

1
2022

TŘÍPÓL

www.tretipol.cz

Časopis pro studenty o vědě a technice / Zdarma



1. ČESKÁ PLOVOUCÍ FVE
STUDNA ENERGIE
GDE PROBOHA SEM?
TUNA STŘÍBRA PRO ITER



◀ Usazení vrchlíku kontejnmentu během výstavby v 90. letech. (Zdroj: ČEZ)

Deset tisíc dní předpjatý kontejnment

Marek Sviták

Přesně deset tisíc dní uplynulo 22. ledna 2022 od předepnutí ochranné obálky budovy reaktoru prvního bloku Jaderné elektrárny Temelín. Stalo se tak 6. září 1994, kdy technici náročné předpínání klíčové temelínské budovy po skoro čtyřech měsících dokončili. A bylo to vůbec poprvé, kdy byla tato technologie v podmínkách českých jaderných elektráren použita.

„V rámci výstavby to byl důležitý milník, který byl hodně sledovaný. Byla tím ukončena druhá ze tří etap stavby kontejnmentu. Tou poslední pak byla těsnostní a pevnostní zkouška o několik let později,“ zavzpomínal Martin Janoušek, který tehdy začínal pracovat jako technik diagnostiky kontejnmentu. Podle něj se ke stavbě kontejnmentu tehdy přistupovalo velmi opatrně. Vše se důsledně kontrolovalo, od betonáže, přes výrobu napínavých kabelů, měřících systémů až po vkládání kabelů a jejich napnutí.

Kontejnmenty jsou klíčové

Velmi důsledně ČEZ obě klíčové budovy temelínské elektrárny sleduje i v současnosti. „Máme dva měřící systémy. Jeden měří sílu předpětí lan, druhý odezvu konstrukce na vnitřní přetlak. Při každé odstávce kontrolujeme povrch ochran-

ných budov včetně předpínacích lan,“ uvedl Jan Kruml, ředitel Jaderné elektrárny Temelín.

Od roku 1994 už zůstal kontejnment prvního bloku nepřetržitě předpjatý. Technici některé systémy postupně modernizují. Příkladem může být systém, který měří předpětí lan. Na obou blocích bude letos vyměněno téměř padesát čidel, tzv. tenzometrů, a čtyři předpínací lana. Bude se obnovovat i povrchová úprava kontejnmentu.

Parametry

Konstrukci kontejnmentu vyztužuje celkem 132 ocelových lan. Každé by přitom udrželo tisíc osobních automobilů, je totiž předpjaté silou tisíc tun. Lano je spleteno ze 478 ocelových drátů a jeho tloušťka je 20 centimetrů. Délka se pohybuje od 95 do 190 metrů.

Obsah

- 2 Deset tisíc dní předpjatý kontejnment
- 3 První česká plovoucí solární elektrárna
- 4 Jitka Kostková: Jaderka mě naučila učit se
- 6 Stříbrný poklad pro ITER
- 7 Pulsar Fusion předvedl hybridní „zelenou“ raketu
- 8 Jak pozná mobil ze signálů GPS mou polohu?
- 10 Energy Well – studna energie
- 12 Zakladatelem české lékařské chemie a biochemie byl Ukrajinec
- 13 Novoroční mise zahájí novou fázi výzkumu exoplanet
- 14 Fakta o kyslíku
- 16 FJFI otevřela PlasmaLab@CTU
- 17 Fraktografický atlas
- 18 Další detektor jaderné fakulty ČVUT na oběžné dráze!
- 20 Vytvořte si 3D model – třeba reaktoru

1/2022

TŘÍPÓL Časopis pro studenty o vědě a technice. Součást vzdělávacího programu Svět energie pro ČEZ, a. s. Vydává: Simopt, s.r.o., Tábor. ISSN 2464-7888. Web archivováno Národní knihovnou. Redakční rada: doc. RNDr. Jan Obdržálek, CSc., Marina Hofmanová, Edita Bromová, Ing. Michael Sovadina. Šéfredaktorka: Ing. Marie Magdaléna Dufková. Grafická úprava a sazba: Simopt, s.r.o. Kopírování a šíření pro účely vzdělávání dovoleno. Za správnost příspěvků ručí autoři. Kontakt: tretipol@volny.cz, +420 602 769 802, www.tretipol.cz Foto na titulní straně: Plovoucí FV panely v nádrži na Homoli (Zdroj: ČEZ)



◀ Plovoucí FV panely v nádrži na Homoli.
(Zdroj: ČEZ)



První česká plovoucí solární elektrárna

Martin Schreier

Na pilotní plovoucí fotovoltaické elektrárně o výkonu 22 kW, umístěné na horní nádrži přečerpávací vodní elektrárny ve Štěchovicích u Prahy, zkouší ČEZ reálné vlastnosti konstrukce plovoucích solárních panelů pro případné nasazení v budoucích velkých parcích. Po nočním načerpání vody z Vltavy plave elektrárna na nejvyšší kótě hladiny. Naopak když energetická soustava vyčerpá kapacitu štěchovické „baterky“, ocitá se o téměř 9 metrů níže. ČEZ vnímá potenciál vodních ploch pro rozvoj fotovoltaiky, ale nechce stavět na číslech, která by byla „na vodě“. Proto nyní testuje, co je možné v tuzemských podmínkách realizovat. Plovoucí fotovoltaické elektrárny snižují odpařování vody z vodních ploch a jsou alternativou k záboru pozemků a jejich demontáž je rychlejší než u pozemních a střešních FVE.

Díky testovací plovoucí solární elektrárně bude možné v reálném prostředí zjistit vlastnosti nosných plováků a solárních panelů v kombinaci s každodenním provozem přečerpávací elektrárny. V létě se instalace rozšíří do regulérní elektrárny o výkonu 100 kW. Celkově by horní nádrž mohla pojmout solární panely o výkonu až 2,5 MW. ČEZ už má připravené i další projekty plovoucích solárních elektráren.

Nahoru a dolů, ale stále na slunci

Skládačka v podobě čtyř řad monokrystalických fotovoltaických panelů vznikla díky spolupráci firem ČEZ Obnovitelné zdroje, PRODECO a vodních elektráren ČEZ. Tzv. stříšky s orientací východ-západ drží nad hladinou horní nádrže více než třicet vzduchem plněných plováků, každý o nosnosti přes 6 tun. Proti rozmarům počasí a neustálému pohybu hladiny nádrže, kterou určuje provoz přečerpávací elektrárny, je celá konstrukce fixována pojezdovými lyžinami připevněnými

na stěny nádrže. Umístění fotovoltaik na vhodných vodních plochách vyvolává velká očekávání, ale teprve realita ukáže, co si můžeme dovolit v českých podmínkách.

Plovoucí solární elektrárny ve světě

Na světě je v provozu už přes 350 plovoucích elektráren o kapacitě 3 GW (kapacita tří temelínských bloků) v přibližně 40 zemích. Nejvíce je jich v Asii, kde je instalováno 87 % celosvětové plovoucí solární kapacity a kde plovoucí elektrárny vznikají zejména na energetických a zavlažovacích vodních dílech.

Největší plovoucí solární projekt na světě byl uveden do provozu 31. 10. 2021 na přehradě Sirindhorn v Thajsku, asi 660 km východně od hlavního města Bangkoku (Sirindhorn je jméno thajské princezny). Instalovaný výkon panelů plovoucích na přehradním jezeře hydrocentrály je 45 MW. Zatímco 145 000 solárních panelů využívá energii ze Slunce během dne, tři vodní turbíny přeměňují energii z tekoucí vody v noci.

Do roku 2025 se podle odhadu agentury Fitch kapacita fotovoltaik na vodě vyšplhá až k 10 GW, tempo bude udávat především Asie. Plovoucí solární zdroje sice mají zhruba o 20–25 % vyšší celkové náklady na instalaci ve srovnání s pozemními elektrárnami, s rezervou je však zaplatí vyšší výroba dosažená díky přirozenému chlazení panelů vodní hladinou v horkých letních měsících. ■



Jitka Kostková: Jaderka mě naučila učit se

Jan Kadeřábek

Jaderňák nemusí pracovat jen u reaktoru. Absolventka Katedry matematiky Fakulty jaderné a fyzikálně inženýrské ČVUT v Praze (FJFI), Jitka Kostková, pracuje od ledna 2021 jako softwarová inženýrka v pražské kanceláři firmy PureStorage. Letos získala jednu ze tří Cen Antonína Svobody, které vyhlašuje Česká společnost pro kybernetiku a informatiku (ČSKI). Před rokem dostala nejvyšší ocenění, Cenu Josepha Fouriera, za nejlepší výzkumnou práci v oblasti počítačových věd. Během doktorátu působila nejen na fakultě, ale také v Ústavu teorie informace a automatizace AV ČR (ÚTIA).

Proč jste si ke studiu vybrala právě Jaderku?

Já o jiné škole neuvažovala. Ani nevím, kde jsem o Jaderce slyšela poprvé, nejspíš na veletrhu Gaudeamus. Věděla jsem, že chci studovat fyziku. Na střední mě fyzika hrozně bavila, asi tomu pomohlo i to, že mám skvělou paměť na čísla a vzorečky. Jdu ráda proti proudu. Provokují mě řeči, že by holka fyziku nezvládla.

Čím vás fyzika zlákala?

Ještě na gymnáziu nám z jiného gymnázia nabídli pár volných míst na exkurzi do CERNu. Hrozně mě to nadchlo, takže na Gaudeamu už jsem jen vybírala univerzity, které se zabývaly částicovou fyzikou.

Na jaký obor jste se přihlásila?

Přihlásila jsem se na fyziku a techniku termojaderné fúze, pak jsem chtěla na fyziku pevných látek. Ve druháku mě ale na přednáškách doc. Milana Krbálka

zaujala matematická analýza. Po zkoušce se mě ptal, jestli bych nechtěla jít na tehdy vznikající zaměření Aplikované matematicko-stochastické metody, a já souhlasila. Bakalářku jsem dělala na téma modelování náhodných dějů. Jako diplomku jsem pak obhajovala práci Stochastické modely epidemií s ohledem na demografii lidské populace. Čistě matematický pohled na to, co a jak může ovlivňovat epidemii, jaký je vliv karantény, jak dopadá epidemie na ekonomiku a tak. Poslední rok velmi aktuální téma.

A co doktorát?

Ten jsem dělala v ÚTIA na Akademii věd ČR. Já se totiž poměrně pozdě rozhodla, že ho chci dělat – až na konci dubna – a to už byli školitelé rozebrání. Oslovila jsem tedy prof. Jana Flussera z ÚTIA, který mě učil rozpoznávání obrazu, a on mě vzal k sobě. Zabývala jsem se pokročilými matematickými metodami v analýze obrazu. ►



Také jste učila...

