

Építőanyagok és bontott építőanyagok radonkibocsátásának nemzetközi összehasonlítása

International comparison of radon exhalation of building materials and reused construction materials

NEMODA Ferenc

egyetemi főtanácsos, mester oktató, PhD hallgató
Szent István Egyetem Ybl Miklós Építéstudományi Kar, Építőmérnöki Intézet
Budapest XIV. Thököly út 74, tel.: 0612521270, nemoda.ferenc@ybl.szie.hu

ABSTRACT

Radon is a naturally occurring colourless, odorless, radioactive gas, which is the decay product of radium. The most generally known radioactive sources are uranium, thorium and radium, but ionizing radiation can also be found elsewhere, in bigger or lesser scales: in rocks, space, air, water, and even in living creatures. Any building material of natural origin may contain a certain quantity of radioactive elements. The carriers of this radioactivity are called the NORMs (Naturally Occurring Radioactive Minerals). In Hungary, 70% of construction waste is soil, of which only 15% is being reused. Because of its unknown components, it is advised to utilize it with exceptional precaution, as it may contain dangerous elements regarding radioactivity. Building rubble makes 11% of the construction waste. The worldwide average of indoor radon concentration is 39 Bq/m³. Compared to Hungarian measurement results it is apparent that the Hungarian average indoor radon concentration is less than the 300 Bq/m³ Action Level set by the European Commission, but it is still 100 Bq/m³ above the world average. In this article I demonstrate research and results of various countries; showing relations of high concentration and their dangers, with methods to counteract them, with the purpose of narrowing the radiation dose affecting the population and thus lower the number of health problems.

Keywords: radon, naturally occurring radioactivity in building materials, reused building materials, recycled building materials, sustainability

KIVONAT

A radon a természetben előforduló, színtelen, szagtalan radioaktív gáz, mely a rádium bomlásterméke. A legismertebb, veszélyes radioaktív források az urán és a rádium, de ezeken kívül jóval kisebb mértékben máshol is megtalálható az ionizáló sugárzás: a kőzetekben, az űrben, a levegőben, a vízben és még az élőlényekben is. Minden természetes eredetű építőanyagban jelen lehet valamilyen mennyiségű radioaktivitás. Ennek a radioaktivitásnak a hordozói az úgynevezett NORM (Naturally Occurring Radioactive Mineral) radioaktív ásványok. A bontott építési hulladékok 70%-át teszi ki talaj Magyarországon, és 15%-a kerül újrahasznosításra. Ismeretlen összetétele miatt ajánlott a nagyfokú figyelemmel való eljárás, mert radioaktivitás szempontjából veszélyes anyagokat is tartalmazhat. A bontott építési törmelék a bontott építési hulladékok 11%-át teszi ki. A beltéri radon-koncentráció világátlaga 39 Bq/m³. Magyar mérési eredményekkel összevetve látható, hogy az bár jóval az Európai Bizottság által megszabott 300 Bq/m³-es Cselekvési Érték alatt van, mégis közel 100 Bq/m³-rel a világátlag fölötti az értéke. A cikkben a különböző országok vizsgálatait és azok eredményeit mutatom be; demonstrálva a nagy koncentráció és veszélyeik összefüggéseit és ellene való védekezésre létrejött módszereket, amelyek célja, hogy a lakosság radonból adódó sugárterhelés és az ebből adódó megbetegedések száma csökkenjen.

