

Co nového v přírodních vědách**Radon a zdraví člověka**

VLADISLAV NAVRÁTIL

Úvod

Pojmy jako *radioaktivita*, *jaderný odpad*, *jaderná elektrárna* a další se zejména po černobylské katastrofě staly strašákem nepoučených lidí každého věku, postavení i vzdělání a ukázkou toho, jak lze téměř cokoliv využít pro politické cíle a lacinou popularitu (například tak, že zdánlivě velmi rozumná ministryně přijede v limuzíně k plotu jaderné elektrárny, nechá se k němu na pět minut symbolicky připoutat, a aniž prohlásí cokoliv rozumného, opět v mraku výfukových plynů odjede). Ani problematika radonu nebyla ušetřena (i když ve značně menší míře) podobných nekompetentních přístupů. Cílem článku je skromné shrnutí základní problematiky vlivu radonu a jeho produktů štěpení na lidské zdraví.

1. Člověk a radioaktivita

Radioaktivita nás doprovází odedávna doslova od kolébky až do hrobu a stala se součástí životního prostředí kolem nás, kterou si přímo neuvědomujeme, neboť je našimi smysly nepostižitelná. Uvědomovat si ji začneme a více o ní hovořit budeme teprve tehdy, až se nějakým způsobem projeví její záporné účinky (zpravidla na našem zdraví) nebo ji budeme chtít využít k nějakému účelu.

Jako typický příklad z minulosti můžeme uvést téměř tajemné a v tehdejší době nevysvětlitelné jevy, ke kterým docházelo v Jáchymově. Tam se totiž již ve středověku dolovalo stříbro a město v té době značně vzkvétalo. Stříbrné žíly však byly často doprovázeny zvláštní černou a těžkou horninou, která byla horníky nazývána „černou smrtí“, zřejmě podle svých účinků. Její druhý název, méně hrozivý, byl „smolinec“, neboť přinášela smůlu (její nalezení signalizovalo obvykle konec stříbrné žíly). Tajemství černé horniny rozřešili až v roce 1926 manželé Curieovi, když objevili její radioaktivitu a izolovali z ní prvek rádium.

Neblahé účinky radioaktivních látek na živé organismy si lidstvo začalo od té doby uvědomovat stále více (od výbuchů atomových bomb v Japonsku na konci II. světové války přes následky zkušebních atomových výbuchů v době studené války až po černobylskou havárii v roce 1986). V posledních desetiletích se k těmto obavám přidal i strach ze škodlivých

účinků radonu a jeho produktů štěpení. Radon proniká z půdy nejen do ovzduší, ale i do našich obydlí, kde se koncentruje, štěpí a vytváří část vnitřního mikroklimatu, negativně působícího na zdraví člověka. Samotný radon, je-li vdechnut do plic, je z nich opět z velké části vydechnut ven. V plicích však zůstávají produkty jeho štěpení (těžké kovy). Tyto tzv. *produkty štěpení*, ať už volné, nebo usazené na aerosolech a prachových částicích, zůstávají v dýchacích cestách a plicních sklípcích, kde se dále rozpadají a „bombardují“ s vysokou rozpadovou energií citlivou tkáň, takže ji mohou nevratně poškodit.

Proč nás radon zajímá až nyní? Vždyť s ním lidstvo žije již po dlouhá desetiletí! Důvodů může být několik:

- Radon sice v dřívějších dobách vnikal velice snadno do lidských obydlí přes udusanou hlínu, prkennou či kamennou podlahu, ale stejně snadno z nich unikal komínem, spárami a jinými netěsnostmi v oknech, dveřích či střeše. Jinými slovy, snadno se odvětrával. V současné době, kdy se snažíme uspořít co nejvíce energie, je přirozené odvětrávání omezo-
váno a radon spolu se svými produkty štěpení se v místnostech koncentruje.
- V posledních desetiletích vzrostlo silně znečištění životního prostředí. Účinky jednotlivých toxických látek se sčítají a výsledkem je narušení zdravotního stavu lidské populace. V takovém případě mohou v porovnání s minulostí stačit ke vzniku některých nemocí nižší dávky ozáření.
- Třetí důvod plyne z tab.1, kde je uvedeno složení průměrného ročního efektivního dávkového ekvivalentu ozáření obyvatelstva v závislosti na původu záření. Z tabulky je vidět kromě jiných překvapivých zajímavostí, že radon a jeho produkty štěpení se podílejí na ozáření obyvatelstva téměř z 50%. Je třeba poznamenat, že v eliminaci tohoto zdroje záření jsme zatím příliš nepokročili.

Tab.1. Skladba průměrného
ročního efektivního dávkového ekvivalentu ozáření
(3 mSv = 100 %)

Ozáření z radonu	47,1 %
Ozáření ze zdravotnictví	20,2 %
Ozáření ze Země	13,8 %
Ozáření z kosmu	12,1 %
Ozáření z tělesných tkání	6,7 %
Ozáření profesní	0,1 %
Ozáření z jaderné energetiky	0,03 %

2. Radon a jeho produkty štěpení

Radon patří mezi inertní plyny a každý z nás s ním přichází do styku denně a prakticky kdekoliv. Vzniká zcela samovolně jako jeden z produktů uran – radiové rozpadové řady. Jeho poločas štěpení je 3,825 dne a štěpí se na své produkty štěpení ^{218}Po (Ra A), ^{214}Pb (Ra B), ^{214}Bi (Ra C) a ^{214}Po (Ra C'). Jsou to kovy, které se ve vzduchu mohou pohybovat volně v atomárním stavu nebo se mohou vázat na aerosoly či prachové částice a tak mohou být vdechnuty do plic a tam zachyceny.

Radioaktivitu radonu a jeho produktů štěpení ve vzduchu měříme v jednotkách $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ (becquerel), což je tzv. *objemová aktivita*. Objemová aktivita radonu ve vzduchu rovná $50 \text{ kBq}\cdot\text{m}^{-3}$ znamená, že v 1 m^3 vzduchu dojde za 1 sekundu k $50\cdot 10^3$ radioaktivním přeměnám. Objemová aktivita radonu v kapalinách je udávána v $\text{Bq}\cdot\text{l}^{-1}$, aktivita pevných látek v $\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$.

Primárním zdrojem radonu v geologickém prostředí je ^{238}U , přítomný v horninách. Uran s poločasem štěpení 4,5 miliardy let tvoří buď samostatné minerály (např. uraninit, nebo uranové slídy), nebo je přítomen v horninotvorných materiálech (např. biotit a apatit). Obecně lze říci, že nejvyšší obsah uranu je ve vyvřelých horninách (durbachit, žula), střední v horninách metamorfovaných (pararuly) a nejnižší v sedimentech (pískovce, jílovce). V České republice existuje několik významných oblastí s geologickým podložím tvořeným žulou (Třebíčsko, Javořické pohoří, Příbramsko, Jizerské hory atd.), a proto jsou i zásoby uranu v naší republice značné a nebezpečí radonu nezanedbatelné.

Radon proniká do lidských obydlí zejména trhlinami a netěsnostmi v podlaze sklepů, nebo nejnižšího podlaží, drenážním potrubím, případně studnami a studánkami. Je jasné, že množství radonu, který přidifuduje, záleží značně na skladbě geologického prostředí mezi zdrojem radonu a obydlím (např. silná vrstva nepropustného jílu zajistí tak pomalou difúzi, že se prakticky veškerý radon rozštěpí a produkty štěpení se v jílu zachytí, opakem je mnohem propustnější písčité podloží). Zdrojem radonu může být i stavební materiál (např. pórobetonové tvárnice, dřívě z neznalosti vyráběné z některých druhů radioaktivního popílku) a v menší míře též venkovní vzduch.

V důsledku proudění vzduchu v místnostech se radon rozptýlí prakticky rovnoměrně po celém jejich objemu. Jeho koncentrace se však mění v závislosti na denní či noční době (závislost na rozdílu venkovní a vnitřní teploty, větru apod.) a rovněž je pozorována závislost na ročním období. Nejvyšší koncentrace radonu bývá zaznamenávána v nevětraných sklepních a přízemních místnostech.

3. Vliv radonu na zdraví člověka

Jak již bylo uvedeno, není pro člověka samotný radon nebezpečný, jeho zdraví však mohou ohrozit produkty štěpení radonu. Radon je vdečován a vydechován prakticky bez ozáření tkání. Zato produkty štěpení, ať již volné, nebo usazené na aerosolech a prachových částicích, se usazují v průduškách a plicních sklípcích člověka a ozařují je. Nebezpečné jsou zejména proto, že jimi vyzařované částice α o doletu několika desítek μm soustředí veškerou svoji energii do malé oblasti živé tkáně plic – nejcitlivější je tzv. tracheobronchiální oblast plic. Lékařský výzkum dospěl k závěru, že toto ozařování je jedním z faktorů podílejících se na vzniku rakoviny plic. Žádné jiné zdravotní účinky radonu ani jeho produktů štěpení na zdraví člověka nebyly pozorovány (např. přítomnost těchto produktů v žaludku nijak neškodí – žaludek je zřejmě zvyklý na ledacos).

Co se týká škodlivosti volných a vázaných produktů štěpení, shodli se vědci na tom, že volné produkty štěpení jsou asi 30x škodlivější než produkty vázané. Pravděpodobně je to tím, že mnohem lehčí volné částice (atomární) nemají díky malé setrvačnosti tak velkou kinetickou energii a usadí se při vdechnutí již na začátku plic (citlivá tracheobronchiální oblast). Těžké útvary – prach a aerosoly – dolétnou až do plicních sklípků, které však nejsou tak silně ozářeny, jako by tomu bylo v případě volných částic, neboť vzdálenost mezi vyzařující částicí a sliznicí je mnohem větší. Navíc jsou naše plíce vybaveny dokonalým, evolucí prověřeným mechanismem, dovolujícím odstranit (vykašlat) usazené prachové částice.

Ozáření plicní sliznice je dále závislé na věku, rychlosti dýchání, samočistící schopnosti plic a vůbec na celkovém zdravotním stavu jedince. Výsledky měření průměrného ročního efektivního dávkového ekvivalentu se z uvedených důvodů značně od sebe liší. Můžeme však říci, že pravděpodobnost vzniku rakoviny plic je úměrná celkové vdechnuté aktivitě produktů štěpení radonu, tj. závisí na koncentraci radonu a délce pobytu v místnosti s určitou jeho koncentrací. Abychom si co nejvíce přiblížili riziko ozáření plic produkty radonu, používáme srovnání jeho účinků s neblahými účinky kouření cigaret. Z měření uskutečněných u nás i v zahraničí plyne, že produkty štěpení radonu mají na svědomí 10-30% onemocnění rakovinou plic (zřejmě jde převážně o nevysvětlitelná onemocnění zdravě žijících nekuřáků). Z tab. 2 plyne souvislost mezi koncentrací radonu (produktů štěpení) a zdravotními účinky. V posledním sloupci jsou uvedena doporučená ozdravná opatření.

Tab.2.

Koncentrace radonu (Bq.m ⁻³)	Koncentrace produktů štěpení (Bq.m ⁻³)	Zdravotní účinky	Doporučená ozdravná opatření
cca 1200	200 – 600	Téměř žádné	Do 10 let mírná opatření
cca 4000	600 – 2000	Lehké kuřáctví	Úpravy do 3let
< 12 000	2000 – 6000	1 balíček cigaret denně	Úpravy do 1 roku
> 12 000	více než 6000	Těžké kuřáctví	Úpravy ihned

4. Zdroje radonu, ozdravná opatření

Geologickou stavbu ČR tvoří ze dvou třetin metamorfované horniny krystalinika (porfyr, ortoruly, metabazity atd. – obr.1). Velké plošné zastoupení mají i vyvřelé horniny (granity, granodiority, diority, syenity, pegmatity, durbachity). Dalším typem hornin s velkým plošným rozsahem jsou pískovce, které – protože jsou dobrým transportním prostředím pro vodu a plyny – mohou sloužit jako přirozené zásobárny radonu. Všechny tyto horniny obsahují stopová množství radioaktivních prvků, z nichž nejdůležitějšími jsou ²³⁸U a ²²⁶Ra.

Radon je z míst jeho vzniku transportován přes následné vrstvy a jeho transport je ovlivňován zejména složením zeminy (pískem se šíří nejsnadněji) a její vlhkostí (radon je ve vodě dobře rozpustný). Rovněž spodní voda jej dobře přenáší – studánky a studny bývají jeho vydatnými zdroji.

Z předcházejících úvah plynou ozdravná opatření vedoucí ke snížení koncentrace radonu a produktů jeho rozpadu v obytných budovách. Ta lze rozdělit do dvou základních skupin:

- opatření *pasivní*, která spočívají v izolaci zejména sklepních prostor od okolního zdiva a podlahy pomocí speciálních vrstevnatých fólií (plast + kov + lepenka).
- opatření *aktivní*, jejichž principem je zaručení dobré ventilace (domy bez sklepa, založené na vzduchovém polštáři) nebo odvětrávání radonu z půdy dřívě, než stačí přidifundovat do sklepa (tzv. *radonové studně*, tj. kryté jámy v těsné blízkosti domovních zdí).

Podle Směrnice Ministerstva financí ČR 122/25883/91 má každý občan České republiky nárok na finanční příspěvek pokrývající z větší části nároky na ozdravná opatření.