To je povinnost doktorandů, ale mě to zároveň bavilo a motivovalo jít na doktorát. Dala jsem si za cíl, aby pro studenty matematika nebyla takové utrpení, jakým byla v prváku pro mě. Myslím, že se matematika dá vysvětlit každému, jen je třeba najít ten správný způsob. Když jsem v říjnu přišla na první cvičení, většinou si studenti mysleli, že jsem jedna z nich. Působím poměrně mladě, proto jsem se od začátku snažila budovat si respekt a ukázat, že se na matematiku musejí připravovat. Bez toho to nejde.

Co je pro matematika důležitější? Talent, nebo píle?

Musíte mít obojí. Je dobré, když to je vyvážené. Dá se to nakombinovat při práci v týmu, někdo přijde s nápadem, další mu pomohou dotáhnout ho do konce. Bohužel se často stává, že lidé s talentem neumějí své schopnosti a myšlenky předat ostatním. Je potřeba umět dobře a srozumitelně komunikovat, vytvořit prezentaci, sepsat srozumitelný článek. Jen tak je možné vědu, nejen matematiku, rozvíjet.

Zabývala jste se umělou inteligencí – máme se jí obávat?

Neuronové sítě jsou zaklínadlo. Zdá se mi, že dnes je tlak na to, aby v každé

publikaci byly neuronové sítě. Někdy až nesmyslně. Problém je, že když má neuronová síť něco zpracovat, je potřeba neuvěřitelné množství dat. Potřebujeme-li sledovat třeba sto tisíc parametrů, potřebujeme několik milionů popsaných vzorových dat, aby se na nich umělá inteligence mohla učit. Jenže to je mnohdy problém. A i když trénovací data máte, stejně se může stát, že pak naostro data špatně identifikuje. To jsou ty známé případy, kdy třeba systém při změně jednoho pixelu v obrázku vyhodnotí fotku opice jako obrázek avokáda.

Od začátku roku 2021 pracujete ve firmě PureStorage, která se zaměřuje na ukládání velkoobjemových dat postaveném na flash technologii. Co vás tam odvedlo?

Když začala koronová pandemie, zdálo se mi, že se všechno hrozně zpomalilo. Důraz na využívání umělé inteligence téměř všude mi také vadil, cítila jsem se unavená. Najednou přišla nabídka, tak jsem to vzala jako výzvu. Před prvním kolem mi řekli, že bude zaměřené na programování a paralelizaci. To jsem neuměla, ale měla jsem čas tři dny, tak jsem se to s pomocí internetu a přednášek z MIT naučila. To je obrovský přínos Jaderky – naučila mě učit se. Prvním

kolem jsem prošla, do druhého bylo další zadání, tak jsem se zase učila. A když jsem prošla celým několikakolovým výběrovým řízením, tak jsem nastoupila jako softwarová inženýrka. Nyní v Pure-Storage programuji v Pythonu.

Jaký to je rozdíl pracovat v komerční firmě?

Hlavně v několikanásobně vyšším tempu. Také mi vyhovuje, že vždycky vím, co se po mně chce. Uvnitř firmy se hodně komunikuje. Všichni vědí, na čem kdo dělá a jak se mu daří. Navíc téměř všichni zaměstnanci mají podíl ve firmě a všem tedy záleží na tom, aby se nám dařilo. Je to náš společný zájem. Líbí se mi, že si mohu do jisté míry i sama určit, na čem budu pracovat. Jediné, co mi opravdu chybí, je učení, protože to mě opravdu bavilo.

Jak odpočíváte?

Vždycky jsem měla spoustu dalších zájmů. Věnuji se józe, bývalý přítel mě získal pro lezení, hraji na elektrickou kytaru, hodně čtu. Baví mě také ruční práce, práce na zahradě, maluji, tancovala jsem...

Děkujeme za rozhovor

■



- Musíte se podívat dvakrát, abyste rozeznali tepelný štít a sektor vakuové nádoby: pouze jeho lesklou se stříbrná barva umožňuje odlišit ji od šedého pozadí vakuové nádoby.



- Pohled vzhůru zpod sektoru. Pravá a levá vnější část stínění jsou již připevněny na křídlech montážního nástroje; budou otočeny dovnitř, aby se setkaly a dokonale zapadly do sebe, takže žádná část ocelové vakuové nádoby nebude viditelná.

Stříbrný poklad pro ITER

Milan Řípa / Foto kredit: ITER Organization, www.iter.org

Přitahují pozornost – blesky vylétající ze vzdáleného konce Montážní haly na staveništi největšího světového tokamaku, do něhož lidstvo vkládá důvěru ve vyřešení svého energetického hladu. Leštěný kov a pravé stříbro, nezvyklý materiál na panelech tepelného štítu, chrání sektory vakuové nádoby před infračerveným zářením. První sektor už je upevněn mezi ramena vysokého pomocného montážního nástroje. Na tepelný štít pro celou vakuovou nádobu (devět sektorů) je třeba více než tuna stříbra, které ze všech kovů nejvíce odráží infračervené záření.

Nejprve byl sektor vakuové nádoby o hmotnosti 440 tun vztyčen do svislé polohy a zasunutý do středového „V“ nástroje pro sestavování vakuové nádoby. Poté následoval integrovaný panel tepelného stínění. Jeho oblý tvar kopíruje sektor tak dokonale, že jej pouze jeho lesklý stříbrný povrch odlišuje od matnější šedi ocelové vakuové nádoby.

Jak oddělit horko od zimy

Supravodivé magnety tokamaku ITER jsou chlazeny kapalným heliem, což představuje hmotu o teplotě téměř absolutní nuly. Celé okolí je pochopitelně teplejší než supravodič a je tak zdrojem jeho tepelných ztrát. Musí být tedy od supravodiče co nejlépe izolováno. Ať už to je vnější okolí mezi kryostatem a supravodičem nebo, a to především, vnitřní prostředí mezi supravodičem a vakuovou komorou plnou plazmatu 150 milionů

stupňů teplého. Před infračerveným (tepelným) zářením z obou stran chrání supravodič vrstva stříbra, kov s nejnižší emisivitou a vysokou odrazivostí. Tuna stříbra pokryla 850 tun dalšího, před neutrony stínícího konstrukčního materiálu, kterým je kvalitní ocel.

Máčeno ve stříbre

Vrstva stříbra o síle několika mikronů má v tokamaku ITER hmotnost cca jedné tuny. Máčením komponent v 11 různých bazénech vyrobila izolační stříbrnou vrstvu korejská společnost SFA Engineering Corp. v Changwonu. Vzhledem k tomu, že po smontování vakuové komory a cívek toroidálního a poloidálního magnetického pole, respektive kryostatu, nebude stříbro vůbec vidět, využijte jedinečné příležitosti a pokochejte se mimořádně se blýskajícím částmi tokamakového stříbra alespoň na atraktivně zářících obrázcích. ■



- Na výtahu je vidět vnější část tepelného štítu, zatímco (uprostřed) byla vnitřní část připevněna a upnuta. Sektor vakuové nádoby o hmotnosti 440 tun je zavěšen na montážním nástroji; „podstavec“ je vpravo dole podepřen vyčnívajícím portem vakuové nádoby.

◀ Plamen diamantového tvaru je typický pro vysokoteplotní raketový výfuk s vysokým průtokem.



◀ Tým Pulsar Fusion s Richardem Dinanem (třetí zleva).

Pulsar Fusion předvedl hybridní „zelenou“ raketu

-red- / Foto kredit: Pulsar Fusion

V sobotu 26. listopadu v ospalém horském městečku Gstaad ve Švýcarsku předvedla britská společnost Pulsar Fusion svůj nejnovější zelený hybridní raketový motor. Hybridní raketa je částečně poháněná HDPE (high density polyethylen) z recyklovaného plastu. Raketa by mohla brzy sloužit k vynášení satelitů i lidí do vesmíru. Pulsar Fusion je soukromá firma zabývající se vývojem raketových motorů a zařízení pro jadernou fúzi. Vlastní ji britský šlechtic, televizní hvězda, soukromý podnikatel a nadšenec do jaderné fúze Richard Dinan.

Přes sněhovou bouři bylo možné vidět působivý vizuální efekt nadzvukových šokových plamenů diamantového tvaru, typický pro vysokoteplotní raketový výfuk s vysokým průtokem. Byly naměřeny výfukové rychlosti motoru 7 M (machů). Tento motor by byl schopen odpálit malou raketu do výšky několika desítek kilometrů nebo pohánět horní stupně raket s větším pohonem prvního stupně až na orbitu.

Překvapivé palivo

Zelený (netoxický) hybridní raketový motor Pulsar spaluje oxid dusný (N_2O), vysokohustotní polyetylen (HDPE) a kyslík. HDPE lze získat z recyklovaného plastu a obě paliva tvoří dohromady netoxický výfukový oblak. Použité pohonné hmoty – oxid dusný N_2O a polyetylen HDPE – jsou jedny z nečistších dostupných pro vesmírný průmysl, produkují převážně

vodní páru, dusík a CO_2 a mají extrémně nízkou spotřebu energie při výrobě, což vede k jedné z nejnižších uhlíkových stop na světě pro motor této velikosti.

Jde o nový model, který Pulsaru umožňuje vyrábět tyto kompaktní raketové motory v rekordních dodacích lhůtách se zvýšeným bezpečnostním faktorem, protože tyto motory mají díky konstrukci relativně neškodné poruchové režimy ve srovnání s konvenčními motory na kapalný pohon. Při testu v Gstaadu běžel motor na kapalné oksyločvadlo, tlak v komoře dosáhl téměř 5 MPa. Při hoření vznikající dusík zvětšil tok v motoru natolik, že zvýšil tah téměř na teoretickou hodnotu 12 kN neboli něco málo přes tunu tahu.

Co dělá Pulsar Fusion?

Pulsar Fusion se zabývá především výzkumem vysokorychlostních pohonů

a aplikací čisté energie z jaderné fúze. V září 2021 získal finanční prostředky od vlády Spojeného království na další vývoj plazmových satelitních motorů HET (Hall Effect Thruster), které jsou schopné dosahovat rychlosti výfukových částic 20 km/s. Tyto trysky Pulsar nedávno testoval v laboratořích v Harwellu. Vydržely tam vibrace odpovídající dvacetinásobku gravitačního zrychlení simulující start rakety. Pulsar se nyní snaží tyto motory otestovat IOD (In Orbit Demonstration, na orbitě).