Kulcsszavak: radon, természetes eredetű radioaktivitás építőanyagokban, bontott építési hulladék, fenntarthatóság

1. RADON A KÖRNYEZETÜNKBEN

A radon a szabadban gyorsan és könnyedén eloszlik, ezért a szabadtéri radon-koncentráció mértéke általában nem is tekintendő kockázati tényezőnek. Értéke rendszerint 10 Bq/m^3 alatti. A talaj telítettsége azonban ennél sokkal jelentősebb, hiszen az abban megtalálható urán bomlásakor felgyülemlik a nemesgáz a tömörebb anyagban, illetve feloldódik a talajvízben. Az altalajban mért radonszint igen változó: a talaj tulajdonságainak függvényében, kevesebb mint 2000 Bq/m^3 -tól az akár több mint 100.000 Bq/m^3 -ig terjed. Azonban, ha a talajból a zárt beltér felé szivárog fel a radongáz, az képes a felgyülemlésre. A beltérek levegőjének radontelítettsége kevesebb, mint 20 és többszáz Bq/m^3 közé tehető, de vannak szélsőséges esetek is. A radon viszonylag kis mélységben és/vagy nagy koncentrációban is jelen lehet a talajban és ekkor még elbomlása előtt felérhet a talajból, az aljzaton keresztül a házba. A földszintes, nem alapincézett házak esetében és fal repedésein, épület illesztésein, csőrendszerek körül lévő üregeken keresztül, falakon belül lévő üregeken keresztül, vízellátó rendszeren keresztül szivároghat be a helyiségek légtérébe, illetve az építőanyagból is eredhet (tégla, salak stb.). Még kevésbé köztudott, hogy a radon a vezetékes vizeinkben is megtalálható, oldott formában. Az ivóvíz koncentrációja általában nem éri el a 10 Bq/l -t, mivel a nyilvános vízhálózatokban igen nagyfokú a higítottság, és megfelelő helyen tárolják és kezelik a vizet.

2. RADON A KÖZVETLEN LAKÓLÉTESÍTMÉNYEINKBEN

Az otthonokon belüli feldúsulás erősen régióhoz kötött, függ az altalaj összetételétől és áteresztőképességétől, a légkör körülményeitől és az épület szerkezeti adottságaitól. Jellemzően azokban az épületekben van magasabb radon-koncentráció, melyek jól vannak hőszigetelve, szorosan záró nyílászárókkal rendelkeznek, és/vagy urán-, tórium-, vagy rádiumdús talajra épültek. A talajtól való távolság is fontos szempont, ugyanis nehéz gáz lévén a radon nem tud magasra jutni. Ezáltal elsősorban a pincék és földszintek vannak kitéve magasabb radontelítettségnek. [1] Az alaplemez betonja alá rakott tömörített kavicsréteg, illetve durva kavics sokkal nagyobb áteresztőképességgel rendelkezik, mint általában az altalaj. Ennek következtében könnyebben tud mozogni közvetlenül a betonlemez alatt. Alapincézett épületek esetén a pincealap alá gyakran kerül durva kavicsréteg, illetve a már elkészült pincefalak és a talaj közötti árkot is sok esetben töltik fel jó áteresztőképességű anyaggal. Tovább bonyolítja a képet, hogy a bontott építési hulladékból, illetve ipari melléktermékek felhasználásával épült épületek, lakások esetében intenzíven sugárzó, beépített építőanyagokkal találkozhatunk. Ilyen építőanyagok lehetnek kohósalak- és pernyebeton falazóelemek, erőműi- és kazánsalak hőszigetelő feltöltések. A kerámiatéglák viszonylag nagy radioaktivitása összetételükkel magyarázható. A téгла-agyag 30–60%-ban tartalmaz agyagásványokat, emellett homokot, kalcium-karbonátot és különféle oxidokat. A homok radioaktivitása általában kicsi (kivéve, ha magas cirkon-, monacit- vagy xenotimtartalmú), a kalcium-karbonát aktivitása szintén alacsony. [2]

3. RADON-KONCENTRÁCIÓ MÉRÉSE

Mivel a radongáz színtelen, szagtalan, íztelen gáz, tehát megfigyelését nem tudjuk érzékszerveinkkel elvégezni. Emiatt speciális radonvizsgáló műszereket kell használni. A radonszintméréseket két fő csoportra szokták osztani: a hosszú- és rövidtávú mérésekre. A rövidtávú mérések nem szolgálnak pontos eredménnyel, viszont sürgős esetben megfelelő indikátorai a lakásban lévő radonfeldúsulásnak. A radon-koncentrációmérő eszközöket is két típusra oszthatjuk: az aktív és a passzív műszerek. A passzív műszerek nem igényelnek elektromos áramot vagy szivattyút működésükhöz, míg az aktív műszerek igen – viszont az aktív műszerek képesek feltérképezni a radongáz-koncentrációt és annak váltakozását. [3]

