

*Vážená čtenářko, vážený čtenáři. Lidová pranostika říká: „Březen – za kamna vlezem“. Nelze jinak než obdivovat moudrost našich předků, kteří dokázali tak trefně popsat rozmary počasí. Za oknem se střídá modrá obloha a sluníčko s těžkými sněhovými mraky. Přes to všechno se objevují sněženky, první poslové přicházejícího jara. „Poslem“ dobrých zpráv bude i březnový infoWIN. V titulním článku se dočtete o situaci v jádře ve světě. Na kávu jsme tentokrát pozvali studentku ČVUT, která má za sebou hodně zajímavou praxi v oblasti výpočtů těžkých jaderných havárií. V tématu měsíce se přesuneme do Jablonce nad Nisou, kde zvažují možnost zásobování teplem a energií vyrobenými v miniaturní jaderce. Příjemné čtení!*

## VE SVĚTĚ JE V PROVOZU 436 JADERNÝCH ELEKTRÁREN (WNA)

### NOVÉ JADERKY V EVROPE

Podle informací Světové nukleární asociace (WNA) je ve světě v provozu celkem 436 jaderných reaktorů s celkovým výkonem 371.927 MW<sub>e</sub>. Nejvíce z nich stojí na území USA, konkrétně 104 reaktorů se souhrnným výkonem přes 100 tisíc MW<sub>e</sub>. V pomyslném „jaderném“ žebříčku stojí za Spojenými státy evropský nukleární gigant Francie s 59 reaktory, za ním je Japonsko s 53 jadernými zařízeními. Celkem 43 nových reaktorů se staví a po dokončení budou vyrábět dohromady přes 37 tisíc MW<sub>e</sub>. Řádově stovky jaderných zařízení se plánují do budoucna. Řada evropských zemí má záměr stavět nové nebo rozšiřovat kapacitu stávajících zařízení, další státy ohlašují návrat k využívání jádra, např. Švédsko nebo Itálie.

### ŠVÉDSKO RUŠÍ MORATORIUM



Švédská jaderná elektrárna Oskarshamn

Švédská vláda v únoru oznámila, že hodlá pokračovat v rozvoji jaderné energetiky. K tomu bude nutné zrušit zákaz výstavby nových reaktorů, který zde platí téměř 30 let. V souvislosti s jadernou havárií v elektrárně Three Mile Island bylo v kuriozním referendu (všechny varianty odpovědi byly protijaderné(!)) rozhodnuto o zastavení rozvoje jaderného průmyslu a následně bylo schváleno moratorium na vybudování dalších reaktorů. Pokud současný vládní návrh projde parlamentem, je pravděpodobné, že v budoucnu bude moci Švédsko využívat energie z nových reaktorů postavených v místech současných fungujících elektráren. Nyní Švédsko provozuje deset jaderných reaktorů v elektrárnách Oskarshamn, Ringhals a Forsmark

s celkovou kapacitou 9016 MW<sub>e</sub>. Země získává energii ze dvou dominantních zdrojů: 45 % pochází z jádra a 50 % vyrobí hydroelektrárny.

### ITÁLIE SE OTÁČÍ K JÁDRU ČELEM

Hodně pozornosti v médiích si zajistila Itálie svým návratem k jaderné energii. Podobně jako v některých zemích byl i zde v souvislosti s černobylskou havárií uzákoněn odklon od využívání energie z jádra. Ke zvratu došlo v květnu 2008, kdy vláda v čele s premiérem S. Berlusconiem přijala plán na znovuotevření jaderek. Na konci letošního února podepsala Itálie s Francií rámcovou dohodu o jaderné spolupráci. Francouzská energetická společnost EdF a italský ENEL mají společně vybudovat v Itálii čtyři moderní jaderné elektrárny. Typově se má jednat o evropské tlakovodní reaktory (EPR), první reaktor má být podle odhadů spuštěn v roce 2020. Smlouva počítá také se vzájemnou pomocí v oblasti výzkumu a nakládání s jaderným odpadem.

## NA KÁVĚ S...

**ANDREOU BACHRATOU, STUDENTKOU FAKULTY JADERNÉ A FYZIKÁLNĚ INŽENÝRSKÉ, ČVUT PRAHA, KATEDRA JADERNÝCH REAKTORŮ**

*Andrea Bachratá pochází ze Slovenska, odkud odešla do ČR za studiem na ČVUT. Zabývá se na první pohled nepříliš pozitivním tématem těžkých jaderných havárií, konkrétně připravuje jejich simulace. Studium těchto krajních situací je pro Andreu výzvou pro hledání nových řešení úspěšného zvládnutí i takových velmi nepravděpodobných událostí. Své dosavadní výsledky s úspěchem představuje v řadě studentských soutěží, např. dvakrát po sobě vyhrála soutěž o Nejlepší vědeckotechnický projekt. Již rok a půl je členkou Czech Young Generation České nukleární společnosti, kterou reprezentuje na zahraničních konferencích. Bavi jí cestování, mluví anglicky a francouzsky.*

**Co vlastně studujete a čím se zabýváte?**

Studuji v pátém ročníku Jadernou fakultu na katedře jaderných reaktorů. Před rokem a půl jsem dokončila bakalářský program a nyní studuji inženýrský, který plánuji v červnu uzavřít státnicemi. Zabývám se výpočtovým kódem, který se používá na simulaci

těžkých havárií. Obor těžkých havárií a evropský výpočtový kód na těžké havárie, s kterým pracuji, se začaly intenzivně rozvíjet asi před deseti lety. Jde o aktuální obor, protože projekty nových jaderných elektráren nebo stávajících elektráren, které budou prodlužovat životnost na 60 let, musí mít otázku těžkých havárií, tedy havárií spojených s tavením aktivní zóny, vyřešenou.

**Co vás vedlo k tomu, že jste si řekla – chci studovat jadernou fakultu, baví mě to...?**

Už na gymnáziu mě bavila matika a fyzika, navíc vztah k jaderné fyzice mám už z rodiny, protože jí studoval můj otec. A genetika funguje, takže se jádrem zabývám i já. Pocházím ze Slovenska, kde žije moje rodina a kde mám také školitele. Domů za rodiči se snažím jezdit měsíčně, výjimkou jsou letní prázdniny, které trávím v zahraničí na stážích.

**Proč jste šla za studiem právě do Čech, nejsou na Slovensku vysoké školy zaměřené na jadernou fyziku?**

Dala jsem na doporučení mého školitele, který také studoval v Praze. Navíc jsou pražské školy považovány za kvalitnější, mají širší nabídku pro studenty v teorii i praxi. Například pro mě byl velkým lákadlem školní reaktor. Ověřila jsem si to i při studiu ve Francii, kde jsem díky perfektní přípravě z české školy neměla problém s výukou a při zkouškách jsem dosáhla jedněch z nejlepších výsledků mezi studenty. Vysoká škola je u nás v Bratislavě, tedy asi 50 km od Trnavy, odkud pocházím. Pro mě není rozdíl, jestli budu od domova 50 nebo 300 kilometrů, cestování mi nevadí.

**Má studium u nás pro studenta ze Slovenska nějaká specifika? Je to nějak obtížnější, např. administrativa, pojištění apod.?**

Dříve byla situace trochu komplikovanější, ale po vstupu do EU už není. Máme stejné podmínky a možnosti jako čeští studenti, žádné rozdíly nepociťuji. Navíc můžeme skládat zkoušky ve slovenštině.

**Jak reagují vaši přátelé, když jim řeknete, že se zabýváte jadernými haváriemi?**

Je to pro ně dost exotické téma. Každý si myslí, že jaderná fyzika je něco nesmírně obtížného, abstraktního a nehodí se to pro holky. Když jim ale řeknu, že se zabývám simulací těžkých jaderných havárií, roztavením aktivní zóny a podobně, začne je to zajímat.

Havárie není zrovna pozitivní téma, vy se přitom zabýváte tou úplně krajní variantou, která by vůbec neměla nastat. Jak se vlastně „hraje“ havárie?

