

Radon – zdroje, rizika, opatření

Většina atomů, z nichž jsou složeny minerály, horniny i zeminy v přírodě, je stabilních a během geologického vývoje Země se nemění. Existuje ale část atomů, které stabilní nejsou, jsou charakterizovány nadbytkem energie ve svém jádře a během doby se jejich jádra samovolně přeměňují na stabilnější; při této přeměně se zbavují nadbytečné energie vyzařením jaderného ionizujícího záření. Tento proces, přítomný po celou geologickou historii Země, se nazývá radioaktivní přeměnou. Tímto procesem se nestabilní atomová jádra postupně mění na jádra stabilnější.

Jedním z přírodních radioaktivních prvků, přítomných ve stopovém množství ve všech horninách a zemínách, je uran (^{238}U). Radioaktivní přeměnou jeho nestabilních jader vznikají další radioaktivní prvky s postupně se zvyšující stabilitou jádra. Tyto prvky tvoří tzv. uranovou rozpadovou řadu, jejíž součástí je i radioaktivní plyn radon. Radon v přírodě vzniká jako meziprodukt přirozené radioaktivní přeměny izotopu uranu ^{238}U (nebo izotopu thoria ^{232}Th). Je to těžký, chemicky netečný plyn, bez barvy, chuti a zápachu, uvolňuje se do ovzduší z horninového podloží, z vody a ze stavebních materiálů. S poločasem přeměny 3,8 dne přechází následně radon v krátkodobé kovové produkty přeměny (polonium, vizmut a olovo), emitující alfa a beta záření; tyto produkty přeměny radonu mají tu vlastnost, že se usazují na povrchu prachových částic, tvoří tzv. aerosoly a při vdechování se usazují v plicích a průduškách a tyto tkáně ozařují zářením alfa a beta. Poločas přeměny těchto zářičů je několik minut.

Radioaktivní uran (^{238}U) vytváří samostatné minerály, jakými jsou například uraninit, smolnec nebo uranové slídy, je přítomen také v horninách, jakými jsou biotit, zirkon, apatit a podobně. Množství uranu v jednotlivých typech hornin, dělených podle vzniku, je značně rozdílné. Zjednodušeně se dá napsat, že **nejméně** uranu a produktů jeho radioaktivní přeměny je v usazených, sedimentárních horninách typu pískovců, jílovců a slepenců (tyto horniny byly již jednou procesem zvětvávání rozrušeny, separovány, přetransportovány,

usazeny a nakonec diagenézí zpevněny). **Střední množství** uranu nacházíme v přeměněných horninách, metamorfovaných tlakem a teplotou během dlouhé geologické historie jejich vzniku (typu pararuly). **Nejvyšší obsah** uranu a produktů jeho radioaktivní přeměny mají vyvřelé, magmatické horniny typu žul, granodioritů atd., protože primárně již v době svého vzniku byly obohaceny uranem a obsahují některé nehomogenně rozptýlené horninotvorné minerály (např. zirkon) s vyšším obsahem uranu. Tyto horniny vznikají utužením magmatu, které vzniká přetavením hornin ve svrchním plášti Země. Při diferenciaci zemského tělesa došlo ke klesání těžkých prvků směrem ke středu Země a tím se stalo, že koncentrace uranu a jiných těžkých prvků s hloubkou roste. Z místa vzniku vystupuje radionuklidy obohacené magma do zemské kůry, kde tuhne a vytváří intruzivní tělesa, které nazýváme plutony, batolity, lakolity, nebo tvoří v podloží žilné vyvřelé horniny. Protože horninové složení českého masivu je z velké části tvořeno právě vyvřelými a metamorfovanými horninami, je zřejmé, že přísun radonu, z tohoto radionuklidy obsahujícího podloží, je vyšší. Můžeme určit, že geologické podloží České republiky je z více než dvou třetin tvořeno metamorfovanými a magmatickými horninami. Z toho vyplývá, že pokud je na takovém rizikovém horninovém podloží umístěna budova a je nedostatečně izolována od tohoto podloží, roste riziko poškození zdraví v ní přítomných osob z tohoto zdroje.

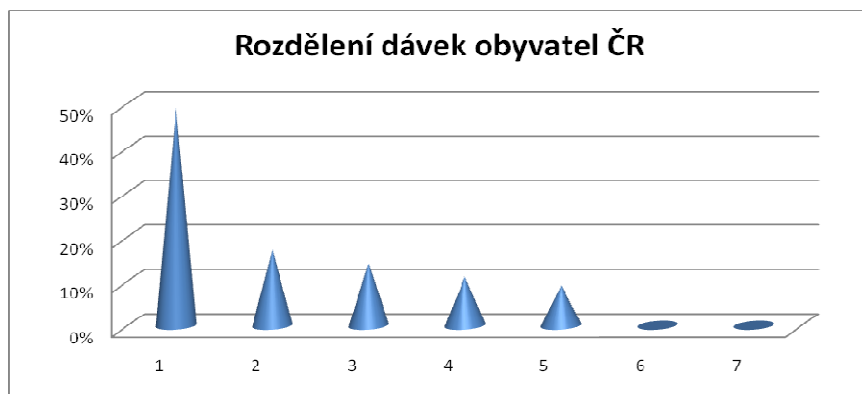
Plyn radon je rozpustný ve vodě. Podzemní voda, která se na povrch dostává pohybem přes horniny a zeminy obsahující radon, je tímto plynem nasycována. Pokud jsou v budově rozvody podzemní vody se zvýšeným množstvím radonu (voda je čerpána z rizikového podloží, radon je v ní rozpuštěn), dochází při použití této vody (pitná nebo užitková voda používaná při sprchování, mytí, mytí nádobí, praní apod.) k uvolňování radonu do ovzduší objektů (při sprchování a mytí asi 50 %, při vaření a praní téměř 100 %). Je zřejmé, že hlavní riziko radonu nespočívá v požití vody, ale v inhalaci radonu uvolněného při výše popsané spotřebě vody v domě. Vzhledem k tomu, že v podzemních zdrojích pitné vody, určených jako veřejné zdroje pitné vo-

dy, jsou v současnosti prováděna měření koncentrace radonu a v případě jeho zvýšené koncentrace následuje „odradonování“, je malá pravděpodobnost, že by radon unikající z vody dodávané do objektů mohl výraznějším způsobem ovlivnit objemovou aktivitu radonu v objektu. Soukromé zdroje pitné vody pravidelnému monitoringu nepodléhají. V povrchových vodách je množství radonu zanedbatelné.

Zdrojem vyšší koncentrace radonu v ovzduší objektu mohou být také nevhodné stavební materiály. Jejich základem jsou většinou horniny, zeminy a stavební materiály s často velmi rozdílným obsahem uranu. Materiály nejsou obvykle používány v původní formě, ale jsou drceny, mlety a tepelně upravovány, což může vést k většímu uvolňování radonu z povrchu zrn a tím ze stavebního materiálu do interiéru objektu. Je nutné zdůraznit, že v současnosti jsou stavební materiály sledovány z hlediska přítomnosti radioaktivity, a proto je pravděpodobnost přítomnosti radonu z nich podstatně menší než z geologického podloží (i když případy jejich použití z minulosti jsou známy). **Hlavním zdrojem radioaktivního radonu tedy zůstává geologické podloží.**

Obavy obyvatelstva z radioaktivity jsou dnes soustředěny zejména na umělé zdroje ionizujícího záření, zvláště na jaderná zařízení. Většina lidí ani netuší, že zdaleka největší

ozáření obyvatelstva je způsobeno přírodními zdroji ionizujícího záření (přírodním ozáření). Byly organismy vystaveny odjakživa a do značné míry nevyhnutelně. Je jasné, že ozáření obyvatel způsobené inhalací radonu (přesněji produktů radioaktivní přeměny radonu) je celosvětově hlavní složkou ozáření lidí ionizujícím zářením a je v průměru vyšší než jejich průměrné ozáření způsobené aplikací zdrojů ionizujícího záření v lékařství (rentgenová diagnostika, CT, nukleární medicína, terapie nádorů atd.). Průměrná roční efektivní dávka na jednotlivce z celosvětové populace z inhalace radonu ve vnitřním a vnějším prostředí činí asi 1,2 mSv (milisievert). Z měření koncentrace radioaktivního radonu v budovách v minulých desetiletích bylo prokázáno, že naše republika patří k nejvíce „zamořeným“ v celé Evropě. Je to způsobeno, jak již vyplývá z předcházejícího textu, vyšším zastoupením vyvěřelých hornin v geologickém podloží naší republiky. V některých rodinných domech v České republice byly nalezeny tak vysoké úrovně radonu pronikajícího z geologického podloží, že jeho koncentrace převyšují více než 10× mezní hodnoty koncentrací radonu v uranových dolech a odpovídající každoroční dávky obyvatelům těchto domů jsou na úrovni více než stonásobku průměrné dávky obyvatelstvu.