A mérések általában radonszintet határoznak meg, Bq/m^3 -ben. Fontos azonban tudni az effektív dózis értékét, amely azt jelenti, hogy mekkora éves sugárterhelésnek van az egyén kitéve. Ehhez a következő alapegyenlet használatos:

$$\text{Effektív dózis} = \text{radonszint} \cdot \text{idő} \cdot \text{dózisegyüttható} \quad (1)$$

ahol a radonszint a mért beltéri radon-koncentráció Bq/m^3 -ben, az idő az expozíciónak kitettség ideje órában megadva, a dózisegyüttható pedig a környezetből adódó (pl. munkahely, otthon jellege) érték. A dózisegyüttható a munkahelyeken világátlaggal számolt 50 Bq/m^3 -es radonszint esetében egy év munkahelyen töltött idővel (2000 óra) $0,7 \text{ mSv}$ effektív dózist ad eredményül. [4] Ez a Magyarországon egy embert egy év alatt érő természetes sugárterhelés közel egyharmada. [5]

4. RADONMÉRÉSEK BEMUTATÁSA

4.1. Magyarország

Magyarországon eddig két, az egész ország területére kiterjedő felmérés készült. Az elsőt Nikl István, az Országos Frédéric Joliot-Curie Sugárbiológiai és Sugáregészségügyi Kutató Intézet (OSSKI) munkatársa végezte, 1993-tól 1994-ig tartó vizsgálata alatt 998 hagyományos és előregyártott technológiával készült, illetve kerámia, beton, vasbeton, gázbeton, ipari melléktermékek építőanyagaiból felépített lakásban folytatott egész éves radonmérést. [6] A második ilyen mértékű vizsgálat Dr. Tóth Eszter nevéhez köthető. Kutatása a földszinten elhelyezkedő lakásokra összpontosult, és összesen 15277 földszinti helyiség radon-koncentrációját határozta meg munkatársaival 1994 és 2004 között. Itt is az előzőekben felsorolt építőanyagok kerültek felhasználásra. [7]

Nikl eredményei szerint az átlagos radon-koncentráció a lakásokban 128 Bq/m^3 volt. A felmért épületek 16%-ában volt magasabb a koncentráció, mint 200 Bq/m^3 , és 1,5%-ában haladta meg a 600 Bq/m^3 -t. [6] Tóth vizsgálatának eredménye az volt, hogy az átlagos radonszint 133 Bq/m^3 -re volt tehető. A 400 Bq/m^3 -t meghaladó helyiségek aránya kisebb településeken 1,6%, közepes méretű városokban körülbelül 1%, míg nagyvárosokban 0,5% volt. A legnagyobb mért radonszint 5800 Bq/m^3 volt, a legalacsonyabb pedig mindössze 10. [7] Kutatásának másik szignifikáns kimenetele az volt, hogy Magyarország radon-koncentrációjának földtani attribútumai alapján határozták meg a vizsgálatban résztvevő kollégáival, hogy becsülhetően hol és hány százalékban haladhatja meg a radon-koncentráció a 200 Bq/m^3 -t régiók szerint szétosztva. Ezekre a geológiai tulajdonságokra alapozva Magyarország területét 21 részre osztották. Ez alapján kimagasló arányú beltéri radonmennyiséget az Északi-középhegység vulkanikus eredetű hegységeinél és az Alföld egy kisebb részén találtak. [8]

4.2. Egyesült Királyság

Az Egyesült Királyság átlagos beltéri radontelítettsége 20 Bq/m^3 , mely kifejezetten csekély világátlagban nézve is. Ennek ellenére már több mint 600.000 radon-koncentráció-mérést végeztek országosan, ebből 170.000-et nemesgáz által veszélyeztetett térségeken kívül. [9] Az itt vizsgált lakások nagy része hagyományos kerámia, beton alapanyagú vagy ezekhez a technológiákhoz köthető épületek voltak.

A radon által érintett területek (Radon Affected Areas) azok, amelyek lakásainak várhatóan több mint 1%-a lépi túl a 200 Bq/m^3 . A 100 Bq/m^3 értéket az Egyesült Királyság lakóhelyeinek mindössze 0,4%-a lépi túl. [9]

4.3. Svédország

A svédek már 1955-56-ban foglalkoztak radonméréssel, ekkor 300 lakás beltéri radon-koncentrációját mérték meg. Ezt a vizsgálatot Rolf Sievert kezdeményezésére folytatták, kiről az ekvivalens sugárzási dózis mértékegységét nevezték el. Az átlagos svéd beltéri radonfeldúsulás értéke 113 Bq/m^3 volt 1990-ben, és csupán 90 Bq/m^3 2008-ban. [10][11] A vizsgált épületek technológia alapján hagyományos, előregyártott, könnyűszerkezetes rendszerűek. Az építőanyagok szerint: kerámia, beton, vasbeton, pórusbeton, mészhomok, fa és kő.

Mérési érték alapján beltéri radon-koncentrációjuk átlaga nem tűnik soknak, viszont nem szabad elfelejteni, hogy átlagról van szó: becslések alapján országosan 450.000 lakóhely radonszintje lépi túl a 200 Bq/m^3 -es értéket. Ez a lakóhelyek 8,5%-át jelenti, és 3,0% pedig a 400 Bq/m^3 -t is meghaladja. [10] A koncentráció 1990-es és 2008-as átlagairól tettem említést, jól látható, hogy Svédország mindössze 18 év alatt 23 Bq/m^3 -rel csökkentette az átlagos beltéri radon-koncentrációját.

4.4. Ausztria, Csehország, Finnország és Norvégia

Ezek a területeken az átlag fölötti radon-koncentráció található, amelynek eredménye a tüdő-daganatos megbetegedések számának növekedése. ezért még fontosabb a radonmérés és radonmentesítés. Mérési értékeik közel azonos értékeket mutatnak a Svédországban mért értékekkel. [12] A vizsgált épületek technológia alapján hagyományos, előregyártott, könnyűszerkezetes rendszerek. Az építőanyagok szerint: kerámia, beton, vasbeton, pórusbeton, mészhomok, fa és kő.

4.5. Amerikai Egyesült Államok

Az Amerikai Egyesült Államok alapvetően más mértékegységet használ a radioaktív anyag mennyiségének jelölésére; ez a picocurie per liter mértékegység. [13]

$$1 \text{ pCi/l} = 37 \text{ Bq/m}^3 \quad (2)$$

A kutatók radon potenciál térképeket készítenek különféle információkkal, mint például a magas urántartalmú kőzetek helyéről, a törések helyeiről, a levegő radioaktivitásokról, a talaj permeabilitásáról és radon tartalmáról, valamint a beltéri radon adatokról. Például azok a radon potenciál térképek, melyek a Marylandról és a Fairfax megyei Virginiáról készültek a Montgomery és Prince Georges megyei U.S Geological Survey (USGS) által, különböző adatokon alapulnak. Montgomery megye radon potenciálját az USGS geológusai becsülték meg a talaj radioaktivitás mérés, a talajlevegő radon mérés, az általános geológiai és talajtérképek, valamint az ingatlantulajdonosok által mért beltéri radon mérések felhasználásával. [1] Jellemzően könnyűszerkezetes rendszerű épületek és kisebb mértékben hagyományos technológiából és anyagokból, elhanyagolható mértékben bontott anyagokból.

