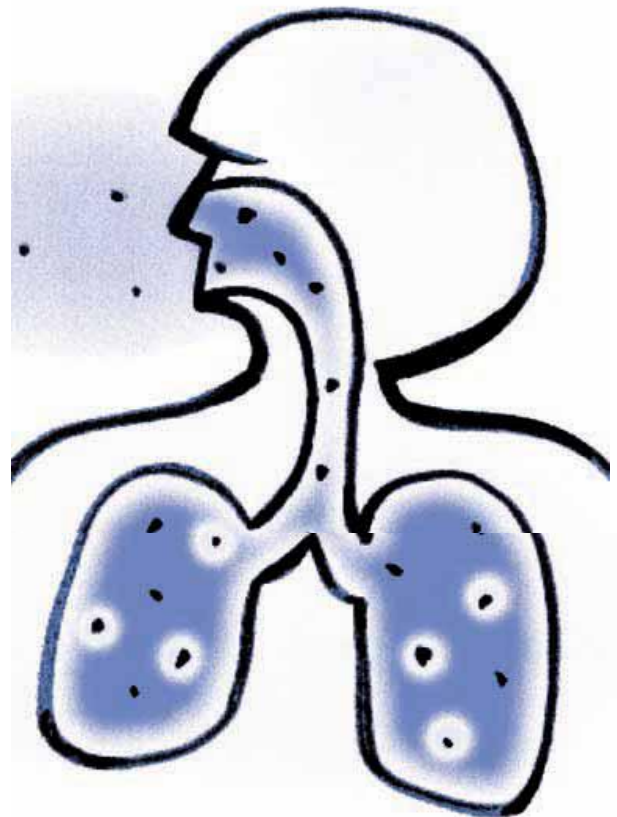


USMERŇOVANIE OŽIARENIA OBYVATEĽSTVA RADÓNOM V POBYTOVÝCH PRIESTOROCH



USMERŇOVANIE OŽIARENIA OBYVATEĽSTVA RADÓNOM V POBYTOVÝCH PRIESTOROCH

*RNDr. Helena Cabáneková, PhD.
Doc. RNDr. Denisa Nikodemová, PhD.*

Fakulta verejného zdravotníctva
Slovenská zdravotnícka univerzita v Bratislave

Environment, a.s.

ISBN 978 -80 - 89384 - 05 -1

EAN 9788089384051

PRÍHOVOR

Obavy obyvateľstva z poškodenia zdravia v dôsledku ožiarenia sú dnes sústredné hlavne na umelé zdroje ionizujúceho žiarenia, predovšetkým na jadrovoenergetické zariadenia. Väčšina ľudí však vôbec netuší, že najväčšie ožiarenie je spôsobené prírodnými zdrojmi žiarenia, ktorého podiel na celkovom ožiarení je približne 73%. Z prírodných zdrojov žiarenia, dominantný podiel na ožiarení obyvateľstva v budovách (viac ako 50%) má radón a jeho dcérske produkty. Epidemiologickými štúdiami bolo dokázané, že pravdepodobnosť vzniku rakoviny pľúc sa zväčšuje s narastajúcou koncentráciou radónu a jeho produktov premeny, ako aj dĺžkou expozície. Fakt, že radón je po fajčení druhou najvýznamnejšou príčinou rakoviny pľúc uznala aj Svetová zdravotnícka organizácia (WHO) a v roku 2009 ho klasifikovala ako karcinogén triedy 1A. Výsledky novších epidemiologických štúdií ďalej dokázali, že expozícia radónu má za následok aj ďalšie formy zdravotného poškodenia, ako sú choroby cievneho a tráviaceho ústrojenstva a že teda pravdepodobnosť zdravotného poškodenia je výrazne vyššia, ako sa pôvodne predpokladalo. Tieto skutočnosti viedli k Európsku komisiu (EC), Medzinárodnú komisiu pre radiačnú ochranu (ICRP) a Svetovú zdravotnícku organizáciu (WHO) k prehodnoteniu zdravotného rizika z expozície radónu. Európska komisia zadefinovala aj nové požiadavky na zvýšenie ochrany obyvateľstva pred nepriaznivými účinkami ionizujúceho žiarenia (spracovanie legislatívy zameranej na ochranu obyvateľstva, zavádzanie radónových programov, v ktorých informovanosť obyvateľstva patrí medzi priority).

Predložená brožúra nadväzuje na informačné materiály publikované v rokoch 1992 a 1995: „Radón v bytoch a jeho vplyv na zdravie človeka“ a „Radón a zdravie obyvateľstva“, so zohľadnením výsledkov posledných výskumných projektov riešených v rámci 7-eho Rámcového programu Európskej Únie, Agentúry pre podporu vedy a výskumu a Direktív EU.

Lektoroval: Ing. Mária Letkovičová, CSc.

Copyright © RNDr. Helena Cabánková, PhD., Bratislava 2013

Copyright © Slovenská zdravotnícka univerzita v Bratislave, 2013

OBSAH

POJMY, DEFINÍCIE A JEDNOTKY	5
ÚVOD	9
RADÓN	11
RADÓN A ZDRAVIE	12
RADÓN V STAVEBNOM OBJEKTE	14
PODLOŽIE	16
STAVEBNÝ MATERIÁL	18
VODA	22
METÓDY MERANIA RADÓNU V POBYTOVÝCH PRIESTOROCH	23
RADÓNOVÁ PROBLEMATIKA V POBYTOVÝCH PRIESTOROCH	26
NÁPRAVNÉ OPATRENIA	26
ZÁVER	28
LITERATÚRA	29

POJMY, DEFINÍCIE A JEDNOTKY

RÁDIOAKTIVITA

Objavená v roku 1896 Becquerelom. Je to samovoľná premena (rozpad) jadier spojená s vyžiarením jednej častice, niekoľkých častíc alebo elektromagnetického žiarenia (fotónov gama). Jadro pôvodného nuklidu sa pritom mení na jadro iného nuklidu.

NUKLID

Atóm (prípadne len jadro atómu), ktorý má určitý konkrétny počet protónov a konkrétny počet neutrónov.

IZOTOP

Nuklidy s rovnakým počtom protónov ale rôznym počtom neutrónov.

RÁDIONUKLID (RÁDIOAKTÍVNY NUKLID)

Atóm, ktorého jadro sa samovoľne premieňa pri vysielaní (emitovaní) vysoko energetického žiarenia.

ŽIARENIE

Jav sprevádzajúci premenu jadra atómu pri emisii alfa, beta, gama alebo neutrónového žiarenia. Vo všeobecnosti sa nazýva ionizujúce (rádioaktívne) žiarenie a ľudský organizmus mu je trvalo vystavený.

ALFA ŽIARENIE

Zväzok α -častíc (jadrá hélia), ktoré majú kladný elektrický náboj a sú silne ionizujúce. Alfa častica má najkratší dosah (dolet) a absorbuje sa už napr. v liste papiera.

BETA ŽIARENIE

Zväzok nabitých elektrónov. Rozlišujeme žiarenie e^- (elektróny) a e^+ (kladne nabité pozitrony). Beta častice majú stredný dolet a zachytí (pohlí) ich už v 1 cm plexiskla alebo 1 mm olova.

GAMA ŽIARENIE

Elektromagnetické žiarenie vysokej frekvencie veľmi energetických fotónov, ktoré nemajú elektrický náboj. Gama žiarenie má veľmi vysokú prenikavosť a pre jeho tienenie sa používajú veľmi hrubé štíty z kovov veľkej hustoty (napr. olovo) alebo zliatin kovov veľkej hustoty. Platí, že čím vyššia hustota a hrúbka štítu, tým viac je žiarenie absorbované (zatienené).

NEUTRÓNOVÉ ŽIARENIE

Je to zväzok neutrónov, ktoré nemajú elektrický náboj. Neutrónové žiarenie pohlí hrubá vrstva vody alebo betónu.

ÚČINKY IONIZUJÚCEHO ŽIARENIA

Procesy, ktoré nastávajú v biologickom objekte (organizme) v dôsledku absorpcie energie ionizujúceho žiarenia. Akceptuje sa

niekoľko teórií pôsobenia ionizujúceho žiarenia na živý organizmus (zásahová, radikálová, teória duálnej radiačnej akcie, molekulárno - biologická teória), avšak spravidla neplatia jednoduché vzťahy. Charakteristickým účinkom ionizujúceho žiarenia je ionizácia molekúl a na ňu nadväzujúce stabilizované poškodenia s ďalšími dôsledkami na bunecnej úrovni. Tieto poškodenia sú často reverzibilné a reparácia vedie k zmierneniu biologických účinkov. Rozsah a závažnosť biologického účinku ionizujúceho žiarenia u človeka závisí od spôsobu expozície (jednorazová/opakovaná, externá/interná), druhu žiarenia (jeho prenikavosť), veľkosti absorbovanej dávky, veľkosti exponovanej časti tela/orgánu, rádiosenzitivity buniek a individuálnej biologickej variability exponovaného jedinca. Delia sa na deterministické a stochastické.

DETERMINISTICKÉ ÚČINKY POŠKODENIA

Sú prahové a pri dosiahnutí určitej dávky efekt sa zákonite prejaví. Prejavy poškodenia sú klinicky zväčša odlišiteľné a jedná sa spravidla o akútnu chorobu z ožiarenia, nenádorové poškodenia kože a poškodenia očnej šošovky.

STOCHASTICKÉ ÚČINKY POŠKODENIA

Sú bezprahové a so stúpajúcou dávkou stúpa aj pravdepodobnosť vzniku poškodenia. Neexistuje prahová dávka, preto sú na pozadí spontánne sa vyskytujúcich ochorení populácie klinicky ťažko odlišiteľné (zhubné nádory, genetické zmeny).

