

RÖVID IDEJŰ BELTÉRI RADONMÉRÉSEK TAPASZTALATAI ÉS JAVASLAT AZ ÉRTÉKELÉS MÓDSZERÉRE

Homoki Zsolt^{1,2*}, Szigeti Ágnes²

¹Pannon Egyetem, Vegyészmérnöki és Anyagtudományok Doktori Iskola

²Nemzeti Népegészségügyi Központ, Sugárbiológiai és Sugáregészségügyi Főosztály
1221 Budapest, Anna u. 5.

*homoki.zsolt@osski.hu

A kézirat beérkezett: 2020.11.10.

Közlésre elfogadva: 2021.11.12.

Assessment and proposal for methodology of short term indoor radon measurement

Nowadays, there is higher attention on indoor health risk factors including the radioactivity. Hence the public interest in indoor radon concentration measurement grows. When it is needed to make a decision on real estate transaction or renovation, the potential radon risk has a higher importance. In such a situation there is not enough time to do long term measurements, but official guideline on short term measurement does not exist actually. We give a detailed overview about our measurement results and our conclusions in this article. Additionally, we made a proposal for methodology of short term radon measurement using our experience. Furthermore, we worked out a concept for calculating the indoor radon potential (IRP) and made also a suggestion for the offered corrective action based on the IRP values.

Keywords: indoor radon concentration, radon risk, radon potential, action level, slag

Egyre több figyelem irányul a beltéri kockázati tényezőkre, közöttük a radioaktív sugárzásokra. Ezzel együtt folytonosan növekszik a lakosság érdeklődése a lakóépületek radonszintje iránt. Amikor ingatlan vásárlásról, felújításkor kell döntést hozni, egyre többször a potenciális beltéri radonszintnek is van jelentősége. Ilyenkor legtöbbször nincs lehetőség több hónapos mérésre. A radonkoncentrációk rövid idejű felmérésére jelenleg nincs egységes módszer. Cikkünkben részletesen elemezzük a vizsgálati eredményeinket és azokat felhasználva javaslatot teszünk egy gyors vizsgálati módszerre. Kidolgoztunk egy eljárást a beltéri radonkockázat (IRP) jellemzésére szolgáló indikátor számítására és javaslatot teszünk az indikátor értékének függvényében az ajánlható radoncsökkentési eljárásra.

Kulcsszavak: beltéri radonkoncentráció, radonkockázat, radonpotenciál, beavatkozási szint, salak

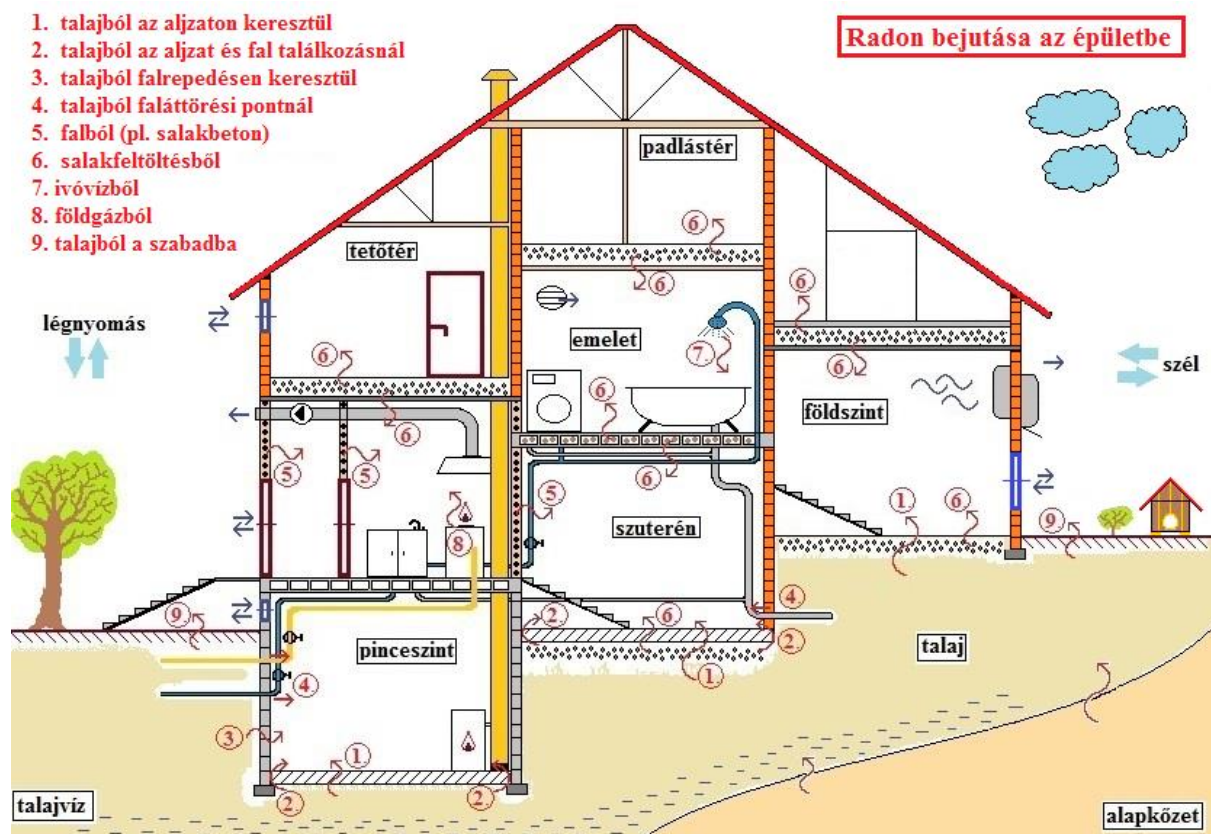
1. BEVEZETÉS

1.1. A beltéri radonkoncentráció forrásai és változásai

Hazánkban a beltéri radon két legfőbb forrása az épületek alatti talaj, illetve kőzet, valamint az építőanyagok, amiből az épület készült. Ehhez kisebb mértékben hozzájárul az ivóvízből és földgázból felszabaduló radon. A radon csak zárt terekben tud feldúsulni. Az épületeken kívüli szabad térben a radonkoncentrációja globálisan 5–15 Bq/m³. A beltéri radon koncentrációja rendszerint néhány 10 és néhány 100 Bq/m³ közötti, ritkán néhány ezer Bq/m³-es nagyságrendet ér el. A beltéri radonszint gyakran napszakos és évszakos változást is mutat. Ellentétben a gamma-sugárzással, rendkívül sok tényező befolyásolja a pillanatnyi értékét. Egy napon belül akár két nagyságrenddel is változhat. Minden olyan belső vagy külső

tényező, amely hatással van a levegő mozgására az épületen belül, hat a beltéri radon koncentrációjára is. Emellett fontos az épület kapcsolata a környezetével, így pl. az ablakok illeszkedésének minősége (záródása), az épület és a talaj kapcsolata, a határoló felületek szerkezeti kialakítása. Szellőztetéskor (pl. az ablakok kinyitásával) a külső és belső levegő intenzív keveredése eredményeként a beltéri radonszint rövid idő alatt alacsony értékre csökken. Az effektív biológiai kockázatunk mértékét azonban nem a pillanatnyi értékek, hanem a hosszú időtartamra összegzett dózis határozza meg, ezért a becslésére hosszú idejű (pl. fél vagy egy éves) mérések végzését ajánlják. [WHO, 2007]

Az 1. ábra a főbb lehetséges radon bejutási útvonalakat szemlélteti egyetlen fiktív épületen keresztül illusztrálva.



1. ábra. Radon bejutási útvonalak az épületben

2. BELTÉRI RADONFELMÉRÉSEK EREDMÉNYEI

2.1. Hazai országos beltéri radon felmérések

Az Európai Unió 2013/59/EURATOM direktívájának rendelkezése alapján minden uniós országnak meg kell határoznia a beltéri radonkoncentráció éves átlagos vonatkoztatási szintjét az egyes tagországok helyi adottságainak függvényében. Hazánkban a 487/2015. (XII. 30.) Kormányrendelet 49. §-a rendelkezik a beltéri radon- és radon leányelem-koncentrációk éves átlagos értékének vonatkoztatási szintjéről, amelyet egységesen minden épületre, funkciótól függetlenül 300 Bq/m³-ben állapít meg. [487/2015.]

A magyarországi lakások radonszintjéről több felmérés készült. Nikl István 1993–1994 között végzett, 998 lakásra kiterjedő vizsgálatában a mérési eredmények számtani átlaga 128±27 Bq/m³-nek adódott. Hámori Krisztián, Tóth Eszter és társai által 1994–2004 között

végzett, 15.277 földszintes lakásra kiterjedő mérési eredményei alapján a számtani átlag 133 Bq/m^3 volt. [Nikl, 1996; Tóth E, 2004]

Az intézetünk munkatársai által 2003–2007 között 114 település 280 épületben végzett, legalább egy éves időtartamú vizsgálat alapján a mért beltéri radonkoncentrációk számtani átlaga 93 Bq/m^3 , a mediánja 68 Bq/m^3 , a 400 Bq/m^3 feletti átlagértékek aránya 2,0% volt.

2003-tól a hosszú idejű, passzív detektoros mérések mellett intézetünk munkatársai rövid idejű, aktív műszeres radonkoncentráció méréseket is végeztek épületek sugáregészségügyi felmérésekor. A vizsgálatokat többnyire konzervatív (nem szellőztetett) körülmények mellett végezték, összesen 114 település 267 épületében. Ezek eredménye alapján a beltéri radonkoncentráció számtani átlaga 152 Bq/m^3 , a mediánja 99 Bq/m^3 , a 400 Bq/m^3 feletti átlag értékek aránya 6,0%, a 600 Bq/m^3 feletti átlag értékeké 2,6% volt.

A felmérések eredményeinek összehasonlítását az 1. táblázat mutatja.

1. táblázat. Országos beltéri radonfelmérések eredményeinek statisztikája

A radonfelmérést végző laboratórium	OSSKI (Nikl István)	Rad Labor (Tóth E. és mts.)	OSSKI (Déri Zs. és mts)	NNK SSFO (OSSKI)
A felmérés időszaka	1993–1994	1994–2004	2003–2007	2003–2020
A vizsgálat időtartama	1 év	$\frac{3}{4}$ év	1 év	1-5 nap
A vizsgált épületek száma	998 db	15.277 db	280 db	267 db
Érintett település	863	424	248	114
A radonkoncentráció mérési eredmények statisztikája				
Számtani átlag	128 Bq/m^3	133 Bq/m^3	93 Bq/m^3	152 Bq/m^3
Medián	81 Bq/m^3	97 Bq/m^3	68 Bq/m^3	99 Bq/m^3
GM + GSD	$81 \pm 2,7 \text{ Bq/m}^3$	$100 \pm 2,1 \text{ Bq/m}^3$	$68 \pm 2,2 \text{ Bq/m}^3$	$9 \pm 4,1 \text{ Bq/m}^3$
$>200 \text{ Bq/m}^3$	16%	5,9%	13%	22%
$>400 \text{ Bq/m}^3$	-	0,8%	2,0%	6,0%
$>600 \text{ Bq/m}^3$	1,5%	0,2%	-	2,6%

2.2. A radonszintek évszakos változása

A 2012–2020 között, passzív nyomdetektorokkal végzett negyedéves gyakoriságú, együttesen legalább $\frac{3}{4}$ éves időtartamú felméréseinknél külön vizsgáltuk, hogy az adott évszakban mért átlagérték hogyan viszonyul az éves átlagos radonkoncentrációhoz. 128 helyszín eredménye alapján azt láttuk, hogy a tavaszi és az őszi átlagérték sokszor egy nagyságrendbe esik az éves átlaggal, a nyári értékek átlagosan kb. 30%-kal alacsonyabbak, míg a téli hónapokban mértek átlagosan 20%-kal magasabbak. Helyszínről helyszínre ezek az arányok akár jelentős eltérést mutattak az előbb bemutatottól. A részletes statisztikai adatokat a 2. táblázat foglalja össze. Más laboratóriumok által végzett felmérésekben más arányszámokat kaptak, de az közös bennük, hogy a nyári értékek alacsonyabbak, a téliek pedig magasabbak az évszakosan változó szellőztetési szokásoknak megfelelően. [Szabó Zs., 2013]

2. táblázat. Évszakos átlagos radonkoncentrációk aránya az éves átlaghoz

Radonkoncentráció arányok	tavaszi/éves	nyári/éves	őszi/éves	téli/éves
Számtani átlag	1,05	0,72	0,97	1,25

Radonkoncentráció arányok	tavaszi/éves	nyári/éves	ősz/éves	téli/éves
Medián	1,05	0,66	0,97	1,22
Azon esetek aránya, amikor évszakos>éves	61%	19%	43%	84%
10%–90% percentilis	0,72–1,37	0,43–1,07	0,58–1,41	0,84–1,69
Szabó Zsuzsanna, 2013.	0,87	0,41	1,47	1,25

3. A RÖVID IDEJŰ RADONKONCENTRÁCIÓ MÉRÉSEK ÉRTÉKELÉSE

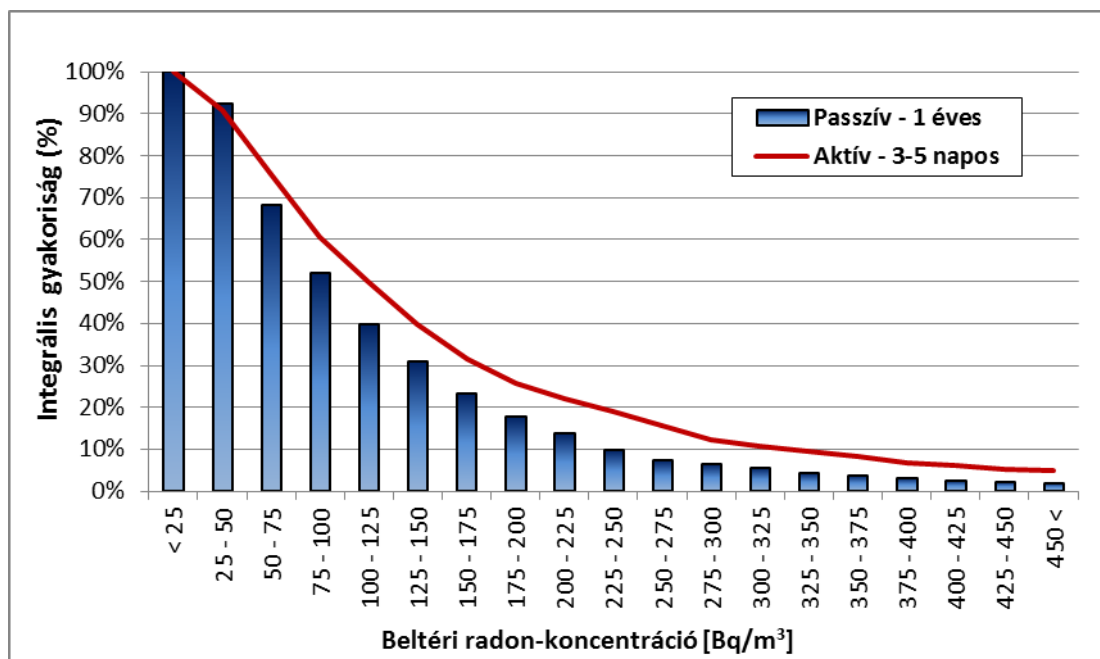
3.1. A rövid idejű radonkoncentráció mérések szükségessége

A hétköznapi élet során a gyakorlatban sokszor nincs lehetőség több hónapnyi idejű mérésre, mert rövid időn belül kell döntést hozni. Ilyen helyzet például, ha egy épület felújításának módjáról vagy ingatlan adás-vételről kell dönteni. Ilyenkor, a legtöbbször, csak néhány napos, legfeljebb egy hetes mérésre van lehetőség a kockázat értékelésére. Az így nyert eredmény természetesen nem ad információt a várható éves átlagos radonkoncentrációról. A több hónapon keresztüli, integrált mérés viszont arról nem ad információt, hogy kialakulhat-e magas beltéri radonkoncentráció, amely a gyakorisága vagy kiegyenlítettsége folytán nem eredményez emelkedett átlagszintet. Figyelembe kell venni azt is, hogy a mért radonkoncentrációk mindig csak a mérés körülményeivel együtt értékelhetők. A konzervatív körülmények között végzett mérések általában felülbecslést eredményeznek a normál szellőztetési szokás mellett mérthez képest.

Kíváncsiak voltunk ezért arra, hogy a rövid idejű radonmérések eredményei mennyire használhatók a beltéri radonkockázat értékelésére. Vizsgálataink során az aktív műszeres méréseink eredményeinek elemzéséből megfigyelt tendenciákat vetettük górcső alá. A különböző értékelési szempontok szerint ebből nyert következtetéseinket az alábbiakban mutatjuk be.

3.2. Rövid és hosszú idejű radon mérések összehasonlítása

A rövid idejű radonméréseket többségében konzervatív körülmények között végzetük, ezért ahogy az várható volt, a hosszú idejűnél nagyobb radonkoncentráció értékeket kaptunk. Az 1. táblázatban bemutatott statisztikai mutatószámokban csak kb. 20%-os többlet volt látható. A kétféle vizsgálat eredményeinek gyakoriság eloszlása azonban hasonló képet mutatott. A 2. ábra a rövid és egyéves időtartamú mérések eredményeiből készített integrális gyakoriságeloszlást együttesen mutatja.



2. ábra A rövid és hosszú idejű radonmérések eredményeinek összehasonlítása

3.3. A radonfelszabadulás sebessége

A rövid idejű radonmérések során megfigyelt tendenciák értékelése előtt fontos kitérni arra, hogyan változik ideális esetben egy zárt térben a radonkoncentráció, ha egy síkfelület a forrás.

Mint említettük a helyiségek levegőjébe a radon elsődlegesen két forrásból jut: a talajból a vele közvetlen kontaktban lévő épülethatároló felületeken át és magából az építőanyagból. Ily módon a beltéri levegőbe jutás történhet meghatározott pontokon, illetve felületeken keresztül. A bejutás sebessége függ a közegben potenciálisan jelen lévő radon mennyiségétől, a felületek gázáteresztő képességétől és a folyamat hajtóerejétől. Egy zárt térben ténylegesen kialakuló radonkoncentráció nagyságát az előbbieken felül meghatározza a rendelkezésre álló térfogat és a radonszintet csökkentő tényezők hatása. A fontosabb csökkentő tényezők a radon fizikai bomlása és a légsere tényező (a kiszellőzés mértéke).

A radon felszabadulás sebességét exhalációnak nevezik. Az exhaláció azt fejezi ki, hogy egységnyi felületen egységnyi idő alatt mennyi radon lép ki [Bq/(m²·s)], de megadható tömegegységre is [Bq/(kg·s)]. Az értéke függ az anyag radioaktivitásától, porozitásától, permeabilitásától és nedvességtartalmától.

A felületi exhaláció következtében, egy vele kontaktban lévő zárt térben felhalmozódó radon koncentrációja az ISO 11665-7 szabvány alapján az (1) képlettel fejezhető ki, ha azt felételezzük, hogy a kezdeti radonkoncentráció és a fordított irányú diffúzió is elhanyagolható mértékű. Ilyenkor az (1) egyenlet alapján számított radonkoncentráció a kezdeti, növekedési szakaszban lineáris görbével jellemezhető. [ISO 11665-7]

$$C(t) = \frac{\varphi \cdot S}{V} \cdot t \quad (1)$$

C(t)	radonkoncentráció a zárt tér levegőjében	(Bq/m³)
φ	felületi exhalációs tényező	(Bq/(m²·s))
S	effektív felület	(m²)
V	a zárt tér effektív térfogata	(m³)
t	akkumulációs idő	(sec)

Tapasztalatunk szerint, valós körülmények között egy helyiségen belül a radonkoncentráció növekedések dinamikáját számos, időben változó tényező alakítja egyszerre és így az csak nagyon ritkán közelíthető egy idealizált görbével.

3.4. A radonkoncentrációk felmérésének módszere

A beltéri radonkoncentrációk rövid idejű felmérésére jelenleg nincs meghatározott, ajánlott protokoll, a felmérést végzők gyakorlata sokszor nagyon eltér egymástól. A 2000-es évek elején az intézetünk munkatársai által készített ajánlás tervezet szerint a helyszínrre történő kiszállás előtt legalább fél napon keresztül ajánlott zárva tartani a mérendő helyiség nyílászáróit annyira, amennyire lehetséges. Ezzel a téli időszakot lehet szimulálni a lakás használat és szellőztetés szempontjából. Az ajánlott mérési időtartam mérőeszköztől függően legalább fél óra volt. Ily módon pontszerű mintavételt („spot measurement”) lehet megvalósítani, amit az ISO 11665-6 szabvány ír le. A szabvány szerinti ajánlott mérési idő legfeljebb 1 óra. Más szolgáltatást végzők által, hasonló módszerrel végzett vizsgálatok eredményének értékelésével mostanában is megkeresnek minket. 2008-tól a korábbi gyakorlattól eltérően, az akkor alkalmazott 1 napos mérési időket a bizonytalanságok csökkentése érdekében folyamatosan növeltük. A méréseket lehetőség szerint konzervatív (nem szellőztetett) körülmények között végeztük [ISO 11665-6].

Véleményünk szerint a rövid idejű méréseket olyan aktív radonmérő műszerrel ajánlott végezni, amely alkalmas a mérési eredmények folytonos értékelésére és a meghatározott integrálási idővel (pl. 1 óra) mért átlagos radonkoncentrációk eltárolására, kiolvasására. A mérések eredményeiből ily módon fontos következtetéseket lehet levonni a radonkoncentráció időbeli alakulásáról.

Jelen vizsgálatunk során azt elemeztük, hogy egy-egy helyszínen a kapott eredmények milyen tendenciát mutattak. A célunk annak meghatározása volt, hogy mennyi az ajánlott minimális vizsgálati idő, hogy meg tudjuk becsülni az adott körülmények között kialakulhat-e magas radonszint. Megfigyeléseinket és következtetéseinket az alábbi szempontok szerint csoportosítva mutatjuk be.

Tendencia. Az esetek kb. felében (49%) a mért radonszint nem mutatott egyirányú tartós változást (tendenciát), csak egy adott szint körül ingadozott kisebb-nagyobb mértékben. Az esetek kb. 40%-ában először határozott emelkedést mutatott, majd egy magasabb szinten megállapodva stabilizálódott és e körül ingadozott. Erre az értékre a továbbiakban az adott körülményekre jellemző egyensúlyi szintként, plató (vagy telítési) szintként fogunk hivatkozni. Ezt a két tendenciát azért emeltük ki, mert együttesen ezek írták le az összes eset majdnem 90%-át, vagyis ez volt a legjellemzőbb várható trend.

Plató szint és maximum elérési idő. Vizsgáltuk, hogy mennyi idő telt el a mérés kezdetétől az előbbiek szerint definiált plató szint, illetve a mért legnagyobb radonkoncentráció (maximum) eléréséig. Azt láttuk, hogy a radonszint a telítési értéket az esetek kicsit több mint felében (59%) 24 órán belül elérte, és az esetek 88%-ban kevesebb, mint 48 óra volt szükséges ehhez. A maximumot az esetek 58%-ában 48 órán belül detektáltuk és az esetek 15%-ban volt szükség ehhez több mint 72 órára (azaz 3 napra).

Plató szint és a maximum értéke. Kíváncsiak voltunk, hogy viszonyul egymáshoz a plató és a maximum értéke. Megállapítottuk, hogy a 200 Bq/m³ feletti radonszinteken jelentős eltérést nem mutattak. Az értékük a 300 Bq/m³-t az esetek 25%-ban haladta meg, és kb. 14%-ban a 450 Bq/m³-t. Továbbá azt a megfigyelést tettük, hogy a 250 Bq/m³ feletti radonszinteknél a radonkoncentráció maximuma többé-kevésbé jól közelíthető a teljes mérési periódusra vonatkozó átlagérték 1,5-szeresével.

Minimum: Azt is megfigyeltük, hogy egy-egy nagyobb szellőztetés után a radonkoncentrációja rendszerint visszaesett 100 Bq/m³ alá, függetlenül attól, hogy mekkora volt

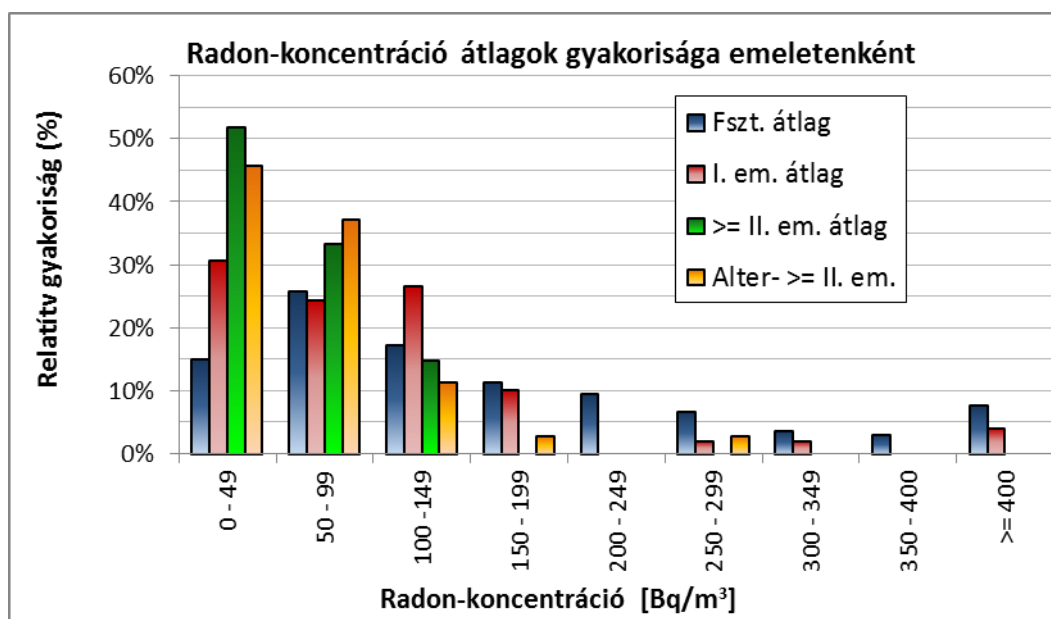
előtte a kiindulási radonszint. Vagyis megerősítést nyert, hogy a manuális szellőztetés hatékony módja a beltéri radonszintek (átmeneti) csökkentésének.

Eredményeinkből azt a következtetést vontuk le, hogy egy-egy helyiségre az ajánlott vizsgálati időnek legalább 3 napnak kell lennie még konzervatív körülmények mellett is. Az ennél rövidebb idejű mérésnek nagyobb a bizonytalansága. Ha hosszabb idő áll rendelkezésünkre, ajánlott a mérés közben, 3 nap után egy alapos szellőztetést végezni és a mérést folytatva a helyiséget újból lezárni, hogy több információnk legyen a telítési szint elérésének sebességéről, nagyságáról.

3.5. Radonkoncentrációk az emeleti szintek függvényében

A helyszíni vizsgálataink tervezése során gyakran felmerült kérdésként, hogy többszintes épületek magasabban lévő helyiségeiben érdemes-e radonkoncentrációt mérni?

Egyik megfigyelésünk az volt, hogy a magasabban lévő emeleti szinteken rendszerint nem mértünk nagy értékeket. Ennek ellenőrzésére megvizsgáltuk az eredményeink magasság szerinti, azaz emeletenkénti megoszlását. Azt láttuk, hogy a talajszinttől számított második vagy a feletti emeleten az átlagos radonkoncentrációk nem haladták meg a 150 Bq/m^3 -t és a maximumok sem a 200 Bq/m^3 -t. Az eredményeink emeletenkénti statisztikáját újraszámoltuk az abszolút magasság függvényében, vagyis a pince- vagy szuterénszint figyelembe vételével. Az ily módon, abszolút értelemben számított második emeleten, a 36 helyszínből csak egy alkalommal mértünk az előbbieket jóval meghaladó értékeket. Eredményeinket a 3. ábra foglalja össze.



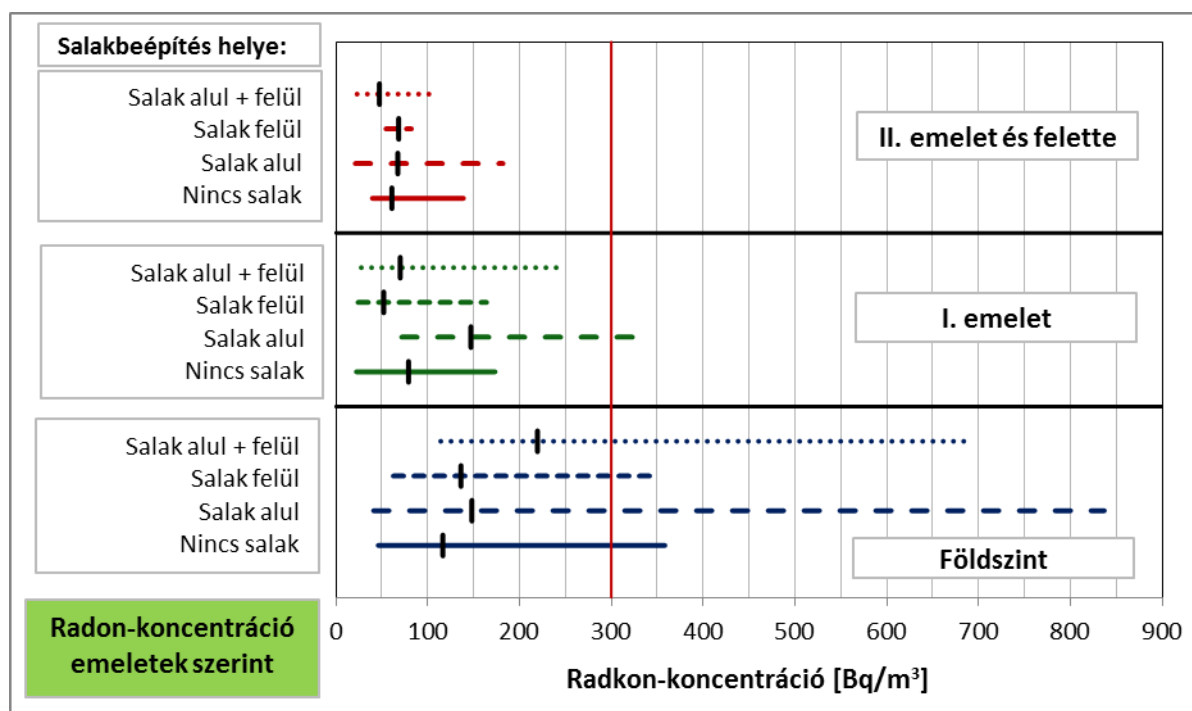
3. ábra. Átlagos radonkoncentrációk emeletek szerinti megoszlása

Megfigyeléseink alapján egyértelmű volt, hogy a födémekben lévő salakbeépítések gyakran emelkedett beltéri gamma-sugárzást eredményeznek. A gamma-sugárzás szintjének növekménye elsődlegesen a beépített salak radioaktivitásától, mennyiségétől és a beépítés módjától függ, de a vizsgált helyiség épületben belüli elhelyezkedésétől nem. Ezért érdekes volt megfigyelni, hogy a második vagy a feletti emeleti helyiségekben akkor sem mértünk magas radonszintet, ha a padlón mért gamma-sugárzás értéke az alatta lévő erősen radioaktív salakfeltöltés miatt az átlagos beltéri értéket jelentősen meghaladta. Ezen állításunkat külön vizsgálattal ellenőriztük.

Kíváncsiak voltunk arra, hogy a salakos beépítések hozzájárulnak-e a radonszint megemelkedéséhez. Ennek vizsgálatához a rövid idejű radonkoncentráció mérések átlagértékeit az abszolút magasság alapján vett emeletenként négy alcsoportba soroltuk be, aszerint hogy

- a vizsgált helyiségnek sem a padlójában, sem a felső födémjében nem volt salak,
- csak a padlójában volt salak,
- csak a felső födémjében volt salak,
- a padlóban és a felső födémben egyaránt volt salak.

Eredményeinket a 4. ábrán mutatjuk be, amelyen az látható, hogy elsődlegesen a földszinti és az első emeleti salakos helyiségekben mértünk relatív nagyobb radonkoncentrációkat a salakot nem tartalmazókhöz képest. Közülük is, általában akkor mértünk magasabb radonszintet, ha a padlóban vagy a padlóban és födémben egyaránt volt salakfeltöltés.

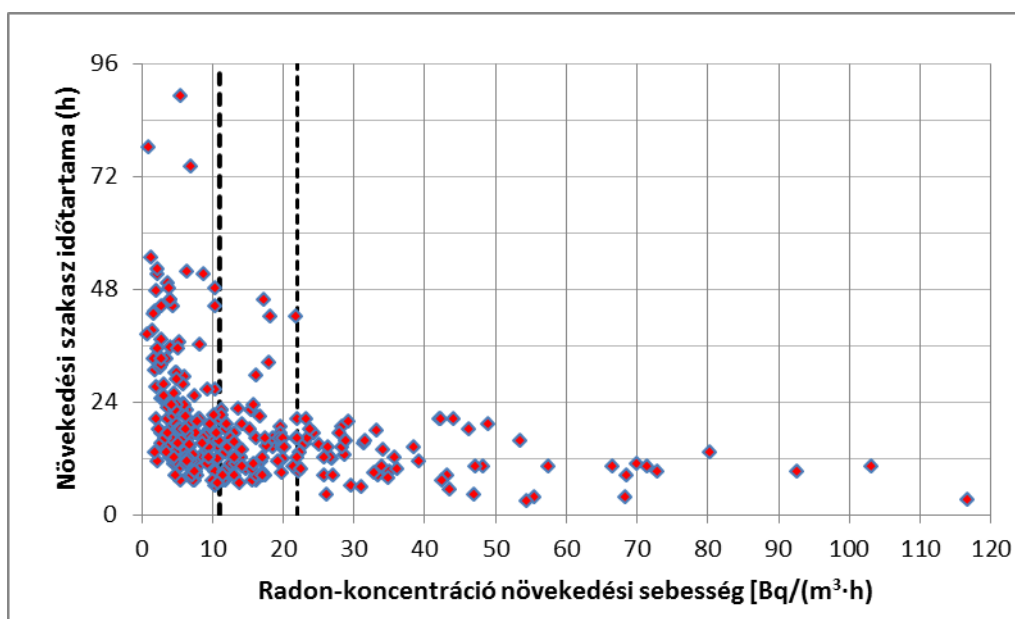


4. ábra. Radonkoncentrációk az emeleti szintek és a salakbeépítés helyének függvényében

3.6. A beltéri radonszint növekedések értékelése

Külön vizsgálat alá vetettük azokat az eseteket, amikor a mért radonkoncentrációk egy ideig kvázi (nem szigorúan) monoton növekvő, emelkedő tendenciát mutattak. Ilyet az összes eset, majdnem felében (44%-ban) figyeltünk meg. Megvizsgáltuk, hogy ilyenkor milyen hosszú időn keresztül tartott az emelkedés és az mekkora radonszint növekedéssel járt. A kettő hányadosaként kaptuk meg a radonszint emelkedési sebességét $\text{Bq}/(\text{m}^3 \cdot \text{h})$ egységben. Egy adott helyszínen, egy-egy vizsgálat alatt akár több emelkedési szakaszt is megfigyeltünk, pl. időközbeni szellőztetések miatt. Továbbá voltak olyan esetek, amikor egy korábban már stabilizálódott szintet mutató szakasz után újabb növekedési szakaszt figyeltünk meg.

Ezen vizsgálattal az volt a célunk, hogy lássuk, szellőztetések után milyen gyorsan és milyen mértékig telítődnek radonnal a vizsgált helyiségek az aktuális körülmények között. Abból indultunk ki, hogy a gyors telítődés és a magas telítési radonszint nagyobb beltéri radonkockázatot jelent. Eredményeinket az 5. ábra foglalja össze.



5. ábra. Radonkoncentráció időtartamok a növekedési sebességek függvényében

Az ábrából az látható, hogy az alacsony növekedési sebességekhez olykor nagyon hosszú (több mint 48 óra) kumulációs idő tartozik, míg a gyors radonszint növekedési szakaszok hossza általában nem több mint 12 óra.

Az eredményekről általánosságban elmondható kvázi monoton radonszint növekedési szakaszok időtartama 84%-ban rövidebb volt, mint 24 óra, 13%-ban 24 és 48 óra közötti volt, és csak 3%-ban haladta meg a 48 órát. A vizsgált radonszint növekedési sebességek mediánja $10,0 \text{ Bq/(m}^3\cdot\text{h)}$ -nak adódott, a növekedési idő mediánja 15,5 óra volt. Részletesen a következők voltak megállapíthatók.

- A növekedés a legtöbbször rövid ideig (<24 óra) tartott, de alacsony ($<11 \text{ Bq/(m}^3\cdot\text{h)}$) növekedési sebesség mellett tapasztaltunk 48 órát akár jelentősen meghaladó ideig tartó növekedést is. Az alacsony növekedési sebességhez általában alacsony radon növekmény társult (átlagosan $<150 \text{ Bq/m}^3$), de a hosszú ideig tartó növekedés olykor magas telítési szintet eredményezett. Az átlagos növekedési idő kb. 23 óra volt.
- Közepesnek mondható radonszint növekedési sebesség ($11\text{--}22 \text{ Bq/(m}^3\cdot\text{h)}$) mellett a növekedési időtartam nem haladta meg a 48 órát és az átlagos növekmény jellemzően $150\text{--}300 \text{ Bq/m}^3$ közötti volt. Itt sokkal gyakoribbak voltak a magas telítési szintek. Ezen esetekben az átlagos növekedési idő kb. 15 óra volt.
- Nagy növekedési sebességnél ($>22 \text{ Bq/(m}^3\cdot\text{h)}$) a növekedési idő mindig kisebb volt, mint 24 óra. Az átlagos radonszint növekmény itt $300\text{--}500 \text{ Bq/m}^3$ közötti volt és gyakran magas telítési szintek társultak hozzá. Az átlagos növekedési idő kb. 11 óra volt.

3.7. Radonkockázat a telítődés értékelése alapján

A következő lépésben statisztikai módszerekkel azt vizsgáltuk, hogy a radonszint növekedési sebességekből és időkből következtetni lehet-e az adott helyszín átlagos és telítési radonkoncentrációjára.

A fentiekből már láttuk, hogy a radonszint növekedési sebességek és időtartamok alapján csoportok állíthatók fel. A csoporthatárok vizsgálatához a helyszíneket a radonszint növekedési sebességek értéke alapján $1 \text{ Bq/(m}^3\cdot\text{h)}$ -es tartományonként kigyűjtöttük (2 és $32 \text{ Bq/(m}^3\cdot\text{h)}$ között) és meghatároztuk a növekedési sebességekhez tartozó átlagos és

legnagyobb növekedési időket órában, valamint az átlagos és legnagyobb radonszint növekményeket Bq/m³ egységben.

Eredményeinket értékelve azt láttuk, hogy mind az átlagos, mind a maximális radonszint növekmények alapján a kategória határoknak (mi tekinthető kis, közepes és nagy radon növekedési sebességnek) a 11 helyett a 8-at és a 22 helyett a 17 Bq/(m³·h)-t érdemes választani. Itt mutatkozott ugyanis éles határ a radonszint növekményekben. Ez a különbség azonban nem befolyásolta érdemben az egyes kategóriákhoz tartozó átlagos növekedési időket, azok továbbra is 23, 16, illetve 13 órának adódtak.

A kisebb értékhatárok ellenőrzésére külön elemzést végeztünk. Azt vizsgáltuk, hogy ha a mintavételi helyszíneket a növekedési sebességek alapján 3 csoportba soroljuk, az egy-egy csoportba tartozó helyszíneken mekkorák voltak az átlagos és a mért legnagyobb radonkoncentrációk. Az elemzést mindkét értékhatárra elvégeztük. Azt tapasztaltuk, hogy a nagyobb értékhatárokat választva, az egy csoportba kerülő átlagos és maximális radonkoncentrációk egyértelműen szélesebb, egymással átfedőbb tartományokat eredményeztek. Emiatt a kisebb határértékek választása mellett döntöttünk a növekedési sebességkategóriák elválasztására. A kisebb értékhatárok alkalmazásával 292 eredmény feldolgozásából kapott statisztikát a 3. és 4. táblázat foglalja össze.

3. táblázat. Radonszint növekedési sebességek csoportosítása

Radonszint	Növekedési sebesség		
Növekedési idő	<8 Bq/(m ³ ·h)	8–17 Bq/(m ³ ·h)	>17 Bq/(m ³ ·h)
<24 h	I. kategória 85 db	II. kategória 69 db	III. kategória 85 db
24–48 h	IV. kategória 33 db	V. kategória 5 db	4 db
>48 h	VI. kategória 9 db	2 db	-

A 3. táblázatban bemutatott kategóriák közül az I. és IV. kategóriához alacsony radonszint növekmény társul. Az ide tartozók az összes vizsgált eset 40%-át teszik ki. A II. és VI. kategóriákhoz közepes radonszint növekmény társul, együttesen a vizsgált esetek 27%-át teszik ki. A III. és V. kategóriához rendszerint nagy radonszint növekmény társul, együttesen a vizsgált esetek 33%-át teszik ki.

Vizsgáltuk továbbá, hogy mennyiben befolyásolja az eredményeinket, ha csak azon értékeket vesszük figyelembe, ahol a növekedés egy kvázi kiszellőzött állapotban kezdődött meg, elhagyva azon eseteket, amikor egy korábbi telítési szakasz utáni újabb emelkedést mértünk. Ezzel arra voltunk kíváncsiak, hogy a magasabb radonszintről induló növekedés sebességét befolyásolja-e a kezdeti radonszint. Számottevő eltérést nem tapasztunk az eredményekben. A 4. táblázatban lévő statisztikát csak a szellőztetés utáni növekedési szakaszok (212 eset) eredményből készítettük.

4. táblázat. Radonszint növekedési csoportokhoz tartozó radonkoncentráció statisztika

Radonkoncentráció (Bq/m ³)	I. + IV. kategória		II. + VI. kategória		III. + V. kategória	
	átlag	abs. max.	átlag	abs. max.	átlag	abs. max.
Esetszám	92		54		66	
Rn növekmény ¹	90	158	184	364	469	1783
átlagos Rn ²	73	161	150	308	324	1039
maximális Rn ³	134	242	262	505	626	1409

Megjegyzés: ¹ kiragadott növekedési szakaszban mért radonszint növekmény

² a teljes vizsgálati periódust jellemző átlagos radonszint

³ a teljes vizsgálati periódust jellemző mért legnagyobb radonszint

Eredményeinkből arra következtettünk, hogy egyes esetekben a radonszint növekedések elemzése is használható önmagában annak vizsgálatára, hogy az adott körülmények között kialakulhat-e magas radonszint. Ez a módszer azonban nem alkalmazható azon esetekre, amikor nem volt megfigyelhető tartós radonszint növekedés.

4. A BELTÉRI RADONKOCKÁZAT ÉRTÉKEKÉSENEK MÓDSZERE

Tanulmányunk végső célja egy rövid idejű, szakaszos mérési eredmények felhasználásán alapuló értékelési módszer (ill. indikátor) kifejlesztése volt, amely alkalmas annak jellemzésére, hogy milyen mértékű beavatkozást igénylő radonszintek alakulhatnak ki.

A beltéri radonkoncentráció vizsgálatok célja annak megállapítása, hogy kell-e valamit tennünk a lakótérben lévő átlagos radonszint tartósan a vonatkoztatási szint alatt tartásához? A választ a lehetséges beavatkozási mód oldaláról érdemes megközelíteni. A kívánt mértéket meghaladó radonszintet kétféleképpen lehet kezelni:

- a radon bejutását kell gátolni a lakótérbe vagy
- a kialakult radonkoncentrációt kell csökkenteni a légcseré tényező növelésével.

Az első esetben vizsgálatokkal meg kell határozni a radon forrásait (talaj, építőanyag, egyéb) és a hozzájárulások mértékét, valamint a bejutási útvonalat. A beavatkozás módjára ennek függvényében lehet javaslatot tenni. A második esetben a légcseré-tényező (szellőzés mértékének) szükséges mértékét kell meghatározni.

A legtöbb radonnal szembeni védekezési módszer azon alapszik, hogy a beltéri radon legfőbb forrása a talajban lévő radon, amely az épület és talaj kapcsolódási felületein keresztül jut be. A radonnal szembeni főbb védekezési módokat az alábbiakban soroljuk fel. A gyakorlatban ezek kombinációi is alkalmazhatók.

- érintkező felületek réseinek és a fal áttörési pontok környezetének szigetelése,
- padlószerkezet újrakészítése,
- radon bejutását gátló szigetelő fólia alkalmazása,
- talajradon passzív elvezetése csővezetékekkel az épület alól,
- talajradon aktív elszívása csővezetékekkel az épület alól,
- radongyűjtő zsomp kialakítása az épület mellett,
- túlnyomás létrehozása a talajfelszín alatti helyiségekben vagy az épület alatti talajban,
- lakótéri helyiségek természetes szellőzésének növelése,
- lakótéri helyiségek szellőzésének növelése aktív légcserélő rendszer kiépítésével.

A radonnal szembeni védekezési módszerek hatékonyságáról már több tanulmány készült. A 2015 júliusában, Prágában, IAEA RER/9/127 projekt keretében megtartott workshopon ismertette Martin Jiránek az erre vonatkozó cseh tapasztalatokat. Ennek fordítását az 5. táblázat tartalmazza. A radonnal szembeni védekezési stratégiák költséghatékonyságával a RADPAR Projekt keretében foglalkoztak. [IAEA, Prague; WHO, 2007; RADPAR]

5. táblázat. Radonnal szembeni védekezési módszerek hatékonysága,

Javító intézkedés	Hatékonyság (%)	
	Tipikus tartomány	Maximum
Padlórekonstrukció radonnal szembeni szigeteléssel	35–45	50
Padlórekonstrukció radonnal szembeni szigeteléssel + a talaj vagy az épület alatti tér passzív szellőztetése	45–55	60
Padlórekonstrukció radonnal szembeni szigeteléssel + a talaj vagy az épület alatti tér aktív szellőztetése	80–90	95

Javító intézkedés	Hatékonyság (%)	
	Tipikus tartomány	Maximum
Túlnyomás létrehozása az épület alatti talajban padlórekonstrukció nélkül	80–95	99
Radon bejutási pontok szigetelése (repedések, faláttörési pontok, stb.)	10–40	60
Lakótér természetes szellőztetésének növelése	20–40	50
Szellőzés növelése aktív légcserélő berendezéssel	50–70	75

A szellőzés fokozására a legegyszerűbb módszer a radonban szegény levegő bejuttatására az ablakok kinyitásával (szellőztetéssel), a legköltségigényesebb a hővisszanyerős, külső-belső légcserét biztosító aktív szellőztető berendezés felszerelése és üzemeltetése. A későbbiekben bemutatott beltéri radonkockázat (indoor radon potential = IRP) értékelésére szolgáló formula meghatározásnál a rövid idejű mérési eredmények és az azok alapján általunk tett javító intézkedésekből indultunk ki. Olyan indikátort kerestünk, amely kifejezi, hogy milyen mértékű szellőztetésre van szükség az átlagos radonszint alacsonyan tartásához. Elegendő-e napi egy vagy kétszeri szellőztetés vagy ennél komolyabb, költségigényesebb radon elleni védelemre van szükség.

A javaslatunk kidolgozásánál abból indultunk ki, hogy az életvitelszerű tartózkodás mellett a napi egyszeri szellőztetés elvégzése jár a legcsekélyebb fáradsággal, pénzzel, idővel. A szellőztetés hatására a radonszint visszaesik alacsony értékre, 100 Bq/m³ alá.

A fentiekben azt láttuk, hogy a radonszint növekedések elemzése bár segít annak megítélésében, hogy kialakulhatnak-e magas radonszintek, de mégsem tűnt elégségesnek a jellemzéséhez. Például megfigyeltünk nagyon rövid időtartamú, nagyon gyors radon beáramlásokat is, amelyeknél nem alakult ki magas radonszint, illetve közepes radon növekedési sebesség mellett is kialakulhat nagyobb radonkoncentráció.

Más tényezők figyelembe vételére is szükség volt. Megfigyeltünk például olyan eseteket, amikor alacsony volt a radonszint növekedés sebessége, de nagyon hosszú ideig (pl. több mint 3 napig) tartott és ezért végül magas telítési radonkoncentráció alakult ki. A napi rendszerességű szellőztetések alkalmazásával ez könnyen kezelhető, ezért ezen esetek is alacsony radonkockázatúnak tekinthetők. Vagyis az első 24 órára eső radonszint növekmény egy kifejezőbb mutatószámnak látszott, mint a radonszint növekedési sebesség.

A beltéri radonkockázat (IRP) számítása:

$$IRP = \frac{\Delta Rn_{24h}}{150} + \frac{\overline{Rn}}{100} + \frac{Rn_{max}}{100} \quad (2), \text{ ahol}$$

ΔRn_{24h} az első 24 óra eső radonszint növekmény (Bq/m³)

$\overline{Rn}$ teljes vizsgálati idő átlagos radonkoncentrációja (Bq/m³)

Rn_{max} teljes vizsgálati idő alatt mért legnagyobb érték (Bq/m³)

A (2) képletet iterációval határoztuk meg. Kezdetben több változó paramétert is vizsgáltunk, de végül a kívánt célra az első 24 órára eső radonszint növekmény, a teljes periódus átlagos és maximális radonkoncentrációja tűnt a legmegfelelőbbnek. A célunk teljesülését úgy ellenőriztük, hogy, az egyes helyszínek radonkoncentráció értékeiből számolt IRP értékek szerint növekvő sorrendbe állítottuk a helyszínekhez rendelt javító intézkedéseket és néztük, hogy visszakapjuk-e növekvő légcserét igénylő sorrendben az eredetileg javasolt beavatkozási módokat.

A javasolt légcserét fokozó javító intézkedések kategóriái a következők voltak:

- napi egyszeri aktív szellőztetés,

- napi kétszeri aktív szellőztetés vagy résszellőző beépítése,
- résszellőző beépítése és napi egyszeri szellőztetés,
- aktív szellőztető rendszer kiépítése.

A (2) képlet által definiált IRP értékkel kifejezett potenciál a mért értékek függvényében segíti a helyszín radonkockázati besorolást és a javasolható javító intézkedés formájának meghatározását. Fentebb hivatkoztunk rá, hogy sok esetben nem tapasztaltunk növekvő majd telítésbe forduló radonszint növekedést, azaz nem volt értékelhető radonkoncentráció növekedési szakasz. Ilyenkor az IRP érték számításakor az első tagot elhagytuk, azaz nullának tekintettük.

A 6. táblázat foglalja össze, hogy adott átlagos és legnagyobb radonkoncentráció, illetve az első 24 órára eső radonszint növekmények függvényében milyen IRP értékek számíthatók és milyen csökkentési módszert javasolunk.

6. táblázat Ajánlott radonszint csökkentési módszerek a mért radonkoncentrációk és IRP értékek függvényében

Javasolt radonszint csökkentési módszer	Átlagos radonkonc. (Bq/m ³)	Maximális radonkonc. (Bq/m ³)	Napi radonkonc. növekmény (Bq/m ³)	IRP Beltéri radon potenciál
Nincs teendő	<150	<250	<150	<5
Napi egyszeri aktív szellőztetés	150–250	250–400	150–250	5–8
Napi kétszeri aktív szellőztetés vagy résszellőző beépítése	250–350	400–600	250–350	8–12
Résszellőző beépítése és napi egyszeri szellőztetés	350–450	600–800	350–450	12–16
Aktív szellőztető rendszer kiépítése	>500	>>800	>500–800	>18

A bemutatott értékelési módszer kb. 240 helyszín értékelése alapján született. A javasolt és megvalósított beavatkozások effektív hatásosságának utólagos ellenőrzésére csak kevés alkalommal volt lehetőségünk. A következtetéseinket az általános tapasztalataink és a különböző körülmények között mért trendek alapján tettük. A javasolt módszerek hatásosságának ellenőrzéséhez további vizsgálatokra van szükség.

Fontos megjegyezni azt is, hogy az itt bemutatott módszer az aktuális körülmények között mért radonkoncentráció értékek elemzésén alapul. Az időjárási körülményekben bekövetkező változás vagy a külső-belső hőmérsékleti viszonyok változása akár jelentős mértékben is befolyásolhatja a méréseink eredményét és ezáltal a levonható következtetéseket. Ha azonban az értékelésre csak rövid idő áll rendelkezésre, ennek vizsgálatára nincs is lehetőség. A szellőztetés fokozása olykor a radonbeáramlás sebességének fokozását is eredményezheti.

5. KONKLÚZIÓK

Cikkünkben bemutattuk a korábbi hazai épületekben végzett, hosszú idejű vizsgálaton alapuló országos radonkoncentráció felmérések eredményét. Ezt összehasonlítottuk a rövid idejű mérések eredményével. Mérési eredményeinkből részletes statisztikai elemzést készítettünk. Tapasztalatunk szerint a beltéri radonszint változások elemzéséből értékes

következtetések vonhatók le. A megfigyelt radonkoncentráció változás tendenciák alapján egy-egy helyiségben a vizsgálati időnek ajánlottan legalább 3 napnak kell lennie. Eredményeink elemzéséből kiderült, hogy a második vagy magasabban lévő szinteken sosem mértünk beavatkozást igénylő, kiemelkedő radonkoncentrációt. A földemekbe tett salakfeltöltés sokszor hozzájárul az emelkedett beltéri radonszintek kialakulásához, de csak a földszinti és első emeleti helyiségekben. A megfigyelt radonszint növekedési sebességek a növekedési idők figyelembe vételével alacsony, közepes, magas radonpotenciált jelző kategóriákba sorolhatók, amelyek sok esetben alkalmasak a radonkockázat értékelésére is. Az eredményeink felhasználásával javaslatot tettünk a beltéri radonkockázatot jellemző indikátor érték (indoor radon index, IRP) számítására és az érték függvényében a javítási módszerre. A beavatkozási módok a szellőztetés fokozásán alapultak. A javaslat részletesebb kidolgozásához további vizsgálatokra van szükség.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS:

Az összeállított anyag háttéréül szolgáló mérésekben a szerzőkön kívül még részt vett: Déri Zsolt, Kocsy Gábor, Lengyel József, Nagy Dániel, Nagy János, Nagyné Bereczki Laura, Rell Péter, Szabó Péter.

Az itt bemutatott értékelések elkészültében nagy segítséget jelentett Kocsy Gábor, Szabó Gyula, Fülöp Nándor valamikori osztályvezetők, továbbá dr. Osváth Szabolcs jelenlegi osztályvezető és dr. Sáfrány Géza főorvos Úr támogató hozzáállása.

IRODALOM

- IAEA, Prague RER/9/127 –Regional Workshop on the Measures to Control Radon Indoor Levels and Inter-Comparison Testing of Radon Active Monitors, 29 June – 2 July 2015, Prague, Czech Republic
- ISO 11665-6, EN ISO 11665-6:2012 Measurement of radioactivity in the environment – Air: radon-222 – Part 6: Spot measurement method of the activity concentration
- ISO 11665-7, EN ISO 11665-7:2012 Measurement of radioactivity in the environment – Air: radon-222 – Part 7: Accumulation method for estimating surface exhalation rate
- Nikl, 1996 István Nikl, The radon concentration and absorbed dose rate in Hungarian dwellings, Radiation Protection Dosimetry, Vol. 67., No. 3, pp. 225-228 (1996)
- RADPAR, RADPAR Final Scientific Report, Radon Prevention and Remediation <http://web.jrc.ec.europa.eu/radpar/>
- SzabóZs,2013 Zs. Szabo, et. al, Radon and thoron levels, their spatial and seasonal variations in adobe dwellings – a case study at the great Hungarian plain, Isotopes in Env. and Health Studies, 2013, DOI: 10.1080/10256016.2014.862533
- Tóth E, 2004 Hámori K., Tóth E., Köteles Gy., Pál L., A magyarországi lakások radon szintje (1994 – 2004), Egészségtudomány, 48, 283 - 299 (2004)
- UNSCEAR 2000 Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation to the General Assembly, Annex B
- WHO, 2007 WHO Handbook on Radon, A public health perspective, 2007
- 2013/59/EURATOM A Tanács 2013/59/EURATOM irányelve (2013. december 5.) az ionizáló sugárzás miatti sugárterhelésből származó veszélyekkel szembeni védelmet szolgáló alapvető biztonsági előírások megállapításáról, valamint a 89/618/Euratom, a

90/641/Euratom, a 96/29/Euratom, a 97/43/Euratom és a 2003/122/Euratom irányelv hatályon kívül helyezéséről

487/2015, 487/2015. (XII. 30.) Korm. rend. Az ionizáló sugárzás elleni védelemről és a kapcsolódó engedélyezési, jelentési és ellenőrzési rendszerről

Készült a SOMOS Alapítvány támogatásával