

## Természetes építőanyagok radioaktivitása

- beszámoló -

**Projektvezető: Szacsvai Kinga**

### Bevezető

Bizonyos ismert radionuklidok talajban és kőzetekben fontos szerepet játszanak sugárvédelemi és geológiai kutatásokban (Eisenbud, 1963). A természetesen előforduló radionuklidok  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  és  $^{40}\text{K}$  a fő forrása a sugárzásnak a talajban és kőzetekben, melyből hagyományos, természetes építőanyagokat nyernek ki. A radionuklidok az emberre nézve egészségügyi kockázatot képeznek, külsőleg a gammasugárzás révén és belsőleg pedig a radon, illetve ennek leányelemei által, melyek alfa részecskéket bocsájtanak ki (UNSCEAR, 2000). Annak ellenére, hogy ezek a radionuklidok széles körben elterjedtek, ezek koncentrációja változó és függ a helyi geológiai feltételektől (Tennisseen, 1994).

Az egészségügyi kockázatokat illetően, az „International Commission on Radiological Protection” (ICRP), a „World Health Organization” (WHO) határozatokat hoztak és iktattak be a sugárzási emissziókra vonatkozó határértékeket.

### Anyag és módszer

Az építőanyagok sugárforrásként viselkedhetnek, hiszen származási helyüktől és anyag összetételüktől függően radioaktív sugárzást emittálnak a beltérbe.

A hagyományos építőanyagok, mint a gránit, homokkő, kő, homok, agyag szerkezetükben természetes radioaktív elemeket tartalmaznak, ezeknek a koncentrációja függ a származási helyüktől. Az építőanyagokban a  $^{40}\text{K}$ , a  $^{238}\text{U}$  sor, a  $^{232}\text{Th}$  sor és a  $^{235}\text{U}$  sor leányelemei gamma-spektrometriás módszerrel kimutathatóak.

A fajlagos aktivitás széles tartományban változik az építőanyagokban levő természetes radioaktív izotópoknak köszönhetően. A radon kibocsátás függ a forrás erősségétől és hogy a  $^{226}\text{Ra}$  anyaelemnek mekkora a fajlagos aktivitás értéke. A radon az építőanyagok szemcséiből a pórusokon keresztül áramlik ki a belső térbe az emanáció során. Az építőanyagok jellegzetes és maximális fajlagos aktivitás értékei az (1. Táblázat) táblázatban vannak összefoglalva.

Sok tényező van, mely befolyásolhatja az építőanyagok radon kibocsájtását: az anyag  $^{226}\text{Ra}$ - fajlagos aktivitása, sűrűség, porozitás, a hőmérséklet, a légnyomás és a levegőnek a páratartalma. Ezt követően figyelembe kell venni az építmény falainak vastagságát illetve ennek felületét, a terem térfogatát, és mekkorák az ajtók, ablakok és hány van egy adott teremben.

„Radonexhaláció-sebességre kapott finn eredmények téglára 0,84-4,53 mBq/m<sup>2</sup>s, betonra 0,53-8,75 0,84-4,53 mBq/m<sup>2</sup>s értékeket adtak. Betonra az UNSCEAR 2000-ben 0,8-1,6 0,84-4,53 mBq/m<sup>2</sup>s exhaláció sebességet adott meg (UNSCEAR 2000, Mocsy & Néda 2008).

**1. Táblázat.** Az építőanyagok természetes eredetű fajlagos aktivitása (Mocsy Ildikó, 2008).

Építőanyag	Átlagos fajlagos aktivitás (Bq/kg)			Maximális fajlagos aktivitás (Bq/kg)		
	<sup>226</sup> Ra	<sup>232</sup> Th	<sup>40</sup> K	<sup>226</sup> Ra	<sup>232</sup> Th	<sup>40</sup> K
Beton	40	30	400	240	190	1600
Lukacsos, könnyű beton	60	40	430	2600	190	1600
Agyagtégla (vörös)	50	50	670	200	200	2000
Homoktégla	10	10	330	25	30	700
Természetes kő	60	60	640	500	310	4000
Természetes gipsz	10	10	80	70	100	200
Melléktermék gipsz	390	20	60	1100	160	300
Kohósalak	270	70	240	2100	340	1000
Pernye	180	100	650	1100	300	1500

