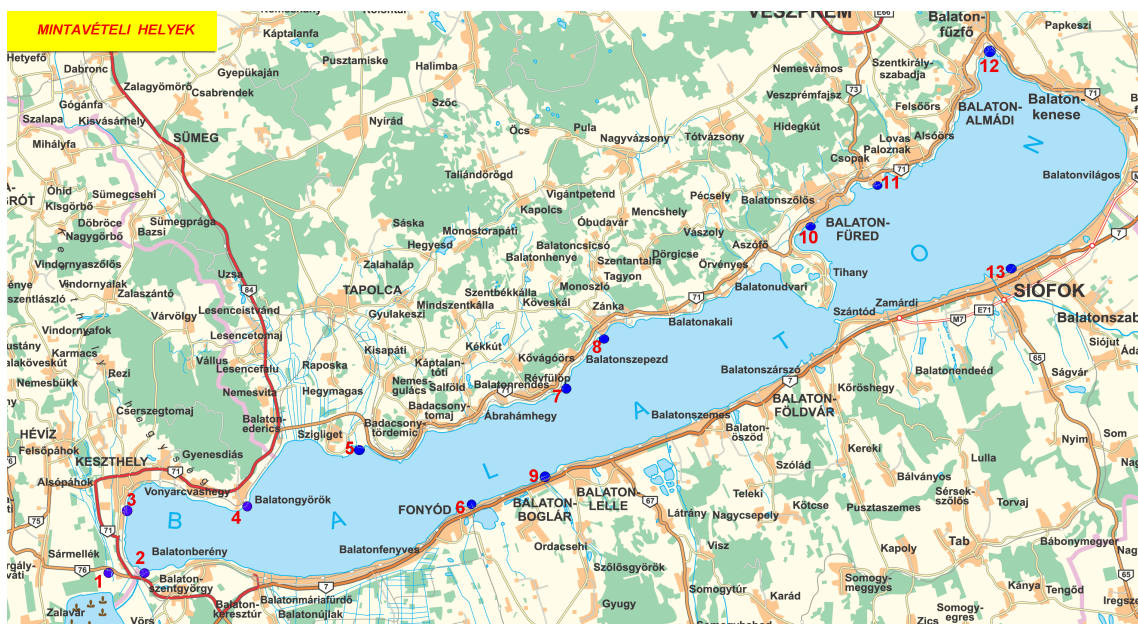


KÖRNYEZETVÉDELMI ALAP CÉLELŐIRÁNYZAT

KÖZCÉLÚ KÖRNYEZETVÉDELMI FELADAT MEGVALÓSÍTÁSA

Jelentés



A Balaton természetes és mesterséges eredetű radioaktivitásának felmérése és vizsgálata

Témavezető: Szabó Gyula

Résztvevők: Capote Antonio, Gucci Judit, Koblingerné-Bokori Edit,
Kurtács Endre és Ugron Ágota

2002.

"Fodor József" Országos Közegészségügyi Központ-Országos "Frédéric
Joliot-Curie" Sugárbiológiai és Sugáregészségügyi Kutató Intézet, 1221.

Budapest Anna u. 5

Tartalomjegyzék

Bevezetés	3
A feladatok megoldásának leírása	4
Anyagok és módszerek	5
Mintavételezés	5
A mintavételi helyek pontos leírása	5
Alkalmazott módszerek	7
Eredmények	12
A Balaton vizének vizsgálata	13
Balatoni szedimentum vizsgálata	26
Balatoni nád vizsgálata	37
Balatoni halak vizsgálata	42
Indikátor növény keresése	43
Köszönetnyilvánítás	44

BEVEZETÉS

A Balaton Közép-Európa egyedülálló természeti kincse. Emellett a tavat üdülési, sportolási, ipari-víz kinyerésére és halászati célra hasznosítják, valamint a nyári időszakban százezrek keresik fel hétvégenként. A sokcélú emberi hasznosítás és természetvédelmi célok miatt a tó radioökológiai vizsgálata időszerű volt. Eddig csak szórványos méréseket végeztek a különböző intézetek, főleg közvetlenül a csernobili reaktor baleset után, annak felmérésére, hogy a tavat milyen radioaktív szennyezés érte. Nem került sor a Balaton radioökológiai állapotának átfogó vizsgálatára, sem a természetes, sem a mesterséges eredetű radioaktivitásról és annak hatásáról a környezetre, a tó hasznosíthatóságra, a környezetében élők és időszakosan ott tartózkodók egészségére nem áll rendelkezésre a lakosság megnyugtatót szolgáló megbízható információ. Ezen vizsgálatok elvégzése szervesen kapcsolódik a Balatoni Intézkedési Tervet megalapozó és az azt módosító 1068/1996. számú Kormányhatározat egyes pontjaihoz úm:

- A Balaton vízgyűjtő területére elkészült környezetvédelmi állapotfelmérést aktualizálni kell, valamint el kell készíteni azt a vízminőség-védelmi akcióprogramot, amely prioritások meghatározásával végrehajtási sorrendet állapít meg az elvégzendő feladatokra.
- Gondoskodni kell arról, hogy a közvélemény és az idegenforgalom szakszerű és hiteles tájékoztatást és előrejelzést kapjon a Balaton állapotáról. Ennek érdekében ki kell dolgozni a Balaton és vízgyűjtőjének monitoring adatait befogadó, a szakmai köröket és a lakosságot az aktuális és jellemző állapotról tájékoztató balatoni információs rendszer koncepcióját, és meg kell kezdeni a rendszer kísérleti üzemeltetését.

Nem elhanyagolható szempont a vizsgálatok indoklásakor, hogy a tó igen jelentős idegenforgalmi bevételt hoz az országnak, a környező települések lakosságának nagy része a hazai és külföldi látogatókból él. Az utóbbi évek környezeti vészhelyzetei alkalmával, melyet a tömeges angolnapusztulás vagy az alacsony balatoni vízállás okozott, kiderült, hogy a lakosság és a turisták a vártnál sokkal érzékenyebbek környezetük állapotára. Turisták tömegei mondták le tervezett nyaralásukat a tó partján, a külföldi sajtó is tele volt negatív kicsengésű publikációkkal. Egy hasonló, álhírből, hozzá nem értésből vagy tisztességtelen verseny-magatartásból fakadó, a balatoni eseményekhez vagy a gödöllői tavak állítólagos sugárfertőzéséhez hasonló pánik felmérhetetlen károkat okozhat a balatoni idegenforgalomnak és Magyarország hírnevének. A Balaton radioaktivitásának megfelelő időben történő felmérése megnyugtathatja a környezetében élőket és üdülőket, potenciális külföldi látogatókat. Így ezen mérések elvégzése és megfelelő dokumentálása egy esetleges nagy nemzetgazdasági kárt előzhet meg.

A fent elmondottak miatt, valamint annak megállapítására, hogy a tó hasznosítása jelenleg milyen radioökológiai körülmények között történik és a hasznosítás során ezen körülmények milyen mértékben változnak, illetve a tóból nyert

öntöző, ipari esetleg ivóvíz és a helyben fogott hal fogyasztása révén milyen radionuklidok juthatnak be az emberi szervezetbe és azok milyen mértékű sugárterhelést okoznak, szükséges egy nagyobb környezetellenőrző program beindítása. Ennek első eleme az alábbiakban elvégzett radiológiai vizsgálat.

A FELADAT MEGOLDÁSÁNAK LEÍRÁSA

A különböző potenciális szennyező anyagok a természetes és mesterséges eredetű radionuklidok. A mesterséges radionuklidok fő forrásai a légköri atomfegyver kísérletekből származó kihullás, a különböző tudományos és egészségügyi intézetek által használt radionuklidok a szennyvízen keresztül való kibocsátása. Potenciális szennyező forrásoknak tekinthetők a már meglévő nukleáris létesítmények a környező országok és hazánk területén. A természetes eredetű radioaktivitás főbb ipari forrásai az uránbányák, a hagyományos fosszilis tüzelésű erőművek, egyéb ércbányák és ércfeldolgozó üzemek. A mezőgazdaságban alkalmazott foszfortartalmú műtrágyák általában a természetes háttérszintnél nagyobb radioaktivitásúak, így potenciális forrásnak tekinthetők. Emellett a felszín alatti vizek nagy része (termál, ásványvízforrások) szintén nagyobb koncentrációban tartalmaznak természetes radionuklidokat. Mind a mesterséges, mind a természetes eredetű radionuklidok főként a táplálékláncon keresztül jutnak az emberi szervezetbe.