Lidi, kteří se zabývají takovouto oblastí, je možné rozdělit do tří skupin: programátoři, experimentátoři a výpočtaři. Moje práce spočívá ve validaci kódu, tedy ověřuji správnost výpočtu kódu na základě porovnání jeho výsledků se známými výsledky z experimentálních měření. Pracuji s kódem nazvaným ASTEC, který rozvíjí asi 50 evropských organizací. Kód ASTEC je schopen simulovat průběh těžké havárie od počáteční události (např. prasknutí primárního potrubí) až po tavení zóny, interakci taveniny s betonem a únik štěpných produktů do okolí. Samotný výpočtový kód ASTEC není jediným kódem v této oblasti, ale jako jediný představuje komplexní kód, který pokrývá všechny oblasti výpočtů: termohydrauliku, tavení aktivní zóny, uvolňování a transport štěpných produktů. Tento kód má tendenci se stát vedoucím evropským výpočtovým kódem na těžké havárie. Když se ověří správnost výpočtového kódu na základě experimentálních výsledků, je možné přistoupit k simulaci, a tedy k predikci průběhu havárie na reálné jaderné elektrárně. Na základě výsledků z výpočtů pak vznikají technické návrhy, které se implementují do designu budoucích nebo současných jaderných elektráren. V současnosti se již v Evropě a Americe vyvíjejí různé koncepty pro jaderné reaktory s cílem zadržení roztavené aktivní zóny v tlakové nádobě reaktoru prostřednictvím chlazení vnějšího povrchu, když k takovéto havárii dojde. Takový koncept bude implementován i v Jaderné elektrárně Dukovany.

**V historii došlo k některým jaderným haváriím. Je možné využít znalostí jevů, k nimž při nehodě došlo, dále ve výzkumu kódů?**

Kultura jaderné bezpečnosti se začala rozvíjet právě po havárii na americké Three Mile Island (1979) a havárii v Černobylu (1986). Na elektrárně Three Mile Island se havárie rozvinula do stádia tavení a relokace aktivní zóny. Průběh této havárie byl již nasimulovaný i v kódu ASTEC, a tedy představuje cennou informaci pro validaci kódu na základě výsledků ne z experimentu, ale z reálné, těžké havárie v jaderné elektrárně.

**K řadě známých událostí nebo přímo haváriích v jaderných zařízeních došlo díky lidské chybě. Počítá kód se selháním personálu?**

Při scénáři těžké havárie obvykle uvažujeme nejhorší možnou situaci, k níž může dojít. Koncept, který se navrhuje na zmírnění důsledků takové havárie, spočívá především v pasivní bezpečnosti. Znamená to tedy, že již v tomhle stádiu havárie zásah člověka většinou nehraje významnější roli. Případné pochybení personálu je však možné zahrnout ve „scénáři“ havárie.

**Může být kód použit pro vytvoření nějakého krizového manuálu pro obsluhu reaktoru?**

Výsledky simulace havárií se široce využívají na přípravu postupů pro zvládnutí havárií a pro výcvik personálu v dané oblasti. Správné postupy a dobře vycvičený personál je základním předpokladem pro zamezení dalšího rozvoje havárie a omezení jejích následků.

**Spolupracujete také se zahraničními organizacemi, které působí v této oblasti?**

Ano, na kódu ASTEC se podílí zhruba 50 subjektů jako výzkumné ústavy, univerzity a různé firmy. Z těch českých je v projektu zapojen např. ÚJV Řež. Ostatní zahraniční partnery jsem již mohla navštívit v rámci stáží, zatím jsem byla ve Švédsku, Německu a Francii. Někteří se zabývají validací kódů, jiní připravují teoretické vzorce a další se zabývají přípravou experimentálních dat.

**Jaká stáž byla pro vás nejzajímavější?**

Pravděpodobně moje v pořadí druhá stáž, a to ve francouzském výzkumném ústavu v Cadarache v CEA na oddělení těžkých havárií. Zde jsem se měla možnost poprvé seznámit s výpočtovým kódem ASTEC. Třetí stáž jsem absolvovala v Německu, ve společnosti GRS, jde o „technical support organization“ pro německý státní úřad jaderné bezpečnosti. Nejlepší zkušenosti mám právě z pobytu ve Francii, kde mě opravdu začlenili do výzkumného týmu a dali mi prostor pracovat samostatně.

**Jste také aktivní členkou Czech Young Generation při ČNS. Co vám členství přináší?**

Díky členství mám příležitost zúčastnit se konferencí v cizině, kde prezentuji mj. i aktivity české organizace ČNS. Již jsem takto navštívila Německo a Švýcarsko. Právě švýcarská konference byla pro mě nezapomenutelná – setkala jsem se tam s řadou zajímavých mladých lidí, kteří se zabývají jadernou energií po celém světě. Zajímavé byly nejen jejich příspěvky, ale také exkurze a prohlídky švýcarských jaderných zařízení.

**Stíháte k tomu všemu ještě nějaké koníčky?**

Velice ráda cestuji a navštěvuji cizí země, především ve spojení s nějakou stáží nebo účastí na konferenci. Baví mě poznávat nové lidi, jejich zvyky a kulturu. Současně to beru jako příležitost ke zdokonalení jazyka.

**Jaké máte plány do budoucna po ukončení školy?**

Po skončení inženýrského studia na Katedře jaderných reaktorů bych ráda odjela na doktorské studium do Francie. Podávám přihlášku do Institutu radiační ochrany a jaderné bezpečnosti v Cadarache, na jihu Francie. Pracovala bych tam na modelování znovuzaplavení poškozené aktivní zóny. V blízké době mě čeká pohovor a doufám, že mi to vyjde. Doktorské studium trvá tři roky, pak bych se chtěla vrátit do České republiky.

*Děkujeme za rozhovor a přejeme, ať všechny plány vyjdou.*

## K JÁDRU VĚCI

### BŘEZEN • JADERKA V JABLONCI

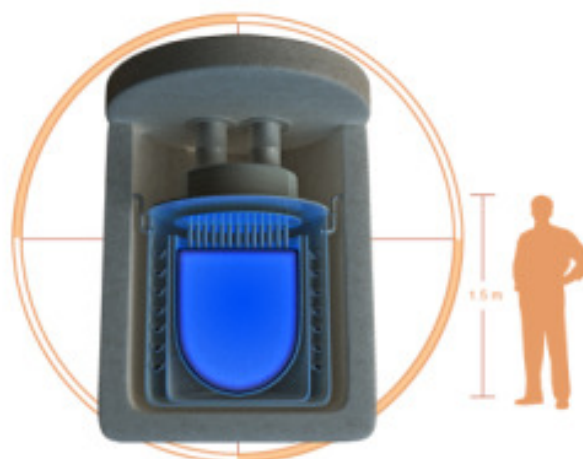
Domácnosti v Jablonci nad Nisou možná budou v budoucnu svítit a topit elektřinou a teplem z jádra. S návrhem postavit zde jaderný reaktor přišla senátorka S. Paukrtová. Nepůjde však o jadernou elektrárnu velikosti např. Temelína, ale o miniaturní jaderné zařízení, které je zakopáno pod zemí. Jaderný zdroj má Jablonci přinést řešení situace narůstající spotřeby tepla a elektřiny. Navíc by energie z tohoto zdroje byla levnější než elektřina či teplo získávané např. spalováním uhlí nebo plynu. *„Cena tepla ze systému centrálního zásobování teplem je velkým problémem i jiných měst než jen Jablonce. Proto hledám jiný zdroj tepla, aby byl efektivní, kontrolovatelný, bezpečný a nezávislý. Dopátrala jsem se k malému jadernému reaktoru, který vyvinula americká firma Hyperion Power Generation,“* uvedla pro Mladou Frontu DNES Paukrtová, která v jabloneckém zastupitelství má mj. na starosti i oblast teplárenství. Zda se Jablonec bude moci pochlubit v budoucnu malým reaktorem, bude záležet na rozhodnutí městských zastupitelů, kteří nejsou v této otázce jednotní. Pro některé je to dobře míněný vtíp, jiní jej zcela odsuzují a někteří by byli ochotni o projektu jednat.

### MINIREAKTOR DO KAŽDÉ RODINY

Miniaturní jaderný reaktor Hyperion Power Module vyvinula americká společnost Hyperion Power Generation. Je moderován vodíkem a chlazen draslíkem. Může být v provozu 5 až 10 let a pak bude odeslán zpět do výrobního závodu k novému naplnění palivem. Reaktor je široký 1,5 metru a vysoký dva metry, nemá žádné pohyblivé části a nepotřebuje téměř žádnou lidskou obsluhu. Reaktor dokáže vyrobit 70 MW<sub>t</sub> tepla nebo 25 MW<sub>e</sub> energie, což je podle údajů výrobce dostatečné množství pro zásobování až 20 tisíc průměrných domácností. S jednou náplní paliva vydrží okolo pěti let.

Tyto malé jaderné reaktory by byly zdrojem energie pro menší aglomerace v regionech, kam se nevyplatí dodávat elektrickou energii z velkých elektráren prostřednictvím nákladných dálkových vedení.

Hyperion nyní musí získat všechna potřebná osvědčení amerických úřadů. Vlastní výroba má začít v roce 2012 v nově vybudovaném závodě v Novém Mexiku. Hyperion Power Generation předpokládá, že 4000 těchto miniaturních reaktorů bude exportovat do mnoha zemí celého světa. Cena jednoho reaktoru je 25 milionů amerických dolarů, tedy asi půl miliardy českých korun.



*Bude minireaktor postaven v Čechách?*