Az építőanyagok radioaktivitásának felbecsülésére rádium ekvivalens koncentrációt az az  $C_{Ra_{eq}}$  jelölve alkalmazzák. A rádium ekvivalens értéke az építőanyagok a  $^{226}\text{Ra}$  ( $C_{Ra}$ ),  $^{232}\text{Th}$  ( $C_{Th}$ ) és a  $^{40}\text{K}$  ( $C_K$ ) koncentrációján alapszik, mely Bq/kg-ban van kifejezve. A következő összefüggés segítségével lehet kiszámítani:

$$C_{Ra_{eq}} = C_{Ra} + C_{Th} * 10/7 + C_K * 10/130 \quad (1)$$

A  $C_{Ra_{eq}}$  maximális értéke az építőanyagokban nem haladhatja meg a 370Bq/kg határértéket, a biztonságos használat érdekében, mint például annak érdekében, hogy a külső sugár dózis ne haladja meg az 1 mSv/év. (UNSCEAR 2000)

Az építőanyagokat öt nagy kategóriába lehet rangsorolni. A besorolás a  $C_{Ra_{eq}}$  értékek függvényében történik. Ezek az építőanyagokat bizonyos csoportokba lehet besorolni, annak függvényében, hogy a koncentrációjuk alapján minek az építésére alkalmazhatóak. Az elfogadott egyezményes általános csoportosítása a 2. Táblázat-ban találhatóak.

**2. Táblázat.** Az építőanyagok csoportosítása a rádium ekvivalens koncentráció alapján.  
(Mócsy Ildikó, 2008)

Az építőanyagok csoportosítása	C <sub>Raeq</sub> (Bq/kg)	Az építőanyagok felhasználására vonatkozó javaslatok
I.	<370	lakások
II.	370-740	ipari létesítmények, közutak
III.	740-2220	közutak, vasutak
IV.	2220-3700	hidak, oszlopok, terepek erősítése
V.	>3700	nem alkalmas építkezésre

Figyelembe véve az építőanyag mennyiségét ki lehet számítani az építőanyag által generált sugárzási teret és ennek segítségével az elnyelt dózis mértékét is.

Az építőanyagokból adódó külső és a belső sugárkárosodás indexnek a határértéke megegyezik. Az ebből származó sugárkárosodás nem haladhatja meg az 1 mSv/év értéket, mivel csak ez a határérték alatt lehet egy bizonyos építőanyagot biztonságosnak minősíteni (Szabó et al. 2012).

A külső sugárkárosodás index a következő összefüggéssel értelmezhető:

$$H_{ex}=(C_{Ra}/370)+(C_{Th}/259)+(C_K/4810)\leq 1 \quad (2)$$

Az összefüggésben a  $H_{ex}$  a külső sugárkárosodás indexnek a jelölése. Az index célja az, hogy visszaszorítsa a sugárzás dózist 1 mSv/év értékre. Fontos megjegyezni, hogy az összefüggés nem veszi számításba a falak vastagságát és az ajtók vagy ablakok létezését. A belső sugárkárosodás indexnek a következő:

$$H_{in}=(C_{Ra}/185)+(C_{Th}/259)+(C_K/4810)\leq 1 \quad (3)$$

Az összefüggésben, a  $H_{in}$  a belső sugárkárosodás indexet jelenti. Ez a számítás figyelembe veszi a  $^{226}\text{Ra}$  bomlási sorának a leányelemét, a radont, mely felhalmozódhat a belső térben, növelvén a sugárkárosodást. A  $^{226}\text{Ra}$  fajlagos aktivitás fokozottan van figyelembe véve, mivel bomlásterméke, a radon, fokozottan járul hozzá a belső sugárterheléshez.