Az atomenergia egyre szélesebb körű hasznosítása egyre inkább felveti a radioaktív szennyeződés veszélyét. Emellett a csernobili reaktorbaleset komoly aggodalmat okozott a lakosságnak is. Súlyos atomerőművi baleset esetén a szennyező anyagok fő útvonala a levegőben való terjedés az azt kísérő nedves és száraz kihullással. Ez közvetlen vagy közvetett módon juthat a vizekbe. Az atomerőművek ún. normálüzemi működése is radioaktivitás környezeti kibocsátásával jár. Ennek főbb útvonalai a kéményen keresztül a légkörbe jutó ill. a vízi kibocsátás útján a vízi rendszerekbe jutó radionuklidok. A környezeti vizsgálatok kimutatták, hogy a normálüzemi működés környezetszennyezése elhanyagolható. És bár a szakértők véleménye szerint a nukleáris ipar a legbiztonságosabb ipari tevékenységek közé tartozik, nem zárható ki egy esetleges baleset esetén radioaktív anyagok nagymértékű kibocsátása. Egy ilyen esemény egészségügyi és környezeti hatásainak minimalizálása céljából is szükség van a radionuklidok főbb terjedési útvonalainak, transzport-folyamatainak ismeretére.

Ezen munka fő célkitűzése, hogy meghatározza egyrészt a különböző természetes eredetű:

- a ^{232}Th -bomlási sorból az ^{228}Ac radioaktivitás koncentrációját,
- az ^{238}U bomlási sorába tartozó ^{234}Th és ^{226}Ra radioaktivitás koncentrációját,
- ahol lehetséges az ^{235}U radioaktivitás koncentrációját,
- a primordiális ^{40}K radioaktivitás koncentrációját,

másrészt a mesterséges eredetű radionuklidok közül:

- a ^3H radioaktivitás koncentrációját,
- a ^{90}Sr és a ^{137}Cs radioaktivitás koncentrációját,

- a monitorozási célra széles körben használt összes-béta radioaktivitás szintjét

a tó szedimentumában, vizében, különböző növényekben, elsősorban nádban és a tóban élő különböző halfajokban.

Céljaink közé tartozott továbbá, hogy vizsgálataink során találjunk olyan vízi élőlényt, vagy élőlénycsoportot, amely bioindikátorként felhasználható és képes jelezni a tó esetleges radionuklid szennyezettségét.

ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK

Mintavételezés

A mintavételi pontokat a Közép-Dunántúli Környezetvédelmi Felügyelőséggel egyeztetve a felügyelőség balatoni mintavételezési programjának megfelelően jelöltük ki. A mintavételi pontok helyét az 1. Táblázatban adtuk meg. Az átláthatóság kedvéért ezen mintavételi pontok elhelyezkedését az 1. ábrán mutatjuk be.

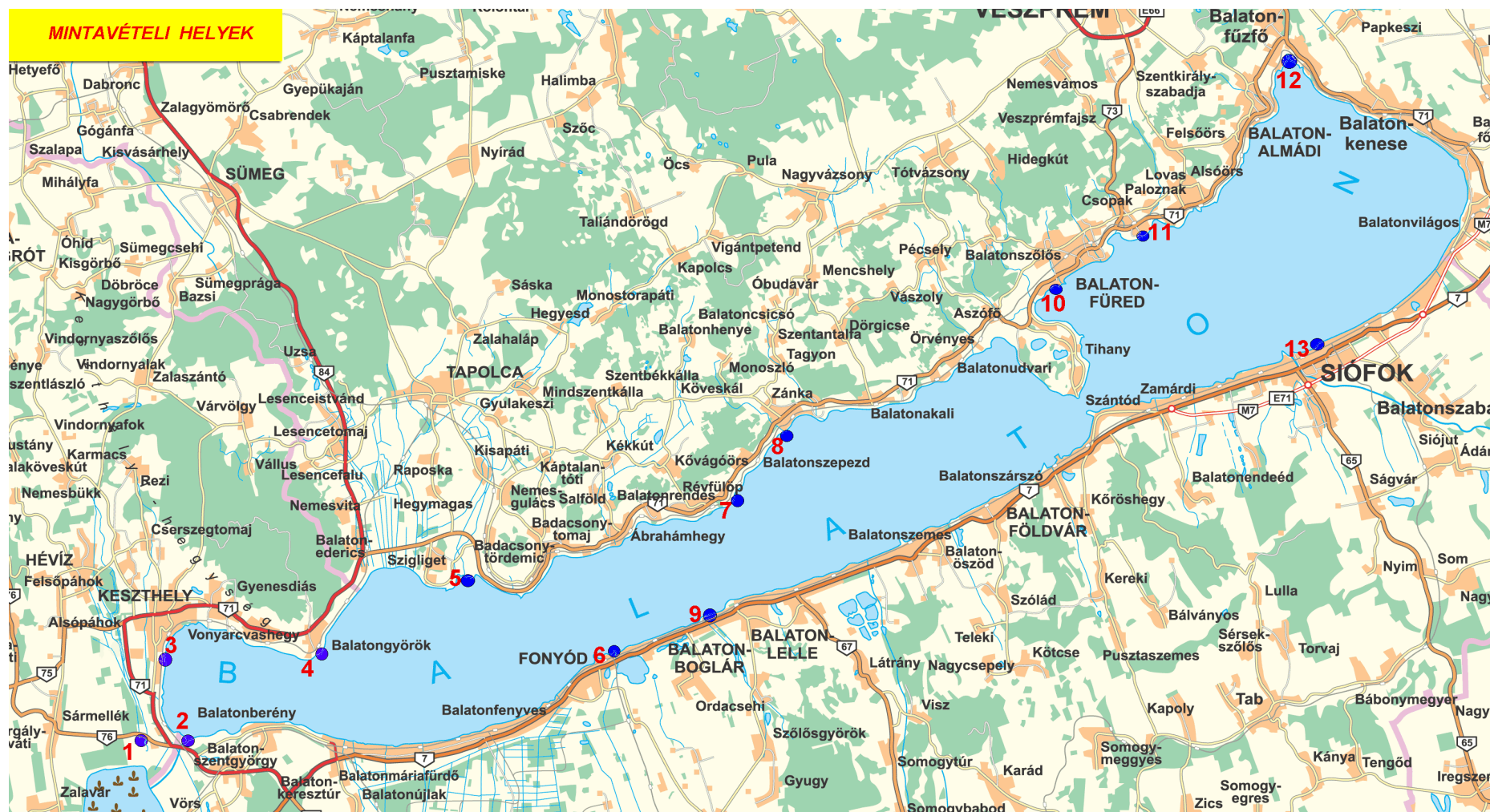
1. Táblázat. A program mintavételi helyei.

Mintavétel helyeinek sorszáma	Mintavétel helye	Medence neve
1	Hévízi csatorna	
2	Zala folyó torkolata	Keszthelyi medence
3	Keszthely	Keszthelyi medence
4	Balatongyörök	Keszthelyi medence
5	Szigliget, Kétöles patak	Szigligeti medence
6	Fonyód	Szigligeti medence
7	Révfülöp	Szemesi medence
8	Balatonszepezd	Szemesi medence
9	Balatonboglár	Szemesi medence
10	Balatonfüred/Tihany	Siófoki medence
11	Csopak	Siófoki medence
12	Balatonfűzfő	Siófoki medence
13	Siófok	Siófoki medence

A mintavételi helyek pontos leírása

A jövőbeni összehasonlíthatóság és a kapott eredmények megfelelő dokumentálhatósága érdekében a mintavételi helyek pontos leírását a 2. Táblázatban közöljük

A Balaton természetes és mesterséges eredetű radioaktivitásának felmérése és vizsgálata



Sorszám	Mintavétel helye	Hely pontos leírása
1	Hévízi csatorna	78-as főút közúti hídjától délre
2	Zala folyó torkolata	Torkolat a híd alatt
3	Keszthely	Hajókikötő
4	Balatongyörök	Strand észak-nyugati rész
5	Szigliget, Kétöles patak	Bauxit bányász horgász egyesület házánál
6	Fonyód	Hajókikötőtől 150 m-re
7	Révfülöp	Hajókikötő
8	Balatonszepezd	Strand északi része
9	Balatonboglár	Hajókikötő
10	Balatonfüred/Tihany	Aszfóli sark (a nagy kanyarban)
11	Csopak	Hajókikötő mellett
12	Balatonfűzfő	Yacht kikötő
13	Siófok	Hajóállomás keleti oldal

A vízmintákat (110-120 dm³) búvárszivattyúval a felszín alatt 40-50 cm mélységből vettük. A polietilén hordokban beérkezet vízmintákat 6 mol/dm³ koncentrációjú HNO₃-val savanyítottuk a feldolgozás előtt. A szedimentum mintákat Ekman dredge segítségével vettük. A kb. 5 kg tömegű szedimentum mintákat polietilén zsákokban szállítottuk a laboratóriumba. A parti sáv növényeit a felszín alatt 10 cm-re sarlóval vágtuk le, majd zsákokba gyűjtöttük. A hinárfélék esetében kézzel szakítottuk ki a növényeket a fenékről és zsákokba gyűjtöttük.

Alkalmazott módszerek

A laboratóriumba beérkező különböző típusú minták feldolgozása, mintaelőkészítése és radioaktivitás mérése a laboratórium akkreditált (**NAT által az 501/0969 számon bejegyzett vizsgálólaboratórium**) módszertani előírásainak alapján történt. A vizsgálólaboratórium eljárásai közül a következő metodikákat alkalmaztuk ezen projekt keretében:

Nagytérfogatú vízminták előkoncentrációja gamma spektrometriai mérésre (OKK OSSKI HSZ 2001)

A módszer alkalmas a radioaktív elemeket (általában) igen kis koncentrációban tartalmazó környezeti eredetű vízminták tetszés szerinti mértékű dúsítására, és ezáltal a gamma sugárzó nuklidok igen kis koncentrációinak gamma spektrometriai úton történő kimutatására. Az üledék és lebegőanyag tartalom eltávolítása céljából a vizsgálandó mintát Sartorius nyomószűrő alkalmazásával,

Whatman GF/C üvegszálás filteren átszűrjük. A tiszta szűrletből 50-100 dm³-t műanyag kannába mérünk. A kimért mennyiségű tiszta szűrletet nagyteljesítményű vákuum bepárlóban (POWER VAP, Genser Scientific Instruments, GERMANY) 50-55 °C-on, 20-25 mbar vákuum alatt, kb. 300 cm³-re bepároljuk. A bepárolt mintát sósavval megsavanyítjuk az esetlegesen kivált sótartalom oldatba vitele céljából, majd a bepárlást fűthető keverőn folytatjuk, amíg a minta térfogata a gamma spektrometriai mérés geometriája által megkívánt térfogatot eléri. A koncentrált mintát gamma spektrometriai mérésre továbbítjuk.

Növénytípusok előkészítése radioaktivitás méréshez (összes béta, gamma spektrometria), valamint radiokémiai elválasztáshoz (OKK OSSKI HSZ 2001)

A mintaelőkészítés során a vizsgált mintát a méréshez megfelelő térfogatra illetve formára hozzuk. A gamma-spektrometriás mérésekhez a minta teljes mennyiségének hamuja felhasználható, összes-béta mérés, radiokémiai feldolgozás során a minta hamujának meghatározott részét használjuk fel. A szükséges nyers minta mennyisége általában 3-5 kg. Szárítással a minta térfogatát csökkentjük, hamvasztásra, illetve gamma-spektrometriás mérésre alkalmassá tesszük. Amennyiben a minta még szárított állapotban is nagy térfogatú, hamvasztani nem lehet (fű, takarmány) úgy őrléssel aprítottuk.

A mintát jellegének megfelelően tálcára, vagy porcelán edénybe helyezzük és szárítószekrényben 105 °C-on súlyállandóságig szárítjuk. Szükség esetén, ha a száraz térfogat túl nagy a további feldolgozáshoz a mintát aprítani kell őrlőmalomban. Az előzőleg megszáritott lemerített mintát porcelántálba tesszük. A mintát tartalmazó tálat hideg kemencébe tesszük be és a hőmérséklet szabályozót 200 °C-ra állítjuk, 3 órán keresztül hagyjuk ezen a hőfokon a mintát (a fokozatos elszenesítése végett). Ezután a hőmérsékletet 450 °C-ra növeljük és ezen a hőmérsékleten a mintát 24 óráig havasztjuk. Ha a minta még nem teljesen hamvadt el (sok szén szemcsét tartalmaz) a hamvasztást további 24 órán át folytatjuk, ez a lépés azoknál a mintáknál fontos ahol a minta további kémiai feldolgozásra kerül. A hamut dörzsmalomban homogenizáljuk, és mérjük a tömegét. A hamuból végezzük el a további radioaktivitás méréseket.

Talajminták előkészítése radioaktivitás méréshez (összes béta, gamma spektrometria), valamint radiokémiai elválasztáshoz (OKK OSSKI HSZ 2001)

Mintaelőkészítés során a mintát egyszerű fizikai eljárásokkal olyan állapotúra alakítjuk, hogy az a további radiokémiai mérésre alkalmas, homogén és reprodukálható legyen. A mintaelőkészítés lépései a következők: szárítás, aprítás, homogenizálás, frakcionálás

A talajