

## CSALÁDI HÁZAK BELTÉRI RADON AKTIVITÁS KONCENTRÁCIÓ FELMÉRÉSE PEST MEGYÉBEN

FEKTI LÁSZLÓ RICHARD – SZÉKELY LÁSZLÓ – HORVÁTH MÁRK KÁLMÁN –  
GÉCZI GÁBOR

### Összefoglalás

*A koronavírus járvány megelőzésére hozott intézkedéseknek köszönhetően minden eddiginél többet töltöttünk zárt terekben, – például otthonainkban - mint korábban. Nem csak a levegőben terjedő Covid-19 vírus gyakorolt hatást szervezetünkre, hanem a természetes forrásokból származó ionizáló sugárzás, a bent tartózkodók légzéséből kialakuló magasabb széndioxid koncentráció vagy a tevékenységünkből (főzés, dohányzás, stb) levegőbe kerülő szennyező anyagok is. A bentlakók életvitelén kívül az épületek szerkezete, a beépített határoló szerkezetek és az épületgépészeti egységek (hőenergia előállítás, szellőzés) határozzák meg a beltéri levegő minőségét.*

*2019 decemberében másfél éves, Pest megye keleti részét érintő beltéri radonkoncentráció meghatározását célzó mérésorozatot indítottunk el 7 település 24 családházának bevonásával. Eredményeink egyértelműen mutatják az évszakok közötti különbséget, de különbségek mutathatók ki a családházak építészeti és épületgépészeti megoldásai között is.*

**Kulcsszavak:** beltéri, szennyezőanyag, radon, szellőztetés, levegőminőség

**JEL kód:** I10, Q53

## INDOOR RADON ACTIVITY CONCENTRATION SURVEY OF FAMILY HOUSES IN PEST COUNTY

### Abstract

*Thanks to the measures taken to prevent the coronavirus epidemic, we have spent more time indoors than before, for example in our homes. It is not only the airborne Covid-19 virus that affects our bodies, but also ionizing radiation from natural sources, higher carbon dioxide concentrations from the breathing of those staying indoors, or pollutants entering the air from our activities (cooking, smoking, etc.). In addition to the way of life of the residents, the structure of the buildings, the built-in boundary structures and the building engineering units (thermal energy production, ventilation) determine the quality of the indoor air.*

*In December 2019, we started a series of measurements aimed at determining the indoor radon concentration in the eastern part of Pest County, involving 24 family houses in 7 settlements. Our results clearly show the difference between the seasons, but differences can also be found between the architectural and building engineering solutions of the family houses.*

**Keywords:** indoor, pollutant, radon, ventilation, air quality

## Bevezetés

Családi házak tervezésénél, építésénél, illetve felújításánál a gazdasági kérdések egyik meghatározója – a helyszín és a méret mellett – az épületenergetika. Az épületenergetika fejlődésével nagyobb figyelmet kapott a komfortelmélet, amely magába foglalja a belső terek levegőjének minőségét is. A levegőminőség az általánosan ismert paraméterek – úgymint hőmérséklet és páratartalom – és ezek időben történő változása mellett a levegő összetételét, a széndioxid koncentráció alakulását és a szennyező komponensek – pl. szénmonoxid, kéndioxid, formaldehid, radon, stb. – koncentráció változását is jelenti. (BAUMANN, 2009; BÁNHIDI-KAJTÁR, 2000)

A komfortelméleti paraméterekkel a lakosság nagy része nincs tisztában vagy megelégszik a hőmérséklet beállításával. A komfortterek levegőminőségének másik fontos paramétere a páratartalom. Szabályozása a kedvező árfekvésű párasítók segítségével bárki számára könnyen elérhetővé válik. A digitális eszközök megjelenésével a lakások relatív páratartalma a hőmérséklettel együtt alacsony bekerülési értékű eszközökkel mérhető, kijelvezhető. Felületesen ismert paraméterek közé kell sorolnunk a lakosság nagy része esetén a széndioxid koncentrációt és a beltéri levegőszennyezőket. Ez utóbbiak közül talán a szénmonoxidtól való félelem a legismertebb, a nyílt égésterű tökéletlen működésű kazánok és tűzterek (kandalló cserépkályha) miatt. A radon vagy a formaldehid mértéke és hatása sajnos egyelőre csak a kutatókat foglalkoztatja és a lakosság nagy része nincs tisztában a jelentőségükkel és hatásukkal (FRONTCZAK-WARGOCKI, 2011; GOYAL, 2012). Még kevésbé ismert és publikált az épületenergetikai jellemzők és a beltéri levegőminőség paraméterei között az ok-okozati összefüggések és kapcsolatok.

A felsorolt beltéri szennyezők közül egyre nagyobb figyelmet kap a radon. A *radon* természetes eredetű *radioaktív nemesgáz*, a rádium bomlásterméke (alfa-bomlás), színtelen, szagtalan, érzékszerveink számára észrevehetetlen, azonban radioaktív leányelemei a belégzésén keresztül okoznak *sugárterhelést*. A radon a helyiségek légterébe elsősorban az építőanyagból (tégla, salak, stb.), illetve a fűtés és a szél keltette légnyomáskülönbség hatására földszintes, nem alapincézett házak esetében a talaj pórusaiból az aljzaton keresztül, kívülről a fal repedésein, gépészeti csőhálózatokon keresztül jut be. A radon is nehezebb a levegőnél, ezért a lakás alacsonyabban fekvő helyiségeiben tud felhalmozódni. Ebből következően az emeleti helyiségekben nem várható magas radon-aktivitáskoncentráció. A beltéri levegő radon-aktivitáskoncentrációja rendszeres szellőztetéssel csökkenthető. A radioaktív bomlások során radioaktív (jelen esetben alfa-sugárzó) leányelemek keletkeznek, melyek a légtérben lévő parányi porszemekre, dohányfüstre ráülve bejutnak a tüdőbe, és ott megtapadva folyamatosan alfa-sugárzással bombázzák a tüdőszövetet, rákkeltő hatása van. (ABUMURAD, 2001; BUTKUS et al., 2005; ICRP 1991; ICRP 1993; KATONA et al., 2007; KÖTELES, 2007; LÁZÁR et al.; 2005; SZABÓ et al.; 2014a; SZABÓ et al., 2014b; SZERBIN et al., 1994; TÓTH, 1992; TÓTH et al., 1998; TÓTH-HÁMORI, 2005; UNSECAR, 2000)

Számos kutatás foglalkozik a halálozási okok élén szereplő daganatos betegségek okainak vizsgálatával. DARBY et al. (2005) szerint az Európai Bizottság által támogatott kutatásainak eredményei alapján az otthonok levegőjében található radon felelős évente körülbelül 20000 tüdőrák okozta halálesetért az Európai Unióban, ami az összes ilyen jellegű halálesetek 9%-a, illetve az összes halálos kimenetelű rákbetegségek 2%-a. Ugyanakkor BECKER (2003) tanulmányában a radon esetlegesen pozitív hatására hívja fel a figyelmet. Klinikai kísérletekkel igazolták, hogy reumatikus és ízületi betegségekre jótékony hatást fejt ki a magas koncentrációjú radon terápiás alkalmazása.

Magyarországi lakások radon-szintjéről több felmérés is készült. Nikl István 998 lakásra kiterjedő vizsgálatában a mérési eredmények átlaga  $128 \pm 2,7$  Bq/m<sup>3</sup>-nek adódott (NIKL, 1996). Szignifikánsan magasabb értéket, 483 Bq/m<sup>3</sup> radon koncentrációt állapítottak meg

SOMLAI et al. (2006), de méréseiket Magyarország egyetlen – 1997-ben bezárt – uránbányája közelében, Kővágószőlősen végezték. Kutatásaik központjában az állt, hogy a bányászati alagút közelsége milyen mértékben befolyásolja a családi házak radon szintjét. HÁMORI et al. (2006a; 2006b) több mint 15000 lakásban végeztek méréseket, mérési eredményeik átlaga  $133 \text{ Bq/m}^3$  volt. Később MINDA et al. (2009) 17244 lakásra terjesztették ki megfigyeléseiket. SZABÓ et al. (2014c) kutatásaik során az építőanyag, környezeti hőmérséklet, a szellőztetés és a csapadék mennyiségének a hatását is kimutatták a belső terek levegőjében 53 lakást megvizsgálva. Jelenleg Magyarország rendelkezik radon-térképpel, amely alapján megállapítható, hogy az átlagos aktivitáskoncentráció  $110\text{-}150 \text{ Bq/m}^3$ . A WHO ajánlás ezzel szemben  $100 \text{ Bq/m}^3$ . (ZEEB-SHANNOUN, 2009)

2015 decemberében kezdődő kétéves mérésorozat alapján bizonyítástnyert, hogy családi házak energiahatékonyssággal kapcsolatos korszerűsítései, amelyek gyakran csak az ablakcserékre és a jobb szigetelésre terjednek ki, jelentős hatást fejtenek ki, és potenciálisan növelhetik a radon koncentrációját, ami jelentős hatással van a lakók jólétére. Magyarországon, Budaesten, Budaörsön és Gödöllőn végzett vizsgálatok bebizonyították, hogy az automatizált hővisszanyerős szellőztetés (HRV) alkalmazásával mind az energiahatékony működés, mind az alacsony radon és  $\text{CO}_2$  koncentráció elérhető (GÉCZI et al., 2018).

Európai Unió direktíva a beltéri radon expozícióra kimondja, hogy az éves átlagos aktivitáskoncentráció a levegőben nem lehet nagyobb, mint  $300 \text{ Bq/m}^3$ . Magyarországon lakóépületekben a radon- és radon leányelem-koncentrációk okozta egészségi kockázat optimált mérséklésére külön jogszabály szerint nemzeti cselekvési tervet kell készíteni és végrehajtani, ha a radon- és radon leányelem-koncentrációk vonatkoztatási szintjei levegőben mért éves átlagos aktivitáskoncentráció-értékben kifejezve  $300 \text{ Bq/m}^3$  (487/2015. Korm. rendelet). Az eddigiek alapján érhető, hogy az utóbbi időszakban egyre gyakoribbak a belső terek levegőjének vizsgálatával, ezen belül is a radon tartalommal és hatásukkal foglalkozó kutatások (HUSSEIN et al., 2013; NIKOLOPOULOS, 2014b; MÜLLEROVÁ et al., 2016; VASILYEV-YARMOSHEENKO, 2016).

Kutatásaink során mi arra kerestük a választ, hogy a 24 lakást kategorizálva találunk-e különbséget a radonkoncentrációk között. Kihaszánlva a COVID-19 járvány alatti mérési eredményeket összehasonlítjuk a 2015 és 2016 között végzett hat gödöllői ház mérési eredményeivel arra keresve a választ, hogy a pandémiás és az azt megelőző időszakok között található-e különbség a radonkoncentrációra nézve.

## Anyag és módszer

A mérések során a lakótérbe minden alkalommal CR-39 típusú nyomdetektorokat helyeztünk ki legalább 3 hónapos időtartamra, az átlagos radon izotópok aktivitás-koncentrációjának meghatározására, amelyet hitelesített AlphaGUARD PQ 2000 Pro (Genitron Instruments, Germany, Frankfurt am Main) 0,56 literes aktív térfogatú, ionizációs kamrás detektor rövidebb időszakos kihelyezésével ellenőriztünk (NIKOLOPOULOS, 2014a; KNOLL, 2010; EN ISO 11665-5).

A nyomdetektorok lehetővé tették az egyidejű nagyszámú méréseket, nem igényelnek semmiféle „gondozást”. Alkalmazásuk alapja, hogy a töltéssel rendelkező alfa-részecskék ionizációt okoz a detektorban lévő anyagban. A reakciók következtében létrejövő szabadgyökök nagy felbontású mikroszkóp segítségével detektálható. A kihelyezett napok száma alapján az átlagos radonaktivitás koncentráció meghatározható. A mérés nem alkalmas a radonkoncentráció időben alakulásának kimutatására, de jól jellemzi egy lakóház elhelyezkedéséből, kialakításából és üzemeltetéséből adódó radonkoncentrációját.

A radon izotóp aktivitás-koncentrációjának meghatározására telepített műszereket a padlózatól 1 méter magasságban helyeztük el, és a helyiség oldalfalától is ~1 méter távolságra a bútorzat elrendezést figyelembe véve és kihasználva. AlphaGUARD PQ 2000 Pro műszer mérte és tárolta a légköri hőmérsékletet, relatív páratartalmat és légköri nyomást is. Az ionizációs kamrás detektor programozott időközönként óránként rögzítette a mérési eredményeket. Intézetünkbe történő visszaszállítás után olvastunk és mentettünk ki. A nyomdetektorok begyűjtése után a Veszprémi Egyetem Laboratóriumában került kiértékelésre. Első lépésként kémia kezeléssel ún. maratásnak tették ki, aminek célja a látens nyomok növelése, hogy ezt követően mikroszkópon detektálható legyen. (CSORDÁS et al., 2019)



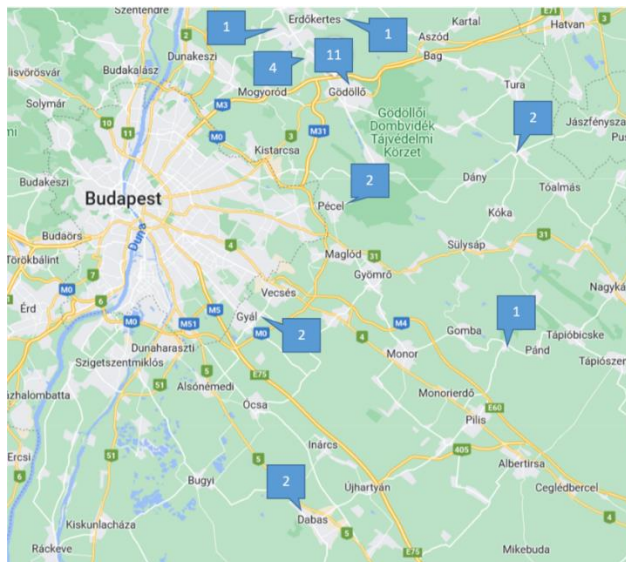
**1. ábra: CR-39 nyomdetektorral alkalmazott mérési módszer /  
Figure 1. Measurement method applied with a CR-39 trace detector**

Forrás/Source: CSORDÁS et al. (2019)

A méréseket a nyomdetektorok kihelyezésével 2019 decemberében indítottuk egyidőben 24 pestmegyei családi háznál. Tervezetten évszakonként szeretnénk volna cserélni a detektorokat, de a pandémia koronavírusjárvány miatti intézkedések a harmadik ciklust meghosszabbította, a negyedik ciklus pedig az első ciklus ismétlését eredményezte. Az egyes ciklusokat az 1. számú táblázat mutatja be. A családi házak elhelyezkedését a 2. ábra mutatja, a legfontosabb tulajdonságaikat az 2. sz. táblázatban foglaltuk össze.

**1.sz. táblázat: A nyomdetektor kihelyezésének időszakai /  
Table 1. Periods of placement of the trace detector**

Periódus	Kihelyezés időpontja	Begyűjtés időpontja
I.	2019.12. 08-12.	2020.04. 01-05.
II.	2020.04. 01-05.	2020.07. 21-28.
III.	2020.07. 21-28.	2020.12. 21-25.
IV.	2020.12. 21-25.	2021.05. 19-20.



2. ábra: Mérési helyszínek / Figure 2. Measurement locations

2.sz. táblázat: A mérésben résztvevő családiházak legfontosabb jellemzői /  
Table 2. The most important characteristics of the family houses

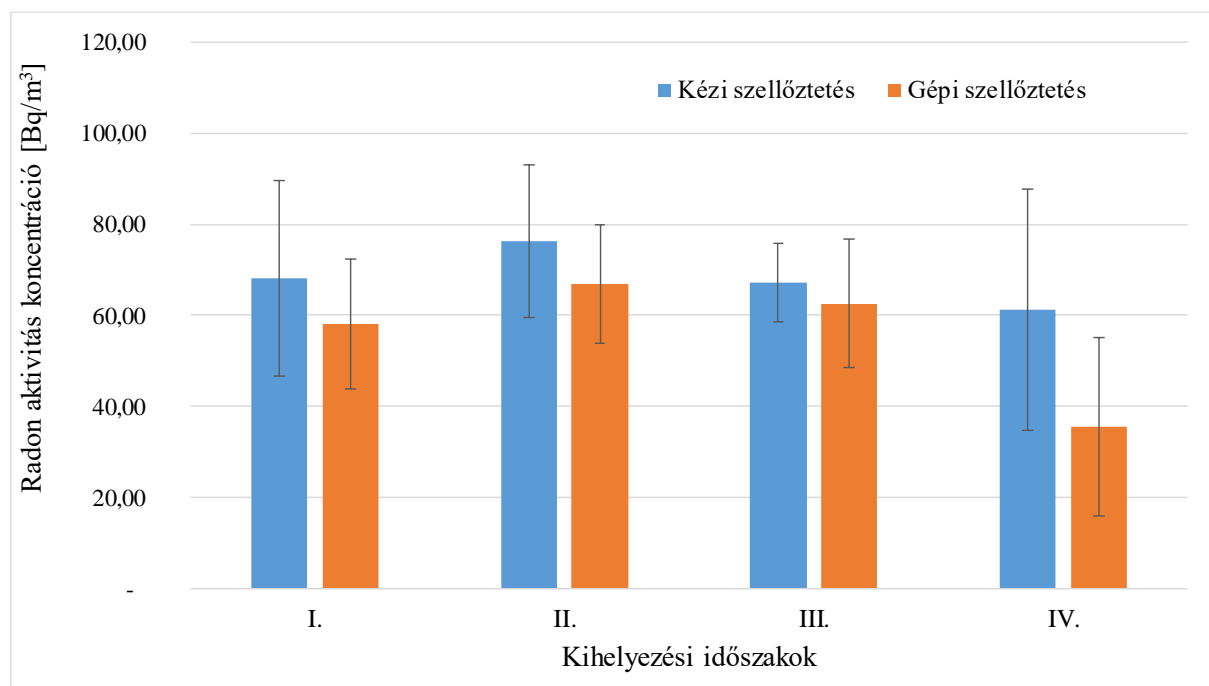
Jel	Vizsgálat helyszíne	Helyiségben tartózkodók száma	Építési idő	Szintek száma	Pince van-e az épület alatt?	Főfalak építőanyaga	Nyílászárók anyaga	Külső szigetelés van e?	Detektor pozíciója	Szellőztető rendszer
A	Gödöllő	4	2008	Földszintes	Részben alapincézett	Tégla, Ytong	Műanyag	Nincs	nappali	Nincs
B	Gödöllő	5	2008	Földszintes	Részben alapincézett	Tégla, Ytong	Műanyag	Nincs	nappali	Nincs
C	Gödöllő	3	1978	Földszintes	Nem	Tégla	Fa	Van	Hálószoza	Nincs
D	Gödöllő	0	2015	Földszintes	Részben alapincézett	Tégla, Ytong	Műanyag	van	nappali	Nincs
E	Gödöllő	4	2008	Földszintes	Nem	Tégla	Fa	Van	Vendég (hálószoza)	Nincs
F	Gödöllő	4	2005	Földszintes	Részben alapincézett	Ytong	Fa és Műanyag	Van	Hálószoza	Nincs
G	Zsámbok	2	1976	Földszintes	Igen	Tégla, Beton, Ytong	Műanyag	Van	Hálószoza	Nincs
H	Zsámbok	3	1975	Földszintes	Részben alapincézett	Tégla, Ytong	Műanyag	Nincs	Hálószoza	Nincs
I	Káva	4	2017	Földszint + emelet	Nem	Ytong	Fa	Van	Dolgozó	Központi szellőztető rendszer
J	Dabas	2	1976	Földszint + emelet	Nem	Tégla, Ytong	Műanyag	Van	Nappali	Nincs
K	Dabas	3	2007	Földszint + emelet	Igen	Tégla, Ytong	Műanyag	Van	Nappali	Nincs
L	Gödöllő	2	2002	Földszint + emelet	nem	Ytong	Műanyag	Van	Nappali	Nincs
M	Gödöllő	1	2018	Földszintes	nem	Tégla	Műanyag	Van	Hálószoza	Hővisszanyerős szellőztető rendszer
N	Gyál	2	2002	Földszint + emelet	nem	Tégla	Műanyag	Van	Nappali	Nincs
O	Gödöllő	1	1959	Földszintes	nem	panel (beton szendvics)	Műanyag	belső oldali hőszigetelés	konyha-étkező	Hővisszanyerős szellőztető rendszer
P	Pécel	3	2020	Földszintes	nem	Tégla	Műanyag	Van	Nappali	Nincs
Q	Szada	3	2019	Földszintes	nem	Tégla	Műanyag	Van	Nappali	Hővisszanyerős szellőztető rendszer
R	Szada	4	2008	Földszintes	nem	EPS habtégla + beton	Műanyag	Van	Nappali	Hővisszanyerős szellőztető rendszer
S	Veresegyház	3	2019	Földszintes	nem	Tégla	Műanyag	Van	Nappali	Hővisszanyerős szellőztető rendszer
T	Erdőkertes	4	2016	Földszintes	nem	Tégla	Műanyag	Van	Nappali	Hővisszanyerős szellőztető rendszer
U	Szada	2	2018	Földszint + emelet	nem	Tégla	Műanyag	Van	Nappali	Hővisszanyerős szellőztető rendszer
V	Gödöllő	3	2000	Földszint + emelet	nem	Ytong	Műanyag	Van	Nappali	Nincs
X	Szada	4	2019	Földszint + emelet	nem	Tégla	Műanyag	Van	Nappali	Hővisszanyerős szellőztető rendszer
Z	Gödöllő	4	2016	Földszint + emelet	igen	Tégla	Műanyag	Van	Nappali	Hővisszanyerős szellőztető rendszer

A 2.sz. táblázat alapján látható, hogy a méréssorozat idején 10 db 10 évnél korábban, 5 db 20 évnél régebben épült. A detektorokat minden esetben a földszinten helyeztük el, akkor is, ha a családiházban emeleti szinttel rendelkezett. Látható, hogy a legtöbb családiház már szigeteléssel rendelkezik, csupán három esetben nincs szigetelés, de A és B jelű házak esetén 44 cm Porotherm Téglafalazat került kialakításra. Egy esetben belső oldali szigeteléssel találkoztunk. A családiházak közül 14 helyen nincs szellőztető rendszer, egy esetben központi szellőztető rendszert működtetnek és 9 helyszínen hővisszanyerős szellőztető rendszer található. A D jelű családiházból a lakók ideiglenesen külföldre költöztek így a mérési időszakban a lakásban életvitel szerűen nem tartózkodott senki.

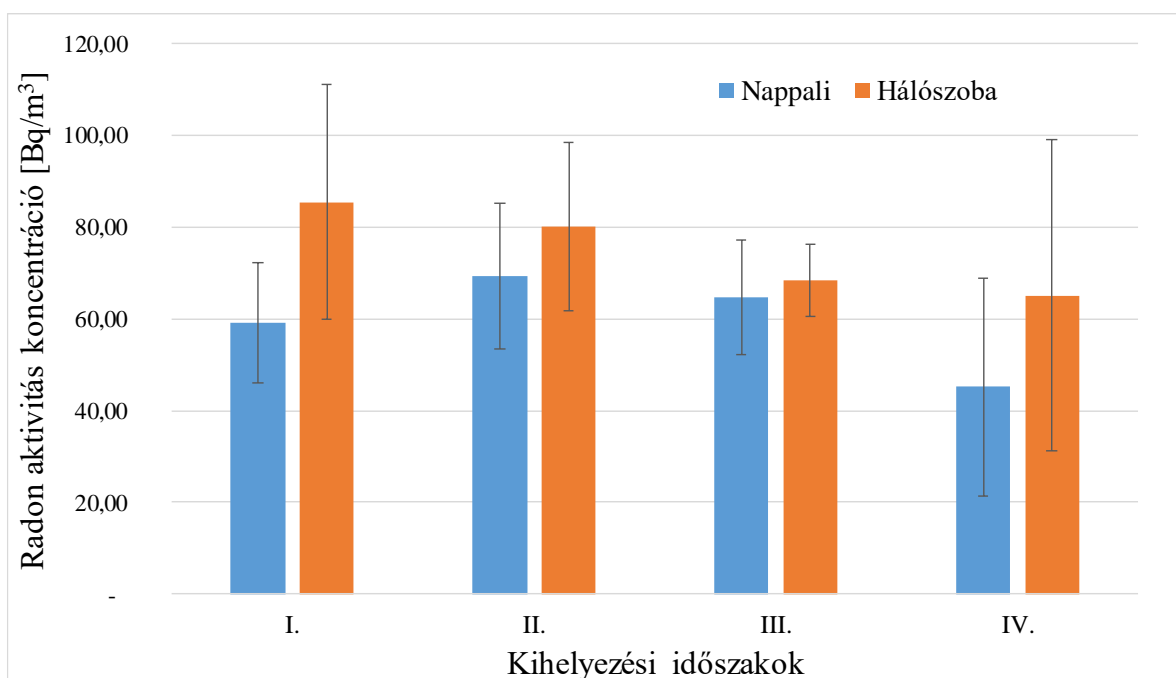
A kiértékelést követően az eredményeket Microsoft Excel program segítségével értékeltük ki. Keresve az összehasonlítható tulajdonságokat választ kerestünk arra, hogy a hővisszanyerős szellőztető rendszer esetén vagy szellőztető rendszer nélkül kisebb az átlagos radon aktivitás koncentráció a légtérben. A családiházak életkora okoz-e különbséget a mért paraméterben?

## Eredmények

A 3. ábrán a hővisszanyerős szellőztető berendezéssel rendelkező lakások radon aktivitás koncentrációját hasonlítottuk a szellőztető berendezéssel nem rendelkező légterekhez. Utóbbi esetben a szellőztetés a lakók aktivitásától és szokásaitól függ. Látható, hogy mind a négy vizsgált időszakban kisebb volt a radonaktivitás koncentráció a hővisszanyerős levegőztető rendszer mellett.



**3. ábra: Radon aktivitás koncentráció a szellőztetési módszer függvényében**  
**Figure 3. Radon activity concentration as a function of the ventilation method**



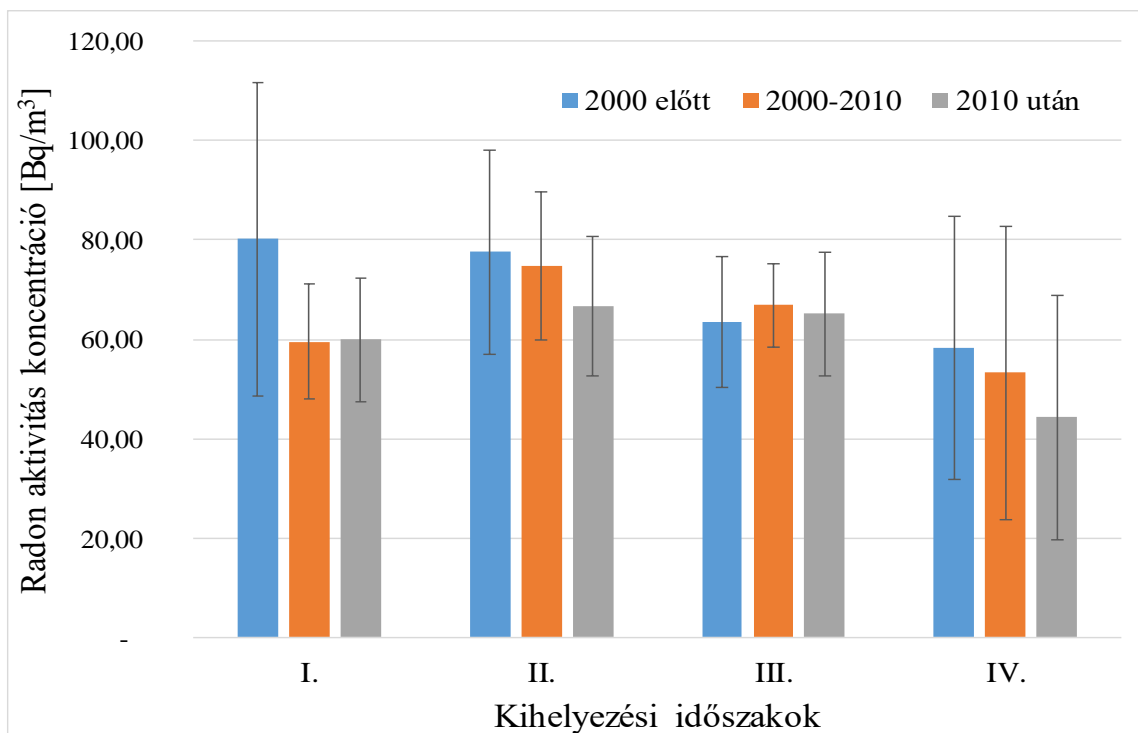
**4. ábra: Radon aktivitás koncentráció alakulása a nappaliban és a hálószobában**  
**Figure 4. Radon activity concentration in the living room and bedroom**

A 4. ábrán a nappaliban és a hálószobákban elvégzett mérési eredményeket hasonlítottuk össze. A 24 mérési helyszín közül 15 esetben a nappaliban végezhetünk méréseket, 5 helyszínen a hálószobában. Egy-egy esetben a dolgozó szoba, illetve az étkezőbe került a detektor elhelyezésre. Utóbbiak, valamint a nem lakott D jelű lakás és a vendég hálószobába kihelyezésre került E jelű lakás eredményeit nem tartalmazza az eredmény.

Eredményeink azt mutatják, hogy a vizsgált lakások esetében a hálószobákban kialakuló átlagos radon aktivitás koncentráció minden vizsgált időszakban magasabb, mint a nappaliban.

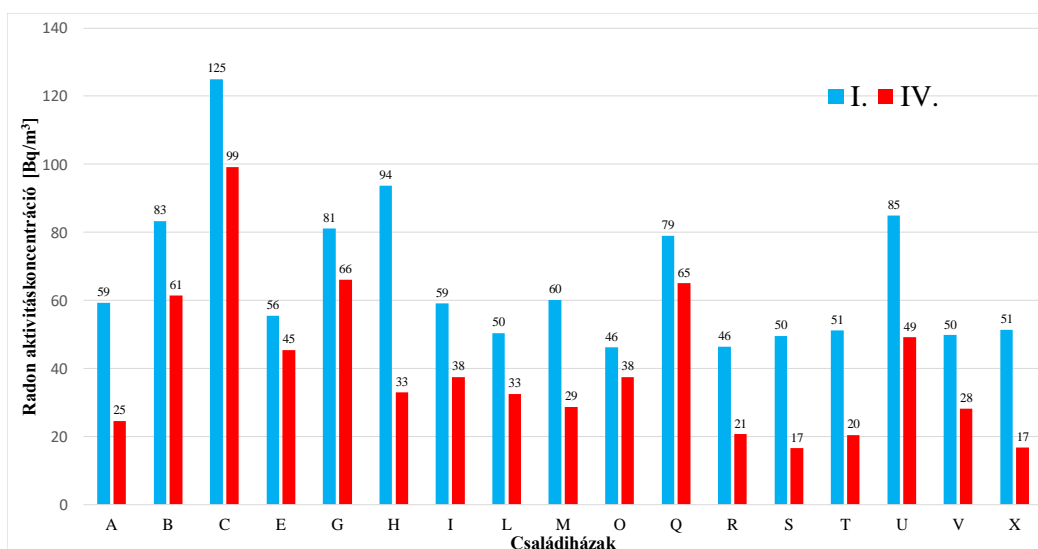
A vizsgált helyszíneket kétrésze osztottuk az alapján, hogy a családiház rendelkezik-e részben vagy egészben pincszinttel esetleg a ház alatt található garázzsal vagy közvetlenül a talajhoz kapcsolódik. A vizsgálataink nem mutattak szignifikán különbséget az átlagos radonkoncentrációban. Kétrésze osztottuk a vizsgált családiházakat a '2 főnél többen lakják' és 'maximum 2 fő lakja' kategóriák alapján, de itt sem találtunk egyértelmű különbséget a kategóriák között.

A 5. ábrán az épület kora alapján kategorizáltunk: Külön ábrázoltuk a 2000 évnél korábban épült, a 2000 és 2010 év között, valamint a 2010 után épült családiházakat. A 2000 évnél korábbi kategóriát 5 db családiház, a 2000 és 2010 között épült csoportot 9 db, míg a legújabbakat 10 családiház alkotja. A vizsgált időszakokban 3 esetben is legrégebben épült családiházakban detektáltunk magasabb radon aktivitás koncentrációt, csak a III. periódus kivétel, de itt a szórásokat is figyelembe véve nem tekinthető szignifikán különbség az épület kora alapján.



**5. ábra: Radon aktvítás koncentráció alakulása a családiházak építési ideje alapján**  
**Figure 5. Evolution of radon activity concentration based on the construction time of family houses**

A koronavírus járvány miatt nem tudtuk a tervezett 3 hónapos időszakokat a méréseink során tartani. Így az I. valamint IV. időszak decembertől kezdődő 4 illetve 5 hónapos periódust vizsgált egy év különbséggel. A mérési sorozatban résztvevő 24 családiház közül 16 esetben jelentősen csökkent a radon aktvítás koncentráció. Ez elsősorban a 2021 év elején tapasztalható magasabb átlaghőmérsékletnek köszönhető, feltételezhető, hogy a szellőztetést gyakrabban és hosszabb ideig végezték a lakók. De magyarázatul szolgálhat az is, hogy a IV. időszak egybe esett a koronavírus járvány 2. hullámával, így többen maradtak otthon és emiatt volt gyakoribb a szellőztetés.



**6. ábra: Radon aktvítás koncentráció alakulása a I. és a IV. időszakban**  
**Figure 6. Evolution of radon activity concentration in the I. and IV. period**



## Következtetések

A legfontosabb eredmény, hogy a vizsgált 24 családi ház légtérének átlagos radon aktivitás koncentrációja nem haladta meg az Európai Unió direktíva a beltéri radon expozícióra kimondott maximum  $300 \text{ Bq/m}^3$  értéket. A méréseink alapján Pest megye keleti részén található 7 település 24 családi házában az átlagos radon aktivitás koncentrációja  $63 \pm 14 \text{ Bq/m}^3$ , ami sokkal kedvezőbb, mint az 1996-os felmérés mérési eredményeinek átlaga  $128 \pm 2,7 \text{ Bq/m}^3$  (NIKL, 1996) illetve kisebb, mint a Magyarországra jellemző  $110\text{--}150 \text{ Bq/m}^3$  érték. Megállapítjuk, hogy eredményeink korrelálnak a Pannon Egyetem Radiokémiai és Radioökológiai Intézetében nyugat-Magyarországra kiterjedő, összesen 202 helyiségeiben elvégzett méréseivel, ahol a radon koncentrációk átlaga  $61 \text{ Bq/m}^3$  volt (CSORDÁS et al., 2019). Hasonlóan egyezést mutatnak a 76 városában 88 magyarországi óvodában elvégzett vizsgálatok eredményeivel, ahol az éves átlagos beltéri radon aktivitás koncentrációt szintén  $61 \text{ Bq/m}^3$  (CSORDÁS et al., 2021).

Az általunk mért legmagasabb eredmény  $125 \text{ Bq/m}^3$ -re adódott egy 1978-ban épült – már szigeteléssel és nyílászárócserevel felújított – családi házban az I. mérési időszakban. A legalacsonyabb átlagos értéket egy 2019-ben épült passzív házban tapasztaltuk  $17 \text{ Bq/m}^3$  a IV. időszakban.

A másfélévig tartó, 24 családi házra kiterjedő mérésorozat nem tekinthető reprezentatívnak. Az építőanyagok és az épületgépészeti rendszerek különbözősége, valamint az életmódbeli variációk nem tették lehetővé, hogy összetett – több kategóriára kiterjedő – kimutatást készítsünk, de így is látható, hogy a szellőztetés gépesítése és automatizálása csökkenti a radonkoncentrációt, valamint megfigyelhető, hogy a tervezés során nem csak a nappali szellőztetése áll prioritásban, hanem a hálószobák friss levegőjére is gondot kell fordítani. A 6. ábra megmutatta, hogy az adott időszak kedvező időjárása nagymértékben befolyásolta a kialakuló átlagos radon aktivitás koncentrációt.

## Köszönetnyilvánítás

Szeretnénk köszönetet mondani a Pannon Egyetem Radiokémiai és Radioökológiai Intézet dolgozóinak a detektorok kiértékelésében nyújtott segítségért.

## Hivatkozott források

ABUMURAD, K.M. (2001): Chances of lung cancer due to radon exposure in Al-Mazar Al-Shamali, Jordan. *Radiation Measurements*, 34(1-6), 537–540. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1350-4487\(01\)00223-2](https://doi.org/10.1016/S1350-4487(01)00223-2)

BAUMANN, M. (szerk) (2009): Épületenergetika. Segédlet. *PTE Pollack Mihály Műszaki Kar, Pécs*. 320p.

BÁNHIDI, L. – KAJTÁR, L. (2000): Komfortelmélet. *Műegyetemi Kiadó, Budapest* 436p.

BECKER, K. (2003): Health Effects of High Radon Environments in Central Europe: Another Test for the LNT Hypothesis? *Nonlinearity in Biology, Toxicology, and Medicine*. 1(1), 3–35. DOI: <https://doi.org/10.1080/154014203908444>

BUTKUS, D. – MORKÜNAS, G. – PILKYTE L.(2005): Ionizing radiation in buildings: Situation and dealing with problems. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 13(2), 103–107. DOI: <https://doi.org/10.3846/16486897.2005.9636853>

DARBY, S. – HILL, D. – AUVINEN, A. – BARRIOS-DIOS, J. M. – BAYSSON, H. – BOCHICCHIO, F. – DEO, H. – FALK, R. – FORASTIERE, F. – HAKAMA, M. – HEID, I. – KREIENBROCK, L. – KREUZER, M. – LAGARDE, F. – MAKELAINEN, I. – MUIRGEAD, C. – OBERAIGNER, W. – PERSHAGEN, G. – RUANI-RAVINA, A. – RUOSTEENOJA, E. – ROSARIO, A. S. – TIRMARCHE, M. – TOMASEK, L. – WHITLEY, E. – WICHMANN, H. E. – DOLL, R. (2004): Radon in homes and risk of lung cancer: collaborative analysis of individual data from 13 European case-control studies. *British Medical Journal* 330, 223–226. DOI: <https://doi.org/10.1136/bmj.38308.477650.63>

CSORDÁS, A. – TÓTH-BODROGI, E. – KOVÁCS, T. (2019): Beltéri radon felmérések a Pannon Egyetemen. *Egyetemi Meteorológiai Füzetek*, ELTE, 55–59. DOI: <https://doi.org/10.31852/EMF.31.2019.055.059>

CSORDÁS, A. – SZABÓ, K.Z. – SAS, Z. – KOCSIS, E. – KOVÁCS, T. (2021): Indoor radon levels in Hungarian kindergartens. *J Radioanal Nucl Chem* 328, 1375–1382. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10967-020-07501-1>

FRONTCZAK, M. – WARGOCKI, P. (2011): Literature survey on how different factors influence human comfort in indoor environments. *Building and Environment* 46(4), 922–937. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.10.021>

GÉCZI, G. – BENÉCS, J. – KRISTÓF, K. – HORVÁTH, M. (2018): High concentrations of radon and carbon dioxide in energy-efficient family houses without heat recovery ventilation. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 26(1), 64–74. DOI: <https://doi.org/10.3846/16486897.2017.1347095>

GOYAL, R., KHARE, M., KUMAR, P. (2012): Indoor Air Quality: Current Status, Missing Links and Future Road Map for India. *J Civil Environ Eng* 2(118). DOI: <https://doi.org/10.4172/2165-784X.1000118>

HÁMORI, K. – TÓTH, E. – PÁL, L. – KÖTELES, G. – LOSONCI, A. – MINDA, M. (2006a): Evaluation of indoor radon measurements in Hungary. *Journal of Environmental Radioactivity*, 88, 189–198. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2006.02.002>

HÁMORI, K. – TÓTH, E. – LOSONCI, A. – MINDA, M. (2006b): Some remarks on the indoor radon distribution in a country. *Applied Radiation and Isotopes*, 64(8), 859–863. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2006.02.098>

HUSSEIN, Z.A. – JAAFAR, M.S. – ISMAIL, A.H. (2013): Measurements of Indoor Radon-222 Concentration inside Iraqi Kurdistan: Case Study in the Summer Season. *J Nucl Med Radiat Ther* 4(143). DOI: <https://doi.org/10.4172/2155-9619.1000143>

ICRP (1991): 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. *ICRP Publication* 60. Ann. ICRP 21(1–3).

ICRP (1993): Protection Against Radon-222 at Home and at Work. *ICRP Publication* 65. Ann. ICRP 23(2).

KATONA, T. – KANYÁR, B. – SOMLAI, J. – MOLNÁR, Á. (2007): Determining  $^{222}\text{Rn}$  daughter activities by simultaneous alpha- and beta-counting and modeling. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* 272(1), 69–74. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10967-006-6793-4>

KNOLL, G.F. (2010): Radiation Detection and Measurement. *John Wiley & Sons, Inc.* 4th Edition 860p.

KÖTELES, GY. J., (2007): Radon Risk in Spas? *CEJOEM* 2007, 3(1), 3–16.

- LÁZÁR, I. – TÓTH, E. – KÖTELES, G.J. – PUHÓ, E. – CZEIZEL, A.E. (2005): An inverse association between cancer mortality rate of women and residential radon in 34 Hungarian villages. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* 266(1), 43–48. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10967-005-0866-7>
- MINDA, M. – TÓTH, GY. – HORVÁTH, I. – BARNET, I. – HÁMORI, K. – TÓTH, E. (2009): Indoor radon mapping and its relation to geology in Hungary. *Environmental Geology*, 57(3), 601–609. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00254-008-1329-6>
- MÜLLEROVÁ, M. – KOZAK, K. – KOVÁCS, T. – SMETANOVÁ, I. CSORDÁS, A. – GRADZIEL, D. – HOLY, K. – MAZUR, J. – MORAVCSIK, A. – NEZNAL, M. – NEZNAL, M. (2016): Indoor radon survey in Visegrad countries. *Applied Radiation and Isotopes* 110, 124–128. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2016.01.010>
- NIKL, I. (1996): The Radon Concentration and Absorbed Dose Rate in Hungarian Dwellings *Radiat Prot Dosimetry* 67(3), 225-228. DOI: <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.rpd.a031821>
- NIKOLOPOULOS, D. – PETRAKI, E. – TEMENOS, N. – KOTTOU, S. – KOULOGLIOTIS, D. – YANNAKOPOULOS, P.H. (2014a): Hurst Exponent Analysis of Indoor Radon Profiles of Greek Apartment Dwellings. *J Phys Chem Biophys* 4(6), 168. DOI: <https://doi.org/10.4172/2161-0398.1000168>
- NIKOLOPOULOS, D. – KOTTOU, S. – LOUIZI, A. – PETRAKI, E. – VOGIANNIS, E. – YANNAKOPOULOS, P.H. (2014b): Factors Affecting Indoor Radon Concentrations of Greek Dwellings through Multivariate Statistics. *J Phys Chem Biophys* 4, 145. DOI: <https://doi.org/10.4172/2161-0398.1000145>
- SOMLAI, J. – GORJÁNÁ CZ, Z. – VÁRHEGYI, A. – KOVÁCS, T. (2006): Radon concentration in houses over a closed Hungarian uranium mine. *Science of The Total Environment* 367(2–3), 653–665. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2006.02.043>
- SZABÓ, K. ZS. – HORVÁTH, Á. – SZABÓ, CS. (2014a): Geogén radonpotenciál térképezés Pest és Nógrád megye területén. *Nukleon* VII. 153, 9p.
- SZABÓ, K.ZS. – JORDAN, GY. – HORVÁTH, Á. – SZABÓ, CS. (2014b): Mapping the geogenic radon potential: methodology and spatial analysis for Central Hungary. *Journal of Environmental Radioactivity*, 129, 107–120. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2013.12.009>
- SZABÓ, K.ZS. – JORDAN, GY. – SZABÓ, CS. – HORVÁTH, Á. – HOLM, Ó. – KOCSY, G. – CSIGE, I. – SZABÓ, P. – HOMOKI, ZS. (2014c): Radon and thoron levels, their spatial and seasonal variations in adobe dwellings – a case study at the great Hungarian plain. *Isotopes in Environmental and Health Studies*, 50(2), 211–225. DOI: <https://doi.org/10.1080/10256016.2014.862533>
- SZERBIN, P. – KÖTELES, GY. – STÚR, D. (1994): Radon Concentrations in Rudas Thermal Bath, Budapest. *Radiation Protection Dosimetry*, 56(1-4), 319–321.
- TÓTH, E. (1992): Radon a magyar falvakban. *Fizikai Szemle* 2, 44–49.
- TÓTH, E. – LÁZÁR, I. – SELMECZI, D. – MARX, G. (1998): Lower cancer risk in medium high radon. *Pathology and Oncology Research*, 4(2), 125–129. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02904706>
- TÓTH, E., HÁMORI, K. (2005): A lakótéri radonszint eloszlásról *Fizikai Szemle* 11, 375p.
- UNSCEAR (2000): Sources and Effects of Ionizing Radiation. *United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation 2000 Report to the General Assembly*. 654 p.

VASILYEV, A. – YARMOSHENKO, I. (2016): Effect of energy-efficient measures in building construction on indoor radon in Russia. *Radiat Prot Dosimetry*, 174(3), 419–422. DOI: <https://doi.org/10.1093/rpd/ncw149>

ZEEB, H. – SHANNOUN, F. (2009): WHO handbook on indoor radon: a public health perspective. *World Health Organization* ISBN 978 92 4 154767 3, 94p.

487/2015. (XII. 30.) Korm. rendelet: Az ionizáló sugárzás elleni védelemről és a kapcsolódó engedélyezési, jelentési és ellenőrzési rendszerről. Letöltés dátuma: 2022.10.24. forrás: <http://www.kozlonyok.hu/nkonline/MKPDF/hiteles/mk15209.pdf>

MSZ EN ISO 11665-1:2016 Magyar Szabvány. A környezeti radioaktivitás mérése. Levegő: radon-222, 1. rész: A radon és a rövid felezési idejű bomlástermékek eredete és az ehhez kapcsolódó mérési módszerek.

MSZ EN ISO 11665-1:2016 Magyar Szabvány. A környezeti radioaktivitás mérése. Levegő: radon-222, 5. rész Az aktivitáskoncentráció meghatározása folyamatos mérési módszerrel.

EN ISO 11665-1:2012 Measurement of radioactivity in the environment. Air: radon-222. Part 1: Origins of radon and its short-lived decay products and associated measurement methods.

EN ISO 11665-5:2012 Measurement of radioactivity in the environment. Air: radon-222. Part 5: Continuous measurement metho of the activity concentration.

## Szerzők

### **FEKTI László Richard**

Projektfelelős, PhD hallgató

MVM Paksi Atomerőmű Zrt./ Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Műszaki Tudományi Doktori Iskola, 2100 Gödöllő, Páter K. u. 1.

laszlo.richard.fekti@gmail.com

### **Dr. SZÉKELY László PhD**

egyetemi docens, intézetigazgató

Magyar Agrár és Élettudományi Egyetem, Matematika és Természettudományi Alapok Intézet, Matematika és Modellezés Tanszék, 2100 Gödöllő, Páter K. u. 1.

Szekely.Laszlo@uni-mate.hu

### **Dr. habil. HORVÁTH Márk PhD**

egyetemi docens, csoportvezető

Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Környezettudományi Intézet, Környezetanalitikai és Környezetmérnöki Tanszék, Környezetkémia Csoport 2100 Gödöllő, Páter K. u. 1.

horvath.mark.kalman@uni-mate.hu

### **Dr. habil. GÉCZI Gábor PhD**

egyetemi docens, csoportvezető

Magyar Agrár és Élettudományi Egyetem, Környezettudományi Intézet, Környezetanalitikai és Környezetmérnöki Tanszék, Környezettechnológia Csoport, 2100 Gödöllő, Páter K. u. 1.

geczi.gabor@uni-mate.hu

A műre a Creative Commons 4.0 standard licenc alábbi típusa vonatkozik: [CC-BY-NC-ND-4.0.](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

