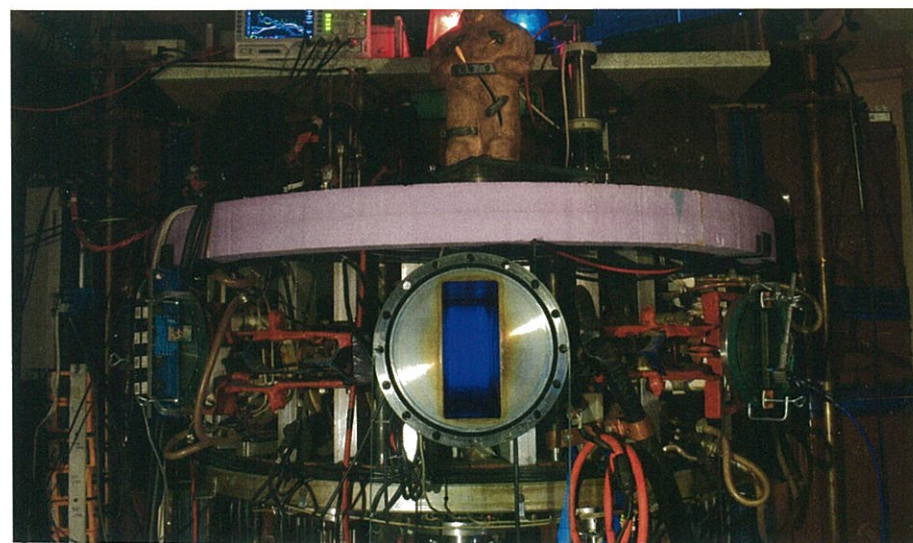


# Elektrina z vody a tepla je pro lidstvo nadějí

Více než půl století sní vědci o jaderném reaktoru, který by energii vyráběl podobně jako ji vyrábí Slunce nebo hvězdy. Tedy prostřednictvím termojaderné fúze. S fúzí, kde se pracuje s plazmatem a vysokými teplotami, se poprvé na světě začalo experimentovat na území Československa už v roce 1936 v Sokolově. Od té doby uplynulo více než půl století, a výzkum, na kterém spolupracují vědci po celém světě, stále trvá. Jak jsou vědci daleko?

Optávka po elektrině neustále roste a je jasné, že kromě náhrady fosilního paliva obnovitelnými zdroji je třeba hledat alternativní řešení. A termojaderná fúze je jedním ze způsobů, jak elektrinu vyrábět čistě a prakticky bezodpadově. Nicméně se stále jedná o hudbu budoucnosti.

Zařízení, které slouží jako zkušební přístroj a posléze i jako výrobní elektrické energie, se nazývá tokamak. V České republice jsou dva exempláře tokamaku, přístroje, který dokáže napodobit podmínky pro řízenou termojadernou fúzi, tedy slučování jader lehkých prvků za uvolnění značného množství energie. První používají badatelé v Akademii věd a druhý, pojmenovaný Golem, slouží jako výukový reaktor už několik let studentům Českého vysokého učení technického (ČVUT) v budově Fakulty jaderné a fyzikálně inženýrské v Praze na Starém Městě. Jedná se o skromné termojaderné zařízení malých rozměrů, hlavní poloměr vytvořeného plazmatického prstence je 40 cm, malý pak zhruba 8 cm. Vybaven je pouze základní technologií a diagnostikou, což znamená v důsledku snadný a robustní provoz, nezbytný pro vzdělávací zařízení.



Tokamak Golem

Foto Archiv FJFI CVUT

## Inspirace ve vesmíru

Na tokamaku se vědci snaží vyvinout technologii, která umožní vyrábět energii efektivněji a levněji než dosud. „Představte si, že na výrobu energie v tepelných elektrárnách, která užívá Prahu, potřebujeme denně celý vlak uhlí. Pokud budeme v jaderných elektrárnách štěpit uran, potřebujeme jen vagon paliva ročně, ale existují problémy s jaderným odpadem a bezpečností. A pak existuje ještě jedna možnost, která je ve vesmíru běžná, protože na stejném principu fungují hvězdy, jež generují obrovské množství energie. Je to také jaderná reakce, ale nikoliv štěpná, nýbrž fúzní. Termojaderná fúze, kde se pracuje s plazmatem a vysokými teplotami. A úkolem tokamaku je vytvořit na Zemi takové podmínky, jako jsou v centrech hvězd,“ popisuje snahy vědců Ing. Vojtěch Svoboda, CSc., z Fakulty jaderné a fyzikálně inženýrské (FJFI), jenž se zařízením a demonstrací termojaderné fúze pro výukové účely dlouhodobě věnuje. Připouští, že se výzkumníci inspirovají v přírodě a snaží se napodobit či využít vesmírné procesy na Zemi. „Vize, po které jdeme, je

elektrárna, kde by jako palivo sloužilo deuterium a tritium – tedy vize malé mikrohvězdy pod kotlem s vodou (zjednodušený princip elektrárny), je pro současné lidstvo velmi lákavá. Pokud bychom touto energií mohli ohřívat vodu a vyrábět tak elektrickou energii, je jasné, že se na její výzkum dávají ohromné peníze, dodává Vojtěch Svoboda. Dodejme, že podle vědců je v přírodě nekonečné množství deuteria. Tritium se v přírodě sice nevyskytuje, ale lze ho vyrobit bombardováním lithia neutrony ve fúzním reaktoru. A lithia je pro lidskou společnost dost na desítky tisíc let. Neutrony jsou produktem fúzní reakce deuteria a tritia.

