

1
2021



TŘÍPÓL

www.tretipol.cz

Časopis pro studenty o vědě a technice / Zdarma

AURORA

EARTH300

MOTÝLI A DEUTERIUM

DÍVKA A LASER



NADACE ČEZ

Projekt futuristického plavidla Earth300 (Zdroj: Earth300)

300 metrů délka

46 metrů šířka

60 metrů výška

22 laboratoří

165 členů posádky

160 vědců

20 rezidentů

20 studentů

20 VIP kajut

40 VIP hostů



Earth300 bude první superjachtou s jaderným pohonem na světě

-red-

Projekt Earth300 je nejen první superjachtou s jaderným pohonem na světě, ale má se stát extrémní technologickou platformou pro vědu, výzkum a inovace na moři. Plavidlo bude mít 22 nejmodernějších laboratoří, které budou zahrnovat různé technologie, jako je robotika, internet věcí, umělou inteligenci a kvantové výpočty. Jeho nejpozoruhodnějším rysem je vědecké město umístěné uvnitř velké sféry. Mezi další prvky patří gigantická vyhlídková plošina a high-tech interiér určený pro vědecký výzkum. energii bude jachta získávat z jaderného reaktoru, který používá roztavené fluoridové soli jako chladicí kapalinu.

Zcela bez emisí

Pohonnou jednotkou lodi bude reaktor s roztavenými solemi (MSR, Molten Salt Reactor), nová generace atomových reaktorů, která je bezpečná, udržitelná a 100% bez emisí. Námořní verze MSR bude malá, jen s několika pohyblivými částmi.

Co o sobě tvůrci projektu říkají

Naše ambice pro Earth300 byly od začátku obrovské: chtěli jsme vybudovat olympijskou pochodeň globální vědy, rozšířit naše znalosti a porozumění vesmíru, a to jak nad, tak pod povrchem oceánu. Náš radikální design – ikonický, inteligentní, esteticky příjemný – je záměrný. Je to 300metrové plavidlo budoucnosti s dominantou 13patrové vědecké sféry a konzolovou pozorovací palubou. Naši vědci budou mít k dispozici výjimečné možnosti: umělou inteligenci, robotiku, strojové učení, zpracování dat v reál-

ném čase. Na palubě budeme mít také nejnovější kvantový počítač, první, který se vydá na širé moře. Spojujeme průzkum se vzděláváním, proto vyčleníme místa na palubě pro některé z nejslibnějších mladých studentů z celého světa.

Kde se angažujeme

Energetická nezávislost – energii musíme vytvořit z čistých, udržitelných zdrojů s nulovými emisemi uhlíku. Zabezpečení vody a potravin, klimatické změny, vzdělávání, globální odolnost a zdraví. Earth300 slibuje, že bude důležitým úložištěm dat a informací pro celou planetu Zemi. Poskytne otevřenou platformu pro vědu a inovace, ke kterým bude přístup v globálním měřítku.

Sledujte vývoj projektu na [Earth 300 | A Global Environmental Multidisciplinary Initiative](#)

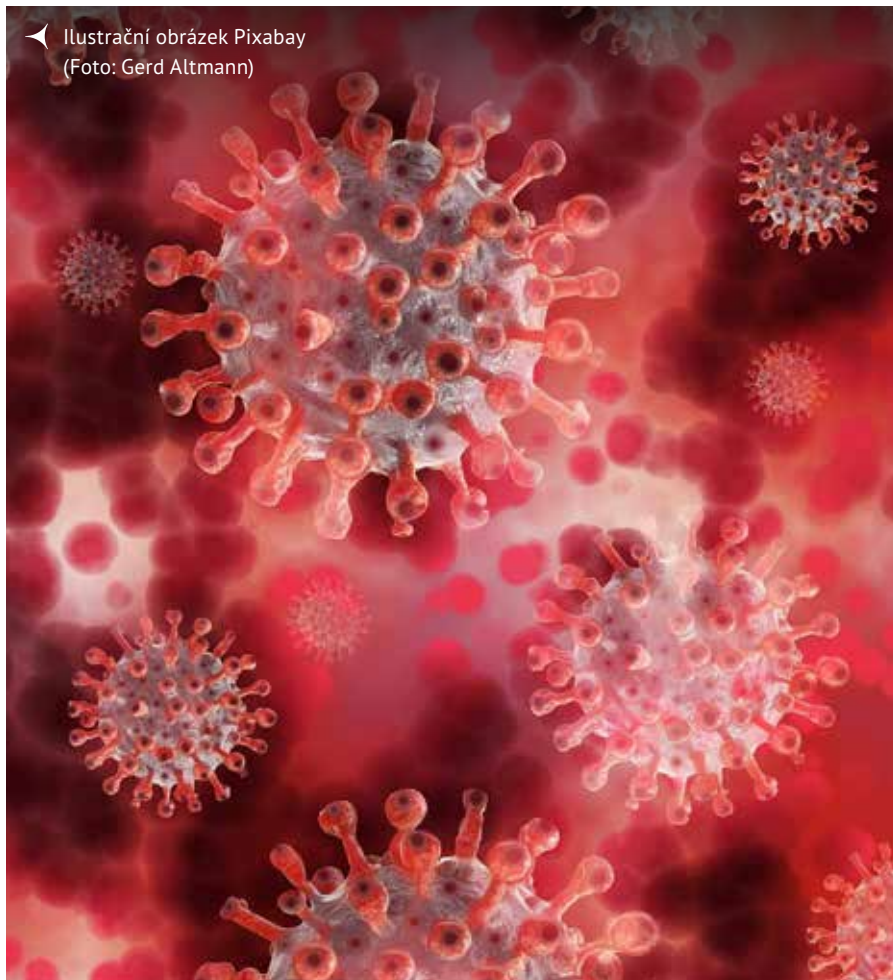
Obsah

- 2 Earth300 bude první superjachtou s jaderným pohonem na světě
- 3 Viry jsou jedním z motorů přirozeného výběru
- 4 Aurora_CZ šíří osvětlu
- 6 Vývoj mikromodulárního reaktoru
- 8 276 teploměrů na Lipně
- 9 Tušimická baterie
- 10 Dívka a laser
- 10 Nové obory na FJFI ČVUT
- 12 Nerosty pro budoucnost energetiky
- 14 Chladicí systém ITER
- 16 Onkalo – finské úložiště jaderných odpadů
- 17 Studium migrace motýlů pomocí izotopů
- 18 Pokrok v diagnostice nádorů mozku
- 19 Jak se dostane Slunce do zásuvky?
- 20 Písně lidu fyzikálníhoho

1/2021

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., Marína 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: Motýli monarchové, jejichž migrace se zkoumá díky izotopům (Zdroj: © +NatureStock / stock.adobe.com)

Ilustrační obrázek Pixabay
(Foto: Gerd Altmann)



Viry jsou jedním z motorů přirozeného výběru

-red-

Pandemie COVID-19, která si doposud vyžádala již více než 3 miliony životů, odhalila, jak jsme vůči novým virům zranitelní. Nám se tato hrozba zdá nová, ale lidé bojují s nebezpečnými viry od počátku věků. Podle nové studie se před 25 000 lety východní Asii přehnal jiný starodávný koronavirus. Podobné mohly infikovat předky zde žijících lidí i o další tisíciletí později.

„Vždy existovaly viry infikující lidské populace“, uvedl vedoucí studie David Enard, odborný asistent ekologie a evoluce na Arizonské univerzitě. „Viry jsou skutečně jedním z hlavních faktorů přirozeného výběru v lidských genomech.“ Je to proto, že geny, které zvyšují šance lidí na přežití patogenů, se s větší pravděpodobností přenesou na nové generace. Enard a jeho tým pomocí informací dostupných ve veřejné databázi analyzovali genomy 2 504 lidí ve 26 různých lidských populacích po celém světě.

Historie se opakuje

Pomocí moderních nástrojů mohou vědci detekovat „otisky“ těchto starodávných patogenů v DNA dnes žijících lidí. Přesně určí, jak vedou k přirozenému výběru. Získané informace by mohly poskytnout cenný vhled, který pomůže předpovědět budoucí pandemie. Je téměř vždy pravda, že věci, které se často vyskytovaly v minulosti, se s větší pravděpodobností budou opakovat i v budoucnu.

Proteiny v buňce pomáhají virům i proti nim bojují

Když koronavirus vylouznou do lidských buněk, „znásilní“ mechanismus buněk, aby se v nich jeho pomocí mohly replikovat. To znamená, že úspěch viru závisí na jeho interakcích se stovkami různých lidských proteinů. Vědci prozkoumali soubor 420 lidských proteinů, o nichž je známo, že interagují s koronaviry. Z nich 332 interaguje i se SARS-CoV-2, virem, který způsobuje COVID-19. Většina z těchto proteinů pomáhá viru replikovat se uvnitř buněk, ale některé naopak pomáhají buňce s virem bojovat.

Boj s koronaviry je zakódován v genech

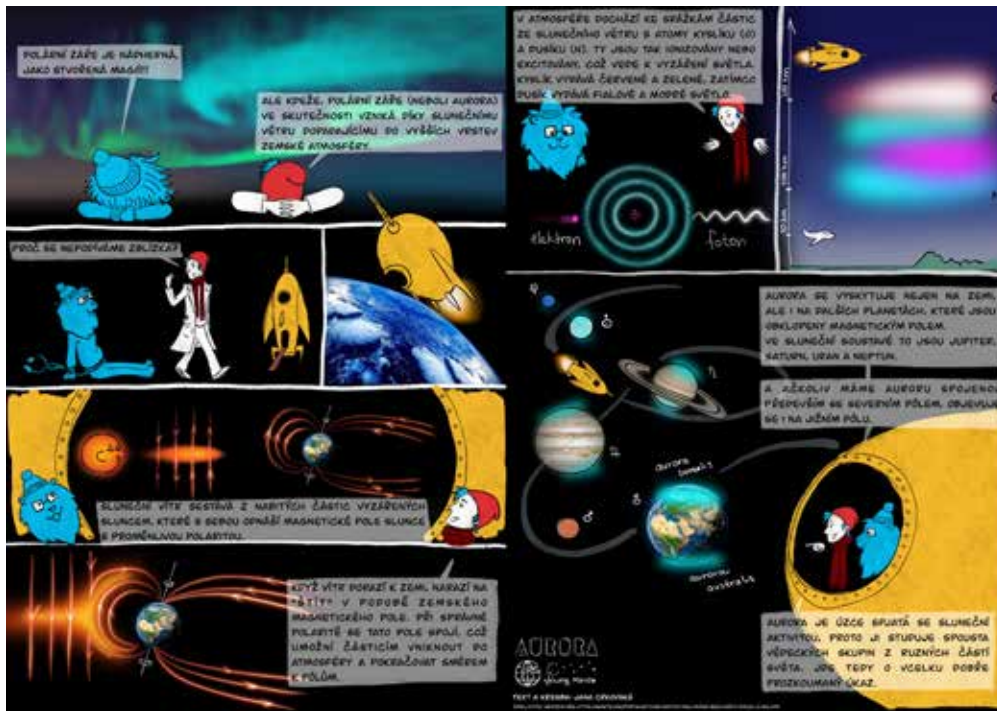
Geny, které kódují tyto proteiny, neustále a náhodně mutují. Pokud mutace dává genu výhodu – například lepší schopnost bojovat proti viru – bude mít větší šanci na předání další generaci. Vědci skutečně zjistili, že u lidí východoasijského původu se vyseletovaly určité geny, o nichž je známo, že interagují s koronaviry. Jinými slovy, v průběhu času se určité varianty objevovaly častěji, než by se dalo očekávat pouhou náhodou. Tato sada mutací pravděpodobně pomohla předkům východoasijské populace stát se odolnějšími vůči starověkému viru tím, že modifikovala některé z proteinů vyráběných buňkami. Vědci zjistili, že genové varianty, které kódovaly 42 ze 420 analyzovaných proteinů, se začaly vyskytovat ve zvýšené frekvenci asi před 25 000 lety. Šíření výhodných variant pokračovalo až asi do doby před 5 000 lety, což naznačuje, že starověký virus tyto populace ohrožoval dlouhodobě. Přesto, že je velmi obtížné říci, zda virus, který způsobil tento vývoj, byl také koronavirem, zdá se, že jde o přijatelnou pracovní teorii.