Az eltérő szabályozási rendszer nyilvánvalóan, az európai mércével más átszámításokat, összesítéseket igényel, de a 4 pCi/l, azaz 148 Bq/m³, érték fölött kötelezően be kell avatkozni, valamint 2 és 4 pCi/l között mért értéknél ajánlott a mentesítés elvégzése. [13]

4.6. Kína

A beltéri radon-koncentrációjával kapcsolatban viszonylag kevés elérhető adat áll rendelkezésre. 2002-ben készült tanulmány alapján az ország átlagos lakásokban lévő radon-feldúsulás mértéke 22,5 Bq/m³, 10811 lakhelyben történő felmérést kiértékelve. Egy másik kínai tanulmány, mely Shenyang tüdőrákkal érintett lakossága és a beltéri radon között keresett összefüggést, a felmért lakásokban átlagosan 89 Bq/m³-es koncentrációt mutatott. [14] Az építési technológia jellemzően iparosított technológia, illetve beton és vasbeton épületek.

Alapvetően a Kínáról készült radontérkép sajnos nem elégséges ahhoz, hogy evidens információt nyújtson. A többféle megközelítő vizsgálatokból (pl. grab-sampling technika) nem lehet egyértelmű végkövetkeztetést levonni.

4.7. Líbia

A Líbiában készült, A. F. Saad et al. [15] által készített mérésben az éves effektív dózis megbecsléséhez az adott helyiség térfogatát, a szellőzés mértékét és a kibocsátás szintjét vették számításba. Ezek alapján az eredményeket építőanyagok szerint csoportosították.

A vizsgálat teljeskörű kimenetelében a téglafalak átlagos radon-koncentrációja $172 \pm 5.8 \text{ Bq/m}^3$ volt, a kerámiapadlóké $145.1 \pm 4.9 \text{ Bq/m}^3$, a márványszegélyeké pedig $174.5 \pm 5.8 \text{ Bq/m}^3$. Levonható a következtetés, miszerint a legtöbb radont a márvány, míg a legkevésbé a kerámia bocsátotta ki. A maximum érték a márvány $298.7 \pm 10.0 \text{ Bq/m}^3$ -es értéke volt, mely a 300 Bq/m^3 -es cselekvési érték közelében van, ezért fokozott elővigyázatosságot igényel – bár nem jellemző a márvány nagy tömegben való felhasználása.

5. MÉRÉSI EREDMÉNYEK ÖSSZEVETÉSE

A mérési eredmények alapján ismertetem a korábban deklarált értékeket. A Nikl István által készített [6] országos radonfelmérés építőanyagokkal kapcsolatos vizsgálati eredményei:

Lakások radioaktivitása, építőanyag és talajkapcsolat szerint csoportosítva (1. táblázat)

Falazat anyaga	Talajkapcsolat	Radon-koncentráció és szórás [Bq/m ³]
KM téglá	földszint	145 ± 194
	felső szint	93 ± 136
Vályog	földszint	148 ± 153
Előregyártott betonelem	felső szint	64 ± 54

Tégla-, kerámia- és márványtermékekben mért radon-koncentrációk eredménye. (2. táblázat)

Éves effektív dózis [mSv/év]	Radon-kibocsátási hányados a mintafelületen [Bq/m ² h]	Radon-koncentráció [Bq/m ³]	Építőanyag
17.2 ± 0.6	0.146 ± 0.005	192.8 ± 6.5	téglafalazat
10.6 ± 0.4	0.090 ± 0.003	119.5 ± 4.0	
24.8 ± 0.8	0.210 ± 0.007	277.9 ± 9.3	
10.5 ± 0.4	0.089 ± 0.003	118.2 ± 4.0	kerámiaburkolat
7.8 ± 0.2	0.066 ± 0.002	87.0 ± 2.9	
11.3 ± 0.4	0.096 ± 0.003	127.3 ± 4.3	
20.6 ± 0.7	0.175 ± 0.006	231.8 ± 7.8	márványburkolat
14.9 ± 0.5	0.126 ± 0.004	166.2 ± 5.6	
24.9 ± 0.8	0.211 ± 0.007	279.2 ± 9.3	

Líbiában kiemelkedő radonszintet mutattak ki márványokban. [15]

Az Irakban, L. Najam et al. [16] által végzett mérés adatai:

Különböző építőanyagok és termékek radon-koncentrációja és kibocsátási rátája. (3. táblázat)

Anyagminta	Felület radon-kibocsátása (E _a) [Bq/m ² h]	Tömeg radon-kibocsátása (E _m) [Bq/kg h]	Radon-koncentráció [Bq/m ³]	Származási hely
Cement	1,24	0,35	205,05	Irak
KM téglá	1,01	0,28	166,55	Irak
Kerámia	1,05	0,3	174,12	Szíría
Porcelán	1,63	0,46	270,04	Törökország
Fekete márvány	1,26	0,36	290,04	Törökország
Fehér márvány	1,21	0,34	200,27	Törökország
Vörös gránit	2,3	0,65	383,3	Törökország

6. ÖSSZEGZÉS

A természetes eredetű építőköveink közül a gránit az, melynek potenciálja a legmagasabb arra, hogy radont bocsásson ki magából. Azonban andezit és riolit mint építőkövek is lehetnek radonforrások. Továbbá, lehetséges veszélyforrások még a homokkő, beton, téglá, márvány és a gipsz. Ezen építőanyagok és termékek attól függően okoznak sugárzást, hogy milyen mértékben vannak használva az adott épületben. Nagyobb mértékben felhasználva, alapvetően a piroklasztikus, azaz a vulkáni törmelékes kőzetek azok, melyeket elővigyázattal kell alkalmazni, ugyanis ezen kőzetek tömbjeiben akár 200-400 Bq/m³ radon-koncentráció is előfordulhat. Cement kérdését vizsgálva arra jutottak, hogy a CEM I, II, III és V fajtájú cementek sugárzása minden esetben 100 Bq/m³ alatti, csupán a CEM IV puccoláncement mutatott 100 Bq/m³ fölötti értéket. [17] A

puccolán, vulkáni hamu lévén magasabb sugárzásveszélyt hordoz. A kohósalak mint vasipari melléktermék úgyszintén veszélyes radiológiai szempontból, melyet a korábbi évtizedekben gyakorta használtak betonokban is. [18] A pernye radiológiai szempontból veszélyes anyagnak számít, azonban pernyetartalmú cement sugárzása alapvetően még így sem éri el az Európai Bizottság által meghatározott intézkedési küszöböt. [19] A kerámia anyagú téglá beltéri radonkibocsátása nagyobb, mint a betoné; ezt a téglá nagyobb porozitása okozza, mely következtében több radongáz képes távozni a szemcsék közül. A perlittel végzett vizsgálatok szerint radontartalma 63-185 Bq tartományban változott kilogrammonként (Bq/kg), függve az anyagminőségtől és származási helytől. Az eddigiekben már megismert porozitás és radongáz összefüggése alapján levonom a következtetést, miszerint a perlit duzzasztása során létrejövő megnövekedett levegőtér fogat a radon egyszerűbb diffundálását teszi lehetővé. Ezért a perlit tartalmú hőszigetelő anyagok, illetve duzzasztott perlites könnyűbeton-szerkezetek további radioaktivitás-vizsgálata nem elvetendő a jövőben.

