

Ve švédském Lundu vzniká Evropský spalační zdroj: Výzkumné centrum založené na nejsilnějším neutronovém zdroji

Evropský spalační zdroj (ESS – European Spallation Source) bude mezinárodní výzkumné centrum v Lundu ve Švédsku využívající vysoce výkonný pulzní zdroj neutronů, který poskytne svazky neutronů asi třicetkrát jasnější než dosud existující zdroje. Neutrony díky svým unikátním fyzikálním vlastnostem pronikají hluboko do nitra materiálů a umožňují pozorovat struktury uspořádání atomů a dynamiku jejich pohybů, které jiný druh záření (světlo, rentgenové paprsky nebo elektrony) odhalit nedokáže. ESS tak otevře nové možnosti při zkoumání světa, který nás obklopuje, a vytvoří nové příležitosti pro výzkum v široké škále oborů, jako jsou například molekulární biologie a chemie, lékařství, materiálové inženýrství, energetika, částicová fyzika nebo ochrana životního prostředí a kulturního dědictví. Výstavba začala na podzim 2014 a ukázkou staveniště z února 2016 je možno vidět na obr. 1.

Neutronový zdroj v ESS bude pracovat na principu tříštění těžkých jader (*spallation*). Jde o druh jaderné reakce, při níž částice (například proton) s velmi vysokou energií narazí do jádra těžkého atomu, které se tak rozpadne a uvolní mimo jiné značné množství neutronů (*obr. 2*). V případě ESS budou protony urychleny v 600 m dlouhém lineárním urychlovači na 95% rychlosti světla a poté narazí na wolframový terč, kde z každého zasaženého jádra wolframu uvolní desítky neutronů s vysokou energií. Neutrony dále projdou moderátory tvořenými vodou a kapalným vodíkem, kde se zpomalí na energii potřebnou pro výzkum, tedy srovnatelnou s běžnou energií tepelných pohybů atomů. Úzké svazky takto zpomalených neutronů jsou pak odváděny od zdroje k jednotlivým měřicím stanicím. Těch bude celkem 22, každá z nich bude speciálně navržena pro určitý typ experimentu podle toho, jaké vlastnosti látek se na ní budou zkoumat.

Každý neutron rozptýlený ve zkoumaném materiálu nese malou část informace o jeho vnitřní struktuře. Kromě vysoké intenzity neutronového zdroje proto hrají důležitou roli velkoplošné detektory neutronů, umístěné na každé z měřicích stanic, které dokážou zaznamenat přesnou polohu a čas detekce jednotlivých rozptýlených neutronů.



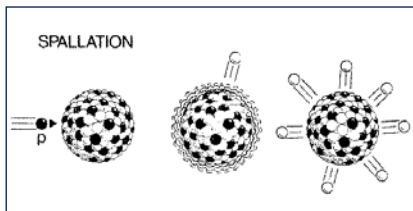
Obr. 1. Staveniště Evropského spalačního zdroje neutronů ve švédském Lundu v únoru 2016 (Zdroj: ESS).

Vznikne tak obrovský tok dat, který bude soustředěn do velkého datového centra, budovaného v nedaleké Kodani. Odtud bude možné za pomoci výkonných počítačů poskládat informaci nesenou jednotlivými neutrony do obrazu atomové či magnetické struktury zkoumaných materiálů.

Proč ESS?

V současnosti existuje v Evropě několik výzkumných zařízení využívajících neutronové zdroje, což vyvolává otáz-

ku: „Proč tedy potřebujeme další neutronový zdroj?“. Už nyní je přece možno provádět výzkum pomocí neutronů, v mnoha případech nedestruktivním způsobem, a to jak pro vědecké účely, tak i pro aplikace v průmyslové praxi (viz článek v příloze tohoto čísla v anglickém jazyce). Výzkumnou kapacitou v oblasti neutronové fyziky v Evropě disponuje mimo jiné i Ústav jaderné fyziky AV ČR v Řeži, který nabízí vědcům i průmyslovým podnikům využití svých zařízení na svazcích neutronů.



Obr. 2. Schéma spalačního procesu produkujícího neutrony pro vědecké využití.

Většina stávajících zdrojů je však založena na jaderných reaktorech. Mnohé z nich byly vybudovány v 60. a 70. letech a blíží se tak konci své životnosti, do budoucna proto hrozí nedostatek výzkumné kapacity v tomto oboru. Reaktory také patrně dosáhly maxima svých možností, pokud jde o dosažení maximálního toku neutronů. K tomu se přidávají i problémy bezpečnosti, jako je používání vysoce obohaceného uranu. Při úvahách o nových výkonných zdrojích neutronů tak dostává přednost nová technologie založená na urychlovači částic. Cestou budování vysoce výkonných spalačních zdrojů se vydaly i Spojené státy a Japonsko.

ESS je budován od základů jako zcela nová mezinárodní výzkumná organizace se statutem ERIC (European Research Infrastructure Consortium). Na jeho výstavbě se podílí 17 partnerských evropských zemí, včetně České republiky, a to z velké části formou tzv. „in-kind“ vkladu, tedy vývojem a dodávkou

jednotlivých vědeckých a technologických celků. Vědecká obec i průmyslové podniky z těchto zemí tak získají možnost podílet se nejen na vývoji a konstrukci unikátních experimentálních zařízení, ale také na jejich budoucím využívání. Ročně se předpokládá zapojení 2000-3000 výzkumníků do prováděných experimentů. Převážná část uživatelů bude pocházet z evropských univerzit a výzkumných ústavů, menší část z průmyslových subjektů. Naproti většina kapacity ESS bude přístupná všem potenciálním uživatelům z partnerských zemí na principu tzv. otevřeného přístupu. Měřicí čas pro vědecké experimenty bude poskytován na základě výběrových řízení, posuzujících kvalitu a vědecký význam prováděného výzkumu. Bude samozřejmě vítán i zájem o nedestruktivní testování či aplikovaný výzkum pomocí neutronů ze strany průmyslu.

Také v České republice existuje silná vědecká komunita, která se bude na projektu ESS podílet. Konkrétně se jedná o neutronový difraktometr pro materiálové inženýrství (projekt BEER, obr. 3), na jehož návrhu a výstavbě spolupracuje Ústav jaderné fyziky AV ČR s německými partnery z Helmholtz-Zentrum Geesthacht. Čeští výzkumní pracovníci se tak mohou podílet na vývoji nejnovějších technologií a zároveň do projektu ESS pomohou zapojit i české podniky.



Obr. 3. Projekt neutronového difraktometru BEER (Beamline for European materials Engineering Research) pro materiálové inženýrství (Zdroj: Ústav jaderné fyziky AV ČR).

Jak bude ESS financováno?

Výstavbu a provoz ESS, jehož konečnou podobu je možno vidět na obr. 4, budou členské státy financovat společně, z části formou přímých plateb, z části to budou výše zmíněné „in-kind“ příspěvky. Jednání probíhají jednak na politické úrovni s cílem zajistit výši příspěvků, jednak na technické úrovni – čím každý partner konkrétně přispěje. V cenách roku 2013 byly náklady na výstavbu ESS vyčísleny na 1,843 miliardy EUR. Téměř polovina nákladů na stavbu bude pocházet z hostitelských zemí, tedy Dánska a Švédska, druhá polovina z ostatních členských zemí. První neutrony jsou očekávány v roce 2019 a plného provozu bude dosaženo v roce 2025. Roční provozní náklady se odhadují na částku okolo 140 milionů EUR. Očekávaný český příspěvek do projektu ESS je okolo 2% z celkového rozpočtu na výstavbu ESS, což kromě menší části v podobě přímé platby zahrnuje i již zmíněnou výstavbu neutronového difraktometru a některých dalších technologií, o jejichž konkrétní podobě se v současné době jedná.

Věda s využitím neutronů a její dopad na každodenní život

Výzkum s pomocí neutronů je nedílnou součástí vědy, která pomáhá zlepšit náš každodenní život, zdraví a životní prostředí. Hraje důležitou roli ve vývoji nových materiálů pro automobilový a letecký průmysl, energetiku, stavebnictví či lékařství. Pomáhá při vývoji lepších počítačových čipů, vysokokapacitních baterií a palivových článků, léčiv, barviv, kosmetiky, textilu nebo plastů. Výsledkem jsou tisíce produktů, které jsou nezbytné pro zlepšení kvality našeho života a udržitelný hospodářský rozvoj.

Výzkum využívající neutrony se snaží rozluštit některé z přetrvávajících složitých problémů, se kterými se potýká věda a medicína. Patří sem například dosud neznámé mechanismy, kterými DNA udržuje život na molekulární úrovni, a přesné pozice, struktura a funkce proteinů, které ovlivňují její



Obr. 4. Plánovaná podoba Evropského spalačního zdroje (Zdroj: ESS/Team Henning Larsen Architects).

strukturu. Intenzivní neutronové svazky v ESS umožní přesněji trojrozměrně modelovat takovéto biologické struktury a studovat, jak proteiny, enzymy a jiné biomolekuly fungují na atomové a molekulární úrovni.

Neutronové metody mají vysokou rozlišovací schopnost, pokud jde o struktury obsahující lehké prvky, zejména vodík. Uplatňují se proto významnou měrou například při vývoji nových materiálů pro palivové články, které jsou zdrojem elektřiny pro elektromobily využívající spalování vodíku. Díky neutronům můžeme sledovat transport vodíku v baterii jak na atomové úrovni pomocí neutronového rozptylu, například při přechodu přes membránu mezi elektrodami, tak na makroskopické úrovni metodou neutronové tomografie. Díky schopnosti neutronů pronikat do hloubky materiálů tak lze sledovat, co se děje uvnitř článku během všech fází jeho životního cyklu, a to v „přímém přenosu“ (*in operando*).

Unikátní vlastnosti nově vyvíjených high-tech materiálů pro průmyslové aplikace, jako jsou například vysoká pevnost, tepelná a chemická odolnost a elasticita, úzce souvisí s jejich vnitřní strukturou, respektive se schopností

materiálů tuto strukturu měnit v závislosti na vnějším tepelném a mechanickém namáhání při procesech zpracování a následném používání. Neutrony umožňují tyto strukturální změny sledovat tzv. „in-situ“, ve speciálních zařízeních, které tyto často extrémní mechanické a tepelné podmínky simulují. Neutronová měření tak pomáhají optimalizovat proces výroby a výsledné vlastnosti nových materiálů pro specifické aplikace. Příkladem jsou například vysokoteplotní slitiny, umožňující turbínám leteckých motorů pracovat za vyšších teplot a tím i s nižší spotřebou paliva, nebo speciální lehké slitiny s vysokou pevností. Ty zase zvyšují pasivní bezpečnost automobilů při současném snížení jejich hmotnosti (a tím i spotřeby paliva), nebo zlepšují odolnost stavebních konstrukcí. Pomocí neutronů lze také odhalit strukturální degradaci materiálů uvnitř strojních komponent v důsledku jejich namáhání při provozu, například akumulaci elastických napětí nebo mikrotrhlin, a tím přispět ke zvyšování jejich bezpečnosti a doby života. Právě pro tento typ experimentů bude určen neutronový difraktometr pro materiálové inženýrství v ESS, na jehož výstavbě se budou podílet experti z České republiky.

Přesná měření základních fyzikálních vlastností neutronu jsou předmětem experimentů na plánovaném zařízení pro fundamentální a částicovou fyziku v ESS. Výsledky těchto měření budou mít důsledky pro některá základní dilemata, s nimiž se potýká současná částicová fyzika, astrofyzika a kosmologie.

Spolupráce s průmyslem

V oblasti průmyslových aplikací neutronového záření vyniká skenování reziduálních napětí v komponentech po technologickém zpracování (například svařování), dále texturní měření ve velkých objemech a fázová analýza pro metalurgii. V neposlední řadě je to i neutronová radiografie a tomografie schopná nahlédnout do nitra zkoumaných objektů, a to případně i za jejich provozu. V těchto oblastech vyniká nedestruktivnost technik využívajících neutronového záření, která bude u zdroje ESS umocněna vysokou intenzitou záření.

ESS je odhodlána úzce spolupracovat s průmyslovými partnery s cílem maximalizovat využívání metod rozptylu neutronů a zobrazování pomocí neutronů v rámci průmyslového R & D. Za tímto účelem vytvořilo ESS oddělení pro styk s průmyslem, které se bude snažit v rámci vnitřní spolupráce přizpůsobit experimenty potřebám klientů a rovněž rychle a konkurenceschopně zpřístupnit měřicí zařízení ESS pro nedestruktivní testování a průmyslový výzkum obecně.

V rámci budování spolupráce s průmyslem ESS též vyzývá firmy a poskytovatele služeb, aby zaregistrovaly své obchodní profily na webu ESS europeanspallationsource.se/invitation-business-profiles. České podniky a výzkumné instituce mají možnost se registrovat do databáze dodavatelů a ucházet se ve výběrových řízeních o inovační projekty, dodávky přístrojového vybavení a dalších komponentů.

Ing. Jiří Janošec, Ph.D.
CZ Industry Liaison Officer pro ESS
Technologické centrum AV ČR
Tel.: 234 006 136
E-mail: janosec@tc.cz

RNDr. Jan Šaroun, CSc.
Senior Scientist
Ústav jaderné fyziky AV ČR, v.v.i.
Tel.: 266 173 140
E-mail: saroun@ujf.cas.cz

RNDr. Pavel Strunz, CSc.
Head of Department of Neutron Physics
Ústav jaderné fyziky AV ČR, v.v.i.
Tel.: 266 173 553
E-mail: strunz@ujf.cas.cz