## Eredmények

A kutatás célja a Kolozsvar környékén lévő természetes építőanyagok radioaktivitásának vizsgálata: mészkő, homokkő, tufa és vályog.

A mészkő tipikusan egyásványos üledékes kőzet, ennek körülbelül 90%-a kalcium

karbonát ( $\text{CaCO}_3$ ), ez vagy kalcit, vagy aragonit. A többi 10%-át kvarc, kova, agyag és szerves anyag teszi ki. Rendszertanilag a karbonátokhoz sorolják be a mészkövet. A mészkő színe nagyon változatos lehet, ez az anyagi összetételétől függ. Magas karbonát tartalma esetén a mészkő fehér színű. A szürkés színű árnyalatokat az agyag vagy a szerves anyagnak tudhatók be. Gyakori a sárga, vörös és barna színű mészkövek, melyeket a vas-ion ( $\text{Fe}^{3+}$ ) színezi ilyené. Építőanyag és építészeti kötőanyagként van hasznosítva.

A homokkő törmelékes üledékes kőzet, melynek szemcsemérete 2,0 és 0,06 mm között van, ezeket a szemcséket egy adott cementáló anyag köti össze. Szedimentáció során tevődnek egymásra rétegekben. Szerkezete szemcsés, szövete összeálló. Többnyire az építmények külső részén használják díszítésként, de Kidén egyes régebbi házak falaiban is megtalálható.

A tufa a vulkáni tevékenységnek a mellékterméke során jön létre. A vulkánkitörések során hatalmas mennyiségű vulkáni hamu került ki a légkörbe, melyek egy hosszabb tartózkodási periódus után a légkörből visszakerültek a Föld legfelsőbb rétegére. Ezek rétegesen helyezkedtek el egymás fölött, melyek a gravitáció hatására és az idő elteltével betemetődve a talajba egyre jobban kompaktálódtak létrehozva a tufaréteget. A réteges, blokkos leválása miatt sokszor alkalmazták építőanyagként.

A vályog egy törmelékes üledék, mely szemcse összetétele három komponensből áll: homok, agyag és iszap. Ezeknek az összetétele majdnem arányosan oszlik meg, ezért ásványi összetétele változó. A vályogot már nagyon rég óta használják fel építőanyagként, ezt a legtöbbször növényi eredetű rostokkal keverve használják a vályogházak létesítésére. A vályogtéglát, egyik legrégebbi építőanyag melyet jelenleg is használnak szerte szét a világon. Jó szigetelő képessége és az alapanyagának a bősége, illetve könnyű használata tette népszerűvé (Poszet 2011).

**3. Táblázat.** Begyűjtött minták típusa és felhasználási módja

<b>Mérés szám</b>	<b>Minta</b>	<b>Építőanyag</b>	<b>Felhasználási mód</b>
1	M1	mészkő	kőzetréteg
2	M2	mészkő	kőzetréteg
3	M3	mészkő	kőzetréteg
4	T1	tufa	kőzetréteg
5	T2	tufa	kőzetréteg
6	T3	tufa	építőanyag
7	T4	tufa	kőzetréteg
8	V1	vályog	építőanyag
9	V2	vályog	építőanyag
10	H1	homokkő	építőanyag

A minták mérési folyamata a Sapientia EMTE, Környezettudomány Tanszékének laboratóriumában történt. A méréshez a 905-ös típusú ORTEC gamma spektrométert használtunk, mely egy nagy kristályú NaI-os szcintillációs detektorral magas feszültségre rákapcsolva detektálta a gamma sugárzás energiáját. A ScintiVision program segítségével értékeltük a spektrumot.