EXTERNÁ EXPOZÍCIA

Dôsledok expozície(ožiarenia) rádionuklidmi, ktoré sa nachádzajú vo vonkajšom prostredí. Hlavným zdrojom týchto rádionuklidov je prírodné žiarenie (terestriálne, kozmické) a expozícia pri lekárskej diagnostike a terapii. Pri externom ožiarení vážnejšie zdravotné následky má expozícia gama žiarením a neutrónmi. Základnými prostriedkami ochrany je ochrana časom, vzdialenosťou a tienením (aktívne/pasívne).

INTERNÁ EXPOZÍCIA

Expozícia organizmu rádionuklidmi prítomnými v tele. Kontaminácia organizmu je dôsledkom ingescie (príjem potravy kontaminovanej rádionuklidmi), inhalácie (vdychovanie rádioaktívnych aerosólov), absorpcie rádionuklidov cez poranenú kožu, ako aj izotopovej zmesi prvkov, ktoré sú súčasťou organizmu. V tele priemerného jedinca z populácie je napr. 4500 Bq izotopu draslíka (^{40}K), 3800 Bq izotopu uhlíka (^{14}C), 650 Bq rubídia (^{87}Rb), 25 Bq trícia (^3H).

Z uvedeného vyplýva, že štandardný jedinec z obyvateľstva je vlastne objekt, ktorého aktivita je cca 130 Bq.kg^{-1} .

PRÍRODNÉ (ŽIVOTNÉ) PROSTREDIE

Je to priestor, ktorý nás obklopuje a v ktorom sa pohybujeme. Jednotlivé prírodné sústavy sú pritom navzájom prepojené a vytvárajú prirodzené podmienky existencie organizmov, vrátane človeka. Zložky životného (prírodného) prostredia sú ovzdušie, voda, horniny, pôda, ale aj samotné organizmy.

AKTIVITA

Aktivita (A) je fyzikálna veličina charakterizujúca zdroj žiarenia, teda počet rádioaktívnych premien za jednotku času. Jednotkou aktivity je Becquerel [Bq]. Odvođenými veličinami sú *objemová aktivita* (aktivita v jednotke objemu [Bq.m^{-3}]), *hmotnostná/merná aktivita* (aktivita v jednotke hmotnosti [Bq.kg^{-1}]), a *plošná aktivita* (aktivita na jednotku plochy [Bq.m^{-2}]).

BECQUEREL

Becquerel (Bq) je jednotkou aktivity a znamená jednu rádioaktívnu premenu za jednu sekundu. V praxi tak nízke hodnoty sú ojedinelé, bežne využívané zdroje ionizujúceho žiarenia sú spravidla na úrovni kBq, MBq až GBq, pričom $1 \text{ kBq} = 1000 \text{ Bq}$ (10^3 Bq), $1 \text{ MBq} = 1.000.000 \text{ Bq}$ (10^6 Bq), $1 \text{ GBq} = 1.000.000.000 \text{ Bq}$ (10^9 Bq). Staršou jednotkou aktivity je 1 Curie (Cu). 1 Cu zodpovedá aktivite 1 g rádia a rovná sa 37 GBq ($37.000.000.000 \text{ Bq} = 37 \cdot 10^9 \text{ Bq}$).

DOBA POLPREMENY

Doba polpremeny ($T_{1/2}$) je jedna zo základných charakteristík rádioaktívneho prvku a udáva časový interval, za ktorý sa rádioaktívnou premenou rozpadne presne polovica rádioaktívneho zdroja. Napr.: pri dobe polpremeny 5 dní, zdroj o aktivite 100 Bq bude mať aktivitu po 5-tich dňoch rovnú 50 Bq, po 10-tich dňoch 25 Bq, po 15-ich dňoch 12,5 Bq atď.

Jednotkou doby polpremeny je sekunda, hodina, resp. rok.

Staršie názvy: polčas premeny, polčas rozpadu, čas/doba premeny.

DÁVKA (ABSORBOVANÁ DÁVKA)

Dávka (D) je podiel strednej energie $d\varepsilon$ odovzdanej ionizujúcim žiarením objemovému elementu látky a hmotnosti dm tohto objemového elementu.

Gray

Jednotkou dávky je Gray ($\text{Gy} = \text{J.kg}^{-1}$) a udáva, koľko energie sa absorbovalo v 1 kg látky, tkaniva alebo orgánu. Touto jednotkou

možno vyjadriť aj celkovú dávku žiarenia absorbovanú telom človeka. Staršia jednotka je 1 rad ($1 \text{ rad} = 10^{-2} \text{ Gy} = 0,01 \text{ Gy}$).

DÁVKOVÝ PRÍKON / PRÍKON DÁVKY

Dávkový príkon (\bar{D}) je prírastok absorbovanej dávky dD za časový interval dt . Jednotkou je Gray za sekundu ($\text{Gy}\cdot\text{s}^{-1}$).

EKVIVALENTNÁ DÁVKA

Ekvivalentná dávka (H_T) je priemerná absorbovaná dávka v tkanive alebo orgáne, vynásobená príslušným radiačným váhovým faktorom. Radiačný váhový faktor w_R vyjadruje rozdielny biologický účinok jednotlivých druhov ionizujúceho žiarenia (pre alfa žiarenie $w_R=20$, pre fotóny a gama žiarenie $w_R=1$, pre beta žiarenie $w_R=1$ a pre neutrónové žiarenie, (podľa energie neutrónov) $w_R=5$ až $w_R=20$).

EFEKTÍVNA DÁVKA

Efektívna dávka (E) je súčtom ekvivalentných dávok H_T vo všetkých orgánoch alebo tkanivách vynásobených príslušným tkanivovým váhovým faktorom w_T . Tkanivový váhový faktor w_T zohľadňuje rôznu radiosenzitivitu (citlivosť) orgánov a tkanív na ionizujúce žiarenie.

DÁVKOVÝ EKVIVALENT

Charakterizuje absorbovanú dávku žiarenia, ktorá pri akomkoľvek type ionizujúceho žiarenia vyvolá v organickej látke rovnaký biologický účinok. Dávkový ekvivalent sa používa na vyjadrenie relatívnej biologickej účinnosti žiarenia pre človeka. Pre beta a fotónové žiarenie sa $1\text{Gy} = 1 \text{ Sv}$.

SIEVERT

Sievert ($1 \text{ Sv} = 1 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$) je jednotkou dávkového ekvivalentu ionizujúceho žiarenia a je osobitným názvom aj pre jednotku ekvivalentnej alebo efektívnej dávky. Charakterizuje biologický ekvivalent dávky o veľkosti 1 Gray.

Staršou jednotkou dávkového ekvivalentu je „rem“, pričom platí $1 \text{ rem} = 0,01 \text{ Sv}$.

DCÉRSKE PRODUKTY RADÓNU

Sú to izotopy, ktoré vznikajú pri rádioaktívnej premene radónu (^{222}Rn) – tzv. „krátkodobé dcérske produkty“ až po stabilný izotop olova (^{208}Pb). Dcérske produkty sa zachytávajú na drobných prachových časticiach a ako aerosóly sa po vdýchnutí zachytávajú v pľúcnom epiteli. Ožarovanie pľúcneho tkaniva potom následne zvyšuje pravdepodobnosť vzniku pľúcnej rakoviny.

Úvod

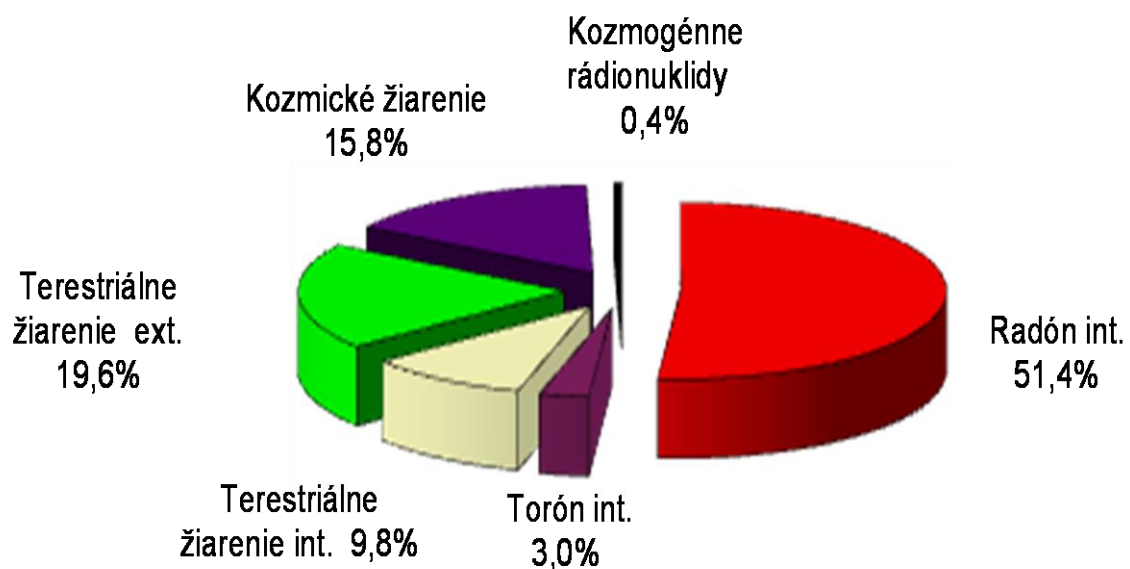
Ionizujúce žiarenie (IŽ) je sprevádzajúci fenomén života na zemi so spoločenským prínosom, ale aj možnou zdravotnou ujmom. Na jednej strane je prirodzenou súčasťou životného prostredia a na druhej strane dôsledkom ľudskej činnosti pri uvedomelom využívaní zdrojov ionizujúceho žiarenia. Ochrana pred ionizujúcim žiarením je komplexným problémom, ktorého prioritou je sledovanie a hodnotenie radiačnej záťaže z rôznych zdrojov ionizujúceho žiarenia a zároveň jej obmedzovanie na čo najnižšiu možnú mieru.