## Stavba zařízení ITER

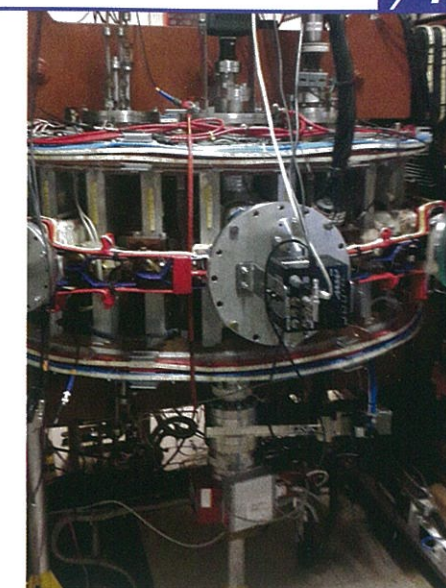
V červnu 2005 bylo rozhodnuto o umístění mezinárodního vědeckotechnologického experimentu, tokamaku ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor), do střediska Cadarache v jižní Francii. Česká republika se pak ihned zapojila do evropského projektu FUSENET (European Fusion Education Network), což dnes představuje konsorcium 36 evrop-



Stavbě tokamaku jako názorná ukázka pro vzdělávání



Stavba tokamaku ve Francii vyfotografována přes stavebnici ITERu před montážní halou



Zařízení na Fakultě jaderné a fyzikálně inženýrské ČVUT v Praze

ských škol a laboratoří z 18 zemí EU s cílem koordinovat fúzní vzdělávání v Evropě. Z České republiky jsou v konsorciu tři subjekty – ČVUT prostřednictvím FJFI, Ústav fyziky plazmatu (ÚFP) AV ČR a Univerzita Karlova prostřednictvím Matematicko-fyzikální fakulty. Na světovém projektu, který stojí asi osmnáct miliard eur, se dále podílí Čína, Japonsko, Rusko, Spojené státy americké i Evropská unie, Indie a Jižní Korea.

Jak daleko jsou vědci od slibných výsledků, na to jsme se ptali Ing. Milana Řípy, CSc., fyzika a popularizátora vědy, jehož hlavním zájmem je řízená termojaderná fúze, a tvůrce stavebnice tokamaku pro studijní účely.

**\*Jaký je současný stav vývoje a pokroku ve výzkumu a hlavně v aplikaci termojaderné fúze?**

Ke stavbě největšího tokamaku na světě se spojilo sedm zemí. Tokamak ITER, který představuje vrchol snažení světové fúzní komunity, se staví od roku 2007 na jihu Francie. V současné době se „zaváží“ tokama-

ková jáma, jinými slovy svařuje se vakuová komora, ve které bude probíhat slučování izotopů vodíku – deuteria a tritia. ITER bude první fúzní zařízení, které uvolní větší výkon, než spotřebuje. Cílem je dosáhnout poměru nejméně desetinásobku, tedy při příkonu 50 MW by měl být uvolněný fúzní výkon 500 MW. Až na nepatrný výkon pro výrobu elektriny se veškerý „vyrobený“ fúzní výkon rozptýlí do atmosféry. Z principiálního pohledu je činnost tokamaku pulzní a ITER počítá s pulzy délky 400 až 600 sekund.

**\*Proč se vědcům zatím nedaří vyvinout umělé slunce, co je hlavním problémem?**

„Umělá hvězda ve smyslu probíhající fúzní reakce byla předvedena v roce 1997, kdy tokamak JET uvolnil během dvou sekund 16,5 MW fúzní výkonu a 22 MJ fúzní energie během deseti sekund. Aby fúzní reaktor mohl fungovat, potřebuje plazma dostatečně horké k překonání odpudivých elektrostatických sil slučujících se atomových jader, srážek musí být dostatečně mnoho, aby uvolněná energie bylo potřebné množství,

a konečně nezbytné ztráty energie nesmí překročit bezpečnou mez. Největším problémem je doba udržení energie. Doba udržení lze ovlivnit kvalitou a kvantitou udržujícího magnetického pole a velikostí reagujícího objemu plazmatu. Magnetické pole svoji roli více méně splnilo, i když jistou nadějí nabízejí vysokoteplotní supravodiče, a tak dobu udržení lze dnes prodlužovat zvětšováním objemu plazmatu. Proto má ITER plazmatu zhruba desetkrát více než dosud největší tokamak na světě – evropský tokamak JET.

**\*Spuštění reaktoru ITER (první plazma) je plánováno na konec roku 2025. Na jeho výsledky by měl pak navázat projekt demonstrační termojaderné elektrárny DEMO, která by mohla dodávat energii do elektrické sítě. Zde je termín do roku 2050. Bude-li projekt DEMO úspěšný, měly by se začít první termojaderné elektrárny stavět okolo roku 2050. Jsou tyto termíny podle vás reálné?**

Spuštění tokamaku ITER koncem 2025 je reálné. V roce 2036 by podle plánu měla být zahájena fúzní fáze, kdy bude používáno jako palivo deuterium a tritium. Většina zemí bude se stavbou DEMO čekat na výsledky ITERu. Ale nejsem si jist, zda se podaří některou elektrárnu DEMO připojit do sítě. DEMO má mít výkon několik stovek MW a technologii komerční elektrárny, přičemž každý partner ITER si ji bude stavět sám, každý podle svého harmonogramu. Připojení do veřejné sítě není podle mě hlavní cíl všech zemí, ale není, alespoň u některé, vyloučené. Komerční fúzní elektrárny kolem roku 2050, spíše později jsou velkou neznámou a velkým přáním do budoucna.

/ave/