A mérések során a minták spektrumából meghatároztuk a  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  és  $^{40}\text{K}$  fajlagos aktivitását. A  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  esetén a fajlagos aktivitást a leányelemeiből határoztuk meg, mivel  $^{226}\text{Ra}$  csúcsa nem volt látható, illetve mérhető és a  $^{232}\text{Th}$  csúcsát sem tudtuk mindig egyértelműen meghatározni. Azért lehet meghatározni a  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  fajlagos aktivitását ezek leány elemeinek az energia csúcsából, mivel ezekben, a bomlási sor folyamán létrejött a radioaktív egyensúly, így aktivitásuk ugyan az lesz, mint az anyaelemé. A  $^{226}\text{Ra}$ -ot a  $^{214}\text{Bi}$  – 609,31 keV és  $^{214}\text{Pb}$  – 351,93 keV csúcsaiból lehetett meghatározni. A  $^{232}\text{Th}$ -ot a  $^{232}\text{Th}$  – 911,20 keV,  $^{212}\text{Pb}$  – 238,63 keV és  $^{208}\text{Tl}$  – 583,14 keV energiájú csúcsokból lehetett meghatározni. A  $^{40}\text{K}$  energia csúcsa mindig tisztán kirajzolódik a spektrumokban, ezért jól mérhető.

A kapott mintáimban levő  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  és  $^{40}\text{K}$  fajlagos aktivitását át kellett számolni 50 grammról 1000 grammra, így a mérték Bq/kg lett. A következő összefüggés használatával számítható ki:

$$C_X = (1000 \cdot Y) / 50 \quad (4)$$

ahol:

X – a radioaktív izotóp fajtája,

Y – az izotópnak 50 gramm mintára az aktivitása Bq-ben kifejezve.

A kapott eredményeket a 4. Táblázat tartalmazza.

#### 4. Táblázat. Építőanyagok Ra, Th és K fajlagos aktivitás koncentrációja

Mérés szám	Minta	$C_{226\text{Ra}}$ (Bq/kg)	$C_{232\text{Ra}}$ (Bq/kg)	$C_{40\text{K}}$ (Bq/kg)
1	M1	12,98	33	432,83
2	M2	8,33	23,56	432,74
3	M3	0	15,82	432,69
4	T1	12,63	0	426,84
5	T2	8,36	0	462,70
6	T3	0	3,65	433,22
7	T4	2,27	29,80	482,33
8	V1	12,21	0	433,67
9	V2	39,41	204,69	437,67
10	H1	0	228,51	480,17

A vizsgált minták esetében az izotóp eloszlás a következő:

- a homokkő minta esetén a  $^{226}\text{Ra}$  fajlagos aktivitása koncentrációja 0, nem volt észlelhető.  $^{232}\text{Th}$  aktivitás koncentrációja 228,51 Bq/kg, illetve a  $^{40}\text{K}$  480,17 Bq/kg volt.
- a mészkő mintában a  $^{226}\text{Ra}$  fajlagos aktivitása koncentrációja (0-12,98 Bq/kg),  $^{232}\text{Th}$  (23,56-33 Bq/kg) és  $^{40}\text{K}$  (432,69-432,83 Bq/kg) között változik.
- a vályog mintában a  $^{226}\text{Ra}$  fajlagos aktivitása koncentrációja (14,21-39,41 Bq/kg),  $^{232}\text{Th}$  (0-204,69 Bq/kg) és  $^{40}\text{K}$  (433,63-437,67 Bq/kg) között változik.

Az irodalmi adatok alapján, az izotóp változása következőképpen változhat:

- a homokkő esetén a  $^{226}\text{Ra}$  fajlagos aktivitása (1-60 Bq/kg),  $^{232}\text{Th}$  (5-40 Bq/kg) és  $^{40}\text{K}$  (100-1500 Bq/kg) között változik.
- a mészkő esetén a  $^{226}\text{Ra}$  fajlagos aktivitása koncentrációja (5-40 Bq/kg),  $^{232}\text{Th}$  (0,5-10 Bq/kg) és  $^{40}\text{K}$  (30-160 Bq/kg) között változik.
- a vályog esetén  $^{226}\text{Ra}$  fajlagos aktivitása koncentrációja (10-125 Bq/kg),  $^{232}\text{Th}$  (5-60 Bq/kg) és  $^{40}\text{K}$  (300-1800 Bq/kg) között változik (Ahmad 1969, Durrani et al. 1997, Muhammad et al. 2000, Hewamanna et al. 2001, Mavi & Akkurt 2010).

Összehasonlítva az általunk kapott eredményeket az irodalmi adatokkal, a homokkő esetén a H1 mintában nem volt érzékelhető aktivitás a  $^{226}\text{Ra}$  esetén. A  $^{232}\text{Th}$  esetén ötszörösen haladta meg az irodalomban megadott értéket. A  $^{40}\text{K}$  esetén az érték benne van az irodalmi adatokban megadott intervallumban.

A mészkő mintákban a  $^{226}\text{Ra}$  esetén az értékek találnak az irodalmi adatokkal,  $^{232}\text{Th}$  esetén 23 Bq/kg nagyobb aktivitást kaptunk, a  $^{40}\text{K}$  esetén pedig 2,7-szer nagyobb értékeket, mint az irodalomban.

A két vályog mintában a  $^{226}\text{Ra}$  és a  $^{40}\text{K}$  esetén a mért értékek benne vannak az irodalmi adatok alapján megadott intervallumban. A  $^{232}\text{Th}$  esetén 79 Bq/kg nagyobb aktivitással rendelkeznek a minták.

Az irodalmi adatok alapján a  $^{226}\text{Ra}$  fajlagos aktivitás koncentrációja (1-4300) határok között változik. A  $^{232}\text{Th}$  (0,5-400), a  $^{40}\text{K}$  (25-1900) határok között változnak (Siotis et al. 1984, Beretka et al. 1985, Muhammad et al. 2000, Kovler et al. 2002).

Az általam fajlagos aktivitás koncentrációra kapott értékek a következő határok között változnak:  $^{226}\text{Ra}$  (0-39,41),  $^{232}\text{Th}$  (0-228,51) és  $^{40}\text{K}$  (426,84-480,17), összehasonlítva a fentebb említett irodalmi adatokkal, látható, hogy az én eredményeim nem haladják meg a megszabott érték intervallumokat.

A rádium ekvivalens koncentrációjának kiszámításához a10-es összefüggést használtam, (Muhammad et al. 2000, Szabó et al. 2012):

$$C_{Ra,eq} = C_{Ra} + C_{Th}(10/7) + C_K(10/130) \quad (6)$$

A  $C_{Ra,eq}$  maximális értéke az építőanyagokban nem haladhatja meg a 370 Bq/kg határértéket, annak érdekében, hogy a külső forrásból származó effektív dózis ne haladja meg az 1mSv/év-et. A rádium ekvivalens koncentráció értéke alapján az építőanyag mintákat csoportokba soroltuk be, aszerint, hogy koncentrációjuk alapján minek az építésére alkalmazható.

**5.Táblázat.** Az építőanyagok osztályozása rádium ekvivalens koncentráció határérték alapján

Sorszám	Minta	$C_{Ra,eq}$ (Bq/kg)	Osztályozás	Építőanyagok felhasználása
1	M1	93,42	I.	lakások
2	M2	75,29	I.	lakások
3	M3	55,88	I.	lakások
4	T1	45,47	I.	lakások
5	T2	43,96	I.	lakások
6	T3	38,55	I.	lakások
7	T4	81,94	I.	lakások
8	V1	47,56	I.	lakások
9	V2	365,49	I.	lakások
10	H1	363,39	I.	lakások

A vizsgált mintáink rádium ekvivalens koncentrációja egy esetben sem haladták meg a 370Bq/kg-os határértéket, így mindenik az I-es osztályozási kategóriába sorolható. Ebből kifolyólag, mindenik alkalmas lakóházak építésére. Ennek ellenére a V2-es és H1-es minta majdnem eléri a megszabott határértéket, kockázati tényezője nő, annak függvényében, hogy egy adott épületbe a nagyság paraméterei szerint mennyit használnak ebből az építőanyagból.

A mészkövek rádium ekvivalens koncentrációinak értéke (55,88-93,42 Bq/kg) között változik, átlaguk 74,86 Bq/kg.

A tufa rádium ekvivalens koncentrációinak értéke (38,55-81,94 Bq/kg) között változik, átlaguk 52,48 Bq/kg.

A vályog rádium ekvivalens koncentrációinak értéke (47,56-365,49 Bq/kg) között változik, átlaguk 206,53 Bq/kg.

Eltérések vannak a V8-as és a V9-es minták vályog rádium ekvivalens koncentrációinak értékei között, az első koncentrációja 47,56 Bq/kg, míg a másodiknak 365,49 Bq/kg. Ezt a 7,7 szerez érték különbséget a két minta között a származási helyüknek a különböző geológiai sajátosságoknak tudható be.

Az építőanyagokra szabott külső és a belső sugárkárosodás indexnek a határértéke

megegyezik, ez úgy volt meghatározva, hogy az effektív sugárkárosodás mértéke nem haladhatja meg az 1 mSv/év-et, csak ez a határérték alatt lehet egy adott építőanyagot biztonságosnak minősíteni lakásépítkezés szempontjából. Ez a feltétel akkor teljesül, ha az indexek értéke kisebbek, mint 1.

A belső index számításánál az összefüggés figyelembe veszi, hogy a  $^{226}\text{Ra}$  bomlási sorában megjelenik a radon, mely kiszivárog az anyagból, felhalmozódva a belső térben és így növeli a sugárkárosodást. Ezért a belső index számításánál az rádium nagyobb hangsúllyal van figyelembe véve, mint a külső index számításánál.

Az indexek kiszámításához a 2-es és 3-as összefüggést használtuk.

**9. Táblázat.** Az építőanyagok sugárkárosodási indexek értékei mSv-ben megadva.

Sorszám	Minta	$H_{\text{ex}}$ (külső sugárkárosodás index)	$H_{\text{in}}$ (belső sugárkárosodás index)
1	M1	0,25	0,29
2	M2	0,20	0,23
3	M3	0,15	0,15
4	T1	0,12	0,16
5	T2	0,12	0,14
6	T3	0,10	0,10
7	T4	0,22	0,23
8	V1	0,13	0,17
9	V2	0,99	1,09
10	H1	0,98	0,98

A belső index értéke nagyobb min a külső index értéke, mivel figyelembe veszik a radon gáznak az akkumulációját belső térben, így a rádiumot nagyobb értékkel veszik figyelembe az 2-es összefüggés kapcsán.

A V2-es és H1-es minták, a vályog meg a homokkő értékei a külső sugárkárosodás indexnek a határán vannak. Ugyan akkor a V2-es minta a belső sugárkárosodás indexnek az 1 - es határértékét túlhaladta, ezért építkezésre való használata egészségi kockázatot jelent. A H1- es minta is közelíti belső sugárkárosodás indexnek a határértékét. Az első nyolc mintára kapott indexek mind a két besorolás normál paramétereiben vannak, megfelelően az irodalmi adatok sugárkárosodás határainak (*Eisenbud 1963, UNSCEAR 2000, Stoulos et al. 2003, Trevisi et al. 2012, Szabó et al. 2012*).

## Következtetések

Összehasonlítva az általunk kapott eredményeket az irodalmi adatokkal, a homokkő esetén



a H1 mintában nem volt érzékelhető aktivitás a  $^{226}\text{Ra}$  esetén. A  $^{232}\text{Th}$  esetén ötszörösen haladta meg az irodalomban megadott értéket. A  $^{40}\text{K}$  esetén az érték benne van az irodalmi adatokban megadott intervallumban.

A mészkő mintákban a  $^{226}\text{Ra}$  esetén az értékek találnak az irodalmi adatokkal,  $^{232}\text{Th}$  esetén 23 Bq/kg nagyobb aktivitást kaptunk, a  $^{40}\text{K}$  esetén pedig 2,7-szer nagyobb értékeket, mint az irodalomban.