Geny proti koronaviru nepomohou

Ačkoli jsou zjištění zajímavá, nezměnila naše chápání odolnosti různých populací vůči infekci SARS-CoV-2. Neexistují žádné důkazy o tom, že starověké genové adaptace pomáhají chránit moderní lidi před SARS-CoV-2. Ve skutečnosti je téměř nemožné na něco takového spoléhat. V tom, kdo na COVID-19 onemocní, pravděpodobně hrají mnohem větší roli sociální a ekonomické faktory a přístup ke zdravotní péči.

Očkování je jedinou cestou

„Ačkoli dnes vidíme pozůstatky dopadu starodávného viru na předky lidí, budoucí generace pravděpodobně nebudou moci vidět stopy SARS-CoV-2 v našem genomu“, říká Enard. Díky očkování podle něj virus nebude mít čas řídit evoluční adaptaci. ■



Anička



Anežka



Bára



Markéta



Jana



Petra

Aurora_CZ šíří osvětu

Marie Dufková

Třípól zpovídá absolventky Fakulty jaderné a fyzikálně inženýrské ČVUT, které vytvořily společný projekt o nukleární medicíně, onkologii a radioterapii nazvaný Aurora_cz. Projekt se zrodil pod křídly pražské sekce Evropské fyzikální společnosti (EPS) Young Minds. Tým projektu Aurora_cz se skládá ze šesti dam a dívek – experimentálních jaderných a částicových fyziků Anežky Kabátové a Jany Crkovské a z radiologických fyziků Anny Jelínek Michaelidesové, Markéty Farníkové, Petry Osmančíkové a Barbory Drškové.

Jak vás napadlo, že se budete věnovat popularizaci? Máte nějaký vzor?

Anička: Delší dobu jsem uvažovala o tom, že by bylo skvělé zábavným způsobem rozšiřovat povědomí o ionizujícím záření a rakovině mezi laickou veřejnost. V létě 2018 jsem byla jako reprezentant České společnosti ochrany před zářením na konferenci IRPA (International Radiation Protection Association) v Haagu, kde jeden Španěl ukazoval komiksy, které dělají pro pacienty v jedné nemocnici. To mě inspirovalo k tomu, že by bylo fajn udělat něco podobného v ČR.

Proč název Aurora?

Anička: Pořád jsme nemohly přijít na něco nápaditého, co je nějakým způsobem spojeno se zářením. Když jsem byla na stáži v Toulouse ve Francii, navštívila jsem vědecký zábavný park zaměřený na vesmír a prezentaci polární záře, takzvané Aurory. Najednou byl název na světě. Co krásnějšího, co souvisí se zářením, se na světě najde, než právě polární záře?

Jana: Jakožto částicový fyzik bych si dovolila zjednodušeně vysvětlit, co to ta Aurora je. Aurora vzniká díky srážkám nabitých částic ze Slunce s atomy plynu ve vyšších vrstvách atmosféry. Tím se

vyzáří fotony neboli částice světla. Barva světla záleží na druhu atomů plynu. Aurora je nejčastěji viditelná na pólech (na severním aurora borealis a na jižním aurora australis), protože se tam vlivem magnetického pole Země nabitá částice „shromažďují“.

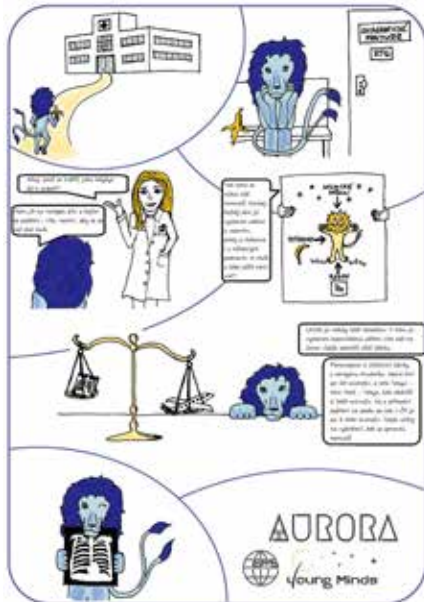
Jak jste se daly dohromady?

Anička: Začínaly jsme s Markétou, se kterou se známe z Oddělení dozimetrie záření, kde pracuji. Pak jsem oslovila Báru, která je ze stejné katedry FJFI, ale mnohem mladší ročník, a známe se z Protonového centra, kde jsme obě pracovaly. Petra se k nám připojila později, když jsem sháněla další lidi.

Jana: Já jsem se k tomu vlastně dostala čistě náhodou. Kamarádka z Jaderky, která zakládala Young Minds mi napsala, že je iniciativa pomáhat s osvětou problematiky ionizujícího záření, a jestli se nechci přidat, když ráda kreslím.

Petra: Mě oslovila Anička a já jsem pro každou ... legraci.

Markéta: Kreslení mě baví a rozšiřovat povědomí o ionizujícím záření a rakovině též, tak jsem do toho šla.



Rozčiluje vás, že veřejnost vašemu oboru nerozumí a věří mýtům o ionizujícím záření?

Anička: Spíš mě to mrzí. Myslím si, že často jde jen o to, že ty věci nikdo nedokázal jednoduše vysvětlit.

Anežka: Já myslím, že je to úplně přirozené. Vidí děsivé efekty záření na člověka třeba v seriálu Černobyl – jak pak mají plně důvěřovat terapii založené na podobném principu? Jak to, že záření zabíjí i pomáhá? Od toho jsme tu my, abychom problematiku trpělivě vysvětlovali. Stejným výzvám čelí vědci i v mnoha jiných oborech.

Bára: Asi je to pochopitelné – něco, co není vidět, cítit a mluví se o tom z velké části v negativních souvislostech... Tak snad se nám podaří alespoň u někoho nějaké mýty zbořit.

intrikují. Čtenář pak chce přirozeně vědět, jak to s nimi dopadne, což by ho možná v případě psaného naučného textu tolik nezajímalo.

Petra: Ráda bych, aby naše komiksy byly v čekárnách a aby to byla spíš zábava a rozptýlení.

Proč je hlavním hrdinou většiny komiksů lev?

Anička: Mám pocit, že to byl nápad Markéty a Jany. Jelikož jsme z ČVUT a lev je součástí loga ČVUT, tak jsme ho také použily.

Jana: Potřebovaly jsme element, který by pomáhal ucelit komiksy s různou tematikou. Postava pana Lva, jemuž můžeme skrz další postavy vše vysvětlit, se nám tak zdála jako perfektní volba.

Markéta: Modré logo ČVUT je důvodem i té modré barvy.

Kdo vymýšlí náměty?

Anička: Náměty většinou vymyslím já, ale pak na scénářích pracujeme společně. Respektive: někdo napíše hlavní část a pak se to společně ladí.

Co je váš nejnovější výtvar, resp. na čem pracujete teď?

Anička: Dokončily jsme seriál „Rakovina a její léčba“, který teď plánujeme tisknout jako brožuru. Teď chceme ještě dodělat seriál „Ionizující záření v medicíně“.

Jana: Já bych chtěla pokračovat v seriálu o elementárních částicích (proton vs. foton), protože chci poučit lidi o tom, co v CERNu děláme, aby se pořád neptali, jestli tu vyrábíme zbraně a jestli lze LHC použít jako zbraň. (Nevyrábíme. Nelze.)

Anežka: A jestli vyrábíme černé díry!

Markéta: Vytváříme ještě s jednou kolegyní Luckou plakáty do čekárny na onkologii v Motole pro pacienty čekající na ozáření, aby se pobavili při čekání a zároveň se něco dozvěděli.

To je pořádný kus záslužné práce! Gratuluji a děkuji za rozhovor.

(Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská nabízí kromě dnes již „klasických“ specializací, jako je Jaderná chemie, Jaderné reaktory či Inženýrství pevných látek, také studium oborů Radioaktivita v životním prostředí a Radiologická technika.) ■



Markéta: Mýty a nevědomost se objevují téměř v každém oboru, jen je pak potřeba si vyslechnout někoho, kdo tomu rozumí víc, a zamyslet se nad tím znovu.

Jak dlouho už to děláte?

Anička: I když nápad a název vznikly už v roce 2018, tak náš facebook vznikl 9. 1. 2019, logo vzniklo v půlce roku 2019 a první příspěvky až koncem 2019. Začínaly jsme seriálem „Věděli jste, že...“, kde jsme se snažily publikovat na facebook různé zajímavosti, jako například „Věděli jste, že i dinosauři trpěli rakovinou?“ První komiks ze série „Rakovina a její léčba“ byl zveřejněn na Facebooku v prosinci 2019 a první komiks ze série „Ionizující záření v medicíně“ v lednu 2020. Postupně jsme začaly naše komiksy překládat i do angličtiny.

Proč forma komiksů?

Anička: Přejde mi to jako forma zábavná. Když zaujmou barvy a obrázky, tak je pravděpodobnější, že to lidi osloví a přečtou si to.