Konečným milníkem společnosti je vyrobit vysoce rychlý pohonný motor využívající technologie jaderné fúze (již devět let se zabývá jeho výzkumem), který by mohl být nakonec použit pro meziplanetární cestování. Podle vědců by mohl zkrátit dobu cesty ze Země na Mars na polovinu. První prototyp se očekává v roce 2025. ■



Jak pozná mobil ze signálů GPS mou polohu?

Jan Obdržálek

Systém GPS (údajně „Gde Proboha Sem?“) umožní vašemu přijímači, aby našel svou polohu na Zemi ze signálů vysílaných družicemi systému. Přes nesmírnou náročnost technickou i výpočetní je ale princip sám tak jednoduchý, že vám ho bez použití jediné rovnice matfyzák vyloží dříve, než vám vystydne kávačka. Vsaďte se.

V začarované zemi

Jste v mlze, v začarované zemi a ztratili jste se. Máte však skřítky, co pro vás umějí rychle udělat 3D mapu v měřítku 1 : 1 000. Naštěstí víte, že jsou v krajině po kopcích zvony a na mapě je už skřítkci taky na správných místech ve správné výšce vyznačili. Víte, že zvony zazvoní přesně v poledne. Aby se nám lépe počítalo, mají zvony začarovaný zvuk, který uletí jeden kilometr za pouhou jedinou sekundu (namísto obvyklých tří sekund).

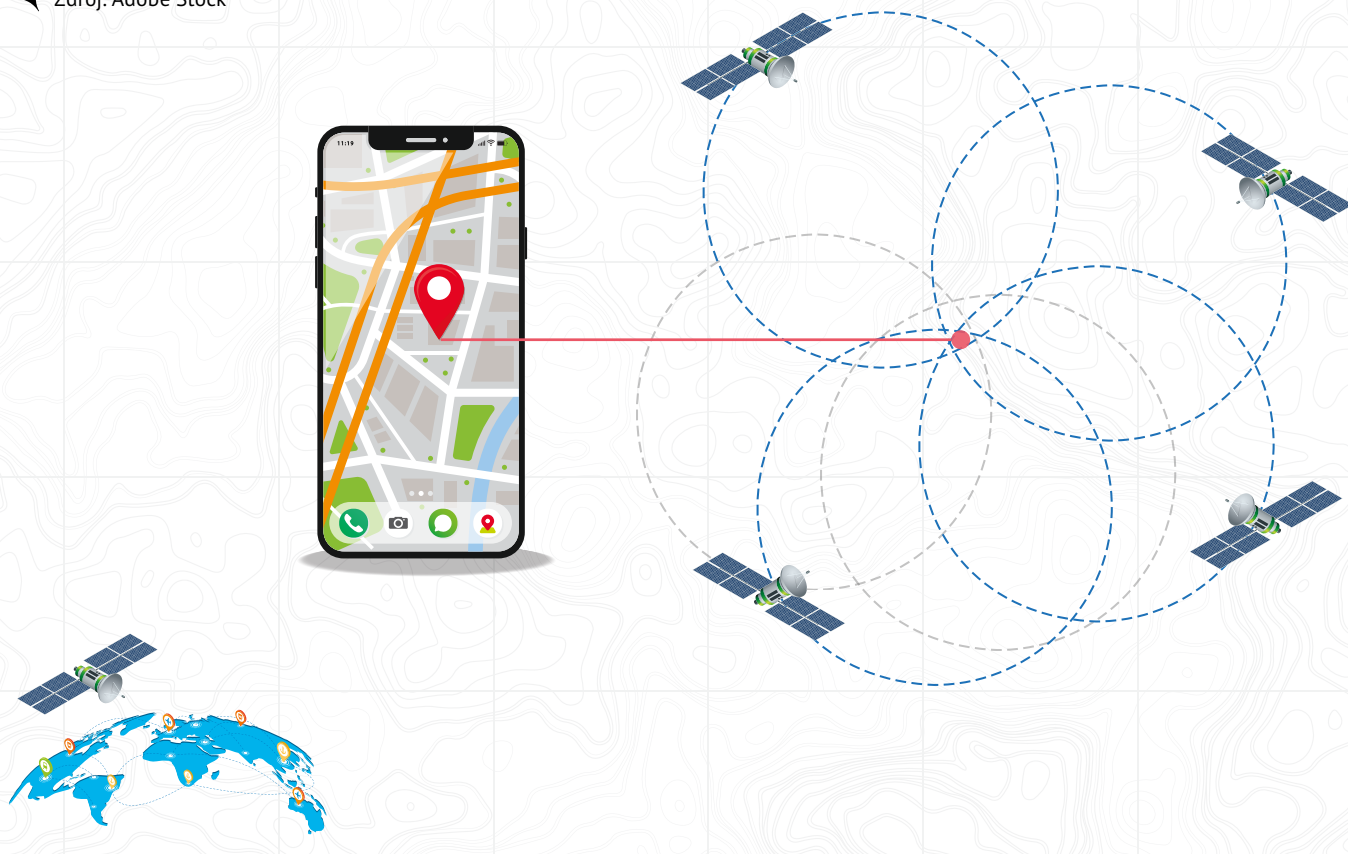
Uslyšíte první zvonek, ale podle vašich hodinek je už jedna sekunda po poledni. První zvonek je tedy 1 km od vás a vy 1 km od něho. Skřítkové pohotově vytvoří na mapě kolem obrazu prvního zvonu

tenkou kouli – bublinu s poloměrem 1 m a vy víte, že vaše poloha na mapě musí být někde na ní.

Za další sekundu uslyšíte druhý zvonek. Je tedy vzdálen 2 km, a skřítkové bleskem udělají kolem obrazu druhého zvonu na mapě další bublinu, s poloměrem 2 m. Obě bubliny se protínají, a jak jinak, než na nějaké kružnici. Na ní tedy určitě bude i vaše poloha.

A když uslyšíte za půl sekundy třetí zvonek, vzdálený tedy od vás 2,5 km, skřítkové kolem něj vyrobí bublinu s poloměrem 2,5 m – a ta už tu vaši kružnici protne ve dvou bodech: nahoře a dole. Pokud tedy nelétáte, říká vám dolní bod, kde přesně na mapě jste.

Teď už to budeme jen doladovat. Namísto zvonů budou družice vysílající radiové signály s rychlostí světla. Namísto zvuku zvonu přiletí signál se zakódovaným místem i časem vyslání. A skřítky, co ho slyší a malují bubliny, nahradí anténa a program ve vašem mobilu, který to počítá: dělá si matematické rovnice pro koule se známým středem a poloměrem, a pak počítá, kde se protínají. ▀



Vylepšování

První problém je přesnost. Na satelitech létají cesiové nebo rubidiové hodiny s přesností minimálně $1 : 10^{13}$. Rok má asi $\pi \times 10^7$ sekund, čili s touthle přesností se jejich hodiny rozejdou o jednu sekundu tak za 300 tisíc let. Vaše hodinky jsou mnohem méně přesné, takže nevíte dostatečně přesně, kolik je hodin, a tím i doba letu signálu od družice bude o tu hodnotu posunutá a vyjde jiná (o hodně posunutá poloha).

Přijmeme tedy další, čtvrtý signál, a spočítáme si i od něj kulovou bublinu a její průsečíky. Kdyby to vyšlo stejně, tak jsme náhodou měli přesný čas. Když ne, tak svůj časový údaj trochu poopravíme – zvýšíme nebo snížíme. Tím nám nové polohy vyjdou navzájem blíže nebo dál. Podle toho pak můžeme posunout svůj čas o nějakou hodnotu správným směrem. A tohle můžeme dělat tak dlouho, až se všechny průsečíky dohodnou dostatečně přesně na společné poloze. (My můžeme. Ti skřítki v praxi raději rovnou řeší od začátku ne tři rovnice pro tři neznámé polohy, ale čtyři rovnice pro tři neznámé polohy a jeden neznámý čas. Není to ovšem tak názorné, ale to jim nevadí. Je to rychlejší.)

Čímž by bylo hotovo – princip je vysvětlen. „Co dělá vaše kávačka? Vystydla, nebo jsem to stihl?“

Kolik ještě máte času?

To víte, že to pořád není tak jednoduché, má-li to být opravdu přesné. Zjištění polohy provádíme porovnáním vzdáleností řádově 20 000 km. Ale měřit dejme tomu na sto metrů přesně (což by samozřejmě pro praxi nestačilo) je jako vážit jednogramovou pilulku tak, že zvážíme 200kg chlapáka, pak ho necháme spolknout pilulku, převážíme a oba údaje odečteme. Takhle přesné váhy tedy musíme mít – respektive takhle přesná měření časů a dob. A to ještě musíte vzít ohled na další jevy:

- signál z výšky 20 000 km letí sice zpočátku téměř vzduchoprázdňem, ale pak vlétá do ionosféry (500 km až 50 km), poté do atmosféry (pod 50 km); tam všude letí pomaleji a jeho dráha se zakřivuje. Proto se vše vysílá na dvou frekvencích v oblasti 1–2 GHz (L1: 1 575,42 MHz; L2: 1 227,62 MHz) a jejich porovnáním se zjistí příslušná korekce doby letu;
- družice kolem Země obíhají (cca 2krát za den) a musí jich být proto hodně (24–32), aby jich kdykoli kdekoli na Zemi bylo současně dost (6–12) vidět;
- předpokládanou polohu družice v daném okamžiku je nutno dlouhodobě průběžně ověřovat a případně korigovat;
- hodiny na pohybující se družici jdou podle speciální teorie relativity oproti pozemským pomaleji (cca -5×10^{-9} % vůči pozemským);
- naopak hodiny ve výšce 20 000 km, ve slabším gravitačním poli, jdou podle obecné teorie relativity oproti pozemským rychleji (cca $+50 \times 10^{-9}$ %); spolu s předchozím jevem jdou tedy nakonec hodiny rychleji, cca $+45 \times 10^{-9}$ % vůči pozemským;
- signál poblíž Země se může i odrážet od pozemských objektů;
- Země, vůči níž vše počítáme, není v klidu (inerciální soustava), ale otáčí se a má slušnou (nadzvukovou) rychlost na rovníku.

To je všechno složité k výpočtům – ovšem na principu měření to nic nemění. Ale kávačku si teď už určitě dejte novou, úplně čerstvou.

■



◀ Kovový model Energy Well vytvořený pro světovou výstavu EXPO 2020 v Dubaji. (Zdroj: CVŘ)



Ing. Marek Ruščák, PhD.
(Zdroj: CVŘ)

Energy Well – studna energie

-red-

Ing. Marek Ruščák, PhD ve skupině ÚJV vede zajímavý a progresivní projekt malého jaderného reaktoru k výrobě elektrické energie. Energy Well je jedním z projektů SMR (malých modulárních reaktorů) a je zajímavý zvláště proto, že je projektem ryze českým, vzniklým v ÚJV Řež. Ideou je použití roztavené fluoridové soli jako chladiva v primárním okruhu. Takové tepelné schéma umožňuje dosahovat vysokých teplot (až 700 °C) při relativně nízkém, respektive atmosférickém (kolem 0,1 MPa) tlaku v primárním okruhu. (Jen pro srovnání: u klasických PWR pracujeme s teplotami kolem 300 °C a tlaku 15 MPa.)

Energy Well (energetická studna) je projekt malého reaktoru bazénového typu. Systém je určen pro dodávku tepla a elektrické energie, popřípadě technologického tepla pro některé výrobní procesy. Unikátní a patentově chráněný je způsob výměny paliva. Celé zařízení může být dodáváno na několika automobilových návěsích, respektive v několika standardních námořních kontejnerech.

Marek Ruščák o historii projektu:

Kolem roku 2015 jsme dostali zadání od mého otce Martina Ruščáka, který v té době řediteloval Centru výzkumu Řež (CVŘ). Znělo asi takto: „Namalujte koncept energetického systému na výrobu tepla a elektrické energie s malým

reaktorem chlazeným tekutou solí s palivem TRISO. Výměna paliva bude probíhat v mateřském závodě a celé zařízení bude přepravovatelné v námořních kontejnerech či na kamionech. Při návrhu konceptu by měly být zohledněny výstupy a know how ze všech dosavadních výzkumných projektů CVŘ (ÚJV) a využití experimentálních zařízení z projektu SUSEN (dotační projekt Sustainable energy na vybudování experimentálních systémů).“

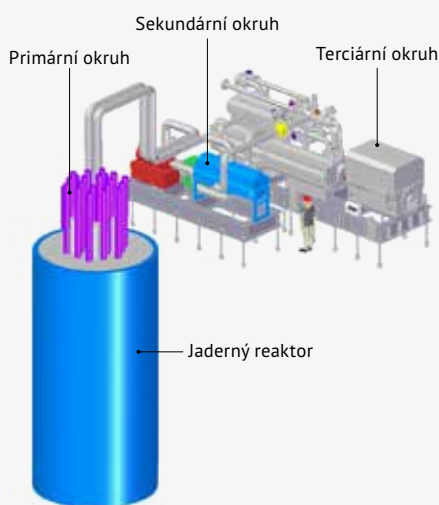
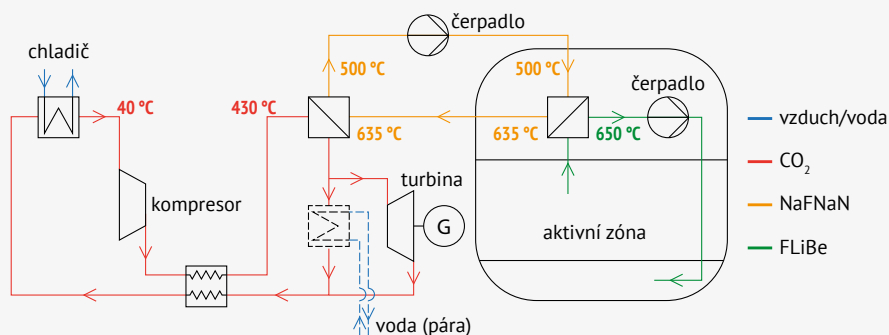
Ve skupině ÚJV se dlouhodobě pracuje na problematice tekutých fluoridových solí, včetně společného projektu českého ministerstva průmyslu a obchodu a amerického DOE v rámci výzkumu reaktorů generace 4, v reaktorovém

oddělení ÚJV jsou k dispozici testovací smyčky s tekutou solí a nadkritickým CO₂, heliová smyčka, smyčka s tekutým olovem. Analýzou dosavadních výsledků různých výzkumných projektů se ukázalo, že použití tekuté soli jako teplotní nosiče je nejefektivnější. Tento fakt a výsledky předchozích výzkumů určil další směr koncepce Energy Well. Dostali jsme se k základnímu konceptu řešení. Jaderný reaktor malého výkonu, chlazený tekutou fluoridovou solí zvanou FLiBe (fluorid lithno-berylnatý se složením Li₂BeF₄), se třemi tepelnými okruhy – sůl × sůl × CO₂. Výměna paliva stačí po cca 7 letech. Turbína bude fungovat na nadkritický CO₂, potenciálně s tepelným výměníkem k odběru tepla. ■

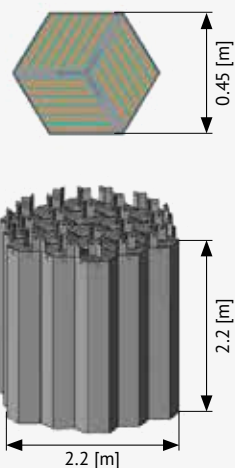
Hlavní technické parametry Energy Well

Typ reaktoru	Vysokoteplotní reaktor bazénového typu
Chladivo/moderátor	Roztavená sůl FLiBe
Teplný výkon	20 MW
Elektrický výkon	8 MW
Zajištění primární cirkulace	Mechanické elektročerpadlo
Provozní primární tlak	Atmosférický tlak
Teplota na výstupu z aktivní zóny	650 °C až 700 °C
Palivo	TRISO
Řízení reaktivity	Regulační tyče
Množství paliva v aktivní zóně	19 ks kazet
Obohacení paliva	15 %
Vyhoření	70 GWd/t
Cyklus do výměny paliva	40 měsíců
Rozloha	< 4 000 m ²
Rozměry nádoby reaktoru	6 m výška × 3 m průměr

Celkové tepelné schéma Energy Well



➤ Maketa systému Energy Well.
(Zdroj: CVŘ)



➤ Aktivní zóna Energy Well.
(Zdroj: CVŘ)

Cíl projektu a hlavní milníky

Konečným cílem je výstavba demonstrační jednotky. K tomu ale vede ještě dlouhá cesta. Zatím vidíme konkrétně do roku 2031, kdy chceme mít maketu v menším měřítku. Ta by potvrdila všechny výpočty a prokazovala funkčnost celého projektu. Současně by byla východiskem pro „manipulační design“, tedy jak s údržbou, revizemi, opravami a dalšími provozními podpůrnými systémy. Paralelně probíhá analýza legislativního prostředí, které by bylo aplikovatelné na tento typ malých jaderných zařízení.

Jak bude vypadat předpokládaný provoz

Principiálně dispozice zařízení obsahuje dvě pozice pro dvě nádoby reaktoru s palivem a částí primárního okruhu s tekutou solí. První je „pracovní“ reaktorová nádoba s palivem, která funguje v provozním režimu. Druhá pozice je osazena stejnou nádobou reaktoru s čerstvým palivem. Po uplynutí pracovní doby (cca 7 let) je palivo v první nádobě vyčerpáno. Systém přejde na druhou nádobu s čerstvým palivem, která se tak stane nádobou pracovní a první nádoba funguje jako skladovací pro vyhořelé palivo. Po jisté době (cca 5–7 let) je možné transportovat celou nádobu i s vyhořelým palivem do výrobního závodu, kde se použité palivo vyjme a do nádoby se zaveze čerstvé palivo. Použité palivo se likviduje standardním procesem likvidace vyhořelého paliva (meziskladování a následně uložení na hlubinné úložiště) nebo přepracováním (reprocessing). Čerstvě zavezená nádoba reaktoru se odveze zpět na lokalitu a instalaci do systému se cyklus uzavírá.

Současná koncepce předpokládá aktivní zónu o rozměrech 2,5 × 2 m válcového tvaru s 19 palivovými kazetami. Jako chladivo se navrhuje FLiBe o teplotě 600 °C až 700 °C. Z předchozího výzkumu (ÚJV, Ing. Uhlíř, Energovýzkum, prof. Matal a Škoda Jaderné Strojírny) jsou dostatečné znalosti o chování tekuté soli a také byl vyvinut materiál – slitina MoNiCr pro primární a sekundární solné okruhy. Tepelné schéma zahrnuje vysokorychlostní turbínu na CO₂ s nadkritickými parametry. Pro demonstraci projektu byl zhotoven částečně funkční model celého systému, který se momentálně vystavuje na Světové výstavě v Dubaji. ■

Podrobnosti o projektu lze najít na www.energywell.cz

◀ Ivan Horbaczewski
(Zdroj: Wikimedia Commons,
Public Domain)



Zakladatelem české lékařské chemie a biochemie byl Ukrajinec

Bohumil Tesařík

Letos uplyne 80 let od úmrtí univ. prof. MUDr. Ivana Horbaczewského, přednosty „Ústavu pro lučbu lékařskou“, historicky prvního českého ústavu lékařské chemie. Pojďme se podívat, jak se stalo, že mladý Ukrajinec se u nás tak proslavil a zasloužil nejen o medicínu, ale i o politiku.

Po mnohaletém zápasu o českou univerzitu došlo konečně v roce 1882 k rozdělení jednotné Univerzity Karlo-Ferdinandovy na českou a německou, takže od počátku školního roku 1883/84 existovaly v Praze také dvě lékařské fakulty. Dříve, než mohla česká lékařská fakulta dne 15. října 1883 slavnostně zahájit svoji činnost, bylo nutno překonat řadu překážek, přičemž jedním z hlavních problémů byl nedostatek vhodných osob. Bylo nutné hledat i v zahraničí, mimo dalších předpokladů museli být i schopni přednášet česky.

Vítěz konkurzu

Neobyčejně šťastnou volbou bylo obsazení místa přednosty „Ústavu pro lučbu lékařskou“, historicky prvního českého ústavu lékařské chemie. Do vypsaného konkurzního řízení se přihlásil tehdy 29letý asistent na lékařské fakultě vídeňské univerzity Ukrajinec Ivan Horbaczewski, a místo získal.

Mezi Haličí, Vídní a Prahou

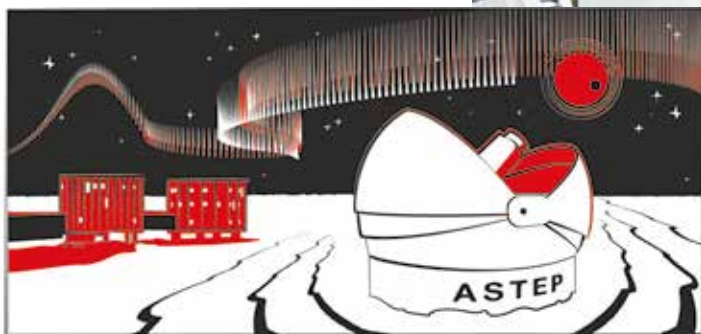
Ivan Jakovič Horbačevskij se narodil v roce 1854 do rodiny řeckokatolického kněze v Zarubincích u Zbaraže v oblasti Tarnopolu na Ukrajině. Po studii na německo-polském gymnáziu (dnes nese jeho jméno Tarnopolská státní lékařská univerzita akademika Ivana Horbačevského) získal vysokoškolské vzdělání na Lékařské fakultě Vídeňské univerzity. Věnoval se chemickému výzkumu, zejména studiu albuminoidů a elastinů. Svoji první vědeckou práci o nervové soustavě publikoval ještě jako medik v roce 1874. V jeho odborných pracích i v korespondenci najdeme běžně ukrajinštinu, polštinu, němčinu a také češtinu. Po odchodu z Vídně v roce 1884 byl záhy jmenován řádným profesorem na české Univerzitě Karlově, kde působil jako pedagog v oblasti lékařské chemie až do roku 1917. Po celou dobu vědecky pracoval v nově zřízeném Ústavu lékařské chemie UK, který též vedl. Napsal třídílnou učebnici „Chemie lékařská“, vydanou v letech 1904-1908 a sloužící posluchačům na

lékařských fakultách i lékařům v praxi po více než dvaceti let. Moderním způsobem v ní integroval poznatky obecné chemie a užití chemie lékařské. On sám přednášel medikům a budoucím farmaceutům farmakologii a soudní chemii; proto je také označován za jednoho ze zakladatelů české biochemie. Opakovaně byl pověřen úřadem děkana lékařské fakulty, pro akademický rok 1902/03 se stal dokonce rektorem UK. Ocenění jeho vědecké práce se odrazilo nejen v čestném členství ve významných českých a ukrajinských společnostech (Královská česká společnost nauk, Lvovská Ševčenkova učená společnost, Všeukrajinská akademie věd), ale zastával také řadu funkcí veřejných a politických.

Vstup do aktivní politiky

V roce 1917 přijal nabídku nového císaře Karla I. a stal se – jako první Ukrajinec v historii a představitel ukrajinského exilového hnutí – ve vídeňské vládě ministrem bez portfeje s úkolem připravit vznik nového rezortu zdravotnictví. O rok později byl oficiálně jmenován ministrem zdravotnictví a působil na tomto vysokém úřednickém místě až do listopadu 1918. V roce 1918 zůstal ve Vídni, přednášel zde na Ukrajinské svobodné univerzitě (Universitas Libera Ukrainensis), kterou založila počátkem roku 1921 skupina protikomunistických studentů, akademiků a dalších emigrantů z bolševického Ruska. Po převedení ukrajinské university do Prahy se s ní vrátil i Horbaczewski. Byl svým založením demokrat a dlouholetý přítel profesora Masaryka, patřil k několika málo lidem, kteří jej mohli jako presidenta kdykoliv navštívit bez ohlášení. Ve 20. letech byl rektorem ukrajinské univerzity a jako čestný profesor na ní působil až do roku 1939. Zemřel v roce 1942. ■

✦ Doktorandka Georgina Dransfield z University of Birmingham odcestovala do francouzsko-italské výzkumné stanice Concordia v Antarktidě, aby dohlédla na instalaci nové nejmodernější kamery na teleskopu ASTEP (Antarctic Search for Transiting Exo Planets). (Zdroj: University of Birmingham)



✦ Ilustrace Amandy Smithové ze základny Concordia s dalekohledem ASTEP v popředí. Nad oblohou osvětlenou polární září je znázorněn typ dat, která dalekohled získává, když planeta prochází před svou hostitelskou hvězdou. (Zdroj: University of Birmingham)

Novoroční mise zahájí novou fázi výzkumu exoplanet

-red-

Mise na jedno z nejchladnějších a nejvzdálenějších míst na Zemi umožní novou fázi pátrání po vzdálených planetárních systémech. Nový přístroj umožní vědcům vidět mnohem širší škálu planet obíhajících kolem hvězd mimo Sluneční soustavu, což rozšíří naše hledání planet schopných hostit život.

Teleskop ASTEP detekuje signály ze vzdálených planetárních systémů pomocí „tranzitní“ metody, tj. měří mírné poklesy jasů, ke kterým dochází, když planeta prochází mezi Zemí a její hostitelskou hvězdou. Nová kamera dalekohledu, která byla zakoupena s podporou Rady pro vědecké a technologické zařízení a Evropské rady pro výzkum, je citlivá na nejčervenější vlnové délky ve spektru. To znamená, že dokáže zahlédnout nejmenší hvězdy v naší galaxii, které jsou chladnější, slabší, a proto červenější. Nyní bude snazší detekovat menší planety obíhající kolem malých hvězd, takže máme velkou šanci, že budeme schopni detekovat planety podobné velikosti a teploty jako Země. Kamera má také „modrý“ kanál, takže může „vidět“ ve

dvou barvách najednou. To astronomům umožní rozlišit planetární signály od parazitních signálů produkovaných jinými astrofyzikálními jevy, aby bylo potvrzení nových planet rychlejší a efektivnější.

Výborné podmínky pro pozorování

University of Birmingham je jedinou univerzitou ve Spojeném království s přístupem k optickému dalekohledu v Antarktidě. V zimě teploty v Concordii pravidelně dosahují až -80°C . Tento extrémní chlad zbavuje atmosféru veškeré vlhkosti a snižuje okolní tlak, díky čemuž je Concordia 10krát sušší než nejsušší poušť – Atacama v Chile. Tlak odpovídá výškám nad 4 000 m. n. m. Všechny tyto podmínky jsou důležité pro dosažení co nejlepšího výkonu dalekohledu.

Kromě toho je v Antarktidě úplná absence světelného znečištění a téměř permanentní zimní noc mezi polovinou května a polovinou července umožňující prakticky nepřetržitě pozorovat a zachycovat vzácné planetární signály, o kterých by bylo jinak extrémně obtížné sbírat data. Díky tomu je toto místo jedním z nejzajímavějších a nejproduktivnějších míst na světě pro provádění astronomických pozorování.

Předchozí mise již shromáždily bohaté množství dat z pozorování, včetně teplot planet o velikosti Neptunu a planetárních systémů, které se teprve rozvíjejí. S novou kamerou se očekávají v pozorovací sezóně 2022 úžasné nové objevy. ■

◀ Kolonie stromatolitů, útvarů přežívajících v mořských mělčinách z prvohor. Mikroorganismy, podílející se na jejich vzniku, patřily mezi první organismy schopné fotosyntézy a měly pravděpodobně velkou zásluhu na obohacování tehdejší atmosféry kyslíkem. Stromatolity patří mezi nejstarší zkameněliny, jsou staré přibližně 3,5 až 3,7 miliardy let. Zbytky kolonií stromatolitů přežívají dodnes, např. u pobřeží Austrálie. (Zdroj: Adobe Stock)



Fakta o kyslíku

-red-

Díky kyslíku je dnes na Zemi život takový, jak jej známe. Je to bezbarvý plyn a tvoří 21 procent zemské atmosféry. Protože je všude kolem, snadno bychom si mysleli, že je nudný a inertní; ve skutečnosti je jedním z nejreaktivnějších nekovových prvků (fluor ho trumfne). Na Zemi se objevil asi před 2,3 až 2,4 miliardami let a podle studie financované NASA se jeho hladiny začaly šplhat k současným koncentracím nejméně před 2,5 miliardami let. Je možné, že to bylo už dříve, protože v Indii se našla hornina stará 3 miliardy let, která musela vzniknout za přítomnosti kyslíku. Nikdo přesně neví, proč se tento plyn stal významnou součástí atmosféry, ale je možné, že to způsobily geologické změny na Zemi. První organismy kyslík nepotřebovaly, ba dokonce byl pro ně jedovatý, jakmile se ale objevily fotosyntetizující organismy, stoupl obsah kyslíku v ovzduší a život se mu musel přizpůsobit.

Dech života

Kyslík je třetím nejhojnějším prvkem ve vesmíru. V rané zemské atmosféře jej však jeho reaktivita učinila relativně vzácným. Za první kyslík na Zemi, událost známou jako „Velká oxidační událost“, pravděpodobně zodpovídají sinice, organismy, které žijí pomocí fotosyntézy. Při ní pohlcují oxid uhličitý a vydechují kyslík. 2,95 miliardy let staré horniny nalezené v Jižní Africe obsahují oxidy, které ke svému vzniku vyžadovaly volný kyslík. Tyto horniny byly původně v mělčích mořích, což naznačuje, že kyslík z fotosyntézy se poprvé začal hromadit v mořském prostředí asi půl miliardy let předtím, než se začal hromadit v atmosféře (asi před 2,5 miliardami let). Dnes život do značné míry na kyslíku závisí, ale růst jeho přítomnosti v atmosféře znamenal katastrofu. Nová atmosféra způsobila masové vymírání anaerobů, což jsou organismy žijící bez kyslíku. Anaeroby, které se nedokázaly přizpůsobit nebo přežít v tomto novém světě, vymřely.

Co o kyslíku víme

První informace o existenci kyslíku jako prvku se objevila v roce 1608, kdy nizozemský vynálezce Cornelius Drebbel oznámil, že ohříváním ledku (dusičnanu draselného) se uvolnil neznámý plyn. Identita tohoto plynu zůstala záhadou až do sedmé dekády 17. století, kdy ji odhalili tři chemici víceméně současně. Anglický chemik a duchovní Joseph Priestly izoloval kyslík tím, že svítil slunečním světlem na oxid rtuťnatý a jímá plyn z reakce. Poznamenal, že v tomto plynu svíčka hořela jasněji (díky roli kyslíku při spalování). Priestly publikoval své poznatky v roce 1774 a předešel tak švýcarského vědce Carla Wilhelma Steela, který ve skutečnosti izoloval kyslík v roce 1771, ale svůj objev nezveřejnil. Třetím objevitelem kyslíku byl Antoine-Laurent de Lavoisier, francouzský chemik, který dal novému prvku jméno. Slovo pochází z řeckých „oxy“ a „gen“, což znamená „tvůrčí kyseliny“.

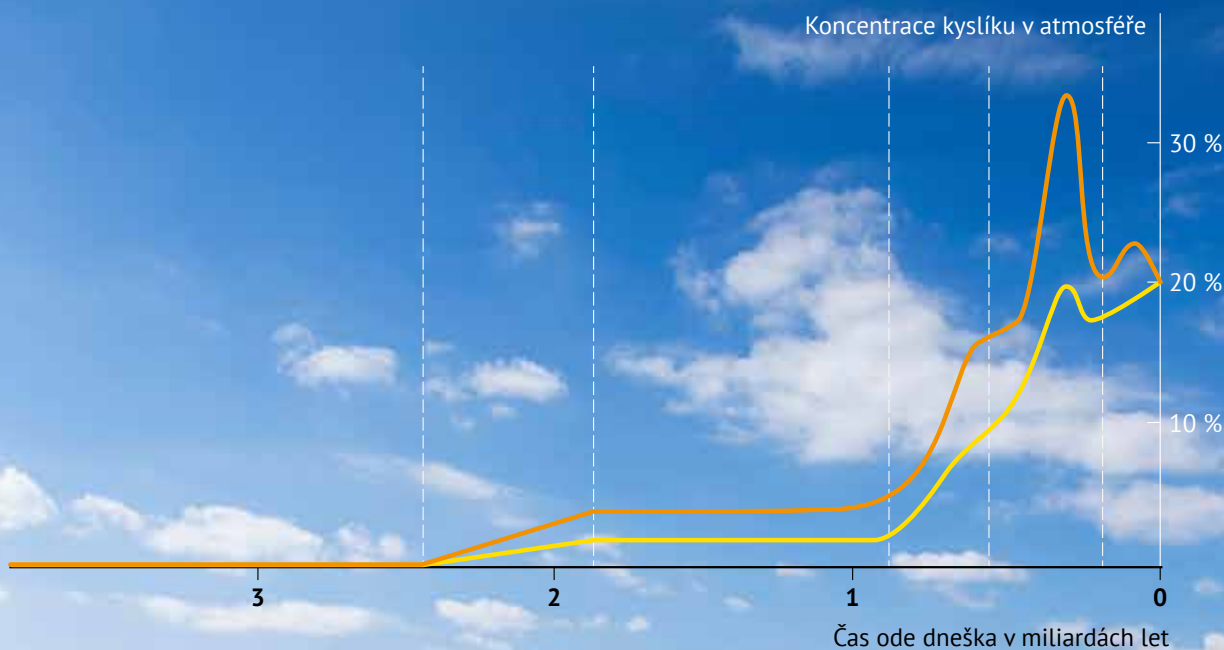
Co způsobil kyslík na Zemi

Již krátce po Velké oxidační události před 2,4 miliardami let mohly hladiny kyslíku dosáhnout nebo překročit dnešní úroveň. Živočichové se ukázali až mnohem později, nejjednodušší zvířata se objevila asi před 600 miliony let.

Navzdory teoriím, že vzestup kyslíku vydláždil cestu pro existenci zvířat, se příběh zdá být mnohem složitější. I dnešní mořské houby mohou stále dýchat, jíst, a dokonce růst v hladinách pouze 0,5 až 4 % dnešní úrovně kyslíku. Houby jsou pravděpodobně nejvíce podobné prvním živočichům na Zemi. Zjištění, že houby nepotřebují k životu mnoho kyslíku, naznačuje, že k vzestupu prvního zvířecího života přispělo něco jiného – i když kyslík mohl být nezbytný k dosažení rozmanitosti a ekosystémů, které vidíme dnes. Dokonce i v moderní době se některým živočichům, jako jsou hlístice a červi, daří v oblastech oceánu s nízkým obsahem kyslíku.

■

Interaktivní grafika vytvořená Lékařským institutem Howarda Hughese ukazuje geologickou historii kyslíku na Zemi, která začala asi před 3,8 miliardami let.



Chemická značka: O

Bod tání: $-218,79\text{ }^{\circ}\text{C}$

Bod varu: $-182,95\text{ }^{\circ}\text{C}$

Počet izotopů 11; z toho pouze tři stabilní, nejhojnější izotop: ^{16}O (99,76 %)

Atom kyslíku má celkem osm elektronů – dva obíhají jádro ve vnitřní slupce atomu a šest na nejvzdálenější slupce. Nejvzdálenější plášť však může obsahovat celkem osm elektronů, což vysvětluje tendenci kyslíku reagovat s jinými prvky: jeho vnější plášť je neúplný a další elektrony mohou být přijímány (nebo stávající elektrony sdíleny).

Jako plyn je kyslík bezbarvý, jako tekutina je světle modrý.

Kyslík se tvoří v srdcích hvězd, fúzí jádra uhlíku ^{12}C a jádra helia ^4He (také známého jako alfa částice).

Příliš málo kyslíku je problém, ale příliš mnoho také: dýchání 80% kyslíku po dobu delší než 12 hodin dráždí dýchací cesty a může nakonec způsobit smrtící edém (otok), hromadění tekutin v plicích.

Kyslík je „pevný“: molekula kyslíku O_2 může přežít tlak 19milionkrát vyšší, než je atmosférický tlak.

Nejnižší hladiny kyslíku, jaké kdy byly zaznamenány v lidské krvi, byly naměřeny poblíž vrcholu Mount Everestu v roce 2009. Horolezci měli v průměru hladinu arteriálního kyslíku 3,28 kilopascalů. Porovnejte to s normální hodnotou 12 až 14 kilopascalů a horolezecký termín „zóna smrti“ vám dá smysl.

Dnes je v atmosféře 21 procent kyslíku. Asi před 300 miliony let, kdy hladina kyslíku dosáhla 35 procent, byl hmyz schopen vyrůst do supervelkých rozměrů. Představte si vážku s rozpětím křídel jestřába!



◀ Živé plasma umí ve tmě zaujmout světelnými efekty. (Foto: FJFI)



◀ V PlasmaLabu čeká sedm špičkových experimentálních pracovišť. (Foto: Milan Řípa)

◀ Tokamak Golem je nejstarším tokamakem na světě, ale prostřednictvím FJFI se na něm školí studenti z celého světa. (Zdroj: FJFI)



Unikátní laboratoř pro domácí i zahraniční studenty

PlasmaLab@CTU budou využívat především studenti FJFI v novém doktorském programu Fyzika vysokoteplotního plazmatu a termojaderné fúze založeném společně s belgickou Univerzitou v Gentu, ve společném evropském magisterském programu FUSION-EP, ale je otevřen v podstatě pro všechny studenty, kteří se doposud zajímali o tokamak Golem. ■

FJFI otevřela PlasmaLab@CTU

Šárka Salačová

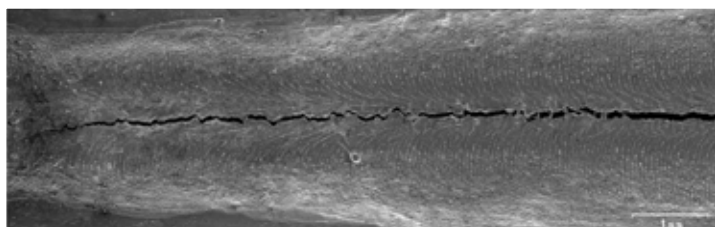
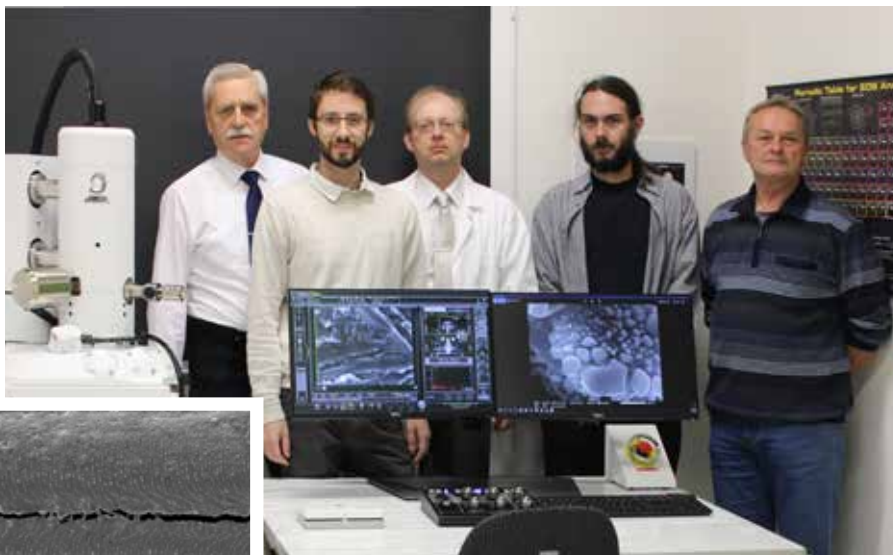
Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská ČVUT v Praze provozuje v současné době jediný funkční tokamak v Česku (protože tokamak Compass v Ústavu fyziky plazmatu je v rekonstrukci), a kromě toho čerstvě otevřela špičkovou laboratoř horkého plazmatu a fúzní techniky. Laboratoř vznikla díky úsilí fyziků a učitelů z FJFI a podpoře ve výši 23 milionů korun z evropských investičních a strukturálních fondů, výrobou většiny experimentálních zařízení se blýskla firma Mifre.

Na studenty zde čeká soustava vakuových komor, možnost práce s pěti různými plyny, lineární magnetická past, rezonanční dutina či mikrovlnná interferometrie, laser a řada špičkových přístrojů pro optická měření. PlasmaLab@CTU nabídne studentům možnost získat zkušenosti v oblasti měření a diagnostiky plazmatu, jednoho z klíčových oborů ve vývoji budoucí termojaderné elektrárny. Abychom udrželi hořící palivo v reaktoru, musíme vědět, jak se chová. Do prostředí s teplotou několika set miliónů stupňů Celsia nelze vložit obyčejný teploměr, to už vyžaduje sofistikované měřicí metody. Studenti zde budou pracovat například s elektrostatickými sondami a magnetickými senzory. Aparatury slouží i jako „kolébka“ pro případné inovativní designy navržené samotnými studenty. Je pro ně

připravena také úloha pro vybroušení zručnosti v práci s magnetickými senzory; je to důležitý krok pro práci se zpětnou vazbou pro stabilizaci plazmatu, jeden z nezákladnějších požadavků pro vlastní termojadernou elektrárnu, ale také jeden z nejobtížněji dosažitelných.

Perlou PlasmaLabu@CTU je 3D mikroskop, nejvyšší třída optické mikroskopie, který se dostane až na samou hranici viditelného světla; tj. zviditelní struktury o velikosti srovnatelné s vlnovou délkou světla. Mikroskop je zde zejména pro materiálový výzkum jednoho z nezávažnějších témat fúze: sledování následků interakce plazmatu s povrchem nádoby. Toto zařízení umožňuje řešit jeden z hlavních požadavků na funkčnost termojaderné elektrárny, a to zachování co nejdelší životnosti reaktorové nádoby.

◀ Řádkovací elektronový mikroskop a team fraktografického pracoviště KMAT FJFI ČVUT (zleva doc. Ing. Jan Siegl, CSc., Ing. Jaroslav Čech, Ph.D., prof. Dr. Ing. Petr Haušild, Ing. Ondřej Kovářík, Ph.D., Ing. Jan Adámek).



◀ Horká trhlinka ve svaru konstrukční oceli v důsledku nesprávně zvoleného technologického postupu.

Fraktografický atlas

Marie Dufková / Foto: FJFI

Katedra materiálů Fakulty jaderné a fyzikálně inženýrské Českého vysokého učení technického v Praze vytvořila pro nové zaměření Fyzikální inženýrství materiálů výukovou aplikaci – Fraktografický atlas lomů. Nejen studenti, ale všichni zájemci o fyziku materiálů a zejména fraktografii jej mohou najít a využívat na stránce fraktografie.fjfi.cvut.cz/atlas. Mikrosnímky z řádkovacího elektronového mikroskopu jsou rozdělené podle druhu porušení materiálu, např. štěpný lom, tvárný lom, tečení (creep), únava, korozní praskání, atd. a jsou doplněny popisem, jak ke vzniku lomových ploch došlo. Atlas se průběžně doplňuje a na jeho tvorbě se podílejí i studenti v rámci svých studentských prací.

Fraktografický atlas je neocenitelnou pomůckou při analýzách provozních lomů. Poskytuje podklady, které pomáhají zjistit, proč dané havárie nastaly a následně provést opatření, aby už k nim v budoucnosti nedocházelo.

Fraktografie

Fraktografie je nauka o lomech. Patří k základnímu i aplikovanému výzkumu ve fyzice pevných látek a ve fyzikální metalurgii. Zabývá se studiem a popisem vlastností nových povrchů, které vzniknou v pevném tělese porušením. Studuje také mechanismy porušování, vlastnosti materiálu a další faktory, které vyvolaly a ovlivnily proces porušování. Je zdrojem informací o mikromechanismech porušování v souvislosti s vnitřní stavbou – mikrostrukturou – pevných látek. Uplatňuje se také při výzkumu lomových vlastností nově vyvíjených materiálů.

Fraktografická analýza

Analýza lomů, trhlin a defektů (obecně porušení) je zcela zásadním a v řadě případů nenahraditelným zdrojem poznání o procesech porušování probíhajících ve zkušebních tělesech či konstrukčních dílcích. Má nezastupitelnou roli při zjišťování příčin různých provozních poruch v průmyslu, dopravě, energetice apod. Výsledky se pak mohou použít preventivně při odstraňování příčin havárií (např. vhodnými zásahy do technologie) nebo při odhadu životnosti konstrukcí. Odolnost proti porušování určuje míru bezpečnosti mechanických soustav a konstrukcí, nosnost, apod. Je zřejmé, že jak vývoj nových materiálů a technologií, tak i průmyslová výroba se bez této metody ani v budoucnosti neobejdou.

Fraktografické pracoviště katedry materiálů FJFI

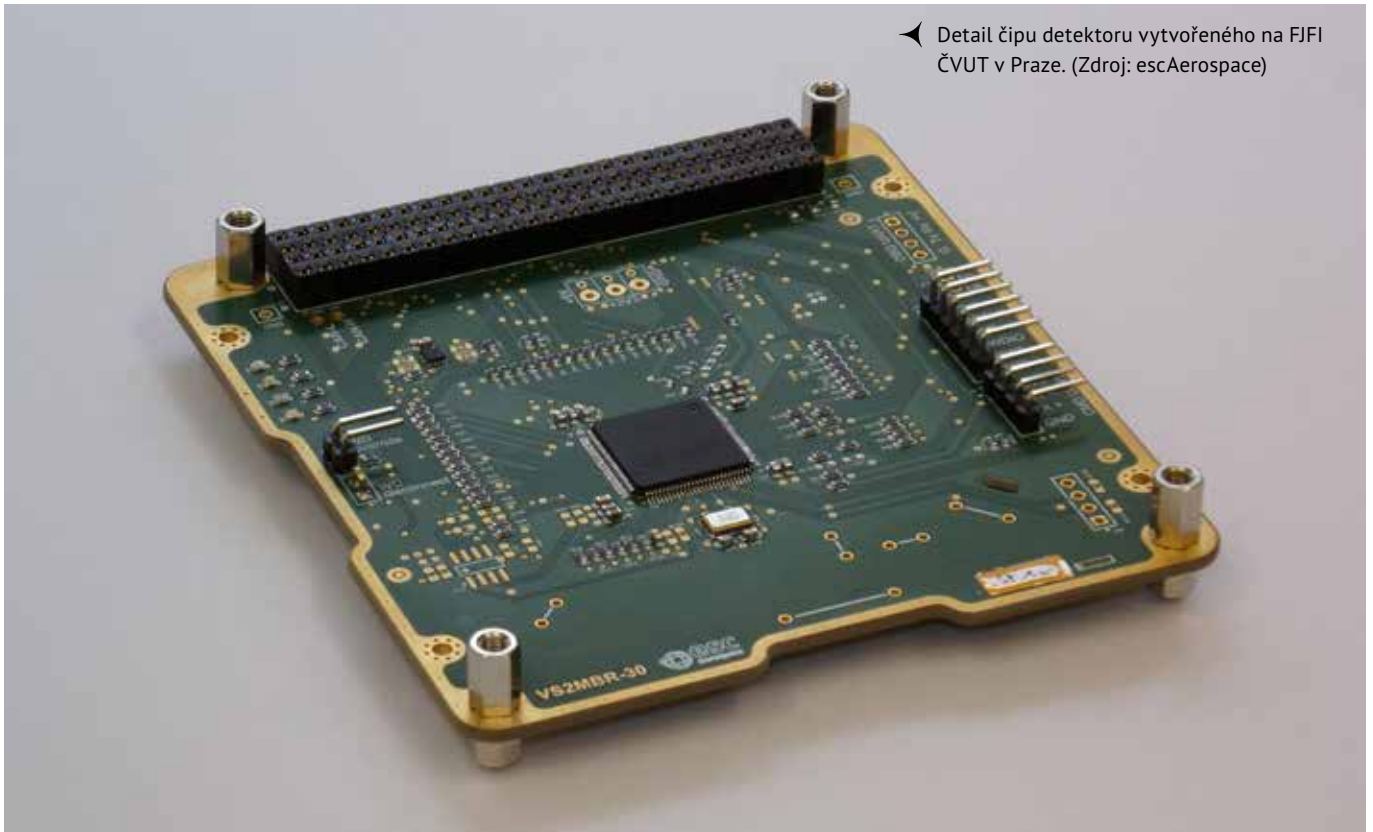
Fraktografické pracoviště katedry bylo založeno v roce 1973 prof. Ing. Ivanem Nedbalem, CSc., a bylo vybaveno prvním řádkovacím elektronovým mikroskopem na ČVUT a jedním z prvních v tehdejším Československu. Má statut autorizované zkušebny českého leteckého průmyslu a bylo zařazeno do seznamu unikátních vědeckých pracovišť ČVUT.

Za nejvýznamnější výsledek lze považovat vývoj a ověření nové originální metody fraktografické rekonstrukce rozvoje únavových trhlin. Znalost časového průběhu únavového porušování je důležitá zejména pro odhad životnosti (resp. délky bezpečného provozu) např. letadel nebo turbín či proudových motorů. Pro Électricité de France a Joint Research Center Petten v Nizozemí byl realizován rozsáhlý experimentální program ověření vlivu teploty a prostředí na kinetiku šíření trhlin v materiálech pro jadernou energetiku. Podílil se na řadě expertiz provozních poruch různých částí energetických zařízení (lopatek turbín, potrubí, parogenerátorů atd.) zadávaných jak elektrárnami (ČEZ), tak výrobci turbín (Doosan Škoda Power, Siemens).

Jedním z hlavních výstupů fraktografického pracoviště jsou fraktografické atlasy. Obsahují často stovky snímků a jejich tvorba představuje mnoho hodin mravenčí práce. Většina z těchto výstupů však podléhá firemnímu tajemství a nelze je publikovat. O to cennější je zpřístupnění atlasu katedry materiálů. ■

Podrobnosti o možnostech studia lze nalézt na [domovských stránkách katedry](#).

Detail čipu detektoru vytvořeného na FJFI
ČVUT v Praze. (Zdroj: escAerospace)



Další detektor jaderné fakulty ČVUT na oběžné dráze!

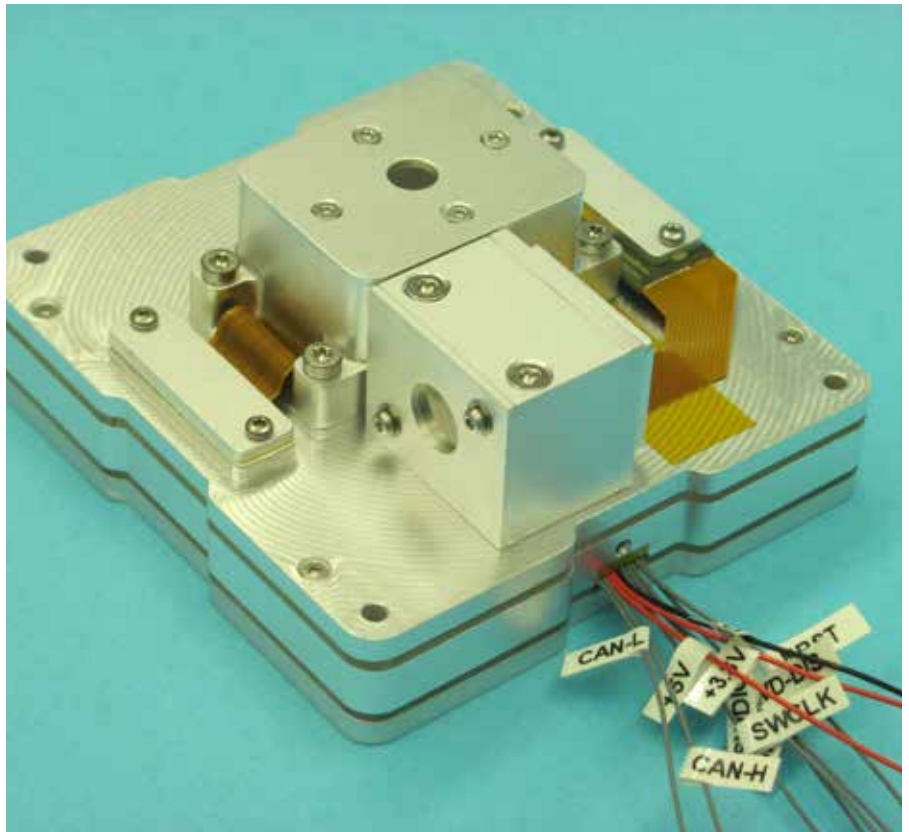
Jan Kadeřábek

Od čtvrtka 13. ledna 2022 je na oběžné dráze Země detektor Fakulty jaderné a fyzikálně inženýrské ČVUT v Praze. Je to už druhý detektor, který vyvinuli a vyrobili vědci z Katedry fyziky Fakulty jaderné a fyzikálně inženýrské ČVUT v Praze (FJFI) ve spolupráci s firmou escAerospace. Unikátní detektor částic 2SD bude mapovat takzvané kosmické počasí a ionizující záření na oběžné dráze. Vynesla jej raketa Falcon 9 společnosti SpaceX z amerického Mysu Canaveral.