Celá biosféra, a teda aj človek, sa už od svojho vzniku nachádza v poli prírodného rádioaktívneho žiarenia, ktoré je však veľmi nerovnomerné. Niektoré skupiny obyvateľov na Zemi sú svojím prírodným prostredím ožarované dávkami, ktoré prevyšujú svetový priemer dávok na 1 obyvateľa 10 až 100 násobne a vo výnimočných prípadoch sú na hranici dávok pre deterministické účinky žiarenia. Poznatky o prírodnej rádioaktivite zložiek životného prostredia a ich účinkoch na organizmus sa začali systematicky zhromažďovať od roku 1955. Vtedy Medzinárodná Komisia pre Radiačnú Ochranu (ICRP) poverila Vedecký Výbor Organizácie Spojených národov na sledovanie účinkov atómového žiarenia (UNSCEAR) posúdením závažnosti rádioaktívneho spadú z pokusných jadrových výbuchov. Výsledkom bolo potvrdenie dominantného významu prírodných zdrojov žiarenia, ako aj skutočnosť, že na celosvetovom priemere radiačnej záťaže obyvateľstva sa inhalácia dcérskych produktov radónu podieľa takmer polovicou. Je určitým paradoxom, že vôbec najväčšiemu ožiareniu obyvateľstva zo zdrojov ionizujúceho žiarenia, a to radónom v ovzduší budov, sa začala venovať pozornosť až v 70. a 80. rokoch, odkedy sú celosvetovým trendom požiadavky na výrazné zvyšovanie mapovania koncentrácie radónu v pobytových priestoroch, na návrhy a uplatňovanie nápravných opatrení pre znižovanie expozície radónu, ako aj na modelovanie procesov vedúcich ku vzniku rakoviny pľúc po ožarení radónom a torónom v pracovnom a životnom prostredí.

Prírodná rádioaktivita pochádza z mimozemských zdrojov (extraterestriálnych) a od rádioaktívnych prvkov rozptýlených v zemskej kôre (terestriálne žiarenie). Prírodné rádionuklidy, ktoré sa nachádzajú v našom životnom prostredí možno podľa pôvodu rozdeliť do troch skupín:

1. **Kozmogénne** rádionuklidy. Vznikajú kontinuálne jadrovými reakciami pri interakcii kozmického žiarenia so stabilnými prvkami, predovšetkým vo vonkajšej atmosfére a ožarujú človeka externe (napr. ^{14}C , ^3H , ^7Be , ^{22}Na), pričom veľkosť ožiarovania závisí od nadmorskej výšky a polohy na Zemi.
2. **Primordiálne** (pôvodné) rádionuklidy. Tieto vznikli približne pred 4,5 miliardami rokov pri začiatkovej syntéze prvkov, z ktorých sú zložené planéty slnečnej sústavy. Do dnešných dní sa z nich zachovali len tie, ktoré majú dostatočne dlhú dobu polpremeny ($>10^8$ rokov, napr. ^{238}U , ^{235}U , ^{232}Th , ^{40}K , ^{87}Rb). Veľká časť pôvodne prítomných rádionuklidov z dôvodu kratšej doby polpremeny už „vymrelo“, resp. nie sú detegovateľné.
3. **Sekundárne** rádionuklidy vznikajú z pôvodných rádionuklidov, ktoré tvoria premenové rady. Pôvodne sa nachádzali v štyroch premenových radoch (urán-rádiový, začína ^{238}U , thóriový od ^{232}Th , aktíniový od ^{235}U a neptúniový od ^{237}Np). Dnes sa v prírode stretáme už len s prvými tromi.

Posledné dve skupiny prírodných rádionuklidov sú „pozemského“ pôvodu a nachádzajú sa preto vo všetkých zložkách zemského povrchu (horniny aj pôdy) vo väčšej, alebo menšej miere. Nazývame ich **terestriálne rádionuklidy**.



Obr.č.1: Príspevok od jednotlivých prírodných zdrojov ionizujúceho žiarenia k celkovej radiačnej záťaži obyvateľstva

Z hľadiska ožiarenia človeka sú však významné len niektoré prírodné rádionuklidy. Prítomnosť uránu, tória a draslíka v horninách a pôdach (vrstva spravidla niekoľko desiatok centimetrov) má za následok externé ožiarenie, teda vonkajšie ožiarenie gama rádionuklidmi. Priemerný dávkový príkon od terestriálneho žiarenia je vo svete približne $0,057 \mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$. Slovensko patrí ku krajinám so zvýšeným radónovým rizikom a priemerný príkon dávky fotónového žiarenia v jeho prírodnom prostredí, vrátane kozmického žiarenia, je okolo $0,1 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$, resp. $0,1 \mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$ ($0,1\cdot 10^{-6} \text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$). Vo svete sa však nachádzajú aj oblasti s extrémnymi hodnotami dávkového príkonu, ako napr. Brazília – $50 \mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$, India – $2 \mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$, Irán ($1-10$) $\mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$. Pre interné ožiarenie, teda vnútornú expozíciu v dôsledku inhalácie (vdychovanie aerosólových častíc) a ingescie (konzumácia rádionuklidov prítomných v potravinách) sú dominantnými rádionuklidmi radón (^{222}Rn), torón (^{220}Rn), ich produkty premeny (izotopy polónia, olova a bizmutu) a izotop draslíka (^{40}K). Treba však poznamenať, že s výnimkou inhalácie radónu a jeho produktov premeny, ktoré spôsobujú najvyššie dávky obyvateľstva, podstatne väčší príjem rádionuklidov obyvateľstvom je ingesciou, teda konzumnáciou potravín, nakoľko rádionuklidy nachádzajúce sa v horninách a pôde migrujú aj do vody, ovzdušia a potravinových reťazcov.

RADÓN

Prvoradú pozornosť spomedzi rádioaktívnych prvkov si vzhľadom na zdravotné účinky a veľkosť expozície zasluguje radón. Radón je prírodný rádioaktívny plyn bez vône, chuti, farby a zápachu a je prítomný na celom zemskom povrchu. Má protónové číslo 86 a v prírode je zastúpený tromi rádionuklidmi (izotopmi). V tab.č.1 je uvedený ich pôvod a doba polpremeny a historický názov.

Premenový rad	Rádionuklid	Doba polpremeny	Názov
Uránový	Rn – 222	3,82 dňa	Radón
Urán-aktíniový	Rn – 219	3,92 sekúnd	Aktinón
Tóriový	Rn – 220	55,3 sekúnd	Torón

Tab.č. 1 : Izotopy radónu

Z rádioizotopov radónu, izotop ^{222}Rn z hľadiska doby polpremeny a zdravotných účinkov je najzávažnejší. Je dcérskym produktom alfa premeny ^{226}Ra , ktorý vzniká pri rádioaktívnej premene ^{238}U , materského nuklidu uránovej premenovej rady. ^{222}Rn sa ďalej s krátkou dobou polpremeny (3,82 dňa) premieňa na svoje dcérske produkty ktoré sa v aerosólovej forme zachytávajú v pľúcnom epiteli. Dcéorskými produktmi rádioaktívnej premeny ^{222}Rn sú izotopy polónia, bizmutu až nakoniec stabilné olovo (^{218}Po , ^{214}Pb , ^{214}Bi , ^{214}Po , stabilný izotop ^{208}Pb).

Koncentrácia radónu v pôdnom vzduchu závisí od obsahu uránu a thória v horninách a od fyzikálnych vlastností hornín. Objemová aktivita radónu v horninovom prostredí je priamo úmerná hmotnostnej aktivite rádia v tomto prostredí, hustote horninového prostredia, koeficientu emanácie (uvolňovania) a nepriamo úmerná jeho pórovitosti. Z regionálneho hľadiska ovplyvňujú objemovú aktivitu radónu pri bežných koncentráciách rádia v horninovom komplexe zmeny hustoty a pórovitosti tohto prostredia. Pôda, vzduch, alebo voda v horninách sú teda sprostredkovateľmi prenosu radónu z hornín do atmosféry.

V otvorenom prostredí podlieha koncentrácia radónu vysokému riedeniu s atmosférickými plynmi, takže jeho objemové aktivity (OAR) sú pomerne nízke. Na základe meraní objemovej aktivity radónu vo voľnom ovzduší je celosvetový odhad koncentrácie ^{222}Rn vo vzduchu cca $4 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$.

RADÓN A ZDRAVIE

Radón so svojimi dcérskymi produktmi sa dostáva do dýchacieho traktu, kde sa interakciou s pľúcnym tkanivom usadzuje a zachytáva, čím poškodzuje pľúcne tkanivo a môže spôsobovať rakovinu pľúc. Rakovina vyvolaná radónom nevzniká okamžite, doba po ktorej sa môžu začať prejavovať príznaky tohto ochorenia je 10 až 30 rokov.

Epidemiologickými štúdiami bolo celosvetovo dokázané, že so vzrastajúcou koncentráciou vdychovaných produktov premeny radónu a rastúcou dĺžkou pobytu v takom prostredí sa zvyšuje pravdepodobnosť ochorenia na rakovinou pľúc. V minulosti sa štúdie týkali baníkov uránových baní, kde bolo riziko sledované približne od konca druhej svetovej vojny v niekoľkých krajinách sveta. Pre radón bolo v minulosti prijaté priblíženie (odhad), ktoré

vychádza z epidemiologických štúdií príčinných súvislostí medzi ožiareními radónu a úmrtím na rakovinu pľúc, spôsobeným špeciálnou expozíciou (pôvodne v jednotkách WLM), s celkovým rizikom zdravotnej ujmy vyjadreným v efektívnej dávke E. V radiačnej ochrane indikuje riziko vzniku nádorového ochorenia organizmu v dôsledku nerovnomerne aplikovaného ionizujúceho žiarenia jednotlivým orgánom a tkanivám ľudského tela. Koeficient nominálnej zdravotnej ujmy, ktorý sa doposiaľ používal na konverziu expozície radónu na riziko úmrtia na rakovinu pľúc je $2,83 \cdot 10^{-4}$ per WLM ($4 \cdot 10^{-8}$ na Bq.h.m⁻³).