Anežka: Jak dokazuje nesmrtelný seriál Byl jednou jeden život, vizualizace složitého tématu může být klíčem k úspěchu. Ten seriál je skvělý. Já se v něm inspirovala hodně. Byl to jeden z mých nejoblíbenějších seriálů a dodnes si pamatuji spoustu ikonických postavíček. To, že měly charaktery, nálady, dělali vtipy, mi dodnes přijde jako skvělý způsob, jak naprosto nenásilně představovat vědu dětem i dospělým. V jednom z našich komiksů vystupují postavíčky rakovinných buněk, které spolu komunikují, plánují,





↳ Návrhářská vize mikromodulárního reaktoru na místě určení. (Zdroj: USNC)

↳ Typická palivová kulička TRISO je velká asi 1 mm a skládá se z jádra tvořeného samotným palivem UO_2 uloženým v porézní uhlíkové vrstvě obalené pyrolytickým uhlíkem, karbidem křemíku a vnějším obalem z pyrolytického uhlíku. (Zdroj: USNC)

Vývoj mikromodulárního reaktoru

Václav Vaněk

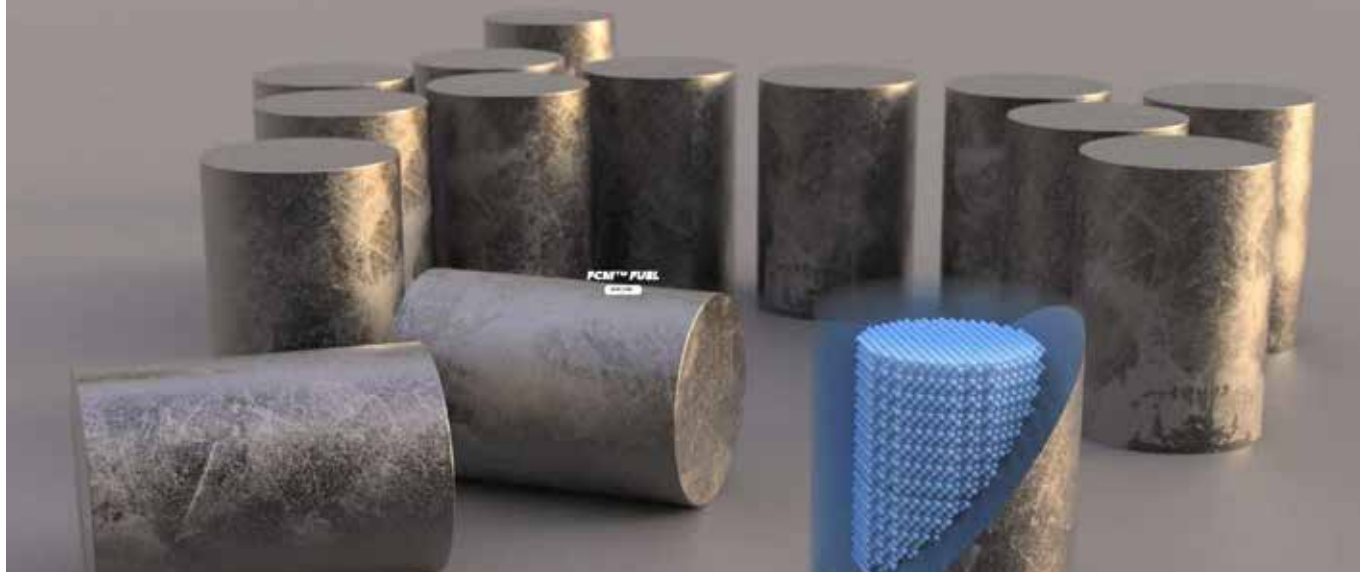
Americká společnost Ultra Safe Nuclear Corp (USNC) a jihokorejské společnosti Hyundai Engineering (HEC) a Korea Atomic Energy Research Institute (KAERI) podepsaly memorandum o porozumění o pětileté spolupráci, jehož cílem bude vývoj technologií, které zvýší schopnosti mikromodulárního reaktoru (MMR) vyrábět a dodávat nízkouhlíkovou elektřinu, tepelnou energii a vodík.

Mikromodulární reaktor je vysokoteplotní plynem chlazený reaktor (HTGR) o tepelném výkonu 15 MW a elektrickém výkonu 5 MW, který vychází ze zkušeností reaktorů vyvinutých v Číně, Německu, Japonsku a USA. Skládá se ze dvou částí: z jaderného zařízení, které vyrábí tepelnou energii, a z připojené elektrárny, která mění tepelnou energii na elektřinu nebo produkuje technologické teplo pro různé průmyslové aplikace. Je jednoduchý, s minimálními požadavky na provoz a údržbu a nevyžaduje manipulaci s palivem a jeho skladování.

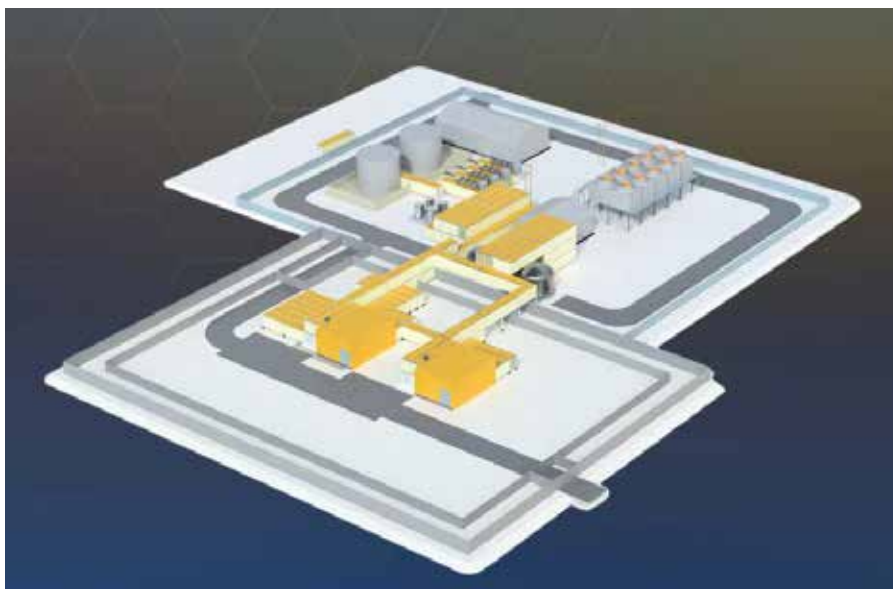
Jak bude MMR vypadat

MMR bude systémem tzv. 4. generace štěpných jaderných reaktorů; říká se mu také „fission battery“ – štěpná baterie. Bude použitelný zejména ve vzdálených či těžko přístupných lokalitách, jako jsou doly, průmyslové objekty či komunity vzdálené od elektrických sítí. Reaktor bude zapuštěn do země. Aktivní zóna je tvořena šestibokými grafitovými bloky složenými ze sloupečků palivových pelet. Palivem jsou standardní TRISO keramické kuličky oxidu uraničitého pokryté karbidem křemíku (Ultra Safe's

- Kuličky se uzavírají do palivových pelet, z nichž se skládají palivové proutky. (Zdroj: USNC)



- Typické rozložení minielektrárny: vlevo je modul s reaktorem a heliovým chladicím okruhem, vpravo průmyslová část s chladicí smyčkou s roztavenými solemi a zařízení k využití tepla buď na výrobu elektřiny nebo na jiné průmyslové procesy. (Zdroj: USNC)



FCM™). Palivo v sobě bezpečně udrží štěpné produkty a má neobyčejnou tepelnou stabilitu.

Aktivní zóna má nízkou energetickou hustotu a vysokou tepelnou kapacitu, což znamená přesně předvídatelné změny teploty. Chladivem je plynné helium, jedno z nejbezpečnějších chladicích médií. Prochází aktivní zónou, kde se ohřívá a přenáší teplo vně, do druhého chladicího okruhu tvořeného roztavenými solemi. Použití helia, inertního plynu, zaručuje, že chladivo nebude nijak reagovat s materiály aktivní zóny a bude zcela prosté případných radioaktivních produktů. Reaktor nepotřebuje ani aktivní systémy k odvádění tepla, ani připojení na elektřinu. I v případě nejnepravděpodobnější události nebude potřebovat vnější chlazení:

teplo se pasivně rozptýlí do okolí. Palivo zcela zadržuje štěpné produkty, proto není třeba žádný kontejnment. Provoz reaktoru vyžaduje jen minimální údržbu a nepotřebuje výměnu paliva – počáteční palivová vsázka vystačí na 20 let provozu v plném zatížení.

Typické uspořádání MMR™

Energetický systém MMR™ se skládá ze dvou celků: z jaderné části a z připojené průmyslové části. Vytvořené teplo se přenesou heliem do druhé části, kde je smyčka s roztavenými solemi a všechno potřebné zařízení pro převedení tepla na elektřinu nebo jeho využití pro jiné procesy, např. vytápění obydlí, skleníků, odsolování mořské vody, výrobu vodíku, pro průmyslové a chemické procesy. Smyčka s roztavenými solemi je flexibilní, v zásobních tancích uchovává teplo

pro využití podle potřeby. MMR bude sestavován, testován a licencován ve výrobním zařízení. Bude tvořen moduly pro převážení ve standardizovaných kontejnerech lodí, po železnici nebo po silnici. V dané lokalitě se pak snadno sestaví, případně se složí více modulů dohromady. Může být připojen na existující elektrickou síť nebo může fungovat zcela samostatně. Obrázek vize budoucího uspořádání reaktoru jsme uváděli jako ilustraci u článku [„Vodík z Měsíce, soláry ve vesmíru, reaktory pro rodinné domy“](#).

Ochrana životního prostředí

Energetický systém MMR nepoužívá vodu, není zde tedy riziko kontaminace vod. FCM™ palivo nelze přepracovávat, neexistuje tedy nebezpečí jeho zneužití pro vojenské účely. ■



◀ Montáž diagnostických čidel na rotor generátoru (Zdroj: ČEZ)

◀ Diagnostický systém v elektrárně Lipno je světovým unikátem (Zdroj: ČEZ)



276 teploměrů na Lipně

Martin Schreier

Přesně 276 čidel měření teploty instalovali technici do statorových drážek 100tunového statoru generátoru na soustrojí TG1 vodní elektrárny Lipno. Nový způsob měření, na který jsou elektrárenští pyšní, je světovou raritou.

„Měříme zde teplotu v každé z 276 statorových drážek. Takové řešení nemá žádná jiná elektrárna na světě. Díky téměř třem kilometrům optického kabelu nám tento teploměr včas napoví, že dochází k přehřívání a něco není v pořádku,“ říká Kamil Prešl, vedoucí útvaru technické kontroly a diagnostiky klasických elektráren ČEZ.

Čidla sledují vibrace turbosoustrojí a generátoru, monitorují částečné výboje, zkratové závity, předepsanou velikost vzduchové mezery mezi rotorem a státorem nebo hlídají teplotní odchylky od normálu. Celkem se jedná o více než deset různých parametrů. Specialisté mohou díky tomuto varování s předstihem reagovat na nestandardní chování strojů. Prvky malé jako platební karta nepřetržitě měří provozní stavy turbosoustrojí i generátorů a transformátorů. Zařízení za stovky tisíc korun umějí dát provoznímu personálu včas tipy na blížící se poruchy, pomáhají udržovat perfektní přehled o „fyzické“ strojí, a ušetří tak miliony. Přispívají k vyšší bezpečnosti provozu, optimalizaci nákladů na údržbu a řízení životnosti zařízení.

Upozorní na problém dříve, než nastane
Stačí nepatrné zachvění na rotoru generátoru vodní elektrárny, které by člověk stěží postřehl. Stotonový kolos, který se při plném výkonu točí rychlostí 150 otáček za minutu, zatím bezchybně vyrábí bezemisní energii pro část Čech. Operátoři sledují hlášení online diagnostiky vibrací z krabičky o váze několika desítek gramů a už vědí, kdy má nastat nejbližší odstávka...

Donedávna se diagnostika vodních elektráren prováděla jednou ročně při průběžných opravách jednotlivých soustrojí nebo za provozu. Znamenalo to, že občas si poruchy a vady vyžádaly dřívější neplánované odstavení strojů. A naopak – při pravidelných odstávkách se také zjistilo, že tato oprava nemusela

proběhnout při nejbližší odstávce. Změnu přináší instalace online čidel, malinkých, ale chytrých prvků. Ty dávají specialistům na vodních elektrárnách nepřetržitý přehled o momentálním stavu zařízení a jeho vývoji při všech provozních režimech.

Součást velkorysé modernizace vodních zdrojů

Ne všechna soustrojí ovšem potřebují kompletní diagnostiku. Záleží na konstrukci zařízení, pravděpodobnosti poruchy a jejího případného dopadu na ztrátu výroby. Vibrodiagnostika už funguje na všech vybraných elektrárnách, probíhá instalace monitoringu částečných výbojů. Přípravuje se analýza plynů v oleji transformátorů na Dlouhých stráních. ■

◀ Bateriový systém v areálu Elektrárny Tušimice (Zdroj: ČEZ)



◀ Interiér bateriového systému v Elektrárně Tušimice (Zdroj: ČEZ)

Tušimická baterie

Martin Schreier

Náhlý pokles frekvence elektřiny v síti si žádá záložní zdroje schopné do 30 vteřin obnovit rovnováhu. Společnosti ČEZ a ČEPS vyzkoušely v rámci projektu BAART zapojení velkokapacitního bateriového systému pro automatickou regulaci frekvence, resp. poskytování služeb výkonové rovnováhy. Prvních 16 odzkoušených scénářů simulujících reálné provozní situace a stavy, včetně až 37 aktivací automatického nabíjení/vybíjení bateriového úložiště týdně – to je bilance zkoušek baterie umístěné v areálu uhelné Elektrárny Tušimice. Během ročního testu prokázala baterie spolehlivost a schopnost rychlé reakce na odchylky frekvence.

Na začátku byla otázka: „Je bateriový systém vhodný pro službu automatické regulace frekvence?“ Společnosti ČEZ a provozovatel přenosové soustavy ČEPS proto koncem roku 2019 spojily síly a ve výzkumném projektu BAART (Bateriová Akumulace pro Automatickou Regulaci Frekvence Tušimice) začaly testovat různé způsoby provozování bateriových akumulacích systémů. Baterie o výkonu 4 MW, kapacitě 2,8 MWh a efektivitě ukládání energie téměř 90 % je zapojena v bloku s jedním z turbogenerátorů tušimické elektrárny o výkonu 200 MW, který s akumulací jednotkou spolupracuje při koordinovaném nabíjení/vybíjení baterie. Při poklesu frekvence sítě pod 50 Hz se bateriový systém vybíjí, naopak při frekvenci vyšší než 50 Hz se bateriový systém nabíjí. Pokud tento stav trvá delší dobu, dochází k poklesu, resp. zvýšení naakumulované energie mimo definované meze a z toho plynoucímu omezení žádoucí reakce na změny frekvence sítě. Stanovené meze, kdy je nutné energii do bateriového úložiště doplnit, anebo ji odčerpát, jsou dány „Nabíjecí strategií“. V tomto případě pak vstupuje na scénu spolupracující elektrárenský blok.

Roční testy prokázaly, že bateriový systém v kombinaci s elektrárenským blokem je schopen spolehlivě automaticky regulovat frekvenci napětí při spolehlivosti nad 95 %.

Vyzkoušen byl i režim samostatného provozu baterie v tzv. režimu stand alone. Testy byly rozděleny do dvou etap s celkem 16 základními testovacími scénáři. V nich se baterie při různých odchylkách od standardní 50 Hz frekvence sítě postupně vybíjela až k 5 % své kapacity, a naopak nabíjela výkonem od 0,75 do 3 MW až k 95 % své kapacity. Výsledkem testů je zjištění, že baterie si uchová lepší schopnost reakce na nadměrné výkyvy frekvence v soustavě při provozu v užším pásmu stavu nabití baterie (40 % – 60 %) a při častějším koordinovaném nabíjení nebo vybíjení. Zjištěno bylo, že úložiště zvládne velmi rychle reagovat na změny frekvence, a to až 8 kW za 40 milisekund.

Podpůrná služba pro energetickou soustavu

Automatická regulace frekvence je jednou ze služeb výkonové rovnováhy, které ČEPS využívá k zajištění rovnováhy mezi výrobou a spotřebou elektrické energie

v elektrizační soustavě. Znamená přesně definovanou změnu výkonu elektrárenského bloku podle toho, jak se frekvence v síti vychýlí od normálu. Řídicí systém úložiště a přenos dat je napojen přímo na řídicí systém tušimické elektrárny. Data jsou následně prostřednictvím terminálu elektrárny zaslána do systémů ČEPS. ■

Věděli jste, že...

... ceny bateriových jednotek, které se ještě v roce 2010 pohybovaly nad 1 100 USD/kWh, klesly loni na 165 USD/kWh a lze očekávat, že do roku 2023 bude dosaženo hranice 100 USD/kWh? (Zdroj: BloombergNEF)

... již v roce 2030 budou lithium-iontové baterie nejlevnější možností akumulace elektrické energie pro většinu aplikací? (Zdroj: Královská univerzita Londýn)

... globální výkon světových bateriových úložišť energie do roku 2040 podle odhadů vzroste více než stonásobně? V roce 2018 byla instalována úložiště na úrovni 9 GW/17 GWh, zatímco v roce 2040 to bude 1 095 GW/2 850 GWh. (Zdroj: BloombergNEF)

... průměrná účinnost bateriových systémů v USA (82 %) je vyšší než u přečerpávacích elektráren (79 %)? (Zdroj: EIA)



◀ Denisa Štěpánková při práci (Zdroj: FJFI)

◀ Denisa Štěpánková ve foyer jednoho z největších laserových pracovišť světa v Dolních Břežanech u Prahy (Zdroj: FJFI)



Dívka a laser

-red-

Vytvořit silný laserový svazek, ale současně nepoškodit zařízení, ve kterém vzniká – to je hlavním úkolem Denisy Štěpánkové v laboratořích laserového centra HiLASE v Dolních Břežanech.

Denisa se do prestižního výzkumného centra poprvé dostala už ve druhém ročníku studia na Fakultě jaderné a fyzikálně inženýrské ČVUT v Praze. Dnes se zde v rámci doktorského studia zabývá vývojem kilowattového pikosekundového laserového zesilovače.

O vysokovýkonné lasery mají velký zájem průmyslové firmy.

Návštěvník si v laserových laboratořích připadá pomalu jako na vesmírné misi. Kromě nezbytného respirátoru se totiž musí navléknout do kombinézy, přes hlavu přehodit kuklu, na boty dát návleky, pak projít přes lepidlovou rohožku a skrz vzduchovou sprchu, a nakonec ještě nasadit masivní zelené brýle. Takových kosmonautů se po laboratořích pohybuje několik a zdálky vypadají jeden jako druhý. Práce se světlem je poměrně tichá. „Hluk vydávají pouze chladiče, samotný laser je velmi tichý. Jen někdy může být slyšet hlasitější zvuk, když laserové světlo interaguje s materiálem,“ popisuje Denisa šumy, které lze v laboratoři slyšet.

Kontinuální a pulzní lasery

Lasery se v průmyslové výrobě využívají čím dál více. Kontinuální lasery nejvíce pro řezání a sváření. Práce s nimi je nejen přesnější, ale také rychlejší a ekologičtější než práce s mechanickými nástroji. Pulzní lasery pak slouží pro dokonalé opracování materiálů. „Laser umožňuje velmi přesné cílení a rychlou aplikaci, takže nedochází k natavení materiálu, které opracovaný vzorek znehodnocuje,“ vysvětluje Denisa. Problémem vysokovýkonných laserových pulzů je právě jejich vysoká energie. Vysoký špičkový výkon krátkých pulzů by vedl k destrukci použitých optických komponent včetně laserového krystalu samého.

Denisa a její kolegové pracují na zesilovači

Jednou z metod zesilování paprsku, kterou lze předcházet poškození optiky, je takzvaná metoda CPA („Chirped pulse amplification“ – česky se překládá jako technika „zesilování čerpovaných pulzů“; „chirp“ = cvrlikání, cvrkot). Pulz se nejprve časově prodlužuje disperzním optickým systémem při zachování šířky optického spektra pulzu tak, aby jeho špičkový výkon po zesílení byl nižší než prahy poškození optických prvků. Následně se jednotlivé části pulzu, zpravidla pomocí krystalů, zesílí a stlačí na původní délku soustavou s opačnou disperzí (v tzv. kompresoru) a opět

◀ Pracovníci u výkonného laseru vypadají jako kosmonauti (Zdroj: FJFI)

poskládají dohromady. „Právě kompresor pulzů je moje práce, kterou se zabývám už od bakalářského studia,“ říká Denisa.

Denisa porovnává dvě možnosti komprese pulzů. Při první je použita tzv. čerpovaná objemová braggovská mřížka (CVBG), což je kvádr skla, který má uvnitř zapsanou mřížku, jež je schopna pulz zkrátit. Druhá varianta spoléhá na difrakční mřížku. „Důležitá je nejenom délka komprimovaného pulzu, ale také výsledná kvalita svazku. S difrakční mřížkou jsme schopni dostat kvalitní svazek, což je žádané v následném aplikačním využití. CVBG má problém s tepelným namáháním skla laserovým svazkem, takže vzniká problém, jak jej účinně chladit a potlačit nežádoucí vlivy teploty na výstupní svazek,“ popisuje těžkosti Denisa. Difrakční mřížka naopak vyžaduje precizní nastavení.

„V naší laboratoři jde o prototypový vývoj laserů. Cílem je vyvinout zařízení s vlastnostmi na míru pro danou aplikaci. K tomu přispívají právě naše poznatky ze stavby prototypů. Poptávka ze strany průmyslu je čím dál větší, protože firmy vidí, jak jim laser ve výrobě pomáhá,“ uzavírá Denisa.

Vítězství v soutěži diplomových prací

Výzkum přinesl Denise na konci roku 2020 první místo v sedmém ročníku ceny Crytur. (Společnost CRYTUR, spol. s r.o., ve spolupráci s portálem Career-market.cz pořádá tradičně soutěž o nejlepší diplomovou práci v materiálových vědách.) Získala ho za práci nazvanou Optimalizace časových parametrů a tvarování pulzů vysokovýkonného pikosekundového laserového systému, kterou vypracovala v HiLASE pod vedením školitele Martina Smrže.

Medailonek: Ing. Denisa Štěpánková

Denisa se už od studia na gymnáziu chtěla zabývat fyzikou. Poté, co v rámci Dne otevřených dveří navštívila Fakultu jadernou a fyzikálně inženýrskou, už měla jasno i o tom, kde bude pokračovat ve studiu. „Má víze byla jasná – nechci prosedět život u obrazovky počítače. S lasery trávím spoustu času v laboratoři a jedná se o velmi různorodou práci,“ uvádí důvod, který ji ke studiu laserů přivedl. Přitom sama přiznává, že před nástupem na Jaderku o laserech mnoho nevěděla.

Jan Kadeřábek



Nové obory na FJFI ČVUT

Připravit odborníky na bezpečnost a současně zabezpečení jaderných zařízení ve všech jeho ohledech je hlavní cíl nového studijního programu Fakulty jaderné a fyzikálně inženýrské ČVUT v Praze. Multidisciplinární doktorský studijní program **Bezpečnost a zabezpečení jaderných zařízení a forenzní analýzy jaderných materiálů** vytvořila Katedra jaderných reaktorů (KJR) ve spolupráci s Katedrou dozimetrie a aplikace ionizujícího záření (KDAIZ), Katedrou jaderné chemie (KJCH) a Katedrou informační bezpečnosti Fakulty informačních technologií ČVUT v Praze (FIT).

Pro nový studijní obor vznikla např. nová laboratoř kybernetické bezpečnosti jaderných zařízení. Je určena pro výzkumné a výukové činnosti v oblasti tzv. etického hackování, penetračního testování a počítačových forenzních věd. Počítačová infrastruktura laboratoře umožňuje

rychlou přestavbu a obnovu předchozích nastavení počítačů, síťových prvků a jejich propojení. Umožňuje vytvořit zranitelné systémy (virtuální i fyzické), flexibilně nastavit síťovou strukturu, instalovat firewally, nasadit malware, provést útoky či hledat digitální artefakty. **Laboratoř fyzické bezpečnosti jaderných zařízení** je určena pro výuku a výzkum v oblasti fyzické ochrany jaderných zařízení. Jsou v ní různé detekční a zpoždovací prvky zabezpečení jaderných elektráren včetně ústředí, kamerový systém a několik druhů vstupních a výstupních identifikačních systémů osob, včetně biometrie. Specializovaný software umožňuje provádět návrhy systémů fyzické ochrany hypotetického jaderného zařízení a hodnocení kvality a efektivnosti těchto návrhů.

Více informací o doktorském programu najdete na <https://www.fjfi.cvut.cz/>

Katedra dozimetrie a aplikace ionizujícího záření (KDAIZ) od akademického roku 2021/22 otevírá v rámci studijního programu Jaderné inženýrství úplně novou specializaci **Radioaktivita v životním prostředí**. Nový obor se zaměřuje na výchovu odborníků pro tuto oblast, soustředí se na dozimetrii a detekci ionizujícího záření, radiační ochranu a související legislativu a radioaktivní odpady a životní prostředí. Nová specializace se prozatím otevírá v tříletém bakalářském studiu na pracovišti FJFI v Děčíně a využívá i spolupráce s Technische Universität Dresden.

Studium zahrnuje, stejně jako u všech ostatních oborů na FJFI, matematicko-fyzikální základ, základy programování a počítačovou fyziku a dva cizí jazyky.

V rámci odborné specializace klade důraz na stěžejní předměty jaderná a radiační fyzika, základy dozimetrie, jaderné reaktory, radiační ochrana, radioaktivita v životním prostředí a detektory ionizujícího záření. Během studia se studenti často dostanou také do terénu na praktická měření, odběry vzorků či mapování kontaminovaných území třeba i s pomocí bezpilotního leteckého prostředku (dronu). Uplatnění naleznou absolventi všude, kde se pracuje s jadernými technologiemi, ionizujícím zářením a radionuklidy, zejména pak v jaderné energetice, jaderném výzkumu, radioekologii a radiační ochraně.

Podrobnější informace o novém oboru najdete na <https://www.fjfi.cvut.cz/>

The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions

World Energy Outlook Special Report



◀ Titulní stránka zprávy IEA

Nerosty pro budoucnost energetiky

Václav Vaněk

Základními surovinami mnoha dnešních rychle rostoucích technologií tzv. „čisté energetiky“ – od větrných turbín a elektrických sítí až po elektrická vozidla – jsou různé nerosty, minerály a vzácné prvky. Poptávka po těchto minerálech bude rychle růst, jak poroste rychlost přechodu na čisté energie. Podle nové zprávy Mezinárodní energetické agentury (International Energy Agency, IEA) může nesoulad mezi ambicemi na ochranu klimatu a nedostatkem kritických minerálů zpomalit a prodražit přechod k čisté energetice. IEA vydala na toto téma dosud nejobsáhlejší globální studii o důležitosti minerálů pro energetické účely. Spolu s množstvím podrobností o vyhlídce na poptávku po nerostech za různých technologických a politických předpokladů studie zkoumá, zda dnešní investice do nerostů mohou uspokojit potřeby rychle se měnícího energetického sektoru.

Lithium, nikl, kobalt, mangan a uhlík-grafit – to jsou například důležité prvky pro výrobu baterií. Prvky vzácných zemin jsou zase nezbytné pro výrobu trvalých magnetů do větrných turbín a elektromobilů, měď je „základním kamenem“ pro všechny technologie související s výrobou elektřiny. Pokud by chtěl svět dosáhnout do roku 2050 nulových emisí CO₂, pak by se poptávka po kritických minerálech zvýšila šestinásobně.

Jiné srovnání „nových“ a „starých“ technologií

Mnohé technologie potřebné k dosažení nulových emisí CO₂ pomocí obnovitelných zdrojů vyžadují mnohem více minerálů, než je tomu u technologií založených na fosilních palivech. Například

typický elektromobil vyžaduje šestkrát více minerálů než konvenční automobil na benzín a větrná elektrárna na moři potřebuje 13krát více minerálů než stejně výkonná plynová elektrárna. V posledních deseti letech, kdy ve výstavbě nových elektráren dominovaly obnovitelné zdroje, vzrostlo průměrné množství minerálů potřebných na jednotku výkonu o 50 %!

Jádro a voda jsou nejskromnější

Studie analyzuje potřebu minerálů pro celou řadu čistých energetických technologií, jako jsou obnovitelné zdroje (OZE) a jaderná energie, pro elektrické sítě, elektromobily, skladování energie s pomocí baterií a vodíkové technologie. Jaderná energetika díky celkově nízké

materiální náročnosti na jednotku výkonu příliš minerálů nespotebuje. Spolu s vodní energií je jednou z nízkouhlíkových technologií s nejnižší spotřebou, pokud jde o minerály. Podle Joint Research Centre Evropské komise potřebuje jaderná energetika následující množství minerálů (v kilogramech na megawatt výkonu, kg/MW): chrom 2 190, měď 1 470, nikl 1 300, hafnium 0,5 a yttrium 0,5. Uran se do analýzy nezahrnuje, protože studie se zabývala spotřebou minerálů na výrobu elektrických zařízení, a nikoliv na jejich provoz. U jaderné energie se spotřeba minerálů vztahuje na nejčastěji používané lehkovodní reaktory. U malých modulárních reaktorů a u velkých zdokonalených reaktorů je intenzita spotřeby minerálů odlišná. ►

Geopolitická bezpečnost

Diskuse kolem energetické bezpečnosti se tradičně zaměřují na dodávky ropy a zemního plynu z producentů zemí (kterých mnoho není) do zbytku světa, v poslední době i na dodávky elektřiny. S rychlým přechodem na čisté energie ale musejí politici počítat i s novými potenciálními riziky právě v geopolitické oblasti. Ložiska klíčových potřebných minerálů jsou jen v některých zemích... Ačkoliv klíčové minerály snižují emise, jejich těžba a zpracování má často ekologické a sociální důsledky. Protože těžba některých kritických minerálů je koncentrována do malého počtu zemí, je zde potenciální nebezpečí přerušování dodávek. Pokud se nebudou tyto zranitelnosti řešit, pak se pokrok směrem k čisté energii zpomalí a bude nákladnější. V důsledku toho se mezinárodní úsilí o zpomalení změny klimatu může zabrzdit.

Zatím je jich dostatek

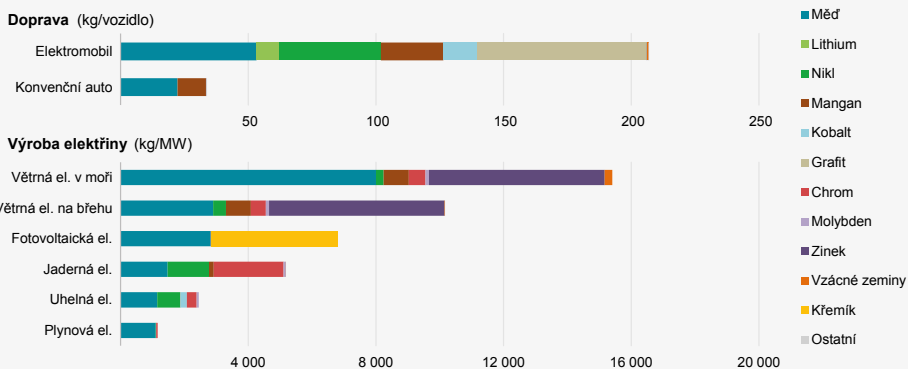
Svět má k transformaci energetiky minerálních zdrojů dostatek. To ale ještě neznamená, že tyto zásoby budou běžně k dispozici v místě a v čase, kdy budou zapotřebí. Studie IEA *The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions* uvádí následující doporučení:

- zajistěte si dostatečné investice do různých nových zdrojů minerálů,
- podporujte technologické inovace do všech zájmových řetězců,
- rozšiřujte recyklaci,
- zvyšujte odolnost dodavatelského řetězce a tržní transparentnost,
- posilujte mezinárodní spolupráci mezi výrobci a spotřebiteli.

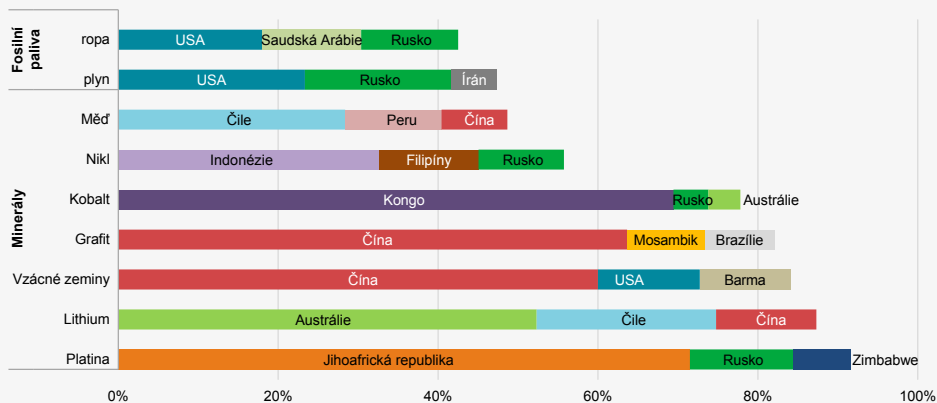
A zase jde jen o peníze

Svět má dostatečné zdroje kritických minerálů ke krytí rostoucí poptávky po elektřině. Otázkou zůstává, zda bude i dostatek kapitálu k těžbě těchto minerálů. Investoři nejsou dosud dostatečně přesvědčeni o potřebě snížení emisí CO₂. Pokud politici dají jasné signály, že čisté energie jsou technologiemi budoucnosti, pak potřebné investice snad potečou a těžba potřebných minerálů poroste. A ekologové zase budou mít co řešit. ■

Materiály použité ve vybraných technologiích



Podíl tří největších producentů v celkové produkci vybraných minerálů a paliv (2019)



Potřeba kritických minerálů pro čisté energetické technologie

	Měď	Kobalt	Nikl	Lithium	Vzácné zeminy	Chrom	Zinek	SPK*	Hliník
Fotovoltaické el.	●	○	○	○	○	○	○	○	●
Větrné el.	●	○	○	○	●	○	●	○	○
Vodní el.	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Koncentrační solární el.	○	○	○	○	○	●	○	○	●
El. na biomasu	●	○	○	○	○	○	○	○	○
Geotermální el.	○	○	●	○	○	●	○	○	○
Jaderné el.	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Elektrické sítě	●	○	○	○	○	○	○	○	●
Bateriová skladiště	●	●	●	●	●	○	○	○	●
Vodíkové technologie	○	○	●	○	○	○	○	●	○

*SPK / Skupina platinových kovů

● vysoká ○ střední ○ nízká

↳ Zdroje: [The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions \(windows.net\)](https://www.windows.net)
World Nuclear News, 5. 5. 2021: Minerals will be critical to clean energy future

◀ Blok osmi chladicích věží s vynuceným vzestupným tahem



Chladicí systém ITER

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

Pro odvod tepla generovaného během provozu tokamaku bude ITER vybaven systémem chladicí vody. Vnitřní povrchy vakuové nádoby se musejí chladit na přibližně 240 °C jen několik metrů od centrálního plazmatu horkého 150 milionů stupňů. K odvádění tepla z vakuové nádoby a jejích součástí a k chlazení pomocných systémů, jako jsou vysokofrekvenční systémy ohřevu plazmatu a generace elektrického proudu, systém chlazené vody, kryogenní systém a napájecí a distribuční systém cívek, se bude používat voda. Systém chladicí vody obsahuje několik uzavřených smyček pro přenos tepla plus systém odvodu tepla otevřenou smyčkou. Teplo generované v plazmatu během fúzní reakce deuteria s tritiem se bude odvádět prostřednictvím systému chladicí vody tokamaku do systému chladicí vody komponent a do systému chladicích věží, které odvedou teplo do okolní atmosféry.

Zkouška bazénů pro chladicí vodu

Když bude tokamak ITER fungovat s hořícím plazmatem na plný výkon, bude množství průběžně odváděného tepla kolem 1 100 MW. Vyvedení a rozptyl tak velkého množství energie vyžaduje promyšlený systém, který zahrnuje kilometry potrubí, desítky extrémně výkonných čerpadel, nespočet ventilů a filtrů, masivní chladicí (avšak překvapivě nízké) věže a dvě vodní nádrže (jednu „horkou“ a jednu „studenou“) velikostí odpovídající šesti nebo sedmi olympijským bazénům.

Měření těsnosti

Stavidlo, které spojuje nádrže s nedalekým Canal de Provence, se při zkoušce otevřelo a do bazénů proudila voda rychlostí 300 m³ za hodinu. Nádrže systému

odvádění tepla byly při zkoušce „přeplněny“ 27 000 m³ vody, což je o 7 000 m³ více, než je jejich provozní objem. Stěny a podlaha bazénů jsou silné a pevné, ale tlak vyvíjený 27 000 tunami vody je obrovský. Topografické terčíky instalované na několika místech konstrukcí bazénů monitorovaly „sedání stěn“, které se očekávalo v rozmezí 0,5 cm.

Hladinu vody měřila sada radarů a měření bylo porovnáváno s chováním „srovnávacích nádrží“ kvůli zohlednění odpařování. Pokud by radary zaregistrovaly pokles nad přijatelnou míru úniku (řádově několik metrů krychlových za den v důsledku pórovitosti betonu, náhodných mikroskopických prasklin či prosakování spoji), byl by to problém. Pět dní po provedení testu byly všechny parametry podle očekávání.

Potápěč na pomoc

Pod obrovským tlakem 27 000 tun vody došlo v chladicích systémech před usazením k očekávaným deformacím – v rozmezí 4 až 6 mm. Provozovatelé museli ale zjistit, zda se v kritických zónách betonové konstrukce, jako jsou rohy a spáry, neobjevily i nějaké trhliny. Nezbylo nic jiného, než aby kritická místa vizuálně zkontroloval potápěč, který sestoupil pod hladinu a vše co viděl, hlásil „na břeh“. Operace trvala koncem listopadu pět dní v době, kdy byl i „horký“ bazén mimořádně studený.

Od řeky po kapičky a mlhu

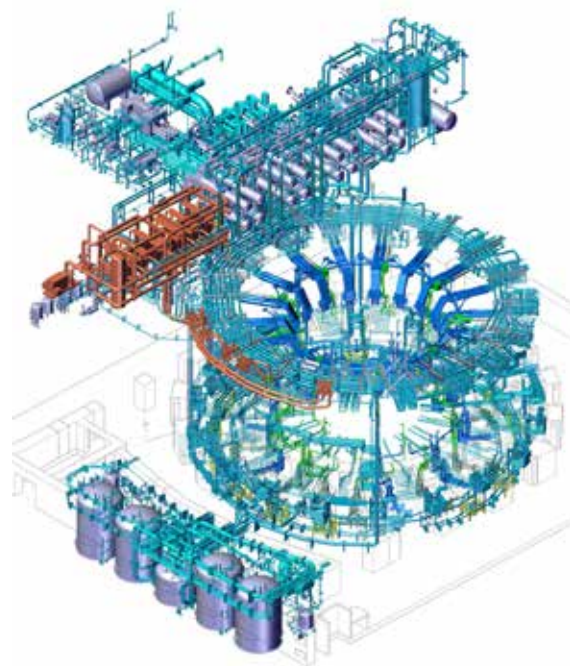
Stavenišťem tokamaku ITER protéká podzemní řeka. Proudí skrze 60 km potrubí, desítkami čerpadel, filtrů a výměníků tepla rychlostí až 14 m³ za sekundu. ►



➤ Uvnitř každé chladicí cely působí navržené vrstvy vlnitého plastového archu o tloušťce jednoho milimetru jako voštinová struktura chladiče automobilu. (Podívejte se pozorně na černé patro)



➤ Každá chladicí cela je zakončena válcem vybaveným dvanáctilopatkovým ventilátorem, který generuje vzestupný tah. Celkem funguje deset ventilátorových válců.



➤ Na konci chladicího procesu padá do studené bazény pod věžemi voda podstatně chladnější než před vstupem do chladicích cel (27 °C). Odtud ji mohutná vertikální čerpadla transportují do různých tepelných výměníků, kde chladí systémy tokamaku.

Její průtok je asi poloviční ve srovnání s nedalekou řekou Verdon. Úkolem této rozvětvené podzemní sítě je chlazení a odvádění tepla generovaného činností tokamaku ITER. Hlavní smyčka je určena pro vlastní tokamak, druhá pro pomocné systémy.

Chlazení takového velkého vodního toku vyžaduje masivní instalaci, která je však založená na jednoduchých principech: výměna tepla, odpařování a zpětná kondenzace. Odpařování ochlazuje – zažíváme to každý den, když vystupujeme ze sprchy. Jak kapičky vody přecházejí z kapalných na plynné, čerpají teplo z pokožky a vytvářejí pocit chladu. Stejný princip funguje v deseti chladicích celách, v zařízení o rozloze 6 000 m², umístěném na severním konci staveniště ITER.

Místo věží větráky

Každá chladicí cela je zakončena „ventilátorovým válcem“ vybaveným dvanácti lopatkami, které vytvářejí vzestupný tah. ITER využije deset ventilátorových válců. V tmavé budově je hlavní část systému odvádění tepla z tokamaku ITER: deset chladicích článků, které fungují jako známé betonové chladicí věže průmyslové elektrárny. Ale zatímco vzestupný

proud vzduchu, který urychluje proces odpařování, se generuje v konvenční chladicí věži přirozeným způsobem, tedy rozdílem atmosférického tlaku u paty a koruny chladicí věže, zde ho vytvářejí zmíněné velké ventilátory v chladicích celách. Výhodou chladicích věží se strojově vytvářeným tahem jsou menší rozměry, nižší cena a flexibilita: jejich provoz musí být dobře přizpůsobený přerušované povaze provozu ITER.

Účinnost a úspory

Účinnost procesu chlazení závisí na povrchu, který teplo odvádí. Podobně jako u chladicí kapaliny v motoru automobilu procházející voštinovou strukturou chladiče, je horká voda (43 °C) vstupující do chladicích cel vstříkována sadou 4 540 rozprašovacích trysek do svazku vlnitých plastových fólií nazývaných „výplňový balíček“. Pokud bychom jej rozložili, celková výměnná plocha poskytovaná speciální výplní by pokryla řádově 704 000 m², což je ekvivalent asi 70 fotbalových hřišť.

Účinnost chlazení také závisí na tom, jak dlouho kapičky zůstanou v kontaktu s povrchem pro výměnu tepla. Odpoutání kapiček zpomaluje vzestupný tah

vyvolaný velkým ventilátorem v horní části každé cely. Kapky a mlha zvednuté tahem ventilátoru musejí být znovu zachyceny, aby se „ztráty driftem“ dostaly na přijatelnou úroveň. Tisíce jednotek „eliminátoru driftní“ v horní části každé cely nad rozprašovacími tryskami a 1,6 metru tlustou vrstvou výplňového balíčku tvoří hustý labyrint, ve kterém kapičky mění směr, ztrácejí rychlost a padají zpět do chladicí věže, což významně snižuje ztráty vody.

Bazény na začátku a bazény na konci

Na konci procesu padá do studené bazény pod věžemi voda podstatně chladnější, než když vstoupila do cel (27 °C). Odtud ji transportují obrovská vertikální čerpadla do různých tepelných výměníků systému. Cyklus se nekonečně opakuje a odvádí obrovské množství tepla generovaného tokamakem a jeho pomocnými systémy. Při plném výkonu je to řádově jeden gigawatt, přibližně polovina je teplo z fúzní reakce akumulované stěnou vakuové nádoby.

Pokud by ITER bylo průmyslovou fúzní jednotkou, přeměnilo by se teplo ve stěně prostřednictvím parních generátorů, turbín a alternátorů na elektřinu. ■



↖ Onkalo, finské zařízení na ukládání použitého jaderného paliva, se skládá ze systému tunelů (Foto: Posiva Oy)

Onkalo – finské úložiště jaderných odpadů

Marie Dufková

Nakládání s jadernými odpady bylo vždy tématem mnoha debat o jaderné energii a udržitelnosti jaderné energetiky po celém světě. Každý věděl o myšlence geologického hlubinného úložiště, ale Finsko bylo první, které to udělalo. Úložištěm v Onkalo Finsko završí svůj národní energetický jaderný palivový cyklus. Existence úložiště byla jednou z podmínek finského parlamentu pro souhlas s novými jadernými reaktory: Olkiluoto 3 a Hanhikivi.

Třetina finské elektřiny pochází z jaderné energie. Očekává se, že tento podíl vzroste po roce 2022, kdy bude v provozu nový reaktor Olkiluoto 3, až na více než 40 %. Přes 80 % elektřiny vyrobené ve Finsku neznečišťuje ovzduší. Hlubinné geologické úložiště se buduje u jihozápadního pobřeží Finska poblíž jaderné elektrárny Olkiluoto. V Onkalo bude po tisíce let izolováno použité palivo ze všech finských jaderných reaktorů v hloubce přibližně 450 metrů pod povrchem země.

Stavba prvního úložiště

Ve Finsku byla licence vydána v roce 2015 – poprvé, co bylo kdekoli na světě získáno stavební povolení pro hlubinné geologické úložiště. Místo bylo vybráno po několika letech prověřování řady potenciálních stránek. Po průzkumu hornin na základě geologických informací

pokračovala společnost Posiva v charakterizaci lokality pomocí studií a průzkumných vrtů. Během tohoto procesu zahájila společnost Posiva také diskuse s dotčenými obcemi o hostování zařízení. Obyvatelstvo lokality souhlasilo, zahájení procesu likvidace odpadu se plánuje na rok 2024.

Co se dělá s použitým palivem

Jedním ze způsobů likvidace použitého paliva – pokud je deklarováno jako odpad – je umístit ho do inženýrských struktur v hlubinných geologických úložištích. Radioaktivní materiál se zapouzdří do robustních a těsných nádob a izoluje v geologické formaci několik set metrů pod úrovní země. V případě Onkala to bude zapouzdření použitého paliva do měděných kanystrů odolných proti korozi a v zapuštění kanystrů do bobtnající hlíny uvnitř tunelů úložiště. Úložiště se skládá

ze systému tunelů a komor. Klíčovou charakteristikou hlubinných úložišť je pasivní bezpečnost, což znamená, že jakmile bude úložiště uzavřeno, není nutný žádný další lidský zásah.

Zapouzdřovací závod

25. září 2019 položila finská společnost pro nakládání s odpady Posiva poblíž Onkala také základní kámen pro výstavbu zařízení na zapouzdření použitého paliva. Dokončení výstavby se naplňuje na léto 2022. Použité palivo se vysuší, bude se balit do ocelovoměděných úložných kontejnerů, které se naplní plynným argonem a pevně uzavřou vnitřním ocelovým krytem. Víko nádoby svaří elektronový paprsek. Nakonec se zkontroluje těsnost svaru pomocí rentgenu a ultrazvuku. Kontejnery se převezou do podzemních tunelů úložiště a zde do připravených hnízd těsněných bentonitovým pufrům. ■

Studium migrace motýlů pomocí izotopů

Marie Dufková

Možná jste viděli v přírodovědných dokumentárních filmech úžasné záběry mračen a hroznů oranžových motýlů monarchů v mexické džungli. Díky databázi Mezinárodní agentury pro atomovou energii (IAEA) a použití stabilních izotopových metod nyní mohou vědci určit migrační cestu monarchů i různých jiných druhů hmyzu. Ve studii publikované v časopise *Diversity* skupina vědců představila výsledky mapování migrace šesti druhů motýlů z Kanady a Spojených států do Mexika. Jedná se o první studii svého druhu k určení původu a migračních cest těchto motýlů. Na základě vědeckých údajů mohou úřady vyvinout strategie na ochranu tohoto hmyzu na jeho cestě.

Izotopové techniky nabízejí nesrovnatelnou výhodu oproti tradičním metodám sledování, protože jsou neinvazivní a nevyžadují opětovné odchytávání stejných zvířat. Vědět, odkud motýli pocházejí, pomáhá stanovit ochranné strategie potřebné během jejich migrace, ale i v oblastech, kde se rozmnožují. Spojení mezi geografickými polohami v ročním životním cyklu motýlů nelze identifikovat bez použití izotopových metod.

Deuterium v dešťové vodě

Konvenční přístupy používané ke sledování pohybu zvířat spoléhají na externí značkování a rádiové a satelitní sledování, což je však pro malé a krátkožijící živočichy nevhodné. V roce 1996 pak výzkum Leonarda Wassenaara a Keitha Hobsona, kteří byli v té době izotopovými vědci v Kanadě a zkoumali životní prostředí, prokázal, že k určení původu jednotlivých zvířat lze použít izotopové techniky. Jejich výzkum je založen na měření deuteria – izotopu vodíku – v dešťové vodě, která je přímo absorbována rostlinami nebo přijímána zvířaty a lidmi. Protože dešťová voda a její obsah deuteria jsou jedinečné pro oblast, kde prší, slouží obsah deuteria v dešťové vodě jako přímý ukazatel, který vědci mohou použít k identifikaci původu jednotlivých zvířat. Množství deuteria se

měří např. ve vlasech, křídlech, drápech, peří nebo kostech. U motýlů se obsah deuteria měří v křídlech a ukazuje na oblast, kde se hmyz narodil.

GNIP

Mezinárodní agentura pro atomovou energii ve Vídni provozuje databázi Global Network of Isotopes in Precipitation (GNIP), která již od roku 1960 shromažďuje průběžná data o obsahu izotopů ve srážkách po celém světě. Pomáhá vědcům studovat globální vodní cyklus, původ, pohyb a historii vody. Díky stovkám monitorovacích webů ve více než 90 zemích, které generují více než 130 000 záznamů o izotopech měsíčně, je databáze GNIP dnes vzácným zdrojem pro mnoho vědců v oblasti životního prostředí. Dnes se GNIP a jeho přesná měření izotopů deuteria široce používají ke studiu migrace mnoha zvířat, od netopýrů, ptáků, hmyzu až po ryby.

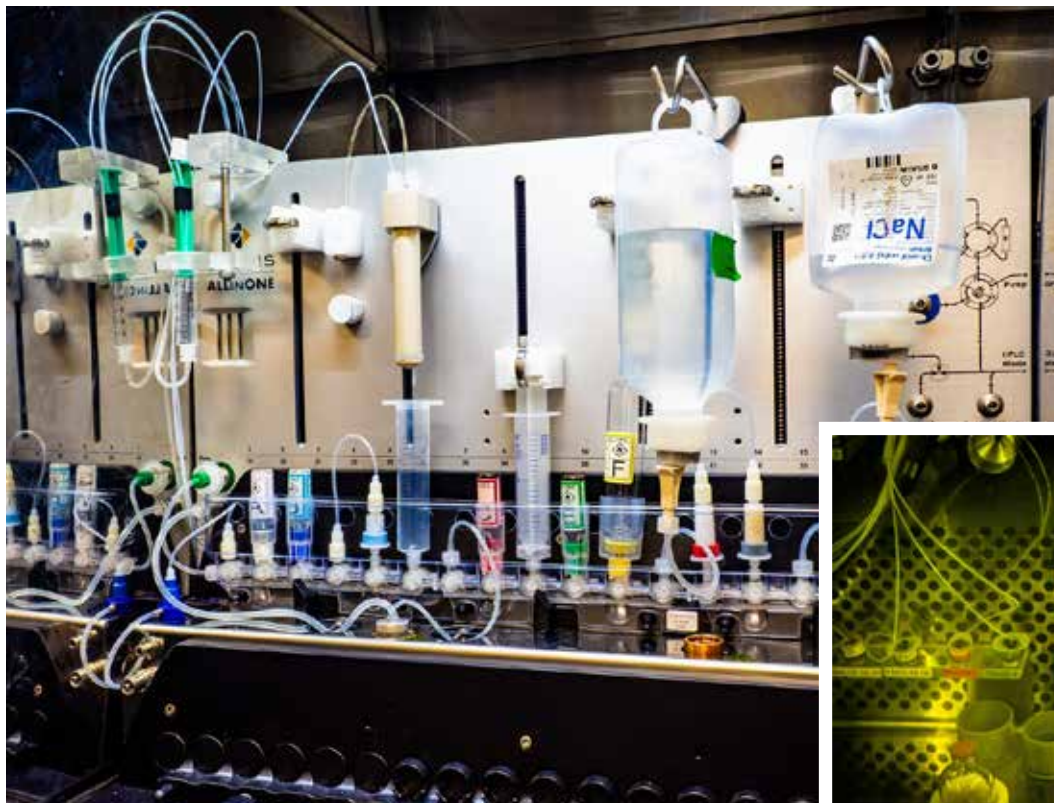
Co víme o migraci motýlů monarchů stěhovavých

Tento hmyz hraje po celé své migrační cestě klíčovou roli jako opylovač nespočetných druhů divokých květin. Každý říjen cestují miliony monarchů po dobu dvou měsíců ze Spojených států a Kanady do hor v centrálním Mexiku, kde zimují.

V březnu začínají svůj návrat „domů“, ale cesta zpět na sever trvá čtyři až pět měsíců. Než překonají 3 500 km, obvykle se narodí několik generací motýlů. Delší doba cestování je dána tím, že generace narozená na severu žije 8krát až 10krát déle než generace narozená na jihu, což rodákům ze severu umožňuje dokončit cestu na jih do dvou měsíců.

Za nerušených podmínek mohli dříve motýli monarchové snadno přežít zimní režim ve vysokých nadmořských výškách v lesích, nyní někteří umírají kvůli studeným větrům na holinách způsobených nelegální těžbou dřeva v horách Mexika. Ilegální avokádové plantáže nahrazují několikahektarová zimní stanoviště motýlů. Mnoho jich také umírá na pesticidy používané hlavně na tzv. kukuřičném pásu Spojených států, živné ploše motýlů.

Wassenaar a Hobson zachytili poprvé kompletní migrační cyklus severoamerických monarchů v roce 1996. Shromáždili 1 200 vzorků z 13 hibernačních kolonií po celém kontinentu, zkontrolovali vzorce koncentrace deuteria v křídlech a porovnali je s databází IAEA, aby určili původ motýlů a určili jejich migrační trasy. Studie trvala jeden rok, ale s tradičními metodami by bylo potřeba desetiletí. ■



◀ Výrobní box radiofarmak pro PET centrum
(Foto: ÚJV Řež)

◀ Výroba radiofarmak v horké komoře. PET Centrum ÚJV
(Foto: ÚJV Řež)



Pokrok v diagnostice nádorů mozku

Alena Rosáková

Český výrobce radiofarmak ÚJV Řež, a. s., uvádí na trh přípravky, který umožňuje šetrnou a včasnou diagnostiku nádorů mozku metodou pozitronové emisní tomografie (PET) a pomáhá při optimalizaci léčby. Náročný proces vývoje a klinického hodnocení byl završen registrací radiofarmaka METHIONIN (^{11}C) METHYL ÚJV (^{11}C -MET) pro český trh. Diagnostika pomocí ^{11}C -MET je radiačně šetrnější než dosavadní metody a pro české pacienty je hrazena ze zdravotního pojištění. Díky ÚJV Řež je nyní přípravek dostupný na pracovištích nukleární medicíny u jejich produkčních PET center v Brně a v Praze.

Radiofarmakum ^{11}C -MET (značené radioizotopem uhlíku ^{11}C s poločasem rozpadu 20 minut) se doposud v České republice mimo klinická hodnocení a studie nepoužívalo. Jeho registrace a zavedení výroby ve výrobních centrech divize Radiofarmaka v Praze a v Brně, společně se schválenou úhradou ze strany zdravotních pojišťoven, umožnily jeho komerční výrobu a aplikaci. Nádory mozku mají v populaci nezanedbatelný výskyt, například u dětí tvoří největší podíl diagnostikovaných rakovinných bujení.

Přínos pro dětské pacienty

Významný je přínos přípravku pro dětské onkologické pacienty, protože pomáhá lépe zacílit léčbu na mozek ve vývinu a snižovat rizika nežádoucích efektů. Díky fyzikálním vlastnostem ^{11}C je radiační zátěž okolní tkáně nižší, než je tomu u dosud používaných fluorových radiofarmak. Vedle diagnostiky primárních nádorů a metastáz má ^{11}C -MET zvláštní význam i pro posouzení reakce nádoru na léčbu a rozhodování o další terapii.

Jak nové radiofarmakum ^{11}C -MET funguje?

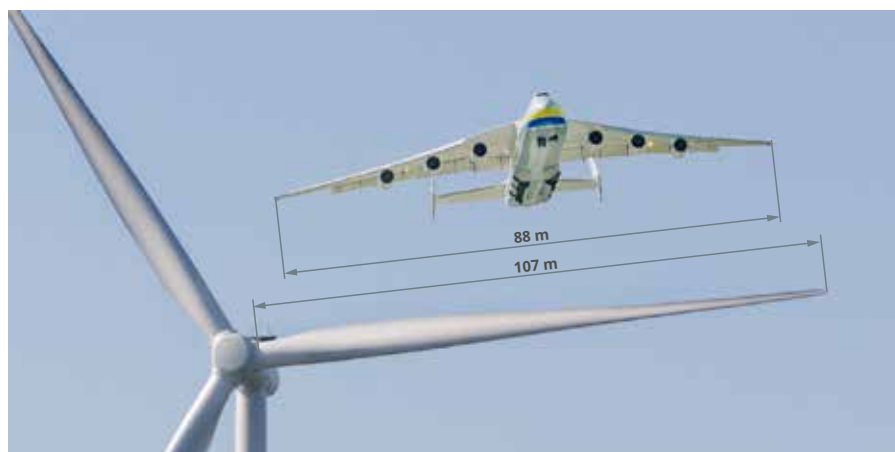
Přípravek s označením METHIONIN (^{11}C) METHYL ÚJV je radiofarmakum na bázi aminokyseliny methioninu. Methionin je v lidském těle jednou z přirozeně se vyskytujících aminokyselin, základních stavebních prvků bílkovin. Podstatou diagnostiky nádorů mozku je využití methioninu označeného radioaktivním atomem uhlíku ^{11}C , jehož stabilní izotop ^{12}C se v molekule přirozeně vyskytuje. Takto „označený“ methionin se v bezpečném množství injektuje pacientovi. Radioaktivní látka se selektivně zachytává v buňkách nádoru a metastáz a rozpadá se tam za vzniku záření. Pomocí specializované zobrazovací metody PET/CT (pozitronová emisní tomografie s výpočetní tomografií) pak lze detekovat jak samotné umístění nádoru, tak jeho velikost, tvar a aktivitu. Vzhledem k velmi krátkému poločasu rozpadu radioaktivního uhlíku ^{11}C (20 minut) je možné tato vyšetření provádět jen ve zdravotnických zařízeních, která bezprostředně sousedí s výrobními místy ÚJV Řež. Transport na delší vzdálenosti je totiž díky rychlému rozpadu prakticky vyloučen. Vlastní vyšetření pacienta v tunelu PET/CT kamery na pracovišti nukleární medicíny trvá asi 20 minut. Uhlík 11 se přeměňuje na bor 11 přeměnou beta plus, poločas přeměny je 20,364 minut ($^{11}\text{C} \rightarrow ^{11}\text{B} + e + \nu_e + 0,96 \text{ MeV}$). Uhlík 11 se vyrábí z dusíku v cyklotronu reakcí $^{14}\text{N} + p \rightarrow ^{11}\text{C} + ^4\text{He}$. ■



Jak se dostane Slunce do zásuvky?

Alice Horáková

Proč vzniká vítr? Jak funguje solární panel? A k čemu slouží vodním elektrárnám přelivy? Na zvědavé dětské otázky najdete odpovědi v novém výukovém materiálu Obnovitelné zdroje pro děti. Jednoduchým a srozumitelným způsobem pomohou i těm nejmenším snáze pochopit, jak se vyrábí energie ze slunce, vody a větru. Novinku, která navazuje na předchozí úspěšný projekt Jaderná energie pro děti, představuje Skupina ČEZ na svém vzdělávacím portálu www.svetenergie.cz. Nejzajímavější web v Česku věnovaný energetice nabízí zábavu pro všechny věkové kategorie.



Největší rozmach obnovitelných zdrojů má nastat v příštích desetiletích, kdy budou dospívat dnešní děti. Právě pro ně proto Skupina ČEZ připravila novinku Obnovitelné zdroje pro děti. Hravou formou, jednoduchým jazykem a pomocí názorných přirovnání k věcem a činnostem ze světa blízkého dětem vysvětluje, jak energetická zařízení vyrábějící čistou bezemisní energii fungují. Text doplňuje velké množství ilustračních obrázků, ale také názorných animací a videí. Nový materiál využijí základní školy pro zpestření výuky fyziky, ale i samotné děti (například při přípravě referátů) nebo rodiče a prarodiče zvědavých předškoláků. U každého zdroje je navíc návod na jednoduchý pokus, u kterého děti nabyté vědomosti mohou názorně uplatnit. ■

◀ Lopatka obří elektrárny Haliade-X je téměř o dvacet metrů delší, než je rozpětí křídel největšího letadla Antonov An-225 Mria, které kdysi neslo na svém hřbetě i raketoplán Buran

Písně lidu fyzikálního

-red-

Na internetu si můžete zakoupit za baťovských 99 Kč elektronickou knihu o fyzice – přesněji písně na jednoduché či známé nápěvy! To už stojí za trochu zvědavosti. A což teprve když zjistíte, že to jsou vlastně báječné mnemotechnické pomůcky na zapamatování různých vzorečků a pouček! To vás teprve bude fyzika bavit! Tak neváhejte, koukněte sem: http://eknihyjedou.cz/pisne_lidu_fyzikalniho a honem si ji kupte. Už je tu i druhý díl, ten dokonce za 89 Kč. V prvním dílu je 25 písní (hlavně fyzika), ve druhém 13 (hlavně geometrie).



Písně lidu fyzikálního mají doporučení Jednoty Českých matematiků a fyziků (JČMF), neboť u každé písničky je navíc ještě stručný srozumitelný a vtipný výklad pro středoškoláky. Poslyšme samotného autora, doc. RNDr. Jana Obdržálka, CSc., jak ho napadlo sestavit texty a pomocí známých písniček usnadnit středoškolákům studium fyziky:

„Ono to asi začalo už na JSŠ (tehdejší jedenáctiletá střední škola, nyní „gympl“), kdy jsem si různé poučky rýmoval pro lepší zapamatování. Nakonec i později se mi hodilo vědět, že „tato křivka, hyperbola, vyniká nad ostatní, neb má rozdíl průvodičů v každém bodě konstantní“, a taky „aby měly asymptoty vůči osám správný sklon, plus mínus bé iks se musí rovnat á krát ypsilon“. U nás doma, na rodném Matfyzu (rozuměj MFF UK) je sice matematika pro nás fyziky ze všeho nejvíc společným jazykem, kterým se dají věci říct stručně, jasně a srozumitelně, a jde tam vždycky spíš o nalezení a pochopení nějakých společných struktur než o „pamatovák“, ale tu a tam přišel i takový trik pro zapamatování vhod. Později jsem si coby učitel k Matfyzu přibral gymnázium, a to nejprve Wilhelma Piecka, pak Korunní, Zborovskou a nakonec Christiana Dopplera (ne že bych byl tak přelétavý. Bylo to jako s legendárním Mukačevem v mnoha státech: gymnázium bylo stále stejné, jen vystřídalo 4 názvy a 2 adresy...). Učil jsem tam přes deset roků fyziku a jeden rok také hudební výchovu. A tak mne napadlo...

U nápěvů jsem se řídil radou jednoho úspěšného kabaretiéra

Ten kdysi mému otci prozradil, že k úspěchu písničky vždycky pomůže, když je trošičku „kradená“: lidi ji mají raději, protože je jim jaksi povědomá, a taky se nemusejí moc nového učit. Vzal jsem to z gruntu: verše jsem tepal na písně národní či staré řemeslnické, a když už jsem psal melodie vlastní, hleděl jsem, aby byly zpěvákům trochu povědomé, byt třeba jenom svou rytmickou strukturou.

Co v první sbírce písní najdete

První (celkem nefyzikální) a poslední píseň jen slibují, co se všechno na té které škole naučíte (č. 1 – střední škola, č. 27 – vysoká škola). Zde jen rámuji ostatní písně, jak ty s nejrůznějšími moudry, tak i ty plné vzorečků: základní fyzikální jednotky soustavy SI (č. 2), hlavní fyzikální veličiny a jejich jednotky pro ZŠ (č. 3) i SŠ (č. 4), trocha mechaniky (č. 5 až 11), statika (č. 12) i dynamika (č. 13), čocky (č. 14), spektrum (č. 15), entropie (č. 19), ba i výklad nerozlišitelnosti kvantových částic na SŠ úrovni (č. 20) a speciální relativita s plným zněním Lorentzovy transformace (č. 21). I pro VŠ se tu něco najde: z elektromagnetismu (č. 22, 25), ba i vzorce pro kvantový oscilátor (č. 24). Ve druhém díle jsou témata geometrická a zákon nabídky a poptávky.

Takže pilně zpívejte, ať to rychle pochopíte a můžete dostat ode mne zápočet. V nejhorším aspoň z té hudební výchovy.

Zde pro navnadění ukázka:

27. TĚLESO VNOŘENÉ DO TEKUTINY

nápěv: Když se ten Tálínskej rybník nahání
slova: Jan Obdržálek

$\text{♩} = 60$

Tě - le - so vno - ře - né do te - ku - ti -
ny je nad - leh - čo - vá - no tak vel - kou
sí - lou, jak tí - ha te - ku - ti -
ny tě - le - sem vy - tla - če - né.

Rým to je hodně volný, ale co se dá dělat. Za mých mladých let zněl Archimédův zákon „Těleso vnořené do kapaliny je nadlehčováno silou, která se rovná váze kapaliny tělesem vytlačené“. Pak se ale začalo upřesňovat: „váhu“ coby sílu nahradila „tíha“ (aby se nepletla s hmotností). Dále, tíha a nadlehčování mají opačné směry, takže si nejsou rovny. Mají ale stejnou velikost. A taky to platí nejen pro kapaliny, ale i pro plyny, dohromady tedy tekutiny. Co jsem z toho udělal, vidíte sami.

A to prý ani nemusí být těleso třeba do vody vnořeno, ale tu vodu lze dolít kolem. To už jsem zanedbal. Takhle to platí taky!

Knižku si můžete koupit v elektronické podobě zde http://eknihyjedou.cz/pisne_lidu_fyzikalniho ale pracuje se i na budoucím tištěném vydání.