FORRÁSJEGYZÉK

- [1] OTTON, J. K. (1992): The Geology of Radon. University of Michigan Library
- [2] NEMODA F. - Radon, than task waiting for a solution -EPKO2018
- [3] World Health Organization (WHO) (2009): WHO Handbook on Indoor Radon. A Public Health Perspective. Franciaország: World Health Organization.
- [4] European Commission, Joint Research Centre, European Soil Data Centre: GISCO Database Manual part 1. Chapter 3. https://esdac.jrc.ec.europa.eu/gisco_dbm/dbm/ Utoljára letöltve: 2019.11.27.
- [5] Központi Statisztikai Hivatal: A társadalmi haladás mutatószámrendszere. 2.8.1. Egészségi állapot (2004–2018) Utoljára letöltve: 2019.11.27.
- [6] NIKL, I. (1996): The Radon Concentration and Absorbed Dose Rate in Hungarian Dwellings. Radiation Protection Dosimetry. Vol. 67, No. 3, pp. 225-228. Nuclear Technology Publishing.
- [7] HÁMORI K., TÓTH E., KÖTELES Gy., PÁL L. (2004): A magyarországi lakások radonszintje (1994 – 2004). Egészségtudomány, Vol. 48, 283 – 299.
- [8] MINDA M., TÓTH Gy., HORVÁT I., BARNET I., HÁMORI K., Tóth E. (2009): Indoor radon mapping and its relation to the geology in Hungary. Journal of Environmental Geography, Vol. 57., pp. 601-609.
- [9] Public Health England, 2018: UK National Radon Action Plan. London: PHE publications 1-2
- [10] MJÖNES, L. (1993): Védekezés a radon ellen – a svéd példa. Fizikai Szemle 1993/4. 162.o. transl. Haiman Ottó, ELTE Atomfizikai Tanszéke.
- [11] AXELSSON G., ANDERSSON E. M., BARREGARD L. (2015): Lung cancer risk from radon exposure in dwellings in Sweden: how many cases can be prevented if radon levels are lowered? Gothenburg: Department of Occupational and Environmental Medicine, University of Gothenburg.
- [12] European Commission, Joint Research Centre, Directorate G – Nuclear Safety & Security, Radioactivity Environmental Monitoring project: Indoor radon concentration. 2017. <https://remon.jrc.ec.europa.eu/About/Atlas-of-Natural-Radiation/Indoor-radon-AM/Indoor-radon-concentration>
- [13] ICRPaedia: Radon: Units of Measure. 2019. http://icrpaedia.org/Radon:_Units_of_Measure Utoljára letöltve: 2020.03.06.
- [14] World Health Organization: INTERNATIONAL RADON PROJECT. SURVEY ON RADON GUIDELINES, PROGRAMMES AND ACTIVITIES. FINAL REPORT. 2007. pp. 31-33.
- [15] SAAD, A.F. & ABDALLA, Y & HUSSEIN, Nagi & ELYASEERY, Ibrahim. (2010). Radon exhalation rate from building materials used on the Garyounis University campus, Benghazi, Libya. Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences. 34. 10.3906/muh-0810-17.
- [16] NAJAM, L.A., TAWFIQ, N.F., & MAHMOOD, R.H. (2013): Radon Concentration in Some Building Materials in Iraq Using CR-39 Track Detector.
- [17] TUCCIMEI, Paola & CASTELLUCCIO, Mauro & SOLIGO, Michele & MORONI, Massimo. (2009). In: Building Materials RADON EXHALATION RATES OF BUILDING MATERIALS: EXPERIMENTAL, ANALYTICAL PROTOCOL AND CLASSIFICATION CRITERIA. Building Materials: Properties, Performance and Applications. Table 2.
- [18] VÖLGYESI P. (2015): Beltéri radioaktivitás és az építőanyagok szerepének vizsgálata a közép-magyarországi régióban. Budapest: Eötvös Loránd Tudományegyetem. Közöttani és Geokémiai Tanszék. Litoszféra Fluidum Kutató Labor.
- [19] United States Environmental Protection Agency (EPA): Natural Radioactivity in Building Materials. https://www.epa.gov/radtown/natural-radioactivity-building-materials?fbclid=IwAR2v_84Y16i4Tk9qY6o2u1kuvoEXIf4ng1ykRAZhfL2JaCkGPW-L5R1bYD4 Utoljára letöltve: 2019.11.23.