V ostatných dvadsiatich rokoch bolo toto riziko jednoznačne potvrdené aj pre byty. Pre kvantifikáciu zdravotného rizika sú významné závery spoločnej analýzy výsledkov z trinástich epidemiologických štúdií, ktoré boli uskutočnené v Európe. Táto štúdia dospela k stanoveniu tzv. koeficientu relatívneho rizika, s hodnotou 0,16 pri objemovej aktivite radónu 100 Bq.m⁻³, čo znamená, že pri pobyte v dome s touto objemovou aktivitou radónu sa riziko, že obyvatelia ochorejú na rakovinu pľúc, zvyšuje o 16 %. Podiel prípadov rakoviny pľúc, ktoré súvisia s ožiareními radónu v pobytových priestoroch, predstavuje vo väčšine štátov zahrnutých do ekologických epidemiologických štúdií 5-10%, pričom prahová hodnota pre expozíciu radónu, ktorá určite neprispieva k vzniku rakoviny pľúc sa nedá s určitosťou stanoviť. Výsledkom epidemiologických štúdií je tiež poznatok, že spoločné pôsobenie radónu a fajčenia škodlivé účinky na zdravie zosilňujú, t.j. poškodenie je vyššie ako jednoduchý súčet pôsobenia oboch faktorov.

Zhodnotenie nových poznatkov a vedeckých informácií o zdravotných účinkoch, ktoré sú dôsledkom expozície radónu a jeho dcérskym produktom v pobytových priestoroch, bolo podkladom pre Medzinárodnú Komisiu pre Rádiologickú Ochranu (ICRP) k jednotnému ustanoveniu nominálneho rizika zdravotnej ujmy pre populáciu všetkých vekových kategórií. Pre radón (²²²Rn) v rovnováhe s dcérskymi produktmi je nový koeficient rizika 8×10^{-8} na Bq.h.m⁻³ ($5 \cdot 10^{-4}$ WLM). V súlade s touto revíziou a zohľadnením referenčných podmienok profesionálnych a občianskych expozícií, ako aj charakteristík inhalovaných aerosólov radónu, je jednoznačným záverom, že efektívna dávka na jednotku expozície radónu sa zdvojnásobuje. Podľa UNSCEAR-u je priemerná hodnota koncentrácie Rn v pobytových priestoroch EU 60 Bq.m⁻³. Dá sa

teda predpokladať, že radón v pobytových priestoroch prispieva k ožiareniu každého obyvateľa európskej únie efektívnou dávkou 2,3 mSv za rok oproti 1,2 mSv podľa doterajších odporúčaní.

Ak vychádzame z lineárneho nárastu rizika vzniku rakoviny pľúc o 16% na $100 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$, spôsobuje Rn v pobytových priestoroch Európy cca 9% všetkých úmrtí na rakovinu pľúc, a cca 2% všetkých úmrtí na nádorové ochorenia. V absolútnych číslach to znamená, že cca 20 000 ľudí v Európe zomrie ročne na rakovinu pľúc v dôsledku ožiarovania radónom.

V tab.č.2 sú uvedené dôsledky zmien v charakteristike rizika vzniku rakoviny pľúc v dôsledku ožiarovania radónu v pobytových priestoroch.

	Súčasnú		Nové	
	Pobytový priestor	v práci	Pobytový priestor	v práci
Konverzný faktor	4mSv/ WLM	5mSv/ WLM	9mSv/ WLM	12mSv/ WLM
Nominálny koef. rizika	$2,83\cdot 10^{-4}/\text{WLM}$ ($4,5\cdot 10^{-8}/\text{Bq}\cdot\text{h}\cdot\text{m}^{-3}$)	$2,83\cdot 10^{-4}/\text{WLM}$ ($4,5\cdot 10^{-8}/\text{Bq}\cdot\text{h}\cdot\text{m}^{-3}$)	$5,0\cdot 10^{-4}/\text{WLM}$ $8\cdot 10^{-8}/\text{Bq}\cdot\text{h}\cdot\text{m}^{-3}$	$5\cdot 10^{-4}/\text{WLM}$ $8\cdot 10^{-8}/\text{Bq}\cdot\text{h}\cdot\text{m}^{-3}$
Podiel rizika na 1Sv	7,1%/Sv	5,6%/Sv	5,5%/Sv	4%/Sv

Tab.č.2: Zmeny v charakteristike rizika vzniku rakoviny pľúc

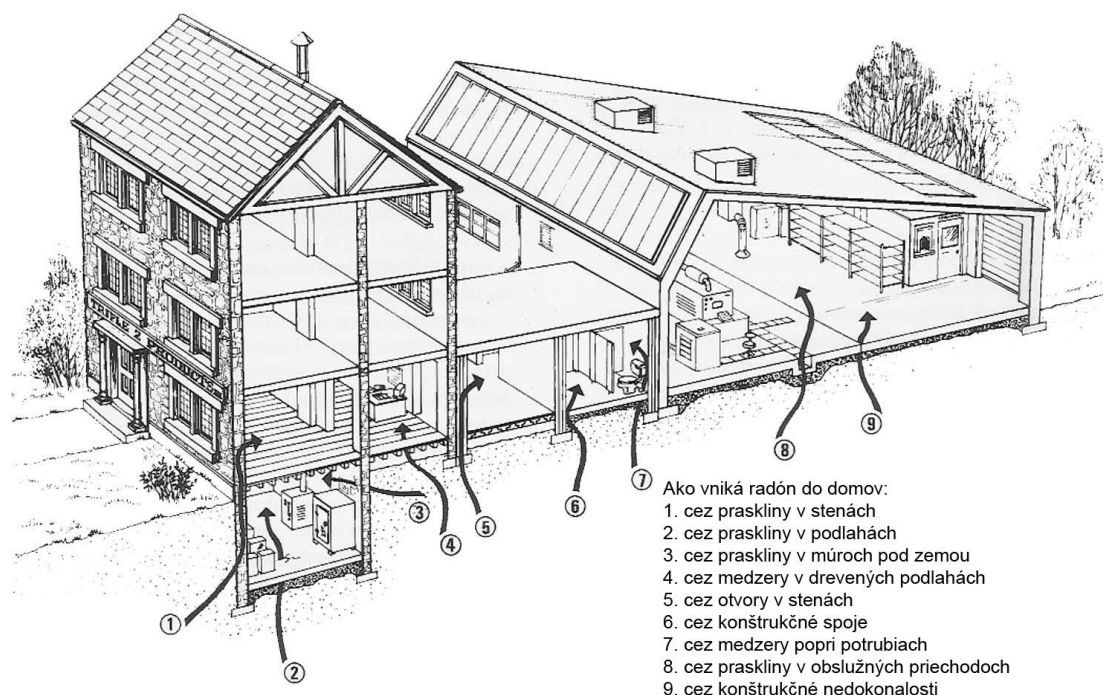
Informovanie obyvateľstva o uvedených zmenách je nedostatočné a zmeny preto neregistruje. Vlády jednotlivých krajín by mali v čo najkratšom čase vymenovať Komisiu pre lepšiu informovanosť o radónovej situácii v krajine a o možnostiach zníženia koncentrácie radónu, resp. preventívneho zamedzenia vstupu radónu do pobytových priestorov.

RADÓN V STAVEBNOM OBJEKTE

Do stavebného objektu (domov) sa radón dostáva prasklinami v samotnej stavbe, najmä v základoch, priamym kontaktom s pôdou, medzerami medzi rozvodmi vodovodných potrubí, kabeláže a inými štrukturálnymi poruchami. Určité množstvo radónu preniká aj zo zdrojov vody, vonkajšieho prostredia a stavebných materiálov. To všetko, ak sú podcenené „protiradónové opatrenia“, môže mať za následok vysokú kumuláciu radónu a jeho dcérskych produktov

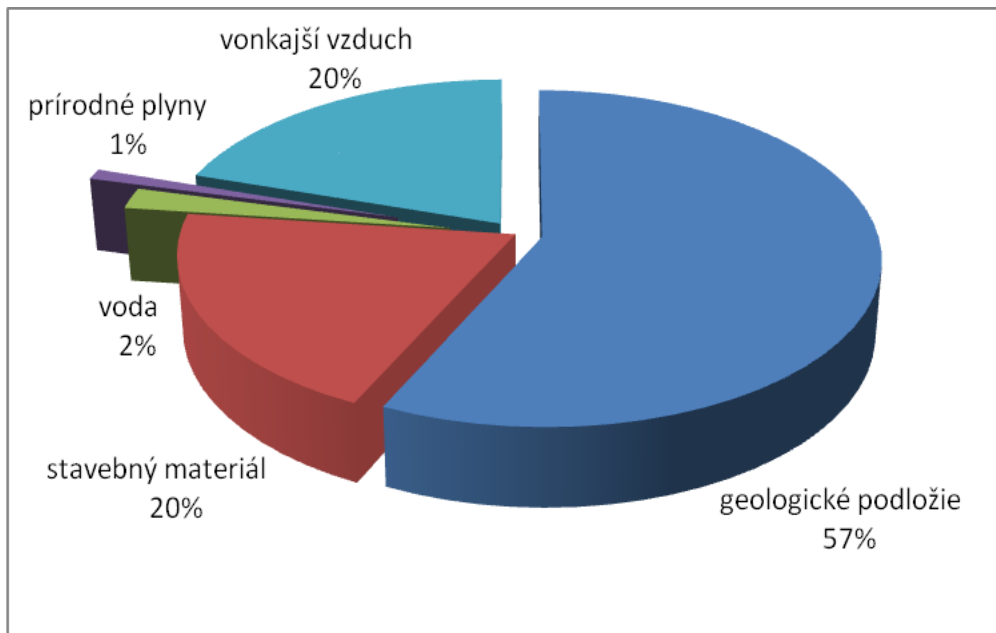
v stavebnom objekte. Inhalácia vysokých koncentrácií radónu a jeho dcérskych produktov potom zvyšuje riziko incidencie (vzniku) rakoviny pľúc.