A két vályog mintában a  $^{226}\text{Ra}$  és a  $^{40}\text{K}$  esetén a mért értékek benne vannak az irodalmi adatok alapján megadott intervallumban. A  $^{232}\text{Th}$  esetén 79 Bq/kg nagyobb aktivitással rendelkeznek a minták.

Az eredmények alapján ugyan olyan típusú kőzetek esetében is eltérés mutatnak. Ez a kőzetek származási helyének a geológiai sajátosságai miatt vannak. A vizsgált mészkövek esetében a rádium ekvivalens koncentrációnak az értékei (55,88-93,42 Bq/kg) között vannak, átlaguk 74,86 Bq/kg. A tufa minták esetében értékük (38,55-81,94Bq/kg) között változik, átlaguk 52,48 Bq $\cdot$ kg $^{-1}$ . A vályog minták esetén az értékük (47,56-365,49 Bq/kg) között változik, átlaguk 206,53 Bq/kg. A rádium ekvivalens koncentrációnak értéke alapján a mészkövek, tufák, vályogok és homokkő az I-es építkezési kategóriába tartoznak, tehát alkalmazhatók lakások építésére.

A külső ( $H_{\text{ex}}$ ) és belső ( $H_{\text{in}}$ ) sugárkárosodási indexek alapján elmondható, hogy a V2, H1-es vályog illetve homokkő minták a külső sugárkárosodás index határán vannak. A V2-es vályog minta meghaladja a belső sugárkárosodás indexnek az 1-es határértékét 0,09-el.

## Irodalom

- Ahmad Z. **1969**. *Directory of mineral deposits of Pakistan. Records of Geological Survey of Pakistan*, vol. 15.
- Beretka J., Mathew P.J. **1985**. *Natural radioactivity of Australian building materials, industrial wastes and by-products*. Health Physics.
- Durrani S. A. Ilic R. **1997**. *Radon measurement by etched track detectors: Applications in radiation protection, earth sciences and the environment*. Singapore: World Scientific.
- Eisenbud M. **1963**. *Environmental Radioactivity*. McGraw-Hill Book Company, New York.
- Hewamanna R., Sumithrachchi C.S., Mahawatte P., Nanayakkara H.L.C., Ratnayake H.C. **2001**. *Natural radioactivity and gamma dose from Sri Lankan clay bricks used in building construction*. Appl. Radiat. Isotope.

Kovler K., Haquin G., Manasherov V., Ne'eman E., Lavi N. **2002**. *Natural radionuclides in building materials available in Israel*. Building Environment.

Mavi B., Akkurt I. **2010**. *Natural radioactivity and radiation hazards in some building materials used in Isparta, Turkey*. Radiation Physics Chemistry.

Mócsy I., Néda T. **2008**. *Radon a kárpát-medencében*. Abel Kiadó. Kolozsvár.

Muhammad I., Muhammad T. Sikander M. M. **2000**. *Measurement of natural radioactivity in marble found in Pakistan using NaI(Tl) gamma-ray spectrometer*. ELSEVIER Journal of Environmental Radioaktivit y.

Poszet Sz. L., **2011**. Tez  de doctorat. *Studiu de geomorfologie aplicat   n zona urban  cluj- napoca*. Kolozsv r.

Stoulos S. Manolopoulou M., Papastefanous C. **2003**. *Assessment of natural radiation exposure and radon exhalation from building materials in Greece*.

Szab  Zs. V lgyesi P., Nagy H. ., Szab  Cs., Kis Z., Csorba O. **2012**. *Radioactivity of natural and artificial building materials – a comparative study*. ELSEVIER Journal of Environmental Radioaktivit y.

Tennisseen A. C. **1994**. *Nature of earth materials*. Printice-Hall.

Trevisi R., Risica S., D'Alessandro M., Paradiso D., Nuccetelli C. **2012**. *Natural radioactivity in building materials in the European Union: a database and an estimate of radiological significance*. ELSEVIER Journal of Environmental Radioaktivit y.

UNSCEAR **2000**. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, UNSCEAR, New York.