny v budoucnosti pokrýt celkovou světovou spotřebu. Další východisko v získávání energie vidí badatelé v termojaderné fúzi, projektu ITER. Právě tomuto tématu byl 24. října 2005 věnován seminář "Energie pro 21. století", který zorganizoval Ústav fyziky plazmatu AV ČR ve spolupráci s Tiskovým odborem Akademie.

O krátký rozhovor jsme proto požádali RNDr. Jana Mlynáře, PhD., z Ústavu fyziky plazmatu AV ČR, pracovníka pro styk s veřejností neboli „PR“ největšího tokamaku na světě – JET (Joint European Torus) v anglickém Culhamu, který financuje Evropská unie. Dr. Mlynář trávil posledních pět let ve Švýcarsku v École Polytechnique Fédérale de Lausanne, kde se zabýval diagnostikou vysokoteplotního plazmatu tokamaku TCV.

Na konferenci věnované projektu ITER zaznělo, že právě termojaderná fúze je energií budoucnosti. Na základě čeho je projekt ITER tak jedinečný? V čem spočívají jeho výhody na rozdíl od energie z jaderných a ostatních elektráren?

ITER se má stát prvním zařízením, ve kterém bude mít řízená fúze energetický přebytek. Představte si radost našich dávných předků, když potřebovali oheň a konečně se jim podařilo vykřesat první plamének – myslím, že jsme v dost podobné situaci. Pro mnohé je ale ITER jedinečný i jinak: například pro fyziky tím, že dovolí studovat rovnovážné vysokoteplotní plazma s vlastním ohřevem, pro inženýry třeba tím, jak je zvládnuto tepelné a mechanické namáhání mohutných supravodivých cívek, a rozhodně i pro politiky a právníky tím, že se na jeho stavbě a činnosti budou podílet všechny světové velmoci.

Fúze má spolu s jaderným štěpením a obnovitelnými zdroji tu velkou výhodu, že neznečišťuje atmosféru. Na rozdíl od štěpení není fúze řetězovou reakcí (dodávka paliva bude průběžná), což přispívá k plné bezpečnosti provozu. Produkty fúze jsou stabilní, odpadá tedy problém ukládání „vyhořelého paliva“. Fúzní elektrárna bude podobně jako dnešní jaderná elektrárna mohutným energetickým zdrojem pro zásobování metropolí a průmyslových center, a tak vhodně doplní rozptýlené a nestálé obnovitelné zdroje.

V čem tkví naopak „Achillova pata“ projektu? (Jaké jsou náklady na jeho výstavbu?) Jaká bude předpokládaná cena této energie v porovnání s energií z jaderných elektráren?

Fúzní reaktor je ve srovnání s jaderným o dost složitější. Skutečnou Achillovou patou je nyní otázka materiálů. Vcelku nikdo nepochybuje, že se v ITERu podaří ovládnout fúzi na pár desítek minut. Jak ale najít materiály, které budou odolávat podmínkám plného chodu fúzního reaktoru po řadu měsíců či dokonce let, to je druhá věc. Existují zatím jen velmi mlhavá řešení, podobně jako tomu bylo před sto lety v otázce materiálů pro křídla dopravních letadel. Těžší práce se proto přesouvá do technologického výzkumu, jehož hlavní (ale nikoli jedinou) součástí bude ITER. Náklady na jeho výstavbu jsou přibližně 5 miliard Euro, podobnou výši má mít i rozpočet na zhruba dvacetiletý provoz.

Fúze nebude úplně „čistá“, alespoň ne ve své první podobě – bude intenzivním zdrojem energetických neutronů, které povedou ke vzniku radioaktivních prvků v konstrukci reaktoru. Tuto indukovanou aktivitu lze vhodnou volbou materiálů omezit jak co do intenzity, tak co do doby trvání.

Stále je občas slyšet námitku, že fúze není správným řešením, protože bude nabízet příliš levnou energii pro příliš konzumní společnost, a povede tedy k plýtvání. Mohu každého ujistit, že fúzní energie rozhodně nebude zadarmo a že už dnes vyvolává tlak na vyšší vzdělanost lidí. Podobně jako dnešní jaderné elektrárny budou fúzní elektrárny investičně náročné, zato velmi vydatné a relativně levné v provozu. Odhady nákladů jsou nejisté vzhledem k otevřené otázce materiálů, ale obecně vycházejí jen o málo vyšší než ceny dnešních fosilních zdrojů. Ani ekonomicky, ani ekologicky by fúzní elektrárny rozhodně nemusely vycházet hůř než obnovitelné zdroje, a funkčně by se s nimi mohly jedinečným způsobem doplňovat.

Program ITER začal již v roce 1985 a jeho cílem bylo prokázat vědeckou a technologickou realizaci využití fúzní energie pro mírové účely. Na jakém měřítku stojí projekt právě nyní, co ho ještě čeká a kdy začne prakticky fungovat?

V uplynulých letech byl v rámci dosavadních smluv vyhotoven detailní projekt. V červnu padlo rozhodnutí, že se ITER postaví na území Evropské unie, v jihofrancouzském výzkumném středisku Cadarache. V listopadu se všechny smluvní strany shodly na jméne prvního ředitele ITERu – bude jím Japonec Dr. Kaname Ikeda. Pracuje se na přesném znění nové mezinárodní smlouvy, jejíž podpis se očekává v polovině příštího roku. Ve španělské Barceloně vzniká administrativní centrum, ve Francii se zahajují příslušná územní a stavební řízení. Země začleněné do projektu si už předběžně rozdělují expertní role při výstavbě. Půjde

o velmi složitou stavbu, která je po vydání licence rozplánována na deset let. První experimenty lze tedy očekávat až kolem roku 2018.

ITER je založen na koncepci tokamaku, což je zařízení schopné produkovat a udržet ve velkém objemu plazma o vysoké teplotě. Mohl byste prosím jeho fungování čtenářům „laicky“ přiblížit?

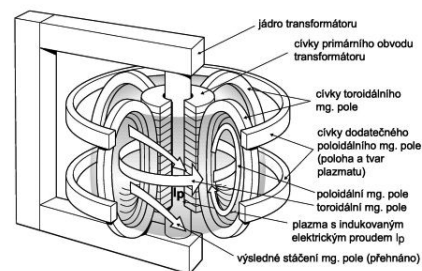
Vysokoteplotní plazma je plyn ve stavu plné ionizace, všechny jeho částice jsou elektricky nabitě. Plazma je proto vynikajícím vodičem elektrického proudu. Navíc platí, že v magnetickém poli nabitě částice rotují kolem siločar, takže magnetické pole ve tvaru prstence dokáže plazma uzavřít.

Nyní mi dovoluňte připomenout, že při průchodu elektrického proudu vodičem se vodič jednak zahřívá (Jouleovo teplo) a jednak kolem něj vzniká magnetické pole (Ampérův zákon). Technický úspěch tokamaku spočívá v tom, že jsou oba tyto jevy využity zároveň. Pomocí transformátoru se v plazmatu indukuje obrovský elektrický proud (prstenec plazmatu je použit jako sekundární vinutí nakrátko), v JETu jde až o několik milionů ampérů. Tento proud plazma zahřívá, a zároveň s přirozenou přesností dotváří magnetické pole, ve kterém je plazma uzavřeno.

Při fúzních teplotách (stovky milionů stupňů) je vodivost plazmatu tak vysoká, že ohřev od elektrického proudu přestává být významný. Plazma je třeba ohřívát svazky částic, rezonančními elektromagnetickými vlnami (jako v mikrovlnné troubě) a konečně v reaktorech samotnou fúzi. Díky velmi vysoké vodivosti plazmatu v něm transformátor může indukovat stálý elektrický proud po dlouhou dobu (desítky minut v případě ITERu). V budoucích reaktorech, pokud půjde o tokamaky, bude elektrický proud trvale udržován elektromagnetickou vlnou.

Zájemcům o detailnější vysvětlení mohu doporučit odkaz „Fúze a ITER“, který lze najít na českých webových stránkách Ústavu fyziky plazmatu AV ČR, <http://www.ipp.cas.cz/Tokamak/cz>.

Obr. 1 – Schéma Tokamaku



Obr. 2 – Tokamak Compass-D v britském Culhamu, který má být letos přestěhován do Prahy



Foto: Archiv UKAEA

Jak si stojí projekt ITER v České republice? Co konkrétně čeští badatelé zkoumají a jak bude možné tyto výsledky aplikovat v praxi?

Předně v Ústavu fyziky plazmatu již po řadu desetiletí pracuje velmi zdatná teoretická skupina v oboru interakce mikrovln s plazmatem. Právě v tomto směru se podařilo navázat kontakty na projekt ITER hned u jeho zrodu. Experimentální práce na tokamaku Castor se soustředí na studium fluktuací elektrického pole, které jsou v plazmatu spoluzodpovědné za anomální ztráty energie a částic. Naším odborníkům se podařilo začlenit do vývoje nových detektorů magnetického pole pro ITER, a to také díky možnosti využívat štěpný reaktor v Řeži pro řadu ozařovacích testů. Ústav Jaroslava Heyrovského AV ČR se podílí na studiu možných chemických procesů na stěně vakuové nádoby bombardované rych-

lymi částicemi. V Ústavu aplikované mechaniky, s.r.o., v Brně zdokonalují simulaci svařovaných spojů pro ITER, a Škoda – Výzkum, s.r.o., v těsné spolupráci s JFJI ČVUT přímo testuje mechanické vlastnosti některých komponent ITERu, které pro tento účel vyrobily Vítkovice – Výzkum a vývoj, s.r.o., To jen namátkou, omlouvám se těm, které jsem vynechal. Dělá se toho hodně, ale ve srovnání třeba s Portugalskem máme stále co dohánět!

V současné době mají čeští vědci dostat darem tokamak z Velké Británie v hodnotě půl miliardy korun, který vystřídá náš předchozí

tokamak z bývalého Sovětského svazu. Jistě to bude pro české badatele velká příležitost...

Ano, to je skvělá příležitost pro naše badatele, inženýry i studenty. Nezapomínejme, že Evropská unie je světovým lídrem v tomto oboru a že v něm přibývají pracovní i obchodní příležitosti. Plazma v britském Compass-D tokamaku má velmi podobnou geometrii i podobné chování jako plazma v JETu nebo v ITERu, hodí se tedy např. pro srovnávací měření. Výzkumný potenciál tohoto zařízení nebyl ani zdaleka využit, když fúzní program Velké Británie upřednostnil ambicióznější projekt MAST. Jsem moc rád, že se naše země dokázala takové příležitosti chopit, a obdivuji ty, kteří se o to zasloužili. Víte, není to samo sebou.

Za předpokladu, že se kolem Compassu-D vytvoří dostatečně silný tým, může nás toto zařízení dostat až do „první ligy“. Dovolím

si v této souvislosti citovat kolegu z Maďarska, který mi v červnu řekl: „Compass-D v Čechách by byla z mé perspektivy ještě lepší zpráva než ITER ve Francii.“

Poslední otázka jen pro zajímavost. Tvrdí se, že termojaderná fúze je ve své podstatě prázákadem většiny obnovitelných zdrojů energie na zeměkouli. Setkáváte se s podporou, nebo naopak odporem ekologických organizací, které tak jednoznačně podporují získávání energie pouze z obnovitelných zdrojů a radikálně se snaží čelit jaderným elektrárnám? Není projekt ITER „zlatou střední cestou“?

Skutečně, většina energie obnovitelných i fosilních zdrojů pochází ze Slunce, které je obřím fúzním reaktorem. Podporu vnímáme čím dál více ze strany Číny, včetně fenomenálního nástupu nové generace odborníků, a také od Indie. Vypadá to, že se na ITERu bude finančně podílet více než polovina obyvatel světa! Co se týče nevládních organizací, objevily se první mediální postoje, zpravidla ovšem spíše skeptické. Ony vidí hned několik důvodů k nedůvěře: jde o energii jaderných reakcí, o „establishmentem“ podporovaný výzkum, o velký centrální zdroj... Podle mě jde jen o názorovou setrvačnost. Řada ekologických organizací začíná být ohledně své energetické politiky přinejmenším opatrná. Situace je v globální energetice a ekologii totiž natolik svízelná, že si nemůžeme dovolit řevnost mezi různými směry výzkumu. Postupovat musí všechny. ITER otevírá jednu z několika málo cest za kritický bod, cestu zřejmě hodně strmou, ale zato poměrně přímou. Střední určitě, zlatou snad.

Gabriela Štefániková
press.avcr.cz

RNDr. Jan Mlynář, PhD.
Ústav fyziky plazmatu AV ČR
www.ipp.cas.cz