

Docent Jaromír Leichmann, proděkan Přírodovědecké fakulty Masarykovy univerzity v Brně, vyvíjí s kolegy metodu, jak **ukládat vyhořelé palivo z jaderných elektráren** zcela bezpečně. Světově unikátní metoda vychází z postupu, jak uran v přírodě přirozeně vzniká.

MARTIN JEŽEK

LN Získávání energie v jaderných elektrárnách je spojeno s jaderným odpadem. Kolik ho u nás vzniká?

Jaderné elektrárny u nás vyprodukují asi 180 tun vyhořelého paliva ročně.

LN Jak je nebezpečné?

Nebezpečnost jaderného odpadu je v čase proměnlivá. Nejvyšší je v okamžiku jeho vyjmutí z reaktoru, vzápětí klesá v důsledku rozpadu krátce „žijících“ izotopů, zejména cesia a stroncia, které jsou nebezpečné kvůli svému krátkému poločas rozpadu a vysoké intenzitě radioaktivního záření. S časem se intenzita radioaktivního záření exponenciálně snižuje.

LN Dosud se odpad skladuje u jaderných elektráren. Jak si můžeme podobný sklad představit?

V elektrárně je to v podstatě velký bazén s vodou, v němž jsou uloženy kontejnery s vyhořelým palivem. V bazénu palivo postupně chladne z teplot okolo 300 °C a vymírají v něm radioaktivní izotopy s nejkratším poločasem rozpadu. Po vychladnutí jsou kontejnery přemístěny do suchého skladu, kde mohou být uloženy po několik desítek let.

LN Proč se vlastně postupuje tímto způsobem?

Dosavadní způsob nakládání s vyhořelým palivem předpokládá uskladnění paliva v blízkosti jaderné elektrárny z důvodu poklesu jeho radioaktivity a jeho následné uložení v podzemním úložišti. Na povrchu může zůstat uskladněno i podstatně delší dobu, problém je ale s jeho ostrahou, korozi kontejnerů a podobně.

LN Dokdy u nás musí úložiště vzniknout?

Konečné úložiště vyhořelého jaderného paliva by mělo být zprovozněno do roku 2065. Jeho účelem je trvale izolovat paliva od okolí a zabránit úniku radioaktivních látek. Dalším důvodem je, že vyhořelé palivo obsahuje plutonium, které z něho může být získáno a využito pro výrobu jaderných zbraní. Trvalé uložení odpadu v podzemí má zabránit jeho zneužití ve vzdálenější budoucnosti.

LN Jaké by mělo mít trvalé úložiště parametry?

Předpokládá se, že bude vybudováno v hloubce 500 metrů pod povrchem země. Od okolí bude uložený materiál oddělen inženýrskými bariérami, což jsou ocelový kontejner, beton, obsyp tvořený speciálním typem jílu, a dále bariérou geologickou. Geologickou bariéru představují horniny, které budou bránit migraci radionuklidů do okolí. Vlastní úložiště bude soustava chodeb a tunelů, ve kterých budou uloženy v krátkých šachtách kontejnery s vyhořelým palivem.

LN Jak bude úložiště náročné na provoz, jak se bude kontrolovat?

V průběhu zaplňování úložiště to vlastně bude jaderné zařízení s velmi přísným režimem využívání. Po jeho zaplnění a uzavření bude úložiště zcela izolováno od okolí a jeho konstrukce by měla zaručit jeho bezpečnost po dobu desítek až stovek tisíc let.

LN S kolegy pracujete na projektu, který by měl zajistit přirozený rozpad uranu v jaderném odpadu. Můžete to blíže vysvětlit?

Vyhořelé jaderné palivo je tvořeno z 95 procent oxidem uranovým – UO_2 , který se v přírodě relativně běžně vyskytuje a je znám jako smolince nebo uraninit. Vedle UO_2 jsou ve vyhořelém palivu přítomny umělé radioaktivní izotopy, které v něm vznikly v důsledku rozpadu izotopu uranu-235 při štěpné reakci produkující teplo využívané pro výrobu elektrické energie. Umělé vzniklé radionuklidy mají krátký poločas rozpadu, v palivu se postupně mění na stabilní prvky, radioaktivita paliva postupně klesá a hlavním radioaktivním prvkem se stává uran, zejména jeho izotop 238. Jeho poločas rozpadu je ale velmi dlouhý, 4,5 miliardy let.



FOTO MARTIN JEŽEK

Čtvrt miliardy let nehnutě v podzemí

S geologem **Jaromírem Leichmannem** o výzkumu, jak by se mělo úložiště vysoce radioaktivního odpadu z jaderných elektráren zabezpečit úplně přirozeným způsobem.

Palivo se tak začíná čím dál více podobat svému přírodnímu analogu – smolinci.

LN Jako by se tedy uran vracel do původního přírodního stavu?

Ano. Uran je v přírodě běžný prvek, každá tuna horniny ho v průměru obsahuje 2 až 3 gramy. Aby se mohl ekonomicky těžít, je potřeba, aby se jeho koncentrace geologickými pochody zvýšila alespoň tisíckrát, lépe desetitisíckrát. Bohatě ložisko obsahuje třeba deset i více kilogramů uranu v tuně horniny. Ložisko uranu si můžeme představit jako například velkou čochu nebo desku horniny o délce a šířce ve stovkách metrů a tloušťce až několik metrů, ve které je takto anomálně zvýšená koncentrace uranu. Je tedy vlastně docela podobné úložišti vyhořelého jaderného paliva.

LN Smolince je hlavní rudou na ložiscích uranu?

Ano. Vyskytuje se na nich v obsahu v desetinách procenta až procentech. Většina světových ložisek uranu vznikla před velmi dlouhou dobou – více než 1,5 miliardy let. Ložiska uranu v České republice jsou daleko mladší, nejstarší nemají ani 300 milionů let. Pokud se nám tedy podaří získat maximální znalosti o chování uranu a jeho sloučenin v přírodním prostředí, o jeho migraci a akumulaci do podoby ložisek, získáme tak informace o pravděpodobném chování vyhořelého jaderného paliva v úložišti. Kdy-

by uran z ložiska nějak unikal, ložisko degraduje a vlastně přestane existovat.

LN Příroda ale nějak brání tomu, aby uran z ložisek unikal...

Je to tak. Myslím, že jsme našli mechanismy a identifikovali geologické procesy, které úniku té v přírodě vysoce anomální koncentrace uranu bránily. Zjistili jsme tím tedy podmínky, za kterých bude uran pevně vázán i v úložišti. Požadovaná stabilita – životnost – úložiště je v desítkách až stovkách tisíc let. Uran je na svých ložiscích ale stabilní stovky milionů až miliardy let. Existují tedy přírodní mechanismy, které zabraňují úniku uranu v horninovém prostředí. Teď je dokazujeme a definujeme, abychom mohli za-

Jaromír Leichmann (57)

Vystudoval geologii v Brně a v Salzburku. Pracovní kariéru začal jako **geolog v uranových dolech** v Dolní Rožince. Od roku 2004 působí jako **docent v ústavu geologických věd Přírodovědecké fakulty Masarykovy univerzity**, jehož byl čtyři roky ředitelem. Osm let byl **děkanem** této fakulty, nyní je jejím proděkanem. Je řešitelem projektu, v jehož rámci se interdisciplinární tým odborníků snaží nalézt metody pro bezpečné **ukládání vyhořelého jaderného paliva**.

jistit přírodně blízké metody ukládání vyhořelého jaderného paliva, které by byly zcela bezpečné.

LN Jak postupujete?

Nejprve musím říct, že západní Morava je charakteristická výskytem velkého množství různých ložisek uranu. Největší z nich, do roku 2017 těžené ložisko Rožná, je staré 270 milionů let. Člověk jeho okolí začal osídlovat před přibližně tisíci lety. O ložisku před rokem 1950 nikdo nevěděl, ložisko se vůči svému okolí nijak negativně neprojevovalo. Detailní letecká měření radioaktivity ukazují, že se uran do okolí – mimo uzavřený areál bývalého těžebního závodu – nešíří ani dnes v důsledku jeho těžby. Cílem našeho projektu je tedy na příkladu ložisek uranu na západní Moravě, zjistit jaké mechanismy vedly k tomu, že před více než 250 miliony let byl uran extrémně mobilní a byl schopen vytvářet významné akumulace, jeho koncentrace v některých horninách stouply i desetitisíckrát. A také co se stalo poté, kdy tato ložiska vznikla. Uran totiž přestal být mobilní, setrvává na stejném místě už více než čtvrt miliardy let. Co se v zemi událo, že se chování jednoho z prvků zcela změnilo? Pokud to zjistíme, výrazně napomůžeme vyhledání vhodného geologického prostředí pro ukládání vyhořelého jaderného paliva.

LN Co jste dosud zjistili?

Podařilo se nám najít původní zdroj uranu, matečnou horninu, ze které se před těmi přibližně 300 miliony let začal uran uvolňovat, šířit se geologickým prostředím a za příznivých okolností pak akumulovat a vytvářet ložiska. Zbytek toho původně daleko většího tělesa je dnes znám jako třebíčský masív. Podle našich odhadů původní velké těleso o rozměrech stovek kilometrů krychlových mohlo obsahovat až 33 milionů tun uranu. Pro srovnání – na největším ložisku uranu Rožná bylo vytěženo 20 tisíc tun uranu.

Podařilo se nám také shromáždit vzorky ze všech významnějších ložisek uranu na západní Moravě. S pomocí analytických metod se z nich nyní snažíme získat informace o historii uranu za posledních 300 milionů let. Jedna část týmu se snaží zjistit, jaké procesy vedly k tomu, že koncentrace uranu v rámci některých vzorků dosahuje až 74 procent, tedy 740 kg na tunu. Co přinutilo uran „opustit“ jeho dosavadní místo v zemské kůře, dát se do pohybu, na nějakém určitém místě se dostat s dalšími migrujícími atomy uranu a spolu s nimi se tam „usadit“ a vytvořit ložisko? Jiná část týmu se snaží zjistit, co se stalo potom. Jak je možné, že jsou tyto extrémní koncentrace stabilní. Co vede uran k tomu, že se někdy v zemské kůře takřka volně pohybuje a jindy extrémně dlouhou dobu setrvává na jednom místě. Další kolegové sledují okolní prostředí a horniny snaží se z nich zjistit informace o teplotách a hloubkách, ve kterých tyto procesy probíhaly. Pokouší se zjistit, jestli se stopy těchto procesů dají najít v morfologii terénu, v zemětřesné činnosti a podobně.

LN V čem je váš výzkum odlišný od jiných?

Máme k dispozici vytěžené ložisko uranu, které je díky spolupráci s podnikem DIAMO pro nás stále přístupné, takže můžeme studovat procesy mobility uranu přímo v horninovém prostředí. Díky spolupráci se Správou úložišť radioaktivních odpadů zase máme k dispozici veškeré potřebné materiály k úložištím. V těsné blízkosti vytěženého ložiska uranu se nachází pokusné podzemní pracoviště Bukov, ve kterém se uskutečňují výzkumné práce související s ukládáním vyhořelého paliva. Naš výzkum je v tomto kontextu celosvětově opravdu unikátní.

LN Kdy by výsledky z vašeho projektu mohly být prakticky využité?

Dílejší výsledky projektu budeme průběžně publikovat. Tyto výsledky mohou být využity už v aktuálně běžícím procesu zužování množství vytipovaných lokalit pro ukládání vyhořelého jaderného paliva. Celkové výsledky projektu budou k dispozici za čtyři roky.

LN Znamená to, že pokud by se použila vaše metoda, zvýšila by se bezpečnost trvalého úložiště?

Ano. Ložiska uranu vznikala po značnou část existence Země. Migrace uranu a dalších radioaktivních prvků je přírodní proces. Pokud ji porozumíme, pochopíme její principy, můžeme vyhledat geologické prostředí, které bude uran přirozeně stabilizovat a bránit jeho migraci – úniku do okolí.

LN Přesto je odpor vůči úložišti značný...

Podle mých zkušeností je znalost problematiky jaderné energetiky a souvisejících otázek nízká a zatížená řadou pověr a pověstí.

LN Podle současných dohod musí každý stát palivo skladovat na svém území, ať je o velmoc, nebo malou zemi. Nebylo by lepší vybudovat na vhodném místě úložiště třeba pro celou EU?

To je otázka spíše pro předsedu vlády. Z geologického hlediska ano. Možná ne jedno, ale raději dvě nebo tři kvůli geografické dostupnosti a vzájemné zastupitelnosti. Otázka akceptace veřejností ale bude zřejmě prioritní.

LN Hovoří se také o tom, že úložiště nebude třeba, protože nové jaderné elektrárny budou moci odpad opět využít. Je to možné řešení?

Ano. Nové reaktory opravdu mohou přinést zcela jiný pohled na problematiku ukládání vyhořelého paliva. Úložiště bude ale v provozu desítky let. Až poté dojde k jeho nevratnému uzavření. Pokud se v době před definitivním uzavřením objeví technologie, které by umožnily další využití tohoto paliva, bude ještě dostatek času na změnu ve způsobu nakládání s vyhořelým palivem.

Autor je spolupracovníkem redakce