Veľký význam pre prenos radónu má aj tektonická porušenosť hornín. Tektonické poruchy umožňujú transport radónu na veľké vzdialenosti. Medzi faktory ovplyvňujúce pohyb radónu patrí napr. koeficient priepustnosti hornín. Všeobecne platí, že radón v zóne aktívneho pohybu podzemných vôd ľahšie migruje do prostredí s vyššou priepustnosťou. Krátkodobé a dlhodobé variácie radónu súvisia s klimatickými pomermi. Veľmi dôležité sú najmä výrazné rozdiely v objemovej aktivite radónu meranej v zimnom a letnom období (v zime sa namerajú až trojnásobne vyššie hodnoty ako v letných mesiacoch), vyznačujúce sa výrazným gradientom rastu resp. poklesu v jesennom a jarnom období. Tieto zmeny nepriamo súvisia so zmenami teploty vzduchu a pôdy. Zmeny teploty pôdneho prostredia sú sprevádzané aj zmenami pôdnej vlhkosti, čím ovplyvňujú emanáciu (uvoľňovanie) a tým aj objemovú aktivitu radónu. Koncentrácia radónu v ovzduší budov sa výrazne mení v priebehu dňa a noci, v priebehu jednotlivých dní, ročných období a dokonca aj rokov. Tieto zmeny sú výsledkom hlavne zmeny vetrania, zmeny v celkovom prísune radónu a meteorologických podmienok. Na obrázku č.2 sú uvedené cesty prenikania radónu do stavebných objektov.



Obr.č.2.: Spôsoby prenikania radónu do pobytových priestorov

Podiel jednotlivých ciest prísunu radónu k jeho celkovej koncentrácii v stavebnom objekte je uvedený na obr.č.3.



Obr.č.3: Podiel jednotlivých zdrojov radónu na jeho koncentraciu v objekte.

PODLOŽIE

Ako vidno z obrázku, najväčším zdrojom radónu v objekte je geologické podložie. Koncentrácia radónu v konkrétnom dome úzko súvisí s radónom prítomným v podloží, plynopriepustnosti tohto podložia a tesnosťou objektu voči podložiu. Najväčší podiel na prísune radónu do miestností má aktívne nasávanie radónu budovou (komínový efekt). Toto nasávanie vracia so zväčšujúcim sa rozdielom medzi vnútornou a vonkajšou teplotou, čoho výsledkom je podtlak v budove. Najväčší prísun radónu do budovy je pozorovaný v noci a ranných hodinách, čo vysvetľuje viac menej pravidelné kolísanie koncentrácie radónu v priebehu noci a dňa. Z rovnakých dôvodov je v priemere väčší prísun radónu v zimnom období ako v letnom. Radón je však možné z domu relatívne ľahko odstrániť použitím rôznych typov ozdravných (nápravných) opatrení.

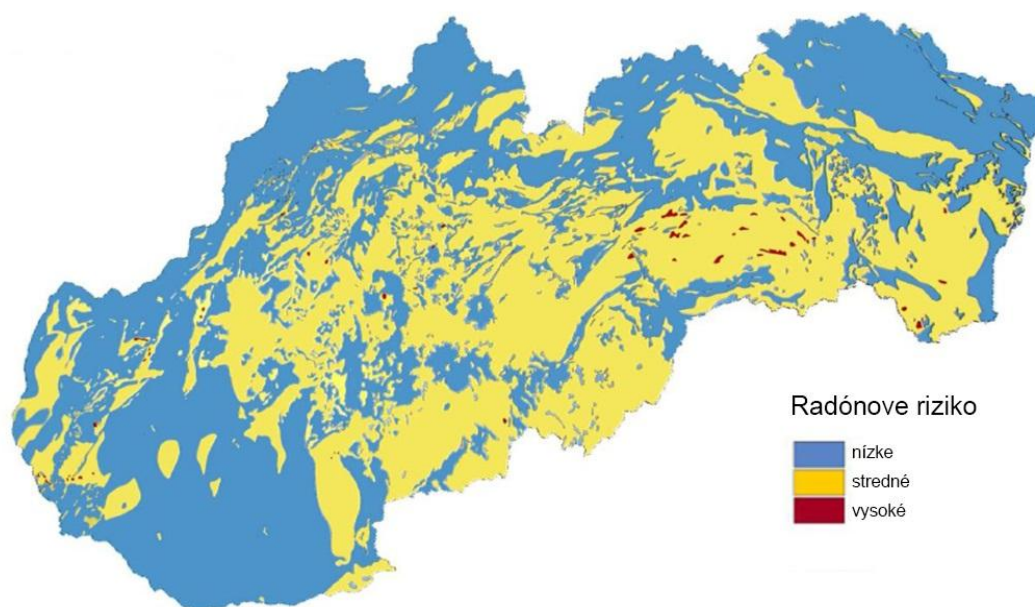
Základným a najefektívnejším opatrením vedúcim k regulácii ožiarovania a teda k minimalizácii nežiaducich zdravotných účinkov v dôsledku ožiarovania radónom, je realizácia radónového prieskumu pod projektovaným objektom a stanovenie radónového rizika stavebnej parcely. Znalosť kategórie radónového rizika slúži potom projektantovi ako podklad pre projektovanie protiradónových

opatrení. Spoliehať sa na Mapy radónového rizika SR nie je v tomto kontexte veľmi vhodné, nakoľko tieto mapy boli realizované v mierkach 1:50 000 až 1:200 000 pre geológov, ako všeobecná informácia. 1 mm na takejto mape predstavuje 500 m až 2000 m, čo má za následok vysokú nepresnosť stanovenia indexu radónového rizika pre konkrétnu stavebnú parcelu. Skúsenosti ukazujú, že tektonické zlomy sa môžu prejaviť aj na úsekoch od 10 m do 20 m, čo obvykle býva šírka jedného stavebného pozemku. V skratke to znamená, že investor by mal zabezpečiť stanovenie radónového rizika pozemku meraním a na jeho základe realizovať protiradónové opatrenia. Pre investorov, z platnej legislatívy (Vyhláška MZ SR č 528/2007 Z.z., ktorou sa ustanovujú podrobnosti o požiadavkách na obmedzenie ožiarenia z prírodného žiarenia) vyplýva povinnosť zabezpečenia stanovenia objemovej aktivity radónu v pôdnom vzduchu a to na celom stavebnom pozemku v mierke minimálne (10x10) m. Ak radónové riziko pozemku je iné ako nízke, investor je povinný overiť účinnosť vykonaných opatrení meraním objemovej aktivity radónu v objekte ešte pre jeho kolaudáciu. Tieto protokoly z meraní je nutné predložiť už pri žiadosti o stavebné povolenie ako aj pri kolaudačnom konaní. V praxi však tieto protokoly sa často krát nevyžadujú z dôvodov neznalosti zákona, jeho zlého výkladu, alebo snahe investora ušetriť. Následná realizácia nápravných opatrení v už postavenom objekte, potom spravidla vždy vyžaduje výrazne vyššie finančné náklady na obmedzenie expozície radónu. Pokiaľ staviate individuálne, podľa platnej legislatívy v súčasnosti je len na Vás, či chcete bývať zdravo, alebo nie. V rámci novelizácie stavebného zákona, by práva a povinnosti z hľadiska hygieny bývania mali byť zadefinované jednoznačne. V tabuľke č. 3 je uvedená kategória radónového rizika v závislosti od priepustnosti podlažia podľa platnej legislatívy (Vyhláška MZ SR č.528/2007 Z.z.)

Radónové riziko	Objemová aktivita radónu v pôdnom vzduchu [kBq.m ⁻³]		
	priepustnosť podlažia		
	nízka	stredná	vysoká
nízke	<30	<20	<10
stredné	30 - 100	20 - 70	10 - 30
vysoké	>100	>70	>30

Tab.č.3: Klasifikácia radónového rizika

Na obr.č.4 je uvedené rozdelenie územia Slovenska vzhľadom na radónové riziko. Podľa prieskumu koncentrácie radónu v pôdnom vzduchu, uskutočneného Štátnym geologickým ústavom Dionýza Štúra v Bratislave, 51% územia SR patrí do 1. kategórie rizika, 46% územia do 2. kategórie rizika a 3% územia do 3. kategórie rizika.



Obr.č.4: Územie Slovenska podľa kategórii radónoveho rizika

STAVEBNÝ MATERIÁL

Stavebný materiál je ďalším, významným zdrojom radónu v stavbách. Prítomnosť rádionuklidov v stavebných materiáloch a surovinách má za následok vonkajšie, ale aj vnútorné ožiarenie. Vonkajšie (externé) ožiarenie je dôsledkom expozície fotónovým žiarením, ktoré je emitované pri rádioaktívnej premene rádionuklidov ^{238}U , ^{232}Th a ^{40}K . Vnútorné (interné) ožiarenie je dôsledkom inhalácie ^{222}Rn a jeho dcérskych produktov, ktorý je emitovaný pri rádioaktívnej premene ^{226}Ra z uránovej premenovej rady a do objektu sa dostáva difúziou zo stien. Všetky tieto rádionuklidy (urán, thórium, draslík) sú primárne obsiahnuté v stavebnom materiáli alebo surovine a ich koncentrácia v primárnych stavebných surovinách závisí predovšetkým od geologického podložia, u sekundárnych stavebných materiálov

hlavne od spôsobu ich spracovania. Príspevok k radiačnej záťaži obyvateľstva zo stavebných materiálov je cca 20%.

