

TDK DOLGOZAT

KÉSZÍTETTE: PATAKI TAMÁS

KONZULENS: DR. VÁRHEGYI ANDRÁS, FŐISKOLAI TANÁR

PÉCS

2013.

Pécsi Tudományegyetem
Pollack Mihály Műszaki és Informatikai Kar
Környezetmérnöki Tanszék

Északi táróvágat és a Kővágószőlősi radon probléma kapcsolatának vizsgálata
komplex mérési módszerekkel

2013.

Tartalomjegyzék.....	3.
Bevezetés.....	4.
I. Irodalmi háttér	6.
I.1. Radon bemutatása	6.
I.2. Radon, mint veszélyességi faktor	7.
I.2.1. Transzportfolyamatai.....	7.
I.2.2. Radon feldúsulása zárt terekben	8.
I.2.3. Egészségügyi vonatkozásai	8.
I.3. Hazai uránbányászat rövid története.....	10.
I.4. Az északi táróvágat és a monitoring rendszer bemutatása.....	11.
I.4.1. Táróvágathoz kapcsolható radiológiai problémák	12.
I.5. Uránbányászathoz kapcsolódó jogi szabályzás	14.
I.5.1. Sugárvédelmi szabályozás Magyarországon	14.
I.5.2. Monitoring rendszer jogi szabályozása	15.
I.6. Vizsgálatok mérési módszerei és mérőműszerei	16.
I.6.1. Levegő ^{222}Rn koncentrációjának meghatározása	16.
I.6.2. Talajfelszín ^{222}Rn exhalációjának meghatározása	18.
I.6.3. Talajgáz ^{222}Rn tartalom mérése	19.
I.6.4. γ -dózisteljesítmény mérés	21.
II. Mérési körülmények és eredmények bemutatása	23.
II.1. Komplex radon vizsgálatok	23.
II.1.1. Terület bemutatása	23.
II.1.2. Mérési helyszínek bemutatása	24.
II.1.3. Korábbi radiológiai állapot bemutatása	25.
II.1.4. Aktuális állapot	28.
III. Eredmények kiértékelése	33.
III.1. További vizsgálati és lehetséges megoldási módok.....	34.
IV. Összegzés	35.
Irodalomjegyzék.....	36.
Mellékletek.....	37.

Bevezetés

A hazai uránbányászat egyik legfontosabb szegmensét jelentő mecseki uránbánya közel 60 éves múltra tekint vissza. A kezdeti nagy kitermelési volument az egyre mélyebben előforduló telepek bonyolultabbá váló elérése és a világpolitikai helyzet változása csökkentették, majd a folyamat a bányák végleges bezárásával zárult.

Azonban az iparág nyersanyagaiból, feldolgozásuk módjából és a kitermelés helyéből fakadóan jelentős utómunkálatokra, további, alapos vizsgálatokra és mérésekre volt szükség, hogy a környezeti elemek védelmét és az itt élő emberek biztonságát szavatolni tudják.

A bányavágatok elhelyezkedéséből (Nyugat-Mecsek) és a bányászott uránérc feldolgozásának helyéből (egykori ércdúsító üzem Kővágószőlőstől délre, és a zagytározók Pellérdtől nyugatra) fakadóan főleg a Pécset és Pellérdet ellátó vízbázisok védelméről szükséges gondoskodni, és emiatt a rekultivált bányaterületeket is folyamatosan monitorozni kell.

Az itt dolgozó szakemberek erre számos egyedi mérési és megfigyelési módszert alakítottak ki az általános technikák mellett, a kor vívmányaihoz, elvárásaihoz, valamint a helyszíni sajátos körülményeihez igazodva.

A felmerülő problémák aktualitását és hosszú távú fennállóságát számos tanulmány és értekezés bizonyítja (pl.: [3], Dr. Várhegyi András, Felhagyott bányaüreg-rendszerhez kapcsolódó radiometria monitoring, Mecsekérc Zrt. monitoring jelentés), de legfőképpen maga a bányászati tevékenység fő terméke, az uránérc biztosítja lassú lebomlási idejével és radioaktivitásával.

Úgy gondolom, hogy a vizsgálatokkal közelebb kerülhetünk a jelenség megértéséhez, valamint annak feltárásával és megoldásával, idővel szavatolni lehet az itt élők biztonságát.

Dolgozatomban e pillanatnyilag is fennálló, komoly egészségügyi kockázatot hordozó problémát kívánom bemutatni. A vizsgált táróvágat közvetlenül lakott település alatt húzódik, a radon gáz pedig képes kiáramolni a földrétegeken keresztül, ezért annak ellenére, hogy megtették a szükséges óvintézkedéseket (táróvágat szájának lefalazása), a szakemberek további megfigyelést rendeltek el és talán nem oktanul.

A témát az alábbi szempontok alapján kívánom megközelíteni:

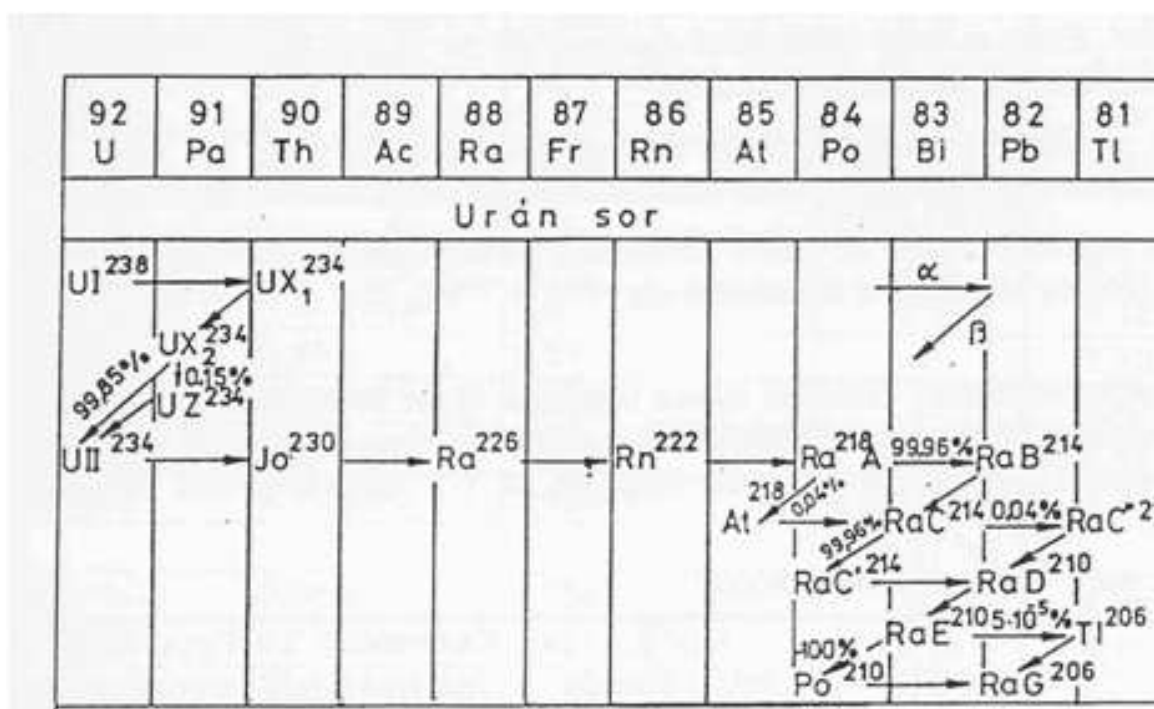
- Radon bemutatása, transzport folyamatai, egészségügyi kockázatai
- Uránbányászat és a táróvágat bemutatása
- Vizsgált probléma bemutatása, települési, táróvágathoz köthető radon helyzet
- Probléma vizsgálatának műszerei és módszerei, eredményei
- Lehetséges megoldási, ill. további vizsgálati módok

Ezúton szeretném köszönetemet kifejezni konzulensemnek, dr. Várhegyi Andrásnak valamint kollégájának, dr. Gorjánác Zoránnak a rendelkezésemre bocsátott háttér anyagokért és segítségükért, és a Mecsekérc és Mecsek-Öko Zrt. Kővágószőlősi teleprészleg munkatársainak, akik személyes tapasztalataikkal és számos tanáccsal láttak el.

I. Irodalmi háttér

I.1. Radon bemutatása

A radon a periódusos rendszer 86. eleme egy színtelen, szagtalan nemesgáz, melynek a természetben három izotópja fordul elő. Ezek három radioaktív elem bomlási soraiból keletkeznek. Kettő- az ^{235}U bomlási sorából származó aktinon és a ^{232}Th bomlási sorában szereplő toron- rövidebb felezési idejük és csekély mennyiségük miatt nem jelentenek komoly problémát. Viszont az ^{238}U leányeleme (1. ábra) a ^{222}Rn , felezési ideje - 3,824 nap [1]- és nemesgáz jellege miatt könnyen változtathatja helyét a levegőben, kijuthat a közetpórusokból vagy porszemcsékhez tapadva a tüdőbe is bejuthat. A ^{222}Rn közvetlenül az 1622 év felezési idejű ^{226}Ra (rádium) alfa-bomlásából keletkezik, mely kőzetekben (talajokban) található. A radioaktív háttérsugárzás körülbelül 47%-át [5] a radon és rövid felezési idejű bomlástermékei okozzák, melyek mindig jelen vannak a lakóhelyiségek légterében és kisebb koncentrációban a szabad levegőben is.



1. ábra: ^{238}U bomlási sora [5]

I.2. Radon, mint veszélyességi faktor

I.2.1. Transzportfolyamatai

A kőzetekben lezajló transzportfolyamat főbb lépései az emanáció (gáz kibocsátás) a pórustérbe, valamint az atom migrációja (vándorlás) a pórustérben. [2]

Az első főfolyamat további alfolyamatokból tevődik össze:

- radon atom keletkezése rádiumból,
- kijutása az ásvány szemcséből közvetlenül a pórustérbe.

A folyamat során csak a megfelelő energiájú atomok képesek kilépni. Hogy elegendő-e mozgási energiája a kilökődéshez, azt legfőképpen a rádiumatomok (a ^{226}Ra a radon közvetlen szülőeleme) szemcsében elfoglalt helye, a pórusvíz térfogata, a kisugárzott radon mozgásának iránya, valamint a kőzet szemcseméret eloszlása befolyásolja. [2]

Ha az atom kijutott a pórusok közti vízzel vagy gázzal kitöltött térbe, folytathatja útját a molekuláris diffúzió vagy a kitöltő közegekben történő szállítás során. [2]

Nyugalmi helyzetben a diffúzió a meghatározó transzportfolyamat. A közeg áteresztőképességétől függően a radon akár nagyobb távolságokat is megtehet. (átlagos talajban 2 métert, levegőben akár 5 métert is). [2]. Ezekből a tájékoztató jellegű adatokból rögtön látszik, hogy a fent említett folyamatok önmagukban nem okoznák a radon gáz kiáramlását egy-egy táróvágatból, még ha, azok repedések vagy légaknák útján közvetlen kapcsolattal rendelkeznek is a környezettel.

A lejátszódó jelenségek pontosabb leírását teszi lehetővé az ún. geo gázos radon transzport mikro-buborékos modell [2], melynek lényege, hogy a pórusvízben felgyülemelő fölkéregben jelenlévő gázbuborékokhoz tapadva migrál a radon egyre feljebb, akár több nagyságrenddel, nagyobb sebességgel, mintha csupán a pórusteret kitöltő közeg mozgásával tenné. [2]. A jelenség főleg a talaj repedései mentén játszódhat le tömör kőzetekben.

A folyamat végén a radon gáz kiléphet a légterbe a talaj felső rétegeiből, ezt nevezzük exhalációnak. Ennek mértékét a talaj sűrűsége, víztartalma, szemcsenagysága (összességében permeabilitása) és a meteorológiai viszonyok (évszakok, légnyomás, hőmérséklet,) erősen befolyásolják. Tehát, amellet, hogy a radon gáz zárt terekben, mennyisége és felezési ideje miatt erősen feldúsulhat, a fedőrétegtől függően bizonyos idő után a szabad levegőre is képes kijutni s bomlástermékei onnan a levegő porszemcséire tapadva könnyedén az emberi szervezetbe kerülhetnek. Emellet az építőanyagként felhasznált kőzetekből a fent említett folyamatokkal szintén kiléphet, és az épületekben is felszaporodhat.

I.2.2. Radon feldúsulása zárt terekben

A lakosságot érő természetes háttérsugárzásból eredő terhelésének nagyjából a fele (kb. 1 mSv/év effektív dózis) származik a ^{222}Rn izotóp rövidéletű bomlástermékeinek belégzéséből. Ennek nagy hányadát a lakásokban, éjjel a hálósobában szenvedjük el. Ez egyrészt annak tudható be, hogy épületek belsejében a radon szint kb. egy nagyságrenddel magasabb (10-100 Bq/m³), mint a külső levegőé, másrészt annak, hogy az emberek idejük nagy részét épületekben töltik [1].

A lakásokban lévő radonnak több forrása is lehet.

A legfontosabb a talajból érkező radon, amely a padlón, de annak is leginkább a repedésein keresztül jut be a lakásba. Bizonyos típusú építőanyagok esetén jelentős lehet az épületek falából kiáramló radon mennyiség is.

A radon forrása lehet a víz is, különösen, ha egy ásott kút vizét közvetlenül vezetik be a lakásba; végül az is előfordulhat, hogy a szellőzéssel bekerült külső levegő radon tartalma a legjelentősebb, amelynek koncentráció-változása követi a külső időjárás változásait.

A lakáslevegő pillanatnyi radon tartalmát, a fentiekén kívül leginkább a szellőzés befolyásolja.

I.2.3. Egészségügyi vonatkozásai

Magyarországon jelenleg a sugárvédelmi előírásokat (a radonnal kapcsolatosakat is) részletesen az Atomtörvény végrehajtási rendelete, a 16/2000 sz. EÜM rendelet tartalmazza [4]. A rendelet elsősorban a munkahelyi radon terhelésre koncentrál, nem tesz említést a lakások radon szintjének szabályzásáról. A rendelet alapján a foglalkozási sugárterhelés felső éves határa 20 mSv/év, a lakosság éves effektív dóziskorlátja viszont 1 mSv/év [4].

Ennél kicsit eltérőbb a határérték a munkahelyi radon szinteket illetően, ugyanis a beavatkozási szint értéke 1000 Bq/m³; természetesen szintcsökkentő beavatkozási kötelezettség és rendszeres ellenőrzés mellett [4].

A közvetlen expozíció vizsgálatánál két esetet érdemes megemlíteni:

A radon gáz közvetlen belégzését, és a bomlástermékek szervezetbe jutását.

A radon, bomlása során α sugárzást bocsát ki, mely rövid távolságokra képes csak eljutni. A belélegzett szennyezett por csak órák alatt ürül ki, ez alatt pedig sugárzással terheli a tüdősejteket, ezen kívül a bomlástermékek is felhalmozódnak.

Másik esetben a már elbomlott radon termékei juthatnak a tüdőbe.

Rövidtávú bomlástermékei közt ólom (^{214}Pb), polónium (^{214}Po , ^{218}Po) és bizmut (^{214}Bi) izotópok találhatóak, melyek rákkeltő hatása ismert [2].

Ahhoz, hogy a radon sugárterheléseket össze lehessen hasonlítani a sugárvédelemben dóziskorlátozásra általában használt mennyiségekkel, a radon sugárterheléseket effektív dózissá számítják át. Ehhez az ICRP (Nemzetközi Sugárvédelmi Bizottság) 65-ös közleményében ajánlott dózisszámítási tényezőt indokolt használni. Az így számolt radontól származó egységnyi effektív dózishoz ugyanakkora kockázat tartozik, mint bármilyen más jellegű sugárterhelésből származó egységnyi effektív dózishoz [1].

Az ICRP-65 a lakások beltéri radon koncentrációjára 200–600 Bq/m³ közötti beavatkozási szintet javasol, ami 3–10 mSv/év radontól származó sugárterhelésnek felel meg. Németországban a szabályozás (korlát) új lakásokra 200 Bq/m³, régiekre 400 Bq/m³, valószínűleg ehhez hasonló lesz a közeljövőben várható hazai szabályozás is.

I.3. Hazai uránbányászat rövid története [9]

Az 1952-ben aláírt, kormányok közti egyezmény alapján, szovjet szakértők bevonásával kezdődtek az első, átfogó felmérések a hazai uránérc lelőhelyeket illetően. Ezek célja egyértelműen az iparban felhasználható uránérc keresése volt, hogy a Szovjetunió fegyverkezéshez szükséges, dúsított uránhoz juthasson. A már létező ércbányákat és szénkitermelő telepeket vizsgálták meg először, ezután kerítették sort a Mecsek felmérésére. Az expedíció sikerrel zárult, így 1954 szeptemberében és 1955 februárjában, Kővágósözlős községtől délre két vágatban kezdték meg az ércutatást, ezekhez kapcsolódóan épült meg az I. bányauzem.

A sikeres kutatások eredményeként 1955 júliusában megalakult a Bauxitbánya Vállalat, majd 1956-ban egy megfelelő kapacitás elérését célzó bányászati beruházás megindítását rendelték el. A történelmi események miatt a munkák jó ideig szüneteltek, ám a következő évben ismét megindultak. A vállalat neve 1957-ben Mecseki Uránérc Vállalatra változott s megindult az érckitermelés az I. és II. bányauzemekben.

1959-ben elkészült a III. üzem beruházási terve, így 1961-ben már innen is tudtak ércet termelni, ennek részeként került mélyítésre a dolgozatban vizsgált északi táróalagút is.

1964-ben megépült az ércdúsító üzem, így a helyben bányászott jó és gyengébb minőségű, de még nem meddőnek számító ércet is fel tudták dolgozni; ez nagy fellendülést biztosított, melyet az időközben Mecseki Ércbányászati Vállalatra átkeresztelt cég ki is használt és nagy volumenű fejlesztésekbe fogott. Megindult az 1km-nél mélyebb lég- és szállítóaknak fúrása a IV. Bányauzem beruházási programja alatt, ahol 1971-ben megindulhatott a termelés.

Megkezdtek az V. üzem beruházási programját is, melyet 1974-ben jóváhagytak és 1983-ban már meg is indulhatott a kitermelés.

Szükség is volt e két új bányauzem nyitására, mert az I. üzemet 1971-ben, a másodikat pedig 1987-ben voltak kénytelenek bezárni az érctelepek kimerülése miatt.

A már csak nagy mélységben folytatható, gazdaságtalan kitermelés és a világpolitikai változások előre jelezték a bányászat esetleges leállítását. Ez a sejtelem egy 1989-es határozatban öltött alakot, mely elrendelte a bánya bezárásához szükséges műszaki-gazdasági és humánpolitikai terv készítését.

1993-ra véglegesen eldőlt, hogy nem tartható megfelelő termelési ráta, így a következő évben kormányhatározat született az uránipari termelés megszüntetéséről, mely 1997-ben be is fejeződött és melyek után megindult az érintett területek teljes rekultivációja és monitoringja.

Ennek részeként került sor az északi táró alapos vizsgálatára is.

I.4. Az északi táróvágat és a monitoring rendszer bemutatása

A vágat a III. bányauzem részeként került mélyítésre és közvetlenül Kővágószőlős község alatt húzódik, észak-déli irányban (2. ábra). Mélysége a lakott terület alatt átlagosan 40-60 méter, teljes hossza több mint egy kilométer, igaz a település méreteiből adódóan túlfut annak határain. Az aktív vágathajtás időszaka 1959-1993 közötti időszakra tehető, ezt követően, 1994-től kezdődött a feltelés, mely várhatóan 2015-2020 között fejeződik be. [8].

Jelenleg nincs túlfolyás; ha a feltelés szintje eléri az Északi-táró szintjét, akkor az fogja kivezetni a bányaureg feltelő vizét; az Északi-tárón jelenleg kifolyó víz a csapadék beszivárgásából származik. [8].

A III. számú bányauzem 1,8 km x 3,5 km területen, egészen a felszín közeléig érő szintekkel került fejtésre. Antiklinális szerkezetben található az érces-ásványos zóna, észak felé dőlő rétegekkel. A bányához 5 akna, ebből 4 vakakna, 1 légakna, 21 bányaszint tartozik, 386 km összhosszúságban. [8]

A vágat bejáratát lefalazták, s nincs levegőztetés a mélyebb szinteken sem, így a radon gáz könnyedén feldúsulhatott, mennyiségét csupán az Északi- és Keleti-tárók természetes szellőzése befolyásolja. A probléma közvetlen vizsgálatára eddig nem került sor, viszont a bezárt Mecseki bányák meddőhányóinak, zagytározóinak, bányaureg-rendszerének megfigyelése, monitoringja nyomán elegendő háttér információ áll rendelkezésre.

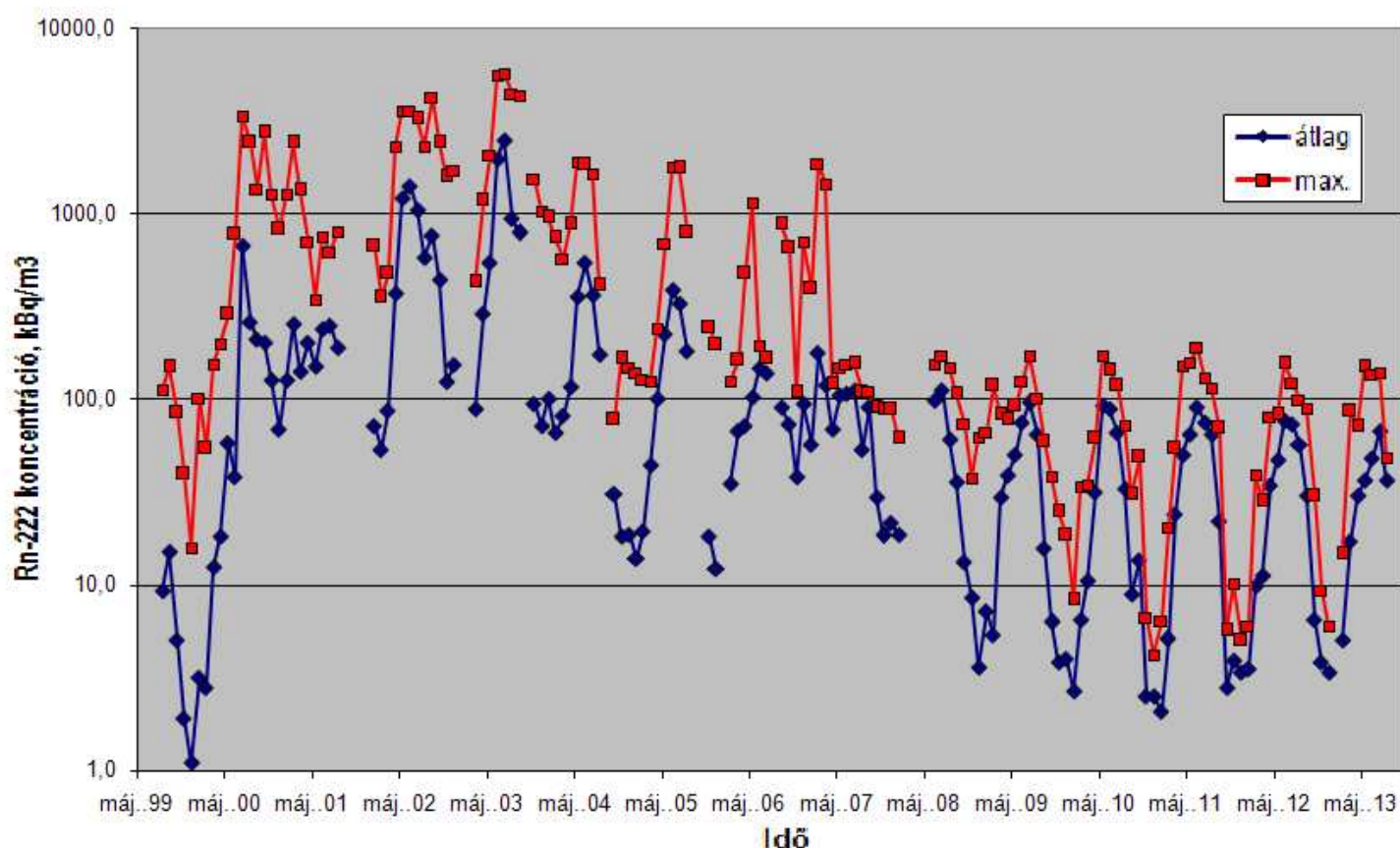
A bányaureg-rendszerhez kapcsolódó radiometriai vizsgálatok alatt elsősorban radon (^{222}Rn) monitoringot kell értenünk [3]. A Mecsekérc Zrt. szakemberei által telepített monitoring rendszer segítségével átlátható a radiológiai probléma. Több integráló típusú SSNTD (szilárdtest nukleáris nyomdetektor) került kihelyezésre: az északi táróbejáratához és a leginkább érintett településeken (Kővágószőlős, Cserkút) kül- és beltéri detektor-telepítésekre egyaránt sor került. A Mecsek-Öko már 1999 óta egy folyamatosan regisztráló DATAQUA típusú félvezető Rn monitorral figyeli a koncentrációváltozásokat a vágat bejáratánál, a beltéri oldalon, valamint regisztrálja a legfontosabb környezeti paramétereket (légnomás, hőmérséklet) is. A felméréseket a szezonális változások miatt több éven keresztül végzik, negyed éves ciklusokban.

I.4.1. Táróvágathoz kapcsolható radiológiai problémák

A korábbi bányáüreges kapcsán elsősorban az azokat kitöltő levegő rendkívül magas radon koncentrációja, pontosabban annak a külszínre, emberi tartózkodási helyekre való kijutását fontos vizsgálni. Intenzív radon feláramlás azokon a területeken fordul elő, ahol a felhagyott bányáüreges mélysége nem haladja meg a 100 m-es nagyságrendet, és az üregeket a talajvíz helyett levegő tölti ki.[7]. A földalatti üregrendszerrel kapcsolatban lévő táróvágat a lakott területeken már olyan mélységben húzódik (átl. 40 m) [2], hogy onnan közvetlen radon kiáramlásra nem kell számítani, azonban a felszínhez nagyobb közelségben húzódó részek (például a vágat bejárata) okozhatnak ilyen problémát. Mivel a bányászat befejezésekor a vágat bejáratát lebetonozták, megszűnt a megfelelő szellőztetési lehetőség. A korlátozott levegőáramlás elősegíti a radon feldúsulását. A bányáüregektől származó radon forrás igen sajátos: a radon származhat a felszín-közeli bányáüregesből, az ezekhez kapcsolódó természetes repedésrendszerből, az üregrendszerből kitermelt, illetve kifolyó vizekből, meglévő ipari szennyezéstől (bánya meddő) és végül a természettől adódóan itt a felszínen – felszín-közelségben húzódó emelkedett urántartalmú kőzetektől. (Kővágószőlősi Homokkő Formáció). [7] A többéves monitoring tevékenység során, jelentős változási dinamikával igen magas-100 kBq/m³ - radon-koncentrációt észleltek a táróban [3]. Az itt mutatkozó jelentős változékonyságot bizonyítottan a légáramlás irányának és sebességének a változásai valamint a környezeti paraméterek (évszakos változás, légnyomás) okozzák, de általánosságban csökkenés figyelhető meg. (2. ábra)

A felszíni mérések során, több helyen emelkedést tapasztaltak az alagút felett, bár a legtöbb helyen az értékek nem voltak extrém magasak, egy helyet kivéve, ahol, 12 Bq/m²s-os exhalációs értéket mértek [4] a 2000-es évek elején. Ez még a zagytározók fedetlen felületén is ritkaságszámba megy. Kb.5 m-el arrébb az exhaláció értéke már háttérszintű volt, ami arra utal, hogy lokálisan igen nagy anomáliák fordulhatnak elő, de ezek kiterjedése igen csekély [4]. Az anomális hely azonban a vágat szájánál, tehát lakott területen kívül helyezkedik el.

Összegzésül elmondható, hogy a községben rendkívül összetett radiológiai szituáció ellenőrzését kell biztosítani: a földalatti bányáüreg-rendszer radon kiáramlásán túl, az esetleges eltemetett (ismeretlen) radioaktív talajszennyezések hatása, a közeli rekultivált objektumok emissziója és a természetes háttérsugárzás anomáliái (pl. U-érckibúvások) radiológiai hatása együttesen, és a környezeti paraméterek által befolyásolva jelentős időbeli ingadozással jelentkezik. [7]



2. ábra: Rn koncentráció változása éves lebontásban

Gyakorlatilag a mesterséges úton megnövekedett számú és méretű repedészónák következtében megnövekedett a permeabilitás és ezek hatására fellépő nagymértékű radon exhaláció okozza a problémát, mivel az üregrendszerből a radon a repedéseken keresztül sokkal gyorsabban és nagyobb koncentrációban áramolhat fel a felszínre, mint egyébként. [2]

Nemcsak sugárvédelmi, hanem jogi, hatásköri probléma is adódik abból, hogy a község egyrészt fokozottan érintett az egykori bányászat hagyatéka által; a területén megtalálhatók a Kővágószőlősi Homokkő Formáció felszíni kibúvásai, néhány helyen érclencsékkel tarkítva (több 1000 nGy/h gamma dózisteljesítményű helyek) [4].

Nyilvánvaló, hogy a sugár egészségügyi helyzetet kezelni kell. Amennyiben a hatások a bányászatból erednek, akkor a Mecsek-Öko Zrt.-nek, ha viszont a probléma a Természetes Előforduló Radioaktív Anyagoktól (NORM) származik, akkor a közegészségügyi szerveknek.

I.5. Uránbányászathoz kapcsolódó jogi szabályzás

I.5.1. Sugárvédelmi szabályozás Magyarországon

Magyarországon a sugárvédelmi kérdéseket alapvetően az egészségügyi miniszter 16/2000 (VI. 8) számú rendelete szabályozza, amely a 1996 CXVI. számú Magyar Atomtörvény egyik végrehajtási utasítása. A rendelet összhangban van az ICRP legújabb ajánlásaival (ICRP-60 és ICRP-65 a radon vonatkozásában), és az EU országok szabályozási gyakorlatával.

A legfontosabb szabály a népesség két különböző csoportjára vonatkozó dózishatárérték: A népesség kritikus csoportjára a mesterséges sugárforrásoktól származó effektív dózis nem haladhatja meg az 5 mSv-et 5 egymás után következő évben, és ezen belül egyetlen évben sem lépheti túl a 2 mSv-et. Az ionizáló sugárzásokkal dolgozóakra a foglalkozási effektív dózishatárérték 100 mSv 5 egymás utáni év alatt, és egyetlen évben sem lépheti túl az 50 mSv-et. Következésképpen, hosszabb időszakra vonatkozóan a követelmények: 1 mSv/év a normál lakosságra és 20 mSv/év a sugárveszélyes munkahelyen foglalkoztatottakra. Ezeket az értékeket kell alapul venni a hosszú távú tervezésnél (beleértve az uránbányászati rekultivációt is). Fontos hangsúlyozni, hogy ezek a dózishatárértékek a természetes sugárzási háttér fölött értendők. A sugárvédelmi kérdések felsőbb hatósága az Országos “Frédéric Joliot-Curie” Sugáregészségügyi és Sugárbiológiai Kutató Intézet (OSSKI). [8]

A rekultiváció megkezdése előtt a cég környezetvédelmi engedélyében meghatározták a betartandó sugárzási határértékeket; erről tájékoztat az 1. táblázat.

Fontos megjegyezni, hogy a fent megadott értékek szignifikánsan magasabbak, mint a megfelelő paraméter országos átlaga. Például, a gamma dózisteljesítmény magyarországi átlagértéke 86 nGy/h, a talaj radioaktivitása pedig 97 Bq/kg (OSSKI szerint). A mecseki régióban a radioaktív háttér valamivel magasabb az itteni talaj és kőzetek magasabb U (és bomlási sorozatának radionuklidjai) tartalma miatt, függetlenül a korábbi bányászattól. A régió anomális radio-geokémiai viszonyai ellenére, a valóságos háttér értékek ténylegesen kissé alacsonyabbak, mint az 1. táblázatban megadott “hivatalos” paraméterek (pl. gamma dózisteljesítmény 120–160 nGy/h, talaj fajlagos aktivitása 80–120 Bq/kg). [8]

Paraméter	Háttér érték
Radon koncentráció szabadban	12 Bq/m ³
Radon koncentráció bel térben	128 Bq/m ³
Gamma dózisteljesítmény	250 nGy/h (lokálisan nem haladhatja meg a 450 nGy/h-t)
Talaj fajlagos aktivitás Ra-226 ekvivalensben	180 Bq/kg

1. táblázat: Sugárzási háttérértékek

I.5.2. Monitoring rendszer jogi szabályozása [7]

A radiometriai monitoring tervet a korábbi években felhalmozott tapasztalatokra és kialakított gyakorlatra alapozva, a hatályos rendeletek és a Környezetvédelmi Engedély, illetve annak felülvizsgálata nyomán kiadott módosító Határozatok előírásai, a szakhatóságok által megszabott egyedi kötelezések, valamint a hatályos országos érvényű sugárvédelmi rendelkezések alapján állítottuk össze. A monitoring terv kialakításának az alábbi dokumentumok szolgáltak alapjául:

- A DDKÖFE 2279-28/1998 sz. határozata (Környezetvédelmi engedély) és a DDKTVEF 1430-11/2007 és 1884-18/2011 sz. határozatai (Környezetvédelmi engedély felülvizsgálati határozatai),
- A DDKTVEF egyedi előírásai a rekultivált objektumok utóellenőrzési monitoringjára,
- Hatályos országos érvényű rendeletek (Atomtörvény, 16/2000 EüM, 15/2001 KöM stb.)
- A WISMUT GmbH és MECSEK-ÖKO Zrt. együttműködés 2010. évi jelentése

I.6. Vizsgálatok mérési módszerei és mérőműszerei [4] [6] [7]

A radonnal összefüggő legfontosabb komplex mérési eljárások a következők:

- A szabad levegő pillanatnyi ^{222}Rn koncentrációjának meghatározása, (a radon koncentráció pillanatnyi értékének meghatározása a háttérszinten: $1\text{--}10\text{ Bq/m}^3$ -nél is kielégítő pontossággal) (E-R5 módszer)
- Levegő integrális ^{222}Rn koncentrációjának mérése (a radon koncentráció időátlagának mérése tipikusan $\frac{1}{4}$ éves expozíciós idővel, alkalmas, pl. SSNTD detektorral, Bq/m^3 -es tartományban is megfelelő pontossággal)
- Talajgáz ^{222}Rn koncentrációjának vizsgálata (a talajba $20\text{--}100\text{ cm}$ mélyen levert talajgáz mintavevő szonda segítségével vett gázminta elemzésével az $1\text{ kBq/m}^3\text{--}2\text{ MBq/m}^3$ közötti mérési tartományt átfogva) (E-R10 módszer)
- Talajfelszín ^{222}Rn exhalációjának meghatározása (a talajfelszínre helyezett radon akkumulációs edényben a talajból származó radon felgyülemlelési sebességének alkalmas mérésével, a $\text{mBq/m}^2\text{s}$ háttér tartománytól megfelelő pontossággal) (E-R9 módszer)
- Gamma dózisteljesítmény meghatározás (talajszinten és talajfelszíntől mért 1 m magasságban, megfelelően kalibrált energia-független berendezéssel, háttérszinten: $50\text{--}100\text{ nGy/h}$ -nál is megfelelő, legalább 10% relatív pontossággal) (E-R4 módszer)

I.6.1. Levegő ^{222}Rn koncentrációjának meghatározása

Mivel minden kőzet- és talajféleség tartalmaz valamekkora mennyiséget az U bomlási sorának radionuklidjaiból, így a bennünket körülvevő levegő is mindig tartalmaz több-kevesebb radont. A radon gáz halmazállapotú, fontos tehát, hogy ismerjük koncentrációját a levegőben. A kőzetekből/talajból kilépve (exhaláció), vagy a szél által szállítva lehet jelen. A külső nyílttéri levegő radon koncentrációja általában kevesebb, mint 10 Bq/m^3 [4], míg zárt térségekben ennél lényegesen magasabb értékek előfordulása szokásos.

A gázkoncentráció nagymértékben függ az évszaktól és az időjárástól, így ezek a mérés fontos paraméterei. A változás mértéke számos esetben az egy nagyságrendet is meghaladhatja. Ez miatt pillanatnyi, időátlag és monitoring jellegű méréseket különböztetünk meg, mintavétel szempontjából pedig passzív és aktív módszert.

A komplex radon mérések során pillanatnyi értékeket mérünk, aktív módszerrel, ahol a gáz légszivattyú segítségével jut a detektorhoz.

A levegőbeli radon koncentráció mérésére a következő berendezéseket használják:

- Dataqua gyártmányú, DLC-Rn3PT típusú multi paraméteres radon monitor. Radon érzékelője 3 cm² területű PIPS (szilícium alapú félvezető) detektor, ezen kívül egyidejű légnyomás (0,1 mbar felbontás) és hőmérséklet (0,01 °C felbontás) mérésekre is alkalmas. A monitorral kizárólag passzív mérések végezhetők, viszonylag magas (100 Bq/m³-től felfelé) koncentráció-tartományban.

Kijelzővel a monitor nem rendelkezik, a kiolvasott adatok számítógépen jeleníthetők meg. Folyamatos monitoringra alkalmas, a mérési gyakoriság (integrálási idő) 1 perc – 4 óra között változtatható. Általában anomális térségek (zagytározó, bányaureg) monitorozására használják.

- Genitron Instruments gyártmányú, AlphaGuard PQ2000 Pro radon monitor. (3. ábra). Mind passzív (diffúziós kamra), mind pedig aktív üzemmódban- egyedi mintavételezés- használható; ebben az esetben a 0,1 – 1 l/perc léghozamú AlphaPump légszivattyú csatlakoztatásával. Mérési tartománya igen széles, 2 Bq/m³ – 2 MBq/m³, választhatóan 1 perc – 10 perc – 1 óra integrálási időközszel. Méréseink során fél óras kivárási időt követően tíz percenként végzünk leolvasásokat. Lehetőség szerint legalább 3–5 leolvasást végzünk.

A mérési eredmények közül csak azokat vesszük figyelembe, amelyeknek a 10 perces impulzusgyűjtési periódusa alatt a monitor már teljes egészében a vizsgálandó légtérben volt. A monitor LCD kijelzőjén, a radon koncentráción és annak hibáján kívül az aktuális légnyomás, hőmérséklet és relatív páratartalom adata is leolvasható, mindezek elektronikus memóriában is rögzítésre kerülnek. A berendezést sokoldalúan használják folyamatos radon monitoringra, kül- és beltéri pillanatmérésre valamint talajgáz radon koncentráció meghatározásra. Az integrális radon koncentráció mérésére mind a beltéri mind a nyílttéri méréseknél az SSNTD detektorokat használják. Ezek szilárdtest nyomdetektorok, anyagukban leggyakrabban speciális polimerek, melyek molekuláris szerkezetében az alfa-sugárzás maradandó roncsolást végez. Ezek vegyi eljárások útján felnagyíthatók és az így kialakult nyomok megszámlálhatók. A detektor egy műanyag tartóban van elhelyezve, az expozíció után (időtartama függ a várható radon koncentráció nagyságától) a detektor 6M NaOH oldatban lemaratják 90±0,5 °C-on 2,5 órán keresztül. A detektorok kiértékelését például a VIRGINIA szoftverrel végezhetik, a kalibrációt pedig egy Genitron Instruments GmbH által gyártott kamrában, PYLON RN 2000A típusú (Ra-226 aktivitású) emanációs forrással beállított radon koncentrációjú gázzal. A mérések hibája <10 %



3. ábra: Levegő radon koncentrációjának meghatározására szolgáló radon monitor

I.6.2. Talajfelszín ^{222}Rn exhalációjának meghatározása

A gáznemű és vegyileg semleges radon igen mozgékony, viszonylag hosszú élettartama (~3,8 nap) alatt jelentős távolságokra eljuthat keletkezési helyétől. Radioaktivitása révén könnyen detektálható, emiatt nyomjelzője lehet a felszínalatti fluidum és gáz transzportfolyamatoknak. A környezetünkben lévő, általunk belélegzett levegő radon tartalma szinte kizárólag a talaj, ill. az épületek felületén keresztül kerül ki a légterbe. Ennek intenzitását kifejező mennyiség a radon exhalációs sebesség, ami definíció szerint a talaj egységnyi felületén, időegység alatt az atmoszférába kibocsátott ^{222}Rn aktivitás, mértékegysége (SI) ennek megfelelően $\text{Bq/m}^2\text{s}$. Ez egy igen változékony paraméter, így a 20-60 $\text{mBq/m}^2\text{s}$ -os átlagértéktől jelentős eltérések is mutatkozhatnak mindkét irányban.

A talajok radon exhalációja szempontjából anomáliát okozhatnak a mérési hely alatti urán (pontosabban: rádium) feldúsulások, de a földtani szerkezetekkel összefüggésben a geo gáz-transzport lokális ingadozásai is. Utóbbi változások a felszínalatti vizek áramlási viszonyaival gyakran összefüggésbe hozhatók, aminek következtében ezek a radon exhalációs vizsgálatokkal közvetetten tanulmányozhatók.

A mérést egy hengeres, ismert magasságú (30 cm) és átmérőjű (50 cm), egyik felén nyitott edénnyel (akkumulációs edény) végzik, melyet a talajba préselnek.

A zárt oldalon két csap található, melyhez az egy órás akkumulációs idő elteltével csatlakoztatható a megfelelő mérőműszer (AlphaGuard radon monitor, AlphaPump keringető szivattyúkkal kiegészítve), mely a benti levegőt kiszivattyúzza s regisztrálja annak felnövekedett radon koncentrációját.

A radon felnövekedési görbe kezdeti, néhány órás szakasza érzéketlen a talaj inhomogén szerkezetéből, az edény-talaj szigeteletlenségéből és a radon inverz irányú diffúziójából adódó ingadozásokra.

A mérés megkezdése előtt a készüléket 10 perces ciklusidejű átáramlásos üzemmódba állítjuk. A kezdőpont (az edény talajra helyezésének pillanata) a legtöbb esetben gyakorlatilag 0 koncentrációjúnak tekinthető a talajlevegő és az atmoszféra közötti radon koncentráció több nagyságrendnyi különbsége miatt. Kb. 1 óra múlva megmérve az edény légterében a radon koncentrációt, kapjuk a felnövekedési egyenes második pontját.

A koncentráció időbeli növekedését leíró egyenes további mérésekkel pontosítható.

A mérési eredményekből, az alábbi képlettel számítható a radon exhaláció sebessége:

$$E_{Rn} = \frac{C_{Rn2} - C_{Rn1}}{t_2 - t_1} \cdot \frac{V_E}{A_E} = \frac{\Delta C_{Rn}}{\Delta t} \cdot h_E,$$

ahol: – E_{Rn} a radon exhalációs sebesség (Bq/m^2s),

– C_{Rn} (Bq/m^3) az akkumulációs edényben t (s) időpontban mért ^{222}Rn koncentráció,

– V_E , A_E és h_E a hengeres edény geometriai paraméterei, térfogat (m^3) a talajjal érintkező felület (m^2) ill. belmagasság (m).

I.6.3. Talajgáz ^{222}Rn tartalom mérése

A kőzetekben keletkező radon egy része a pórustérbe jut, majd megkezdődik diffúziós vagy mikro buborékos áramlását a talajfelszín felé. A talajgáz radon koncentrációjának mérésével megállapíthatjuk mennyi gáz maradt a talajszemcsék között, mekkora a talaj diffúziós állandója, vagy radon visszatartó képessége, illetve, hogy mekkora kiáramlás valószínűsíthető. Kutatási szempontból a radon anomáliák jelezhetik a szülőelem (U-Ra) dúsulásait, a radon transzport lehetőségeitől függően akár jelentősebb, 10–30 m-es mélységből is (pl. uránkutatási alkalmazások). Sugárvédelmi szempontból fontos ismernünk ezeket az adatokat, hisz építkezések során a földmunkálatoknál jelentős a talajban lévő ^{222}Rn kijutásának veszélye, valamint a már elkészült épületet is megfelelően szigetelni kell.

A terepi mérések alaplmszere az AlphaGuard PQ 2000 Pro radon monitor (4. ábra), a talajgáz mintavételét lehetővé tévő kiegészítőkkel (mintavételi szonda és AlphaPump légszivattyú).



4. ábra. Talajgáz radon monitor, csatlakoztatott mintavevő szondával

A talajgáz radon koncentrációjának meghatározását a talajfelszíntől számított 20–100 cm mélységben végezzük. Esetünkben a mintavételi mélység 50 cm volt. A mintavevő szondát szilikon csővel a pumpához, majd az AlphaGuard monitorhoz csatlakoztatjuk a szonda leverését követően.

A mérést akkor lehet kezdeni, ha a monitor által jelzett koncentráció $<1 \text{ kBq/m}^3$

A csatlakoztatás utáni második perctől kezdődően 3 koncentráció értéket jegyzünk fel, vagy többet, ha az eredmények nagyobb szórással vagy trendszerűen adódnak. Ilyenkor a 3 nagyobbik értéket tartjuk meg a további adatfeldolgozásnál. Az elfogadott koncentráció adat a három mérés számtani átlaga. A mérés befejezése után a radon monitor kamrájának friss levegővel való kiöblítése céljából a légszivattyút bekapcsolva hagyjuk.

I.6.4. γ -dózisteljesítmény mérés

γ -dózisteljesítmény mérés során a természetes/mesterséges gammasugárzást mérjük.

Az FH 40 G-L radiométer saját detektora egy kisméretű proporcionális számlálócső, kis érzékenységgel, ezért hosszú mérési időre lenne szükség. (5. ábra)

Ezért egy 5*5 cm átmérőjű, NaI (Tl) szcintillációs detektort csatlakoztatunk hozzá, ami jó hatásfokkal dolgozik, így a mérési idő 1-2 secundumra redukálódik, emellett a készülék kapacitása háttérszintű sugárzás esetén is elegendő lesz.

A készülék így alkalmas gyors terepi mérésekre, ill. monitoring mérésekre is.

A mérési időtartamnak legalább 400 impulzus gyűjtéséig kell kiterjednie, hogy biztosíthassuk az ± 5 %-os számlálási statisztikát. A meghatározás hibája maximum ± 10 % lehet.

A berendezés előnye a magas hatásfok, tehát, hogy kis idő alatt is nagy lesz a beütésszám.

A készülék hátránya az erős energiafüggés. A berendezést félévente kalibrálni kell. A műveletet végezhetik 1mg-os ^{226}Ra -forrással; a cél, hogy a műszer beütésszámát a dózisteljesítményhez konvertáljuk. Ehhez határozzuk meg a konverziós tényezőt a kalibrációs méréssel. A dózisteljesítmény számítására az alábbi kifejezés használható pontforrások esetén:

$$\dot{D} = \frac{A}{r^2} \cdot \Gamma$$

Ahol: $\dot{D}$: a levegőben elnyelt dózisteljesítmény (nGy/h)

A : a sugárforrás aktivitása (Bq)

r : a sugárforrás távolsága a detektortól (m)

Γ : dózisállandó ((Gy*h⁻¹/Bq*m⁻²))

A mérések során rövid, néhány másodperces mérési időket választunk, s a mért beütésszámokat rendre feljegyezzük az előzőleg készített térképre.

A gamma dózisteljesítmény méréseket a talajfelszínen (mintavételi pontokon) és 1 méter magasságban (szabvány szerint) végezzük el.



5. ábra. Gamma-dózisteljesítmény mérő műszer, csatlakoztatott szcintillációs mérőfejjel

II. Mérési körülmények és eredmények bemutatása

II.1. Komplex radon vizsgálatok

A következőkben a Mecsekérc Zrt. munkatársainak segítségével elvégzett méréseimet szeretném ismertetni. Ezeken felül a kihelyezett Dataqua berendezés által, a bányavágatban idén mért radon koncentrációkat is feltüntettem.

Összehasonlításképpen a korábban elvégzett a III. Bányaüzem radiológiai hatásaival [2] kapcsolatban végzett mérések eredményeit is közlöm.

II.1.1. Terület bemutatása

A táróvágat szája a községtől délre, ~ 50 méterre a lakott terület határától található. A bejáratot egy kisebb domb oldalában kezdték el kialakítani. A táró egyenletesen lejt, így a lakott területet elérve már jóval a felszín alatt fut.

A terület viszonylag sűrűn lakott, kertes családi házakból álló övezet, jellemzők a házakhoz tartozó nagyobb, művelhető földterületek és pincék.

A felszín javarészt sziklás, törmelékkel borított, száraz, gyéren füves a lakott területen kívül. A lakóházak kertjeire is jellemző a laza szerkezetű, száraz talaj, ahol főként gyümölcsöt és szőlőt termesztene, tehát komoly földművelés nem befolyásolta a talaj általános szerkezetét. A vékony felső réteg alatt gyakran találtunk köves altalajt, mely valószínűleg az itteni perm-triász korú homokkő formációhoz tartozhat.

A táróalagút nyomvonala nagyjából félbe osztja a községet észak-déli irányban, tehát a mérések során, a keresztirányú profilok ugyanakkora területet ölelnek fel mindkét oldalon (az alagút nyomvonalától keletre és nyugatra is).

Kővágószőlős egész területe a hármas üzem hatásterületén helyezkedik el. Bár az üregrendszer viszonylag messze és mélyen helyezkednek el a lakott területtől, de a község alatt húzódó északi táró okozhat dózistöbbletet a felette elhelyezkedő lakóházakban.

Ez az egész terület erősen repedezett, nagy törésvonalak és zúzott zónák jellemezték már a bányászat előtti időkben is, amit a bányászat hatása csak erősített. [2] Elméletileg a vágat belsejében felhalmozódott nagy radon mennyiség a repedéseken keresztül feláramolva okozhat lokális problémát. Természetesen a kőzet urántartalma is jelentősen hozzájárulhat a beltéri radon koncentrációk növekedéséhez

II.1.2. Mérési helyszínek bemutatása

A településen belül a vágat fölött párhuzamosan és arra merőlegesen, meghatározott távolságokban létesítettem összesen 30 mérési pontot (térkép/ábra), ahol ún. komplex radon méréseket végeztem el, melybe az előző fejezetben taglalt vizsgálatok tartoztak. A mérési pontok GPS készülék segítségével lettek kijelölve a terepviszonyoktól függően; a keresztirányú profilokon 20 méterenként, a hosszirányú mérési pontok pedig 50 méterenként, lehetőleg a vágat felett. A pontok kijelölésénél egy egész községre kiterjedő méréssorozatot is figyelembe vettem [2], mely meghatározta a keresztirányú profilok mérési sávját (50-50 m, a vágat nyomvonalától keleti és nyugati irányban). A felmérés során, a 100 m-es sávon (korábbi mérések során kijelölt terület) belül létesítettem mérési pontokat, tehát ezen értékek tekintendők reprezentatívnak minden esetben.

A felmérést a tavalyi nyári időszakban végeztem, július és augusztus hónapokban.

Bár a meteorológiai viszonyok erősen befolyásolják a mérést, a levegőbeli radon koncentrációra egyébként is jellemző a napi és évszaks ingadozás. A mérési időszakra magas átlaghőmérséklet, szélcsend és az alacsony relatív páratartalom, tehát a száraz, meleg idő volt jellemző, ami általánosságban véve mind az exhalációt, mind a levegőbeli radon migrációt segíti, emiatt magasabb koncentráció értékeket is vártam, a községre jellemző átlagtól függetlenül. A mérésekről vizsgálati jegyzőkönyvet készítettem, melybe minden, a mérést és eredményeket befolyásoló paraméter feljegyzésre került.

II.1.3. Korábbi radiológiai állapot bemutatása

Az ezredforduló után (2002.-ben) a községben felmerült az igény Kővágószőlős részletes radiológiai felmérésére, hogy elkülönítsék a bányászat által (meddőhányók, táróvágatok) okozott sugárterheléseket a természetes eredetűektől (Kővágószőlősi Homokkő Formáció). E felmérés keretein belül vizsgálták meg többek között a község lakóépületeinek radiológiai helyzetét, különös tekintettel azok beltéri ^{222}Rn koncentrációjára. Részben ezen adatok feldolgozásából egy doktori disszertáció is született [2], melyek eredményeit ebben a fejezetben szeretném bemutatni, hogy később összehasonlítási alapként szolgáljanak az általam végzett mérésekhez.

Az táróvágat szájába telepített Dataqua készülék kiértékelése után, mely extrém magas vágatbeli radon koncentrációt mutatott, megvizsgálták, van-e a vágatnak felszínre gyakorolt hatása, és ha igen, ez a hatás milyen távolságban és mekkora mértékben jelentkezik. Keresztirányú profilokon, a vágat nyomvonalától mindkét irányba távolodva végeztek komplex radon vizsgálatokat, amiket kiegészítettek a lakóházak beltéri radon koncentrációjának felmérésével is. A terepi viszonyokat is figyelembe véve 3 mérési sávot jelöltek ki a vágat irányára merőlegesen 100 és 200 méteres távolságokban és az ezen a távolságon kívül eső területeken.

A 2. táblázat szemlélteti a talajgáz és az exhalációs mérések eredményeit.

E-i tárótól való távolság [m]	Talajgáz radonkoncentráció [kBq/m ³]				Radon exhaláció [mBq/m ² s]			
	Mérések száma	Min.	Max.	Átlag	Mérések száma	Min.	Max.	Átlag
0-100	71	26	233	96	67	19	326	72
>100	18	12	117	54	27	11	106	41

2. táblázat: A radon koncentrációk értékeinek eloszlása a táróalagúttól való távolság függvényében [2]

Látható, hogy a 100 méteres sávon belül a talajgáz radon koncentrációja magas, az exhaláció is közel kétszeres növekedést mutatott a sávon belüli pontoknál. A radon exhaláció többlet valószínűleg összefügg a beltéri radon koncentrációnövekedéssel. Az itteni magasabb értékek, igazolják azt a feltevést, miszerint ez a terület erősen repedezett, ezáltal elősegíti a vágatban felhalmozódott radon exhalációját a felszínen. A kibúvások, mint lehetséges beltéri

radonkoncentráció-növekedést okozó hatásának kizárása céljából, felmérték az egész területen a gamma-dózisteljesítményét is. A 3. táblázatban láthatók ezek az adatok.

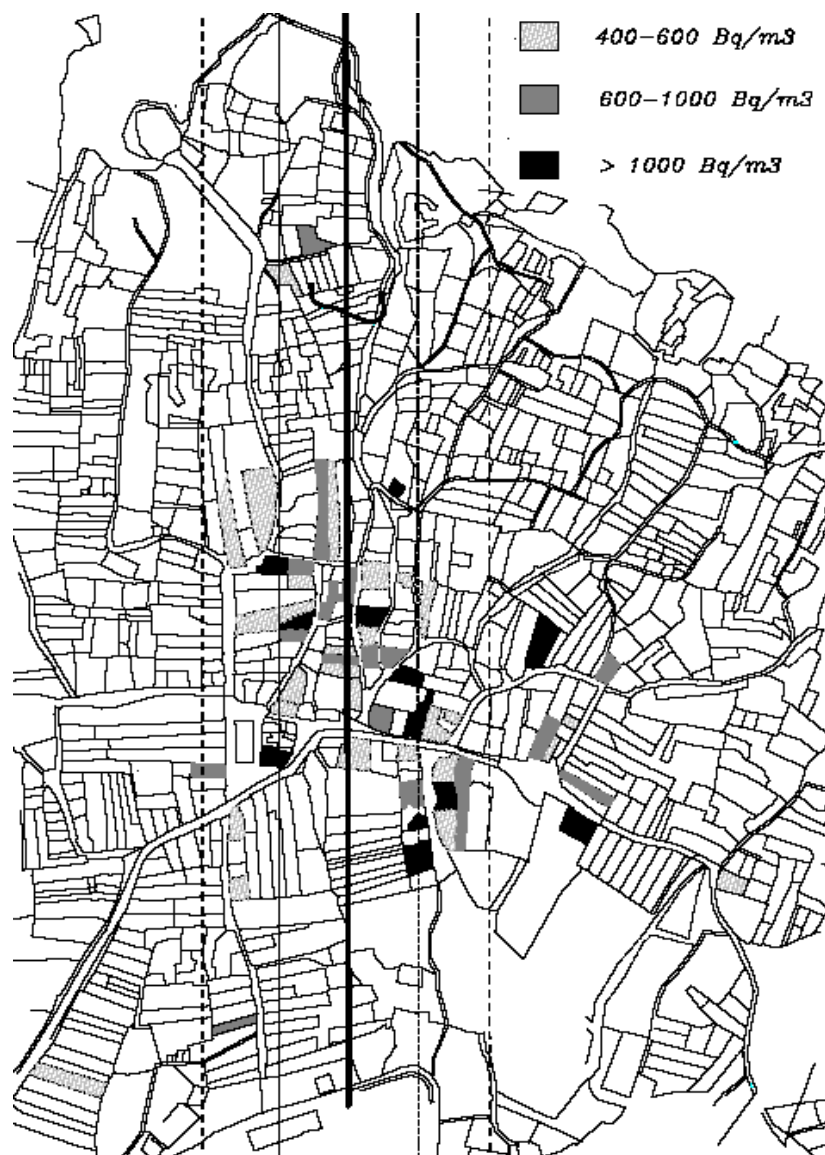
Távolság [m]	Gamma-dózisteljesítmény [nGy/h]					
	Benti			Kinti		
	min.	max.	átlag	min.	max.	átlag
0-100	80	233	146	102	252	134
100-200	62	180	130	95	162	114
>200	72	231	142	99	163	120

3. táblázat: Lakáson belüli és kívüli gamma-dózisteljesítmény eredményei [2]

A kültéri méréseket az épületektől 5 méterre végezték el, hogy kizárják az épületek hatásait. Látható, hogy ugyan az átlagosnál magasabbak az értékek (meghaladják a világátlagot, ami bent 84 nGy/h, kint 59 nGy/h), de ezen a területen átlagosnak számítanak. A táró nyomvonalától való távolság függvényében jelentős eltérést valamint az épületekhez közel eső kibúvások nem voltak kimutathatóak. (kivéve a 200 méteren kívüli 2 db lakóházat, melyek pincéjében megtalálható az érc kibúvás). A vágat kialakításakor készült karotázs szelvények természetes gamma szelvényei egyértelműen igazolják, hogy a vágat közvetlen közelében érclencse nem található. Az összehasonlítás alapján az talajfelszínen mért értékeket vettem, mivel méréseim során az 1m-es magasságban végzett mérések eredményei csupán kiegészítő adatok.

A beltéri vizsgálatok főleg a földszintes házakra koncentráltak, melyek legtöbbje pincével is rendelkezik. Az ezekben feldúsuló radon feláramlása befolyásolhatja a beltéri radon koncentrációt, így itt is végeztek méréseket. E vizsgálatok során összesen 134 földszintes családi ház lett felmérve, ezen felül még 10 lakóházban volt folyamatos felmérés, 4 hónapos expozíciós intervallummal a téli hónapokban, hogy az egyes lakóházakban maximális legyen a beltéri radon koncentráció. Bár a folyamatosan vizsgált lakóházakban minden évszakban vannak mérési adatok, az éves dózis pontos megállapításához a legtöbb épületben nyári méréseket is végeztek. A vizsgált lakások átlagos radon koncentrációja (a téli hónapokban) 483 Bq/m^3 volt, az adatok a $35\text{-}3523 \text{ Bq/m}^3$ tartományban szóródtak.[2]

A 6. ábra mutatja Kővágószőlős belterületének telekhatárait, valamint a község alatt húzódó északi tárot (vastag vonallal jelezve) és a 400 Bq/m^3 feletti beltéri radon koncentrációjú házak elhelyezkedését.



6. ábra: Táró nyomvonala és a magas beltéri ^{222}Rn koncentrációjú lakások [2]

Az belső vonalak a 100 méteres, a külsők pedig a 200 méteres sávokat jelölik. Látható, hogy a magas beltéri koncentrációkkal terhelt lakások a belső sávban helyezkednek el, míg a külső sávban csupán 3 helyen regisztráltak 1000 Bq/m^3 érték feletti értékeket. A nyári és téli mérések összehasonlításakor összesen 9 házban volt jellemzően 600 Bq/m^3 felett a radon indoor koncentrációja. Ha az összes lakóház átlagértékeit nézzük, az is egyértelműen igazolja, hogy a vágat közelében valami okból nagyobb a beltéri radon koncentráció.

Végezetül megállapítható, hogy a törésvonalaknak valószínűleg nagy szerepük van a beltéri radon koncentrációk növekedésében. Ha figyelembe vesszük, hogy ezek mind az északi vágatot keresztezik, feltételezhetjük, hogy az ottani magas koncentrációban jelen lévő radon feláramolhat a felszínre. A talaj magas urántartalma is nagymértékben növelheti a beltéri radon koncentrációt, így ennek a szerepe sem zárható ki.

II.1.4. Aktuális állapot

Mint azt már korábban írtam, a méréseket nyári időszakban, száraz időben végeztük. Általában ilyen meteorológiai viszonyok mellett a vágatszájon kiáramló radon mennyisége nagyobb, ún. fújó hatás figyelhető meg. Ezzel ellentétben télen a hőmérséklet különbség miatt általános szívó hatás tapasztalható. Bizonyos esetekben megfigyelték, hogy a várt effektus megfordul, tehát télen is kifelé áramlik a radon gáz. Ezen kérdés megválaszolásra további vizsgálatok szükségesek; jelen dolgozatban nem térek ki rá részletesen, mivel elsősorban a vágat felett, lakott területen mért értékek összehasonlítása cél a korábbi adatokkal.

A komplex vizsgálatok legelső méréseként a levegő aktuális (pillanatnyi) ^{222}Rn koncentrációját regisztráltuk a pontokon. A méréseket a megfelelő módszer szerint, Genitron Instruments gyártmányú, AlphaGuard PQ2000 Pro radon monitort használtunk, diffúziós üzemmódban, csatlakoztatott légszivattyúval. Fél órás kivárási időt követően, 10 perc integrálási időközzel 3 leolvasást végeztünk. Méréseim átlagát és szélsőértékeit a 4. táblázat mutatja

Levegő pillanatnyi ^{222}Rn koncentráció (Bq/m^3)	
Minimum	9
Maximum	281
Átlag	35

4. táblázat: Levegőben regisztrált radon koncentrációértékek

A teljes mérési spektrumbeli koncentrációalakulást a mellékletben található ábra szemlélteti.

Az első mérési ponton, melyet a vágat szájánál jelöltem ki, magas 281 Bq/m^3 -es koncentrációt rögzítettünk, míg a többi ponton kisebb eltérésektől eltekintve $10\text{-}50 \text{ Bq/m}^3$ -es tartományba estek az eredmények.

A külső nyílttéri levegő (outdoor) radon koncentrációja általában kevesebb, mint 10 Bq/m^3 [4], tehát a mért adatok legtöbbször így is az átlag felett található. Fontos megjegyezni, hogy a kiemelkedő értékek a vágat szájánál találhatóak, lakott területen nincsenek extrém magas koncentrációk. A következő táblázat (5. táblázat) a levegőbeli ^{222}Rn koncentrációt leginkább befolyásoló tényezők értékét mutatja:

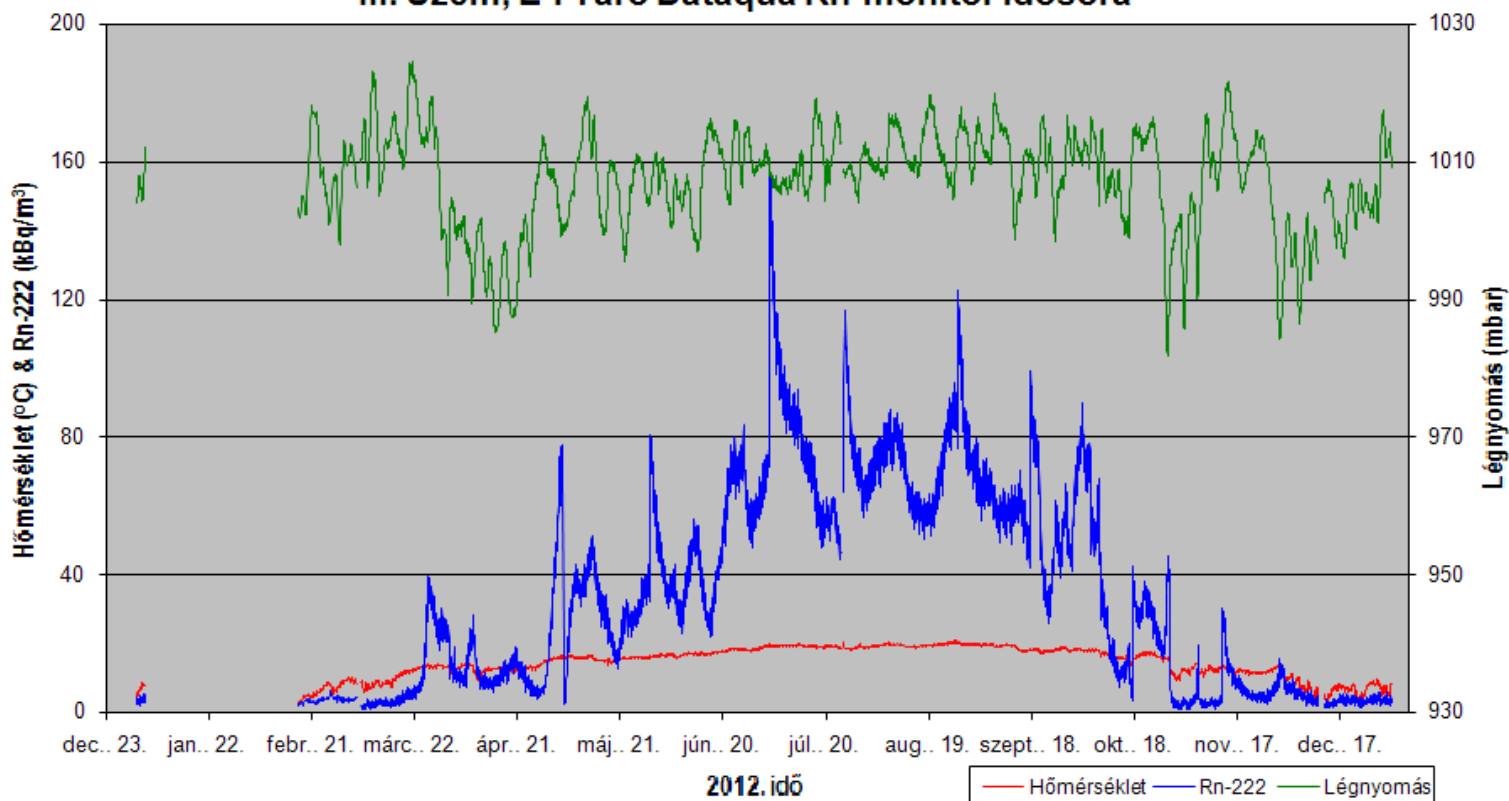
	Hőmérséklet (°C)	Légnyomás (mbar)	Rel. páratartalom (%)
minimum	24	982	17
maximum	44	996	44
átlag	35,7	987,4	25,6

5. táblázat. A radon koncentrációt befolyásoló természetes paraméterek fontosabb értékei

A magas átlaghőmérséklet és az alacsony relatív páratartalom, tehát a száraz, meleg idő elősegítheti az exhalációt, aminek megnövekedése megmagyarázza a magas kültéri radon tartalmat is. Ehhez járul még a tároszáj környezetében a kiáramló bányalevegő radon koncentrációja (7. ábra).

Bár a meteorológiai viszonyok erősen befolyásolják a mérést és a levegőbeli radon koncentrációra egyébként is jellemző a napi és évszakos ingadozás is, ezektől függetlenül a mért értékek mind nagyobbak az átlagnál, de nem kiugróan magasak.

III. Üzem, É-i Táró Dataqua Rn-monitor időszora



7. ábra: Vágat levegő radon koncentráció változása a vágatban a tavalyi évben

Ez után felmértem a terület ^{222}Rn exhalációjának értékeit, hogy magyarázatot keressek az átlagfeletti kültéri radon koncentráció adatokra. A mérést akkumulációs edény és a hozzá csatlakoztatott AlphaGuard radon monitor valamint keringető szivattyú segítségével, egy óras akkumulációs idővel végeztem el. A mérés megkezdése előtt a készüléket 10 perces ciklusidejű átáramlásos üzemmódba állítottam. A kapott eredményeket az alábbi táblázatban (6. táblázat) összegeztem.

Talajfelszín ^{222}Rn exhaláció ($\text{mBq/m}^2\text{s}$)	
minimum	13
maximum	113
átlag	55

6. táblázat: Radon exhalációs értékek összesítése

Az értékek ingadozását okozhatják felszín közeli repedések [2] amik közvetlen kapcsolatot hoznak létre a vágat és a felszín között, vagy kisebb, szintén felszín közeli érclelcsék is, amik helyi anomáliaként jelentkezhetnek.

A normál talajok radon exhalációja leggyakrabban a 20–60 $\text{mBq/m}^2\text{s}$ -os tartományba esik [4].

Az adatok fele beleesik ebbe, azonban nem hagyhatjuk figyelmen kívül a tényt, hogy mért eredményeink egyharmada az átlag felső határa fölött található.

A radon származhat a felszínhez közel található kőzetek átlagosnál magasabb U-Ra tartalmából, de a feláramló bányalevegő hatása sem zárható ki.

Méréseinket napos, szélcsendes időben végeztük, a talaj szinte minden vizsgálati helyszínen száraz és fűvel borított volt. Tehát komolyabb zavaró/befolyásoló tényező nem merült fel, csupán annyit érdemes megjegyezni, hogy a száraz talajok radon visszatartó képessége csekélyebb s ez hozzá járulhat a magasabb értékekhez. A teljes mérési sorozat eredményeit a mellékletben található ábra reprezentálja.

Harmadik mérésem a talajgázok ^{222}Rn mennyiségének felmérésére irányultak. Az alaplmszer az AlphaGuard PQ 2000 Pro radon monitor volt, megfelelő kiegészítőkkel felszerelve (mintavételi szonda és AlphaPump légszivattyú). A meghatározást a talajfelszíntől számított 20–100 cm mélységben, esetünkben 50 cm-en végeztem. A csatlakoztatás utáni második perctől kezdődően 3 koncentráció értéket jegyzünk fel. Az elfogadott koncentráció adat a három mérés számtani átlaga. Ezeket az eredményeket a következő táblázat (7. táblázat) mutatja.

Talajgáz ²²² Rn koncentráció (kBq/m ³)	
minimum	14
maximum	122
átlag	41

7. táblázat: Talajgáz radon koncentráció értékek a mérési pontokon

Az átlagos talajok póruslevegőjének ²²²Rn koncentrációja a 10–60 kBq/m³-es tartományba esik [4], amely nagyságrend sugárvédelmi szempontból már komoly odafigyelést igényel.

A korábbi eredményektől meglepően eltérően, az mért adatok majdnem teljes mennyisége az imént említett spektrumon belül van.

Akárcsak a másik két vizsgálatnál, itt is a kezdeti adatok kiugróak. Ezek a bányaureg bejáratánál kerültek rögzítésre. Úgy tűnik, természetes szellőzésből adódó feláramlás alakult ki ezeken a helyeken, ami magyarázatot adhat a magasabb értékekre.

A mintavételi mélység átlagosan 50 cm volt, ám néhány helyen az alapkőzet állapota (aprózódott kavics, tömörödött talaj) megakadályozta ezt.

Általánosságban elmondható, hogy száraz, porózus talajokban végeztem a vizsgálatokat.

A mérési eredményeket a mellékletben található ábrán ábrázoltam.

Kiegészítő mérésként elvégeztem a terület gamma-dózisteljesítményének felmérését is, hogy kizárjam vagy izoláljam az érclencsék okozta anomáliákat. A vizsgálatokat FH 40 G-L radiométerrel és csatlakoztatott 5*5 cm átmérőjű, NaI (Tl) szcintillációs detektorral végeztem.

A mérések során rövid, néhány másodperces mérési időket választottam.

A gamma dózisteljesítmény méréseket a talajfelszínen (mintavételi pontokon) és 1 méter magasságban (szabvány szerint) végeztem. A kapott adatokat táblázatban (8. táblázat) rögzítettem.

Gamma dózisteljesítmény (nGy/h)		
	0 m (talajfelszín)	1 m
minimum	112	98
maximum	169	164
átlag	136	130

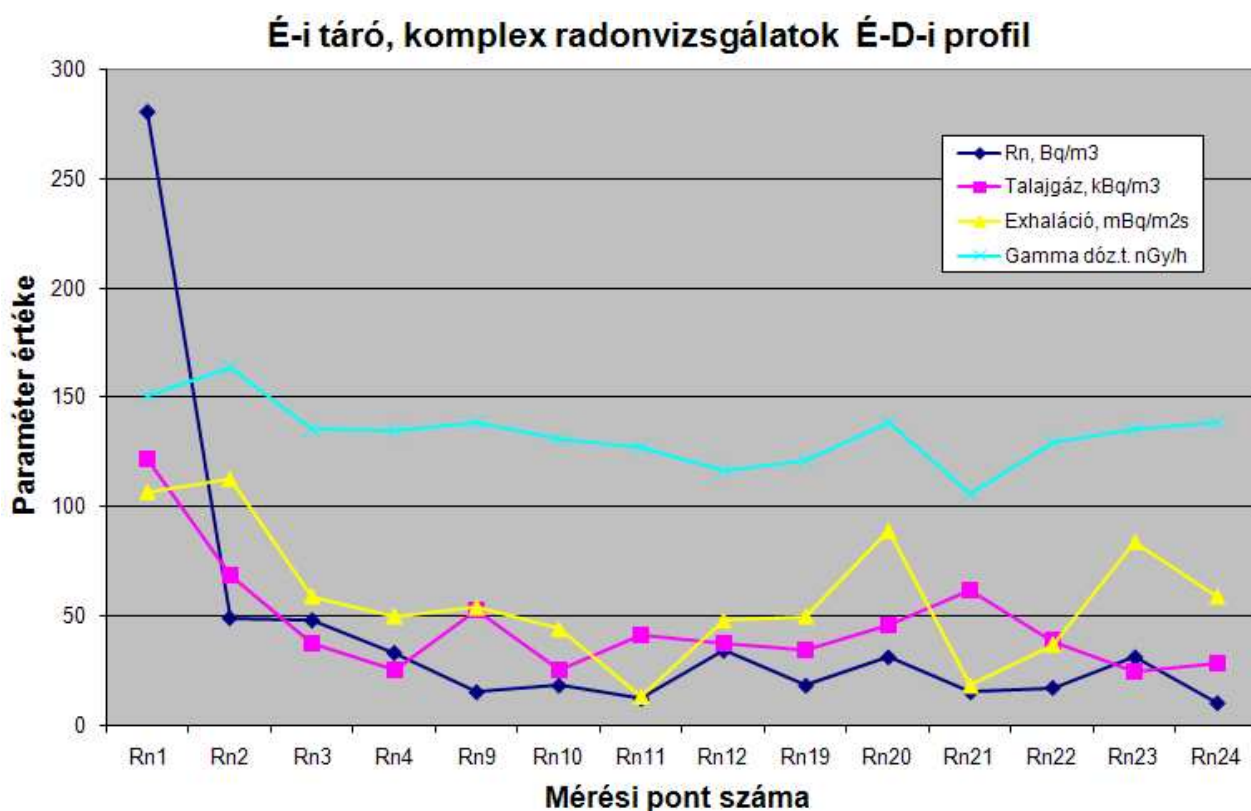
8. táblázat: Gamma-dózisteljesítmény értékek a mérési pontokon

Az adatok a normál háttér értékek tartományába esnek. Az országos átlag 86 nGy/h (OSSKI szerint), Kővágószőlős térségében pedig 100-250 nGy/h, köszönhetően az itteni kőzetek magasabb uránérc tartalmának.

A DDKTVF (Dél Dunántúli Környezetvédelmi, Természetvédelmi és Vízügyi Felügyelőség) a háttérértéket a területen 250 nGy/h-ban, egyedi ponton pedig a háttér+200 nGy/h, tehát 450 nGy/h értékben maximalizálta.

Eredményeink mindegyike ez alatt van, tehát nem mutatható ki felszíni szennyezés.

A gamma dózisteljesítmények változását a felmért területen a mellékletben megtalálható térkép szemlélteti. Végezetül, a hosszanti profilon végzett komplex mérések eredményeit a következő diagramon (8. ábra) összegezem:



8. ábra: Komplex radon vizsgálatok összesített eredményei

A vágat szájánál tapasztalt magas értékek, amiket egyértelműen radon kiáramlás okoz, a hossz szelvénye mentén nagyjából 50-100 méteren belül lecsengenek. A kezdetben a felszínhez közel húzódó alagút még lakott területen kívül produkál csak kiemelkedő koncentrációkat mindegyik mért paraméternél, amik utána kisebb kiugrásoktól eltekintve csökkenő tendenciát mutatnak.

Ezeket a kiugrásokat csak a talajban maradt érclelcsék bomlása által kibocsátott ^{222}Rn okozhatja.

A három keresztirányú profil mindegyike lakott területen kívül lett kijelölve, ezért azok diagramjait itt nem elemzem, hanem a mellékletben közlöm.

III. Eredmények kiértékelése

A korábbi vizsgálatok eredményei még igen magas, az országos átlagot kétszeresen, de egyes helyeken (pl.: radon exhaláció maximuma) akár kilencszeresen is meghaladó értékeket mutattak.

A gamma dózisteljesítmény értékei nem mutatnak számottevő különbséget, ami igazolja azokat feltevéseket, miszerint felméretlen érc kibúvás nem található a településen. Mind az átlagértékekben, mind a minimum értékekben hasonlóság fedezhető fel. Látható azonban, hogy a maximum értékek jelentősen csökkentek. A korábbi maximumok magyarázata két addig felfedezetlen érclelcsé lehetett. A talajgáz és radon exhaláció adatok esetében egyértelmű csökkenés figyelhető meg minden tekintetben. A korábbi felmérések során kapott talajgáz értékek majdnem a felére, az exhaláció mértéke pedig átlagban 24 %-kal csökkent. Az átlagnál magasabb, de nem kiugró exhalációs eredmények és a levegőbeli radionuklid koncentráció értékeket a felszín közeli kőzetek érc tartalmának bomlása okozhatja. A korábban talált vágat fölötti radon paraméterek megemelkedések a mostani mérések alkalmával nem igazolódtak vissza és a hosszú távú monitoring mérésorozat is egy nagyságrendnyi csökkenést jelez a tároalagúton belüli értékekben, e jelenség hátterében a vágattal kapcsolatban lévő bányaureg rendszer folyamatos, vízzel való feltelése állhat, mely megakadályozza a radon feldúsulását a vágat térben. Tehát ha korábban volt is a vágatnak hatása a lakótéri radonra, akkor ez is mostanra valószínűleg mérséklődött vagy megszűnt. Erre bizonyítékot valószínűleg a tervezett SSNTD felmérés eredménye fog szolgáltatni. Feltételezhetjük tehát, hogy lefalazás utáni első években még volt a vágat felszín közelében található részeinek valamilyen hatása a felszínen mért értékekre, tehát okozhatott a feláramló radon plusz dózisterhelést a községben élőknek. Főleg a pincékkel rendelkező, vagy repedésvonalak felett található lakások voltak kockázatnak kitelve.

III.1. További vizsgálati és lehetséges megoldási módok

Mivel eddig nem sikerült elég alaposan feltárni a problémát és egyértelmű kapcsolatot bizonyítani a vágat és a radon probléma között, a Mecsek-Öko és a német Wismut cég szakemberei egy speciális, nyomjelzős technológiával kívánják ezt megvizsgálni. Ennek során egy a táróban nem megtalálható gázt injektálnának annak légterébe; ha van kialakult kapcsolat a felszínnel, a nyomjelző gáz meg fog jelenni a felszíni mérések során.

A folyamatos radon monitoring mellett a felgyűlő bányavizet is érdemes figyelemmel kísérni, ha pedig a feltelési folyamat befejeződött, ismét komplex mérésekkel felmérni az üreget s annak környezetét. Így pontosabb kép alakulhatna ki a jelenségről és annak lehetséges megoldási módjairól.

Végül, de nem utolsó sorban a 2002.-ben elvégzett, lakóházak indoor radon szintjének ismételt felmérésével összehasonlítási alapot teremthetünk a mai és a korábbi állapot között a lakosokat érő dózisterhelés tekintetében. Emellett a friss adatok birtokában felülvizsgálhatjuk néhány feltételezésünket, és biztosabb megállapításokat tehetünk a vágat és a radiológiai probléma kapcsolatát illetően. A felmérés integráló típusú mérőeszközökkel (kb. 100 db SSNTD radon doziméterekkel) történik, lehetőleg azonos típusú lakóhelyek (alápincézetlen családi házak) azonos típusú helyiségeiben (hálószoba), egyszerre (néhány napon belül) elhelyezve és begyűjtve. A felvétel optimális időpontja a téli időszak (gyakrabban zárt nyílászárók).

Ehhez a veszprémi Pannon Egyetem radiokémiai tanszékének hozzájárulásával és segítségével kívánok hozzá látni ez év decemberében.

IV. Összegzés

A téma feldolgozásának főbb gondolatai a következők voltak:

- Az egykori mecseki uránbányák hagyatékaik több itteni települést érintenek
- Kővágószőlős község házaiban magas beltéri radon szintet mértek több alkalommal, mely egészségügyi kockázatot rejt magában
- A problémát a település alatt húzódó, mára befalazott bányavágathoz köthették
- A többéves monitoring után részletes felmérés elvégzését rendelték el a szakemberek

A dolgozat első részében a témaválasztás háttéréül szolgáló probléma bevezetése mellett a jelenség elméleti háttérének feldolgozására, az ismereti háttér kialakítására törekedve a szakirodalom állását illetve a radon gáz bemutatását végeztem el, részletezve a folyamatokat, melyek végtermékeként a vizsgált problémák létre jöhettek.

A pontosabb megismerés miatt röviden bemutattam a hazai uránérc kitermelés életútját, a bányászat rekultivált területeinek megfigyelésére szolgáló monitoring rendszert, és a táróvágathoz köthető konkrét radiológiai problémákat. A viszonyítási alap megteremtése céljából röviden kitértem a hazai sugárvédelmi szabályozásra is.

A szakemberek által már jól bevált metódusok és felszerelés működési elvének és a velük történő munkavégzés lefolytatásának ismertetése mellett az általam elvégzett méréseket és azok körülményeit és helyszíneit is bemutattam, a közelebbi és átfogó képalkotás érdekében.

Végül a korábbi felmérések és az általam mért értékek kielemezése és az adódó következtetések levonása után a probléma további vizsgálataira és megoldására adott javaslatok következtek.

A vizsgálat alapjául szolgáló feltételezést, miszerint a lakásokban mért átlagfeletti beltéri radon szintet az üregből kiáramló, a befalazás miatt feldúsult bomlástermékeket tartalmazó levegő okozza, komplex felszíni mérésekkel és a monitoring eredmények kiértékelésével ellenőriztem. Az eredmények ismeretében elmondható, hogy a földtani tulajdonságok-felszínközeli érclelcsékek lehetnek felelőse a jelen pillanatban tapasztalható magasabb értékekért, míg a múltban tapasztalt kiugró adatok köthetők a bányaüreghez. Azonban mára az üregben belüli radon koncentráció is folyamatos csökkenést mutat, ami megerősíti az iménti kijelentést. Ez a csökkenés az üregrendszer vízzel való feltelődéshez köthető, tehát további vizsgálatokat érdemes végezni, annak megállapításra, hogy pontosan milyen módon és milyen mértékben hat ki a jelenségre ez a folyamat.

Ezen kívül korábbi feltételezéseink megerősítése érdekében a község aktuális radiológiai felmérése (kiemelten a lakások felmérése) is javasolt.

Irodalomjegyzék

- [1] Dr. Csige István, Radon a környezetben, Kötet: Fejezetek a környezeti fizikából, Debrecen (2003)
- [2] Dr. Gorjánác Zorán, Az uránbányászat utólagos hatásai nyílt és zárt terek radon koncentrációjára, beavatkozási lehetőségek; PhD értekezés, Pannon Egyetem Veszprém (2006)
- [3] Dr. Várhegyi András, Felhagyott bányáüreg-rendszerhez kapcsolódó radiometriai monitoring, Mecsekérc Zrt. monitoring jelentés (2010)
- [4] Dr. Várhegyi András, A MECSEKÉRC Rt-nél alkalmazott radon vizsgálati eljárások és azok néhány eredménye, tanulmány, (2003)
- [5] Dr. Várhegyi András, Radioaktív alapfogalmak, ppt előadás, PTE PMMIK
- [6] MECSEKÉRC Rt., Minőségirányítási kézikönyv, Környezetvédelmi Igazgatóság Vizsgálólaboratóriuma MSZ EN IS/IEC 17025, (2001)
- [7] Uránipari rekultiváció 2012.évi egységes környezetellenőrzési terve
- [8] WISMUT ÉS MECSEK-ÖKO ÉVES EGYÜTTMŰKÖDÉSI JELENTÉS 2010

Internetes forrás:

- [9] <http://www.mecsekerc.hu/>

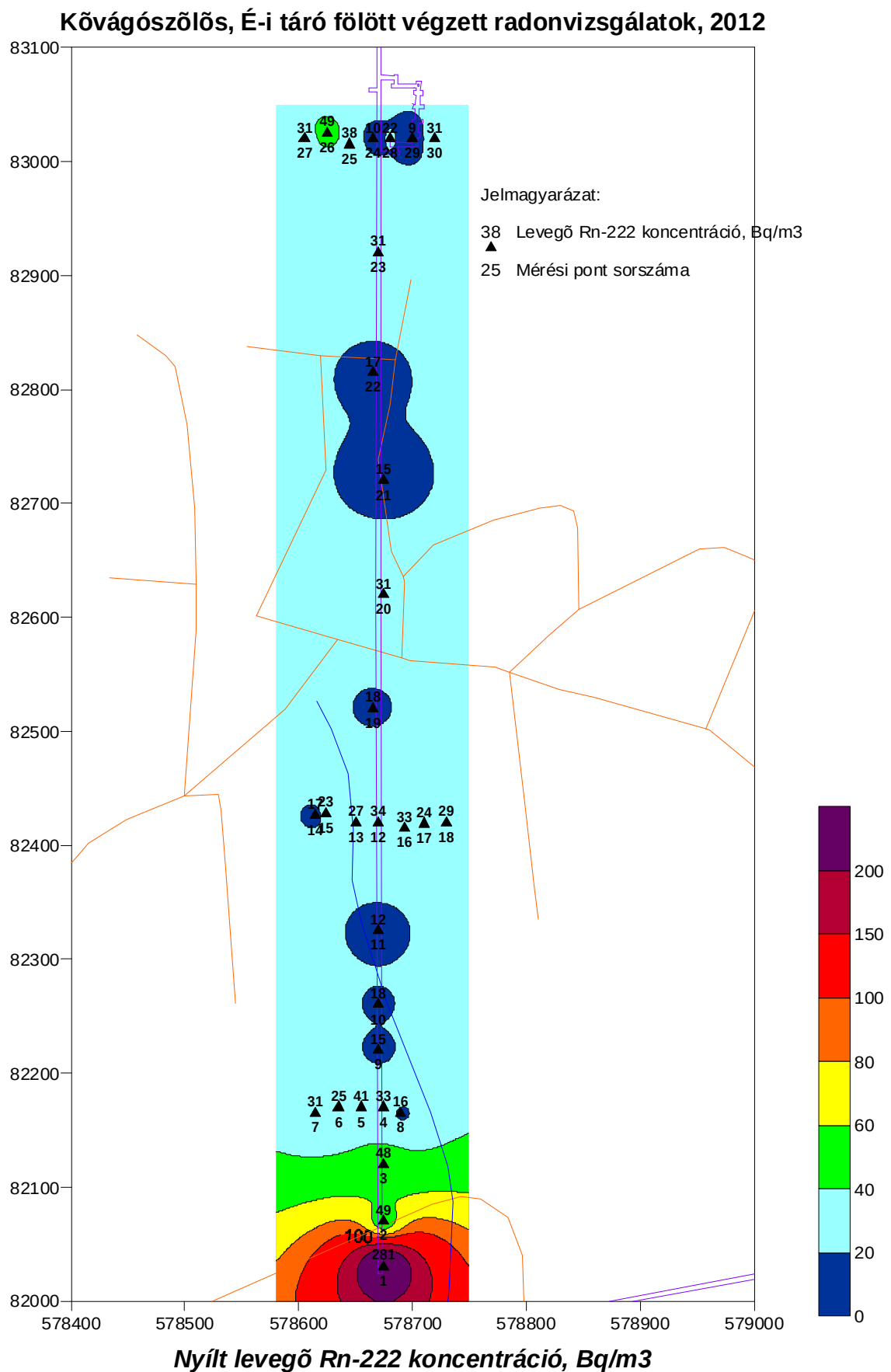
Mellékletek

1. Radon vizsgálatok összesítő táblázata

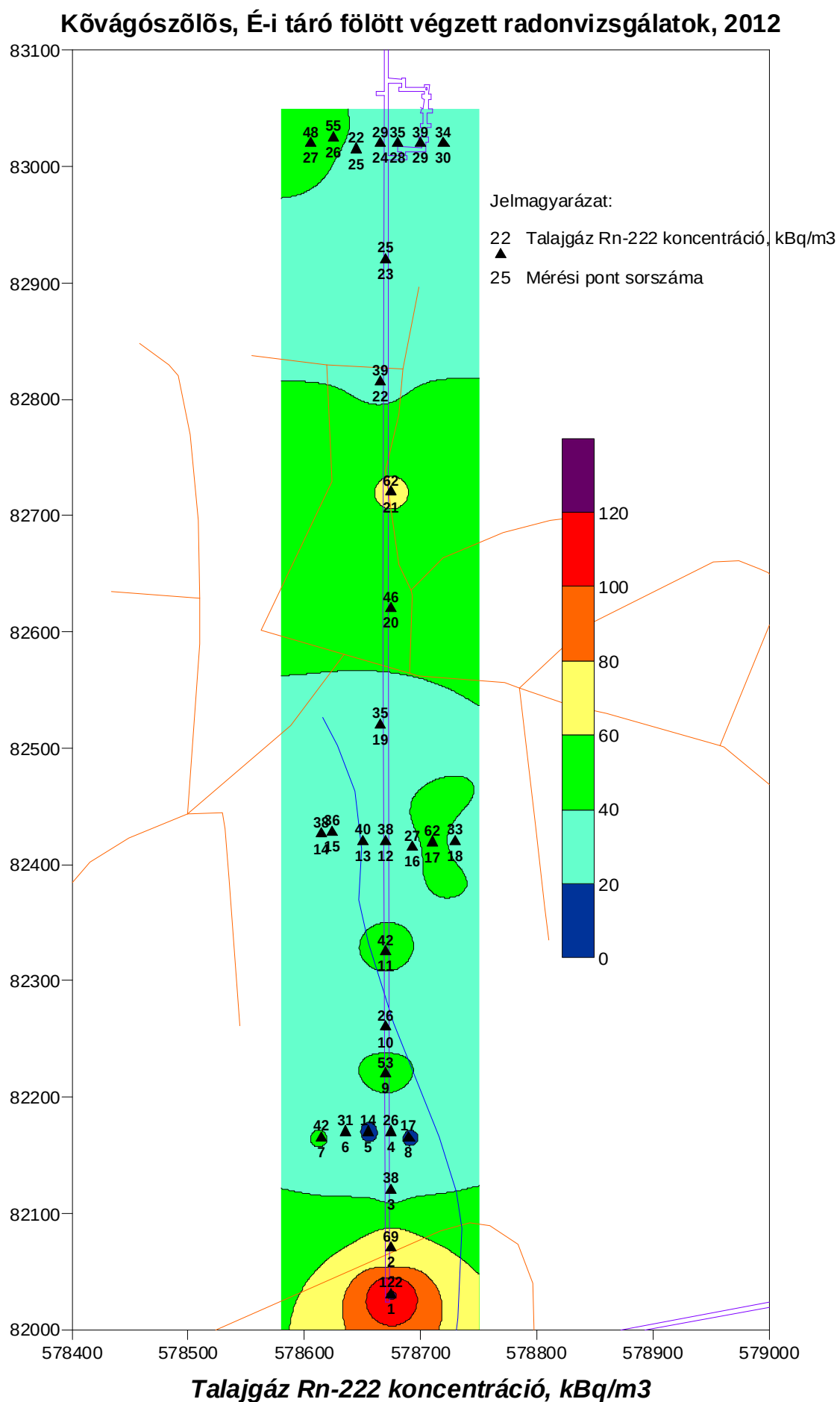
MECSEK-ÖKO Zrt. É-i táró fölötti radon vizsgálatok összesítő táblázata, 2012.

Mérési pont jele	Mérés ideje	Koordináták		Radon-222 mérések			Gamma dózis telj.	
		X	Y	Levegő Rn konc.	Talajgáz Rn konc.	Talaj-felszín exhaláció	"0 m"	"1 m"
				Bq/m ³	kBq/m ³	mBq/m ² s	nGy/h	
RRn-ÉT-1	2012.07.04	82030	578675	281	122	107	132	151
RRn-ÉT-2	2012.07.04	82070	578675	49	69	113	169	164
RRn-ÉT-3	2012.07.04	82120	578675	48	38	59	142	136
RRn-ÉT-4	2012.07.04	82170	578675	33	26	50	140	135
RRn-ÉT-5	2012.07.04	82170	578655	41	14	71	143	141
RRn-ÉT-6	2012.07.17	82170	578635	25	31	48	157	150
RRn-ÉT-7	2012.07.17	82165	578615	31	42	30	139	135
RRn-ÉT-8	2012.07.17	82165	578690	16	17	34	117	111
RRn-ÉT-9	2012.07.17	82220	578670	15	53	54	138	139
RRn-ÉT-10	2012.07.17	82260	578670	18	26	44	134	131
RRn-ÉT-11	2012.07.17	82325	578670	12	42	13	138	127
RRn-ÉT-12	2012.07.17	82420	578670	34	38	48	127	117
RRn-ÉT-13	2012.07.17	82420	578650	27	40	25	117	118
RRn-ÉT-14	2012.07.20	82426	578615	17	38	31	127	106
RRn-ÉT-15	2012.07.20	82428	578624	23	36	49	147	131
RRn-ÉT-16	2012.07.20	82415	578693	33	27	24	127	123
RRn-ÉT-17	2012.07.20	82419	578710	24	62	76	118	98
RRn-ÉT-18	2012.07.20	82420	578730	29	33	16	118	108
RRn-ÉT-19	2012.07.20	82520	578665	18	35	50	131	121
RRn-ÉT-20	2012.08.13	82620	578675	31	46	89	138	139
RRn-ÉT-21	2012.08.13	82720	578675	15	62	18	112	106
RRn-ÉT-22	2012.08.21	82815	578665	17	39	37	131	130
RRn-ÉT-23	2012.08.21	82920	578670	31	25	84	133	136
RRn-ÉT-24	2012.08.21	83020	578665	10	29	59	144	139
RRn-ÉT-25	2012.08.22	83015	578645	38	22	83	132	118
RRn-ÉT-26	2012.08.22	83025	578625	49	55	40	158	146
RRn-ÉT-27	2012.08.22	83020	578605	31	48	88	138	140
RRn-ÉT-28	2012.08.22	83020	578680	22	35	77	151	146
RRn-ÉT-29	2012.08.22	83020	578700	9	39	105	153	144
RRn-ÉT-30	2012.08.22	83020	578720	31	34	28	129	123
Adatok statisztikai összesítése:		Darabszám:		30	30	30	30	30
		Minimum:		9	14	13	112	98
		Maximum:		281	122	113	169	164
		Átlagérték:		35	41	55	136	130

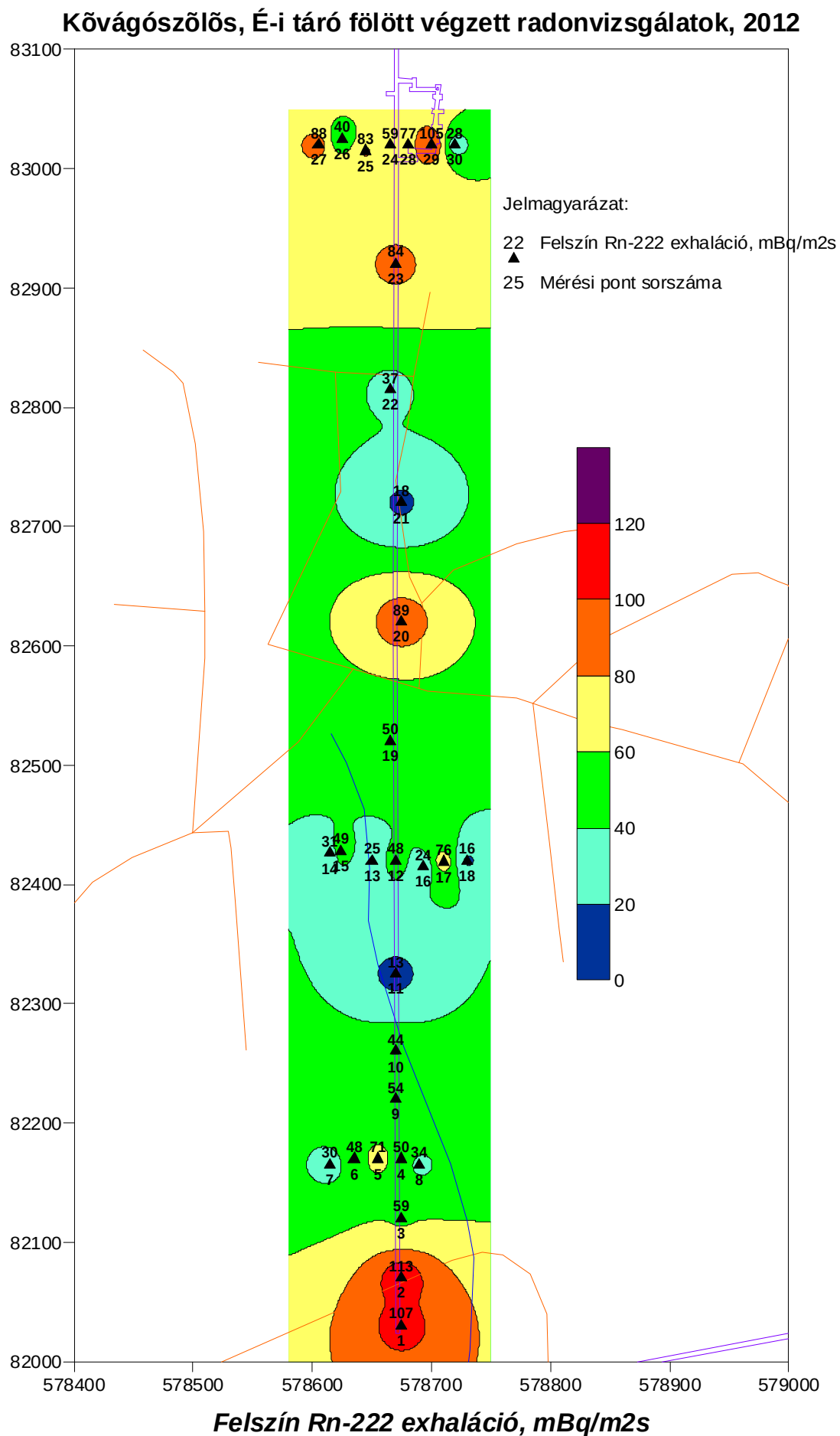
2. Nyílt levegő radon koncentrációja a mérési pontokon



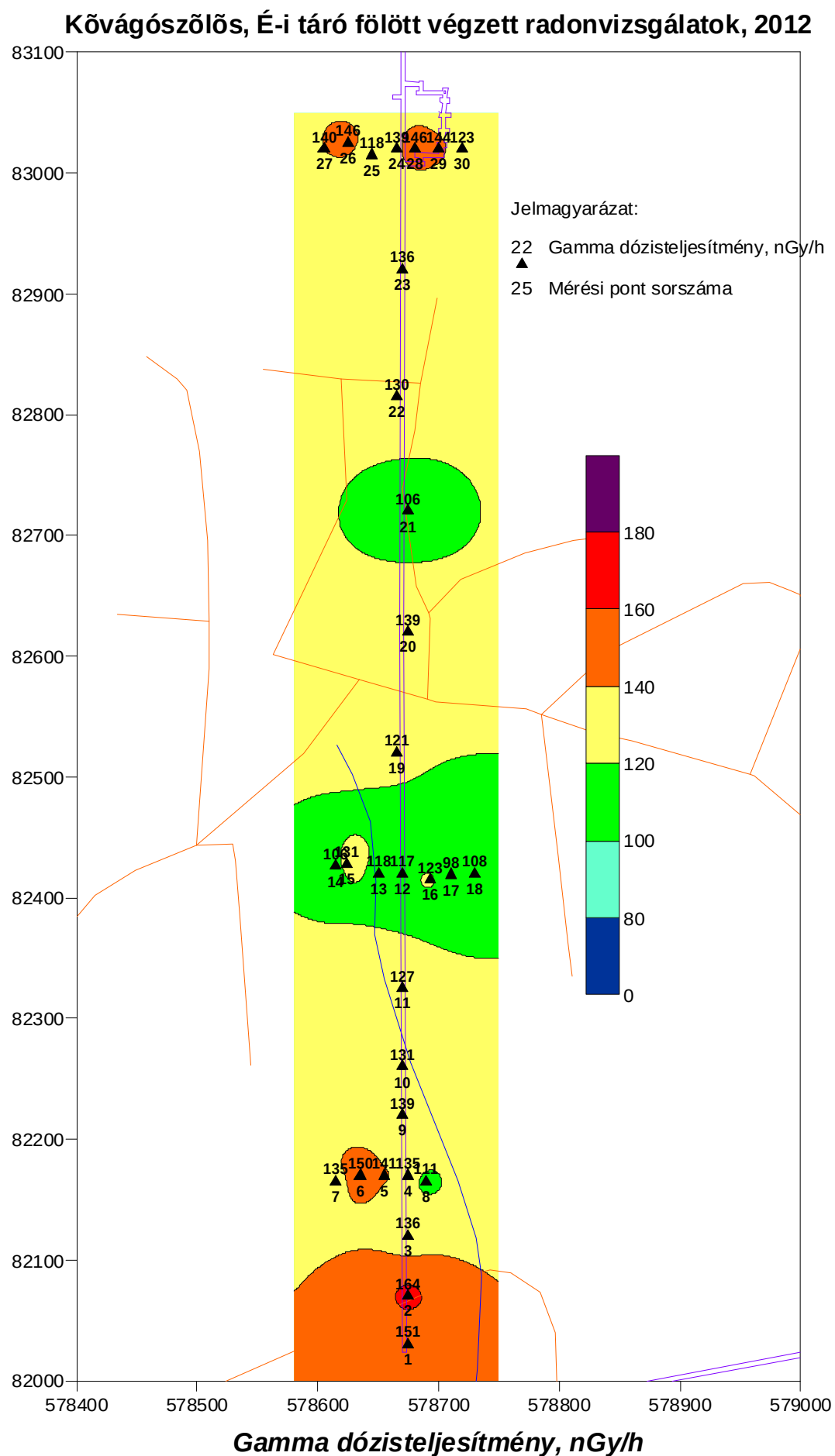
3. Talajgáz ^{222}Rn koncentrációja a mérési pontokon



4. Felszín ^{222}Rn exhalációja a mérési pontokon



5. Gamma dózisteljesítmény értékek a mérési pontokon



6. Keresztirányú profilok eredményei