„Jde o druhou generaci našeho detektoru. Ten první na oběžnou dráhu vynesla 5. července 2019 ruská raketa Sojuz. Druhý detektor toho umí ještě o něco víc, kromě měření počtu částic a jejich individuální identifikaci totiž dokáže určit i směr jejich letu a jejich energii. Součástí zařízení je ještě druhý detektor pro detekci fotonů takzvaného měkkého rentgenového záření,“ říká Michal Marčíšovský z Katedry fyziky FJFI (KF) a vedoucí laboratoře Centrum aplikované fyziky a pokročilých detekčních systémů (CAPADS), která detektory vyvíjí. „První detektor stále funguje a data z obou nám pomohou získat lepší obrázek o kosmickém počasí a ionizujícím záření na oběžné dráze, což je hlavní cíl naší práce“.

➤ Modul detektorů. Oba detektory jsou osazeny v hranolech nahoře.
(Zdroj: escAerospace)

➤ Start rakety Falcon 9 (Zdroj: Wikipedia.org)



Včasná a přesná data chrání zařízení i posádky

I nová generace detektoru se zaměří na studium vesmírného počasí a ionizujícího záření na oběžné dráze. Díky lepším znalostem bude možné pomoci lépe ochránit vesmírnou infrastrukturu a lidské posádky před kosmickým zářením. Díky včasnému zjištění nebezpečné úrovně záření, které by mohlo poškodit zařízení či ohrozit astronauty, je možné přijmout opatření vedoucí k omezení rizik – například je možné satelit pootočit tak, aby vůči záření vystavil svou nejchráněnější část, případně citlivá zařízení na daný čas vypnout. Data z detektoru umožní ochránit velmi drahé přístroje, a prodloužit tak zásadně jejich životnost. Lze proto očekávat, že o tato data bude ze strany provozovatelů zařízení na oběžné dráze zájem.

Vylepšený detektor

První detektory FJFI ve vesmíru slouží především k ověření jejich funkčnosti v kosmickém prostředí a pro vzájemnou kalibraci s již existujícími daty. Zkušenosti s konstrukcí, provozem a získanými daty využili vědci z CAPADS k dalšímu zlepšení parametrů a vývoji pokročilejšího detektoru s názvem SXXM (SpaceX Radiation Monitor). Ten si stále zachovává minimální rozměry, hmotnost i elektrický příkon – tedy veličiny, které jsou u zařízení umístěných na oběžné dráze mimořádně ceněné – a umožňuje získat mnohem podrobnější data o radiačním poli než

existující srovnatelné detekční technologie. Namísto jediného detekčního čipu pro sledování průletu částic jich má totiž hned pět, takže umí určit kromě počtu a druhu částic také jejich energie a směr jejich průletu.

Pixelový detektor

Detektor SXXM (součást zařízení 2SD) je založen na revolučním monolitickém pixelovém detektoru SpacePix2, který vyvinula FJFI. Je navržen tak, aby v prostředí na různých oběžných drahách Země fungoval alespoň 15 let. Malá velikost a nenáročnost na příkon přitom umožňují, aby byl detektor jednoduše umístěn na téměř jakýkoli satelit. Čím více detektorů na oběžné dráze totiž bude monitorovat kosmické prostředí, tím bude možné přesněji modelovat jeho vývoj.

Monitor měkkého rtg záření

Kromě detektoru SXXM je na oběžnou dráhu vynesena ještě detektor SXM (Soft X-ray Monitor, taktéž součást 2SD) určený na měření toku fotonů měkkého rentgenového záření, které jsou nejčastěji emitovány při slunečních erupcích. Tyto erupce mohou způsobit takzvané sluneční bouře, které mají potenciál poškodit nejen citlivá elektronická zařízení na orbitě, ale při velké události i celé elektrické rozvodné sítě na zemském povrchu. Projevem jejich dopadu na zemský povrch jsou například polární záře v nižších zeměpisných šířkách.

Prodloužení životnosti elektroniky je klíčové

Přestože cena za vynesení zařízení do vesmíru v posledních 20 letech prudce klesla, stále je poměrně vysoká. Ještě vyšší je ale cena samotných zařízení na oběžné dráze. Jejich počet ještě ke všemu velmi rychle roste a vzniká tak i problém s řadou nefunkčních přístrojů, která se stávají kosmickým smetím ohrožujícím jiná zařízení. Detektory z FJFI mají potenciál prodloužit životnost elektroniky a tím omezit množství kosmického odpadu na oběžné dráze.

Falcon vynesl několik satelitů, detektor částic 2SD je společně s dalšími přístroji umístěný na české nanodružici VZLUSAT-2

VZLUSAT-2 je česká technologická nanodružice zkonstruovaná ve Výzkumném a zkušebním leteckém ústavu (VZLÚ) a cílem její mise je ověřit technologie pro pozdější mise chystané české satelitní konstelace. CubeSat VZLUSAT-2 je druhá kosmická mise, na které participují vědci z Centra aplikované fyziky a pokročilých detekčních systémů na FJFI (CAPADS). Centrum se specializuje na výzkum a vývoj v oblasti komplexních radiačně odolných mikroelektronických obvodů a senzoriky a nabízí spolupráci komerčním i akademickým subjektům.

■

Vyrobte si 3D model – třeba reaktoru

Alice Horáková, Milan Řípa

Mnoho nadšenců již dnes vlastní 3D tiskárnu, nebo má přístup k nějaké profesionální. Což takhle vyrobit si vlastní kaplanovu turbínu, jaderný reaktor nebo fúzní tokamak?

3D návody od ČEZ

Stačí běžná 3D tiskárna, šikovné ruce a pár desítek hodin trpělivé práce a můžete se stát vlastníkem turbíny, větrné elektrárny, nebo rovnou celého Temelína. Detailně propracované modely v částečném řezu jsou určené zejména jako výukové pomůcky pro pochopení principů výroby elektřiny v různých typech elektráren, potěší ale i všechny technické fandy, modeláře a kutily. Projekt je k dispozici na vzdělávacím portálu www.svetenergie.cz ve formě STL dat pro 3D tiskárny ke stažení zdarma.

Zájemci si mohou vybírat ze šesti modelů různé náročnosti: Kaplanova turbína, větrná turbína, jaderný reaktor, parogenerátor, parní turbína a areál Jaderné elektrárny Temelín s chladicími věžemi. Nejjednodušší stavebnice má jen dvě komponenty, ta nejsložitější potrápí s celkem 73 dílky. U každého modelu najdou uživatelé podrobný návod na sestavení, u vybraných pak i video-náповědu. Některé stavebnice mají i otočné části, což z nich dělá ideální názorné učební pomůcky. Tisk jednotlivých součástí zvládnou běžné domácí tiskárny střední cenové kategorie. V řadě středních průmyslových škol už ale mají k dispozici i dražší výkonné stroje, díky kterým mohou tisknout stavební dílky i ve větším měřítku.

➤ Názorné návody s obrázky najdete na www.svetenergie.cz/3D_modely_pro_tisk



➤ Jednoduché modely zvládnou i úplní začátečníci, ty složitější mají několik desítek dílků. (Foto: ČEZ)

3D návod od ITER.org

Návrhářský tým Organizace ITER vytvořil program pro 3D tisk modelu tokamaku ITER přímo z jeho CAD dokumentů. Dozvěděl se o tom maďarské Středisko pro energetický výzkum (Centre for Energy Research, Hungary) a vytvořilo nejen program pro popis magnetického udržení a fungování fúze v tokamaku, ale vytisklo i 3D model. Díky tomu je nyní k demonstračním a vzdělávacím účelům (nebo pro nás, kdo máme tokamaky jen rádi) k dispozici zjednodušený 3D tištěný model (30 × 30 cm) tokamaku ITER v měřítku 1 : 100. Model umožní uživatelům vytisknout každou hlavní součást, vysvětlit funkce různých magnetických systémů a díky tomu třeba sledovat postupnou montáž ITER.

Program je k dispozici zdarma na stránkách ITER pro studenty, učitele a „fúzní nadšence“ po celém světě. 3D model je velmi podrobný a vyžaduje mnoho plastu, takže i když máte svoji 3D tiskárnu, není to levné. Jestliže nemáte 3D tiskárnu nebo peníze na materiál, nezoufejte. Podobný model tokamaku ITER, dokonce české výroby, si můžete koupit již hotový.

Hotový model ITER

V Ústavu fyziky plazmatu v rámci vzdělávacího projektu Materiály pro nové tisíciletí jako partner společnosti Vítkovice – výzkum, vývoj navrhli a vyrobili stavebnici tokamaku ITER. Byla dokonce zapsána jako průmyslový vzor.

Jak se stát majitelem některého ze dvou popsaných modelů?

Pokud byste měli zájem o českou verzi, stačí napsat na milan.ripa48@gmail.com. Cena jedné stavebnice začíná na 20 000 Kč a klesá s počtem objednaných kusů. Máte-li chuť si sami 3D tiskem vytvořit vlastní, pak úplné instrukce ke stažení najdete v článku „[Make your own tokamak with 3D printing!](#)“ a video představující model najdete na youtube pod názvem ITER: [Make your own Tokamak!](#)



➤ Díky Centru pro energetický výzkum v Maďarsku je nyní ke vzdělávacím účelům k dispozici 3D tištěný model (30 × 30 cm) tokamaku ITER v měřítku 1 : 100. (Foto: Robert Arnoux, Credit © ITER Organization, www.iter.org)



➤ Česká stavebnice je vděčnou hračkou pro mládež. (Foto: Milan Řípa)