Koncentrácia prírodných rádionuklidov, charakterizovaná hmotnostnou aktivitou A [$\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$] sa v stavebných materiáloch a surovinách stanovuje na základe gamaspektrometrickej analýzy. Hmotnostná aktivita rádia ^{226}Ra a tória ^{232}Th sa stanovuje váženým priemerom koncentrácie ich produktov premeny (^{214}Bi , ^{214}Pb , ^{228}Ac , ^{208}Tl a ^{212}Pb). Koncentrácia ^{40}K sa stanovuje z početnosti impulzov v jeho fotopíku o energii gama žiarenia 1400 keV. Vzorky stavebných materiálov a surovín sa merajú gamaspektrometricky, na základe detekcie gama žiarenia charakteristického pre jednotlivé rádionuklidy, spravidla po dobu (30 000 - 60 000) s. Pre možnosť regulácie externého ožiarovania fotónovým žiarením sa výpočtom stanovil „ekvivalent hmotnostnej aktivity ^{226}Ra “, ktorý vychádzal zo skutočnosti, že $10 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ }^{226}\text{Ra}$, $7 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ }^{232}\text{Th}$ a $130 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ }^{40}\text{K}$ spôsobí rovnakú radiačnú záťaž z gama žiarenia. Smerná hodnota pre nápravné opatrenia podľa legislatívy platnej do roku 2007 pre ekvivalent hmotnostnej aktivity ^{226}Ra bola $370 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$. Poslednou novelizáciou platnej legislatívy (Vyhláška MZ SR č.528/2007 Z.z. ktorou sa ustanovujú podrobnosti o požiadavkách na obmedzenie ožiarovania z prírodného žiarenia), bol ekvivalent hmotnostnej aktivity ^{226}Ra nahradený veličinou „index“ hmotnostnej aktivity rádionuklidov v stavebných materiáloch a surovinách, ktorý rovnako charakterizuje celkové externé ožiarovanie z gama nuklidov obsiahnutých v danom materiáli/vzorke. Smernou hodnotou pre vykonanie nápravných opatrení na zníženie obsahu prírodných rádionuklidov v stavebných materiáloch a výrobkoch určených na výstavbu stavieb s pobytovými priestormi, podľa v súčasnosti platnej legislatívy, je hmotnostná aktivita $^{226}\text{Ra}=120 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$. Najvyššia prípustná hodnota indexu hmotnostnej aktivity prírodných rádionuklidov v stavebných výrobkoch určených pre pobytové priestory = 1 a pre nepobytové priestory = 2.

Stanovenie obsahu prírodných rádionuklidov v stavebnom materiáli je zaradené medzi najvýznamnejšie činnosti z hľadiska radiačnej ochrany a regulácie ožiarovania obyvateľstva prírodnými rádionuklidmi a protokoly o hygienickej nezávadnosti z hľadiska hygieny žiarenia sú neoddeliteľnou súčasťou schvaľovacieho procesu na uvedenie materiálu na trh. V rámci doterajšieho skríningu (prieskum) stavebných materiálov bolo analyzovaných cca 4 000 vzoriek stavebných materiálov a surovín uvádzaných na

trh v SR. Z doterajších výsledkov meraní vyplýva, že obsah rádionuklidov ^{226}Ra a ^{232}Th je obvykle na úrovni desiatok Bq.kg^{-1} , obsah rádionuklidu ^{40}K je rádovo stovky Bq.kg^{-1} . Vyššie hodnoty vykazujú spravidla materiály, pri výrobe ktorých sa používajú „sekundárne (odpadové) materiály“ (popolček, vysokopecná troska, škvara...).

V tabuľke č.4 je uvedený prehľad maximálnych a minimálnych nameraných objemových aktivít ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K a A_{ekv} vo vybraných typoch stavebných materiálov a surovín. Z hľadiska ožiarenia osôb sú významné predovšetkým tie materiály, ktoré sú v stavbe zastúpené najväčším podielom.

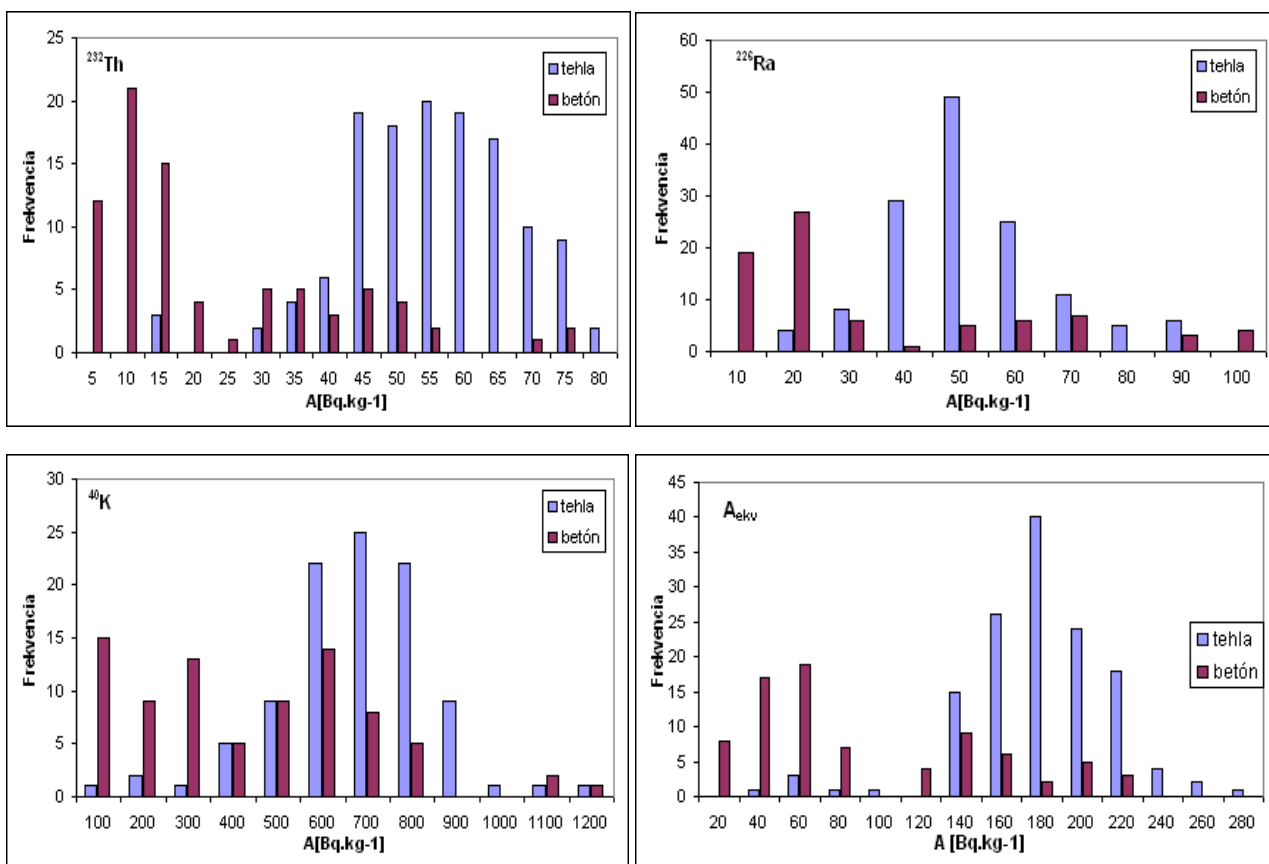
Materiál	N	K [Bq.kg^{-1}]		Ra [Bq.kg^{-1}]		Th [Bq.kg^{-1}]		a_{ekv} [Bq.kg^{-1}]	
		max \pm SD	medián	max \pm SD	medián	max \pm SD	medián	max \pm SD	medián
cement	319	1407 \pm 99	252	118 \pm 18	34	100 \pm 15	21	232 \pm 15	84
kamenivo	505	160 \pm 96	380	71 \pm 11	12	106 \pm 16	11	289 \pm 16	58
štrkopiesok	143	1030 \pm 72	211	87 \pm 13	10	67 \pm 10	7	211 \pm 10	39
tehla	127	1153 \pm 92	667	86 \pm 13	47	89 \pm 9	56	276 \pm 9	176
malta + omietka	355	700 \pm 63	143	150 \pm 23	14	105 \pm 16	9	307 \pm 16	42
obklady + dlažba	21	1520 \pm 106	539	120 \pm 19	31	119 \pm 18	41	348 \pm 18	124
betón	54	740 \pm 59	219	207 \pm 31	12	85 \pm 13	9	810 \pm 13	44
prísady do betónu	421	3426 \pm 206	13	253 \pm 38	1	142 \pm 17	2	467 \pm 17	17
popol + popolčeky	35	2685 \pm 188	580	323 \pm 48	131	190 \pm 24	104	810 \pm 24	345
troska + škvara	33	655 \pm 52	171	136 \pm 20	85	55 \pm 9	31	206 \pm 9	143

Tab.č.4: Maximálne objemové aktivity rádionuklidov ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th a ekvivalentu hmotnostnej aktivity ^{226}Ra so štandardnou neistotou merania a medián (stredná hodnota meraného súboru) v niektorých stavebných materiáloch a surovinách používaných pri výstavbe bytov v SR

Na obr.č.5 je uvedená distribúcia hmotnostných aktivít ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K a A_{ekv} v betóne a tehle, materiáloch typických pre výstavbu pobytočných priestoroch v SR. Na základe výsledkov skríningu týchto stavebných výrobkov, pre štandardný pobytočný priestor o rozmeroch (5x5x2,8)m postavený z tehly o hrúbke 0,2 m a z betónu o hrúbke 0,1 m bola pomocou výpočtového modelu odhadnutá radiačná záťaž obyvateľstva SR.

V tab.č.5 je uvedené porovnanie „kvality bývania“ na základe porovnania publikovaných údajov o ročnej efektívnej dávke z externého ožiarenia v pobytočných priestoroch z betónu a tehly v niektorých európskych krajinách (Nemecko, Nórsko, Švédsko,

Anglicko, India) s úrovnňou ročnej efektívnej dávky v rovnakých pobytových priestoroch SR.



Obr.č.5: Distribúcia hmotnostných aktivít ⁴⁰K, ²²⁶Ra, ²³²Th a ekvivalentu hmotnostnej aktivity ²²⁶Ra vo vybraných stavebných materiáloch

Materiál	Hodnota	E [mSv.r ⁻¹]					EU	SR
		²²⁶ Ra	²³² Th	⁴⁰ K	suma			
betónové panely	min	0,02	0,02	0,02	0,06	0,3 - 1,0	0,31	
	priemer	0,13	0,12	0,07	0,31			
	max	0,35	0,28	0,15	0,77			
tehla	min	0,12	0,21	0,02	0,35	0,78 - 1,6	0,87	
	priemer	0,26	0,42	0,19	0,87			
	max	1,08	1,48	0,35	2,91			

Tab.č. 5: Porovnanie ročnej efektívnej dávky z prírodných rádionuklidov v typickom pobytovom priestore SR a niektorých štátov EÚ.

Odhad ročnej efektívnej dávky obyvateľstva v dôsledku ožiarenia zo stavebných materiálov (mimo expozície radónu z podlažia) je silne konzervatívny

VODA

Obsah radónu vo vode tiež závisí od obsahu uránu a rádia v geologickom podlaží. V povrchových vodách je koncentrácia radónu spravidla na úrovni okolo 10 Bq.l^{-1} . V podzemných vodách sú to podstatne vyššie hodnoty, ktoré úzko súvisia s indexom radónového rizika podlažia. V oblastiach vysokého radónového rizika môže byť koncentrácia radónu v podzemných vodách aj na úrovni tisíc Bq.l^{-1} . Do ovzdušia bytov sa radón uvoľňuje z vody pri sprchovaní, umývaní, varení a praní, čím prispieva k ožiareniu obyvateľstva približne 2%. Pitie vody z hľadiska ožiarenia je považované za menej významné, aj keď jej zdrojom sú podzemné vody. V súlade s platnou legislatívou pre reguláciu ožiarenia obyvateľstva prírodnými zdrojmi ionizujúceho žiarenia (Vyhláška MZ SR č.528/2007 Z.z.) voda vo verejných vodovodoch musí spĺňať príslušné limity a pre koncentráciu radónu v pitnej, rovnako aj v balenej vode, sú stanovené smerné hodnoty (tab.č.6). Na pitnú vodu určenú pre individuálne zásobovanie sa platná legislatíva nevzťahuje, ale obyvateľstvo žijúce v oblastiach s vysokým radónovým rizikom by vo vlastnom záujme malo poznať koncentráciu radónu vo svojom zdroji a v prípade potreby vykonať nápravné opatrenia.

Druh dodávanej vody	Objemová aktivita ^{222}Rn [Bq.l^{-1}]
Pramenitá voda „vhodná na prípravu stravy pre dojčatá“	20
Prírodná minerálna voda	100
Pramenitá voda, balená pitná voda, pitná voda	100

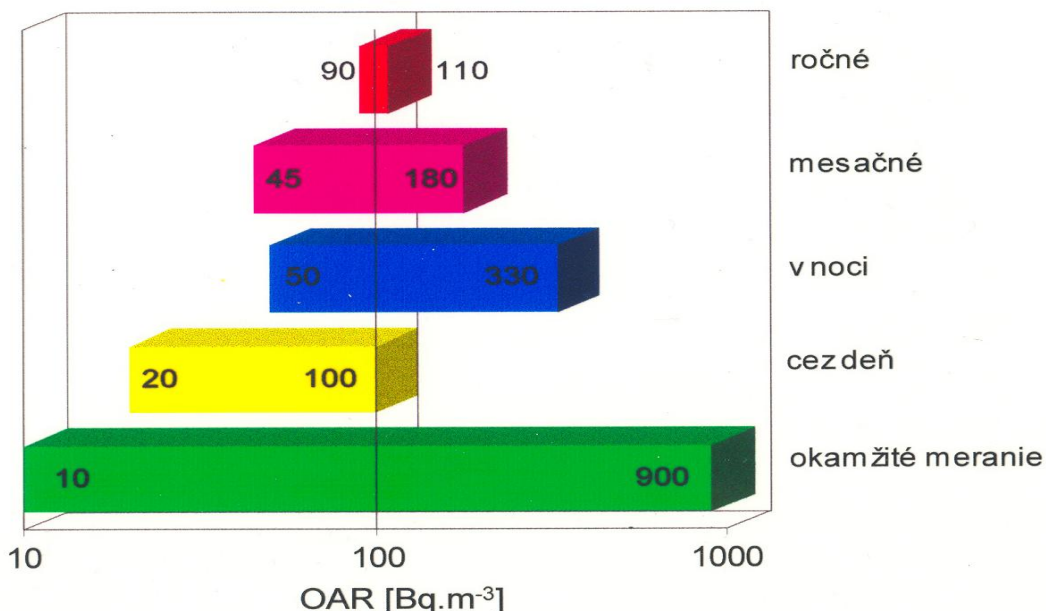
Tab.č.6: Smerné hodnoty pre vodu na vykonanie opatrení

METÓDY MERANIA RADÓNU V POBYTOVÝCH PRIESTOROCH

Zvýšený záujem o riešenie radónovej problematiky v životnom prostredí mal v poslednom období za následok rozvoj metódik a prístrojov pre meranie radónu a jeho krátkodobých dcérskych produktov. Meracie systémy a prístroje môžeme rozdeliť na základe viacerých kritérií. Podľa toho čo merajú poznáme dve základné skupiny:

- meradlá na určovanie objemovej aktivity radónu
- meradlá na určovanie objemových aktivít dcérskych produktov radónu.

Podľa toho, akým spôsobom tieto meradlá merajú, rozoznávame kontinuálne, integrálne a jednorazové meradlá. Pri kontinuálnom meradle ide o dlhodobé meranie, kedy v pravidelných časových intervaloch sú výsledky uchovávané v pamäti a je možné stanoviť koncentráciu meranej hodnoty, ako aj jej fluktuáciu. Integrálne merania majú tiež dlhodobý interval merania, ktorých výsledkom je priemerná hodnota meranej veličiny na danom mieste za celú dobu merania. Jednorázovým meradlom sa stanoví hodnota koncentrácie v čase odberu. Presnosť meraní v závislosti od dĺžky merania je uvedená na obr.č.6



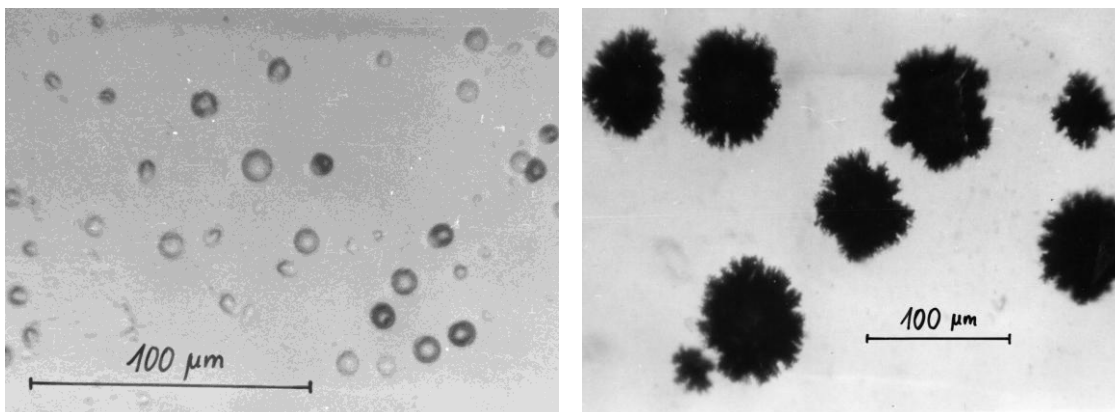
Obr.č.6: Rozptyl jednotlivých meraní v závislosti od doby merania.

Absorpcia radónu na aktívnom uhlí

Princíp tejto metódy spočíva v tom, že v pracovnom priestore, do ktorého cez difúznú bariéru preniká ^{222}Rn je umiestnené aktívne uhlie, na ktoré sa radón absorbuje. Po ukončení expozície sa množstvo radónu absorbovaného uhlím určuje prostredníctvom jeho dcérskych produktov pomocou gamaspektrometrie. Metóda sa využíva na krátkodobé merania koncentrácie radónu v pobytových priestoroch a to v rozsahu 4 až 7 dní, preto má len informatívny charakter.

Detektory stôp v pevnej fáze

Vzhľadom k denným a celoročným variáciám výskytu radónu v pobytovom priestore je dôležité pre čo najpresnejšie stanovenie priemernej koncentrácie radónu použiť dlhodobú integrálnu metódu. Medzi najrozšírenejšie dlhodobé (3-12 mesiacov) integrálne metódy na stanovenie priemernej objemovej aktivity radónu (OAR), prípadne ekvivalentnej objemovej aktivity radónu (EOAR) v pobytovom priestore patrí metóda detektorov stôp v pevnej fáze (DSPF). Integrálna metóda detektorov stôp v pevnej fáze DSPF využíva Yangov poznatok, že na povrchu niektorých dielektrických látok sa pri ožarovaní nabitými časticami vytvoria drobné poruchy, tzv. latentné stopy. Tieto poruchy sú viditeľné iba v elektrónovom mikroskope. Latentné stopy môžu byť zväčšené chemickým, alebo elektrochemickým leptaním, čo potom umožňuje mikroskopické vyhodnocovanie počtu vyleptaných stôp, ako nositeľa informácie o ožiarení. Na obr.č.7 je ukážka expozície detektorov stôp pevnej fáze typu CR-39 radónom a jeho dcérskymi produktmi po chemickom a elektrochemickom vyleptaní.



Obr.č.7: Ukážka stôp po chemickom a elektrochemickom leptaní, pripravené na vyhodnotenie OAR

Detekcia dcérskych produktov radónu

Pri meraní dcérskych produktov ^{222}Rn sa väčšinou používajú aktívne metódy stanovenia koncentrácie. Základ metodiky tvorí presávanie vzduchu cez filter a jeho následné meranie alfa alebo beta aktivity dcérskych produktov vychytaných na filter. Pri jednorazových, alebo opakovaných odberoch sa meranie aktivity filtra uskutočňuje pomocou scintilačného detektora. Nevýhodou metódy využívajúcej jeden merací interval je, že dokážeme stanoviť len sumárnu aktivitu dcérskych produktov. Pomocou metódy využívajúcej dva meracie intervaly dokážeme stanoviť sumárnu objemovú aktivitu dcérskych produktov ^{222}Rn a objemovú aktivitu ^{218}Po . Najpoužívanejšou metódou je metóda využívajúca tri meracie intervaly, pomocou ktorej je možné stanoviť koncentráciu všetkých dcérskych produktov radónu (^{218}Po , ^{214}Pb a ^{214}Po). Najpresnejšou metódou pre stanovenie dcérskych produktov ^{222}Rn je alfa spektrometrická metóda. Stanovenie dcérskych produktov ^{222}Rn kontinuálnym spôsobom využíva presávanie cez otáčaný alebo posúvaný filter a aktivita vychytaných dcérskych produktov sa meria a stanovuje s využitím polovodičových detektorov.

Na obr.č.8 sú dozimetre pre krátkodobé a dlhodobé merania koncentrácie radónu v pobytoých priestoroch, ktoré sa v súčasnosti používajú v SR.



Obr.č. 8: Detektor stôp v pevnej fáze typu CR-39 v difúznej komôrke (dlhodobé merania), scintilačné komôrky (Lukasové komôrky) rôznych objemov s fotonásobičom a detektor objemovej aktivity radónu na báze aktívneho uhlia (krátkodobé merania)

RADÓNOVÁ PROBLEMATIKA V POBYTOVÝCH PRIESTOROCH

Riešiť problém expozície obyvateľstva prírodnými zdrojmi žiarenia, explicitne radónom, znamená v zmysle posledných odporúčaní a požiadaviek medzinárodných organizácií (ICRP, UNSCEAR, WHO, Rada EÚ) výrazne preferovať vytvorenie „akčných radónových programov“ na celonárodnej úrovni za účelom osvety a kvalifikovanej informovanosti obyvateľstva a ďalej zaviesť, resp. novelizovať legislatívu v oblasti radiačnej ochrany.

Ďalej je to systematické vyhľadávanie objektov s vysokou koncentráciou radónu pomocou dlhodobých integrálnych metód merania objemovej alebo ekvivalentnej objemovej aktivity radónu. V prípade prekročenia smerných hodnôt pre nápravné opatrenia, nájsť zdroj radónu a cesty jeho prenikania do objektu pomocou krátkodobých metód stanovenia objemovej aktivity a ekvivalentnej objemovej aktivity radónu. Už v postavených domoch, vykonať nápravné (ozdravné) opatrenia, ak nameraná objemová aktivita radónu je väčšia ako 400 Bq.m^{-3} . Pri projektovaní a výstavbe nových pobytových objektov, alebo pri rekonštrukcii, pomocou preventívnych opatrení (stanovenie koncentrácie radónu v pôdnom vzduchu pre určenie radónového rizika stavebného pozemku, zohľadnenie protiradónových ozdravných opatrení zabezpečiť, aby objemová aktivita radónu bola menšia ako 200 Bq.m^{-3} . Podľa legislatívy SR, platnej v súčasnosti, 400 Bq.m^{-3} resp. 200 Bq.m^{-3} objemovej aktivity radónu sú smerné hodnoty pre nápravné opatrenia. V prípade, že v pobytovom priestore sa stanoví ekvivalentná objemová aktivita radónu, smerné hodnoty pre nápravné opatrenia sú 200 Bq.m^{-3} (už postavené objekty), resp. 100 Bq.m^{-3} (pri projektovaní a výstavbe, resp. rekonštrukcii).

NÁPRAVNÉ OPATRENIA

Nápravné (ozdravné) opatrenia na zníženie úrovni koncentrácie radónu v budovách už postavených, alebo pri novej výstavbe a rekonštrukcii sa musia navrhovať individuálne. Aj pri rovnakej koncentrácii radónu v jednotlivých objektoch sa spravidla musia robiť rôzne opatrenia a to vzhľadom na zdroj radónu v danom objekte. Navrhované opatrenia musia byť maximálne účinné, ľahko uskutočniteľné, s minimálnym narušením života obyvateľov objektu a v konečnej miere aj ekonomicky najvýhodnejšie. Nápravné opatrenia možno rozdeliť na opatrenia

vedúce k zabráneniu prieniku do budovy a opatrenia na zníženie koncentrácie radónu po prieniku do budovy.

Základnými opatreniami na zníženie prieniku radónu z podlažia (prioritný/dominantný zdroj radónu v objekte) sú:

- mechanické bariéry v spodnej časti objektu (plynotesné, asfaltové pásy, protiradónove nátery)
- vetrací systém podlažia (podtlakové alebo pretlakové vetranie podlažia budovy, odsávanie radónu z podlažia drenážnym systémom, mikroventilačný systém)
- zvýšenie tesnosti kontaktných konštrukcií utesnením trhlín, priestupov, trativodov....
- eliminovať presun a transport radónu z pivničných priestorov a neobývaných miestností pod prízemím do vyšších poschodí budovy

Koncentráciu radónu v pobytových priestoroch objektu môžeme znížiť prirodzeným vetraním, núteným vetraním alebo filtráciou vzduchu pomocou prenosných prístrojov.

Pri plánovaní nových stavieb alebo pri rekonštrukcii už postavených objektov, v závislosti od kategórie radónového rizika podlažia (stavebnej parcely), sú nápravné opatrenia uvedené v tab.č.7. Pri kategórii vysokého radónového rizika parcely sa ako protiradónove opatrenie odporúča už aj plánovanie vzduchotechniky v obývacích priestoroch.

Opatrenie	Kategória rizika		
	nízke	stredné	vysoké
hydroizolácia	*	*	*
protiradónova izolácia		◆	
protiradónova izolácia + odvetranie podlažia			◆
protiradónova izolácia+ odvetraná vzduchová medzera			◆

* štandardné

◆ odporúčané

Tab.č.7: Nápravné opatrenia v závislosti od kategórie rizika

ZÁVER

Zohľadňujúc posledné výsledky epidemiologických štúdií vedúcich k zvýšeniu koeficientu radónového rizika, Svetová zdravotnícka organizácia (WHO) odporúča pri projektovaní, výstavbe alebo rekonštrukcii stavieb, uzákoníť novú referenčnú (smernú) hodnotu objemovej aktivity radónu za účelom minimalizovania zdravotného rizika na úrovni 100 Bq.m^{-3} , pričom v žiadnom prípade nesmie prekročiť hodnotu 300 Bq.m^{-3} .

Svoje staré odporúčania (ICRP 60 a ICRP 65 z roku 1990), implementované v našej súčasne platnej legislatíve, Medzinárodná komisia pre rádiologickú ochranu (ICRP) prehodnotila a jej posledné odporúčanie ICRP 103 bolo prijaté Radou Európskej Únie vo februári 2013. Podľa tohto nariadenia, smerná hodnota objemovej aktivity radónu pre nápravné opatrenia v už postavených objektoch je rovná 200 Bq.m^{-3} a potvrdila aj zavedenie novej smernej hodnoty pre objemovú aktivitu radónu pri projektovaní, resp. rekonštrukciách navrhnutou WHO pre minimalizovanie zdravotného rizika na úrovni 100 Bq.m^{-3} .

Nové odporúčania rovnako vyžadujú prísnejšie pravidlá prevencie a regulácie neodôvodneného ožiarenia radónom v pobytových priestoroch, pričom sa vyžaduje intenzívnejší posun k vytvoreniu národných radónových programov, k prehĺbeniu skríningu (prieskumu) objemovej aktivity radónu v pobytových priestoroch a k zlepšeniu komunikácie s obyvateľstvom tak, aby došlo k uvedomeniu si závažnosti riešenia tohto problému celoplošne.

Zvlášť významné je oboznámiť obyvateľstvo s dôsledkami a rizikom ožiarenia radónom v pobytových priestoroch, najmä v regiónoch, kde sa predpokladajú zvýšené hodnoty expozície.

Ďalšie informácie možno získať na Slovenskej zdravotníckej univerzite v Bratislave, Oddelenie radiačnej hygieny, na Odboroch ochrany zdravia pred žiarením Úradov verejného zdravotníctva. Podmienky pre odbornú spôsobilosť, ako aj zoznam subjektov s platným osvedčením o odbornej spôsobilosti v oblasti radiačnej ochrany je na web stránke Úradu verejného zdravotníctva SR.

LITERATÚRA

WHO Handbook on Indoor Radon a Public Health perspective. WHO 2009, ISBN 978 92 4 154767 3

ICRP, 2010. Lung Cancer Risk frpm Radon and Progency and Statement on Radon. ICRP Publication 115, Ann. ICRP 40(1)

UNSCEAR 2010: Sources and Effects of Ionizing Radiation. ISBN 978-92-1-142274-0

Elaine M. Lee, Gerard Menezes, Erik C.Finch : Assessment of Natural Radioactivity in Irisch Building Materials. In Proc. of the 11th International Congress of IRPA. 23.-28.05.2004, Madrid, ID 1157, ISBN 84-87078-05-2

Natural Radioactivity of Building Materials: Radiation Protection Concepts, Measurement Methods and Regulatory Implementation. Radiation Protection of the Public. Third European ICRP Congress 2010, Helsinky

Vyhláška MZ SR č.528/2007 Z.z. ktorou sa ustanovujú podrobnosti o požiadavkách na obmedzenie ožiarenia z prírodného žiarenia

Jiránek Martin: Opatření proti radónu ve stávajících budovách. SUJB Praha, 2000, ISBN 80- 902884-3-X

Nikodemová D., Böhm R., Holý K.:Analýza parametrov ovplyvňujúcich predikciu radónového rizika. Priemyselná toxikológia 2008. ISBN 978-80-227-2877-5

Cabáneková H.: Annual mean effective dose of Slovak population due to natural radioactivity of building materials.

Book of abstract of Second European IRPA Congress on Radiation Protection. 15-19 May 2006, Paris, France

Táto publikácia/článok, bola vytvorená/vytvorený realizáciou projektu "Centrum excelentnosti environmentálneho zdravia", ITMS č. 24240120033, na základe podpory operačného programu Výskum a vývoj, financovaného z Európskeho fondu regionálneho rozvoja."