Obr. 1 Rozložení dávek ionizujícího záření obyvatel ČR

(1 – radon v budovách [49 %]; 2 – gama záření ze Země [17 %]; 3 – kosmické [14 %]; 4 – lékařské [11 %]; 5 – přírodní radionuklidy v těle člověka [4 %]; 6 – spad Černobyl [0,3 %]; 7 – ostatní [0,13 %])

K rozsáhlejšímu měření radonu v ČR došlo počátkem devadesátých let. Již z prvních výsledků bylo patrné, že bude nutno přistoupit k ochraně objektů před pronikáním radonu. Česká republika patří totiž mezi země, ve kterých je průměrná roční efektivní dávka na jednotlivce z inhalace radonu ve vnitřním a vnějším prostředí dvojnásobná vůči celosvětovému průměru (obr. 1). Z uvedených důvodů byla přijata opatření směřující ke snížení této zátěže. V roce 1991 byla vydána vyhláška č. 76/91 Sb., o požadavcích na omezování ozáření z radonu a z dalších přírodních radionuklidů. Tato vyhláška byla v roce 1997 nahrazena atomovým zákonem č. 18/1997 Sb., který byl rozšířen vyhláškou č. 307/2002 Sb., o radiační ochraně. Tato vyhláška stanovila únosnou mez zamoření objektu radonem a produkty jeho radioaktivní přeměny. S ohledem na možné zdravotní důsledky ozáření z radonu je snahou státu ozáření obyvatel z radonu regulovat. Vláda ČR ve svém usnesení č. 538 z 31. května 1999 proto schválila Radonový program. Jednotlivé úkoly Radonového programu České republiky, včetně rezortu odpovědného za jejich plnění, jsou stanoveny v části A přílohy. Tento program je zaměřen na preventivní opatření, která mají za cíl omezit výskyt radonu v nových stavbách, i na intervence (zásahy) ke snížení ozáření z radonu ve stávajících objektech. Součástí programu je vyhledávání budov s vyšším obsahem radonu, zajištění informování veřejnosti a vývojová a výzkumná činnost. Další zákony a vyhlášky, které doplňovaly anebo vymezovaly nové úkoly, vstoupily v platnost v letech 2003, 2005 a 2006. Usnesením vlády České republiky ze dne 4. května 2009 č. 594 ke Zprávě o plnění úkolů Radonového programu České republiky v období let 2000 až 2008 byl přijat akční plán Radonového programu České republiky na léta 2010 až 2019. Hlavní zásadou všech přijatých dokumentů jsou **preventivní opatření a intervence ke snížení ozáření z radonu ve stávajících objektech.**

Koncentrace radonu nesmí převýšit hranice 400 Bq/m³ v již postavených budovách a 200 Bq/m³ v nově postavených budovách. Podle specialistů je v ČR kolem 60 000 až 70 000 budov se zvýšeným rizikem ozáření radioaktivním radonem. Důsledky spojené s inhalací

radioaktivního radonu se v České republice odhadují na 900 případů úmrtí na nádory plic každý rok. Je to přibližně 15 % ze všech úmrtí na plicní nádory.

LITERATURA

1. Radonový program ČR 2010–2019; /www.sujb.cz.
2. Usnesení vlády České republiky ze dne 4. května 2009 č. 594; /www.sujb.cz.
3. Přírodní radioaktivita a problematika radonu; /www.sujb.cz.

*Jozef Rosina, Leoš Navrátil
rosina@fbmi.cvut.cz*

Mezinárodní konference „Zdravotnicko-biologické důsledky černobylské katastrofy“

Ve dnech 15. a 16. října tohoto roku jsem se zúčastnil mezinárodní konference „Zdravotnicko-biologické důsledky černobylské katastrofy“, kterou ve městě Gomel uspořádal Radiobiologický ústav Národní akademie věd Běloruska.

Již dříve jsem v časopise Kontakt uvedl, že gomelská oblast patří mezi nejvíce radiačně zatížený region v důsledku havárie černobylské atomové elektrárny. Právem jí tedy náleží pozornost odborné veřejnosti celého světa.

V průběhu jednání zaznělo 44 zajímavých sdělení, týkajících se jak hodnocení zdravotního stavu populace daného regionu, tak nových diagnostických metod, terapie důsledků poškození organismu ionizujícím zářením, dozimetrie i otázek týkajících se radonu.

Připomeňme si ty nejzajímavější.

L. A. Balšlikova se spolupracovnicí z Akademie věd v Syktykaru (hlavní město republiky Komi) analyzovala mikrojádra v kostní dřeni a ve štítné žláze při dlouhodobém ozáření nízkými dávkami gama záření a prokázala, že se jedná o vysoce citlivou metodu.

Rozsáhlou studii týkající se nádorových onemocnění a změn imunologických parametrů u účastníků likvidace následků černobylské tragédie prezentovali moskevští autoři z Institutu imunologie FMBA. Prokázali jednak výrazné změny v imunitním systému, což je

pravděpodobně jedna z příčin, že u této skupiny dochází k projevům maligního onemocnění v podstatně mladším věku než u ostatního obyvatelstva, které se na odstraňování následků havárie nepodílelo. Tato srovnání provedli ve vybraných oblastech Ruské federace, kromě Moskvy i v Severozápadním regionu a v Krasnojarském kraji. Tedy v oblastech, které se výrazně liší klimatickými podmínkami, způsobem a kvalitou života i mentalitou obyvatelstva.



Obr. 1 Pohled do sálu během jednání

Pracovníci ústavu ukrajinské Akademie věd z města Sumy studovali fagocytární aktivitu neutrofilů u likvidátorů a prokázali její významné změny v porovnání s neozářenou populací obyvatelstva.

Vliv nízkých radiačních dávek na rozvoj poškození mozkové kůry u potkana studovali pracovníci Voroněžské státní lékařské akademie.

Obsah kortikosteronu a testosteronu v krevní plazmě u potkanů vystavených dlouhodobému ozařování v zóně Jaderné elektrárny Černobyl a jejich potomků analyzovala N. V. Gunkovová z Ústavu radiobiologie běloruské Akademie věd. Zatímco obsah kortikosteronu byl snížen až na 50 %, změny testosteronu nebyly statisticky významné. Podobné výsledky byly získány i u potomků ozářených potkanů. Druhá pracovní skupina této instituce v obdobně stavěném experimentu studovala metabolismus vápníku a fosforu. Byly prokázány výrazné změny, jejichž příčinu vidí autoři v narušeném endokrinním systému.

Podobnou problematikou, která je i náplní naší spolupráce s Lékařskou fakultou UK

v Plzni (s Ústavem klinické biochemie a hematologie), se zabývají kyjevští kolegové, kteří sledovali změny některých parametrů antioxidantního systému u likvidátorů černobylské havárie. Na statisticky významné hladině pravděpodobnosti došlo k poklesu prakticky všech sledovaných enzymů a tím i ke snížení ochrany. V. T. Svjergun a A. I. Gricuk ve své práci prokázali nejvyšší aktivitu prooxidantního systému u potkana 3 hodiny po ozáření dávkou 0,5 Gy.

Značná pozornost byla věnována ve studiích změnám v metabolismu lipidů a rozvoji aterosklerózy u ozářených jedinců. S. M. Dmitruk se spolupracovníky z ukrajinské Akademie věd prokázali zvýšenou hladinu proatrogenních lipidů i rychlejší rozvoj aterosklerózy. Jednu z příčin vidí v radiačním poškození buněk cévní stěny. K podobným závěrům došla i skupina pod vedením I. N. Chomazjuka, která poukázala i na negativní vliv kouření.

Protože na likvidaci černobylské havárie se podílela řada dalších republik tehdejšího Sovětského svazu, byly zajímavé a přínosné přednášky jerevanských odborníků (Arménie). A. G. Karapejtan prokázal statisticky významné změny některých látek v krevní plazmě, a to zejména u látek lipidové povahy, bilirubinu a proteinů. Zajímavá byla i druhá studie stejného autora společně s N. M. Oganessianem – ti prokázali vyšší kvalitu života u likvidátorů, kteří žijí ve vysokohorském prostředí.

U postižených černobylskou katastrofou studovala S. V. Leščeva se spolupracovníky i obsah plutonia a transuranů.

A. N. Grebenjuk se svým kolektivem z Vojenské lékařské akademie v Sankt-Petěrburgu seznámil přítomné s výsledky dlouholeté studie, jejímž cílem bylo posouzení možností farmakologické ochrany organismu před důsledky jeho poškození ionizujícím zářením. Jako vhodná kombinace se ukazují preparáty B-190, leukocin a interleukin 1.

Možný radioprotektivní efekt riboksinu posuzovali pracovníci radiobiologického ústavu Akademie věd v Kyjevě.

N. I. Rjabokov z Institutu genetiky a cytologie v Minsku prokázal radioprotektivní vlastnosti 1, 4 dihydropropidinu.

Zajímavá byla studie autorů ze dvou ústavů AV (chemické fyziky a biochemické fyziky

ky), kteří prokázali vyšší počet mikrocytů a aberací u letců a kosmonautů.

Z České republiky zazněla dvě sdělení. První (autorů L. Navrátila, F. Zölzera, Z. Hona, J. Rosiny, S. Brádky a J. Škopka) bylo věnované možnostem detekce alfa záření biodozimetrickými metodami, druhé (autorů J. Rosiny, L. Navrátila, Z. Hona, S. Brádky a J. Vránové) se týkalo problematiky radonu v České republice. Obě práce vycházely z výzkumného projektu Národního výzkumného programu II 2B08001 řešeného na fakultě.

Součástí služební cesty bylo i projednání dalších forem spolupráce jak se Státní ekologickou univerzitou A. D. Sacharova v Minsku, tak Gomelskou státní univerzitou Franciska Skoriny.

S oběma akademickými pracovišti má Zdravotně sociální fakulta Jihočeské univerzity podepsány od roku 2004 dohody o spolupráci a ty byly dosud naplňovány především výměnou odborných informací a osobními kontakty některých učitelů.

V současné době se však odkrývá řada dalších možností zejména v kontaktech s univerzitou v Minsku, jak vyplynulo z rozhovoru s prorektorem pro vědeckou práci prof. dr. Sergejem Borisovičem Meľnovem, DrSc. Univerzita byla pověřena přípravou specialistů pro první budovanou běloruskou jadernou elektrárnu. Pro tyto účely vyhradila vláda poměrně velké finanční prostředky a další poskytl jak Evropská unie, tak NATO.

Protože Česká republika je v celém světě známá vynikající kvalifikací specialistů právě

v problematice jaderné energetiky a ochrany před ionizujícím zářením, obrátilo se vedení Sacharovské univerzity na ZSF JU s prosbou o organizační a zejména odbornou pomoc při zajištění přípravy těchto specialistů. K této žádosti přispěla i skutečnost, že běloruští studenti se učí danou problematiku z přeložených učebnic od českých autorů, kteří působí i na naší fakultě (doc. ing. Jozef Sabol, DrSc.).



Obr. 2 Součástí jednání byla i prohlídka laboratoří Institutu radiobiologie běloruské Akademie věd v Gomelu

Univerzita má rovněž zájem o pomoc při přípravě doktorandů v problematice ochrany obyvatelstva a krizového řízení. Zkušenosti z Ústavu biologické fyziky JU v Nových Hradech ukazují, že navzdory částečným počátečním jazykovým problémům je tato pomoc realizovatelná a přínosná pro obě strany.

Představa možné spolupráce v oblasti ochrany obyvatelstva a rovněž účast na přípravě studentů doktorského studia zazněla i z úst prvního prorektora Gomelské univerzity prof. Jurije Ivanoviče Kulaženka, DrSc. Běloruští studenti jsou zejména po stránce laboratorních dovedností dobře připraveni a je proto předpoklad, že se brzy zapojí do některého z výzkumných projektů, řešených na ZSF, v jehož rámci by mohli zpracovat i svou doktorskou práci. Perspektivně byla posuzována i možnost zapojení studentů magisterského studia a společný studijní program TEMPUS.

Leoš Navrátil,
leos.navratil@volny.cz



Obr. 3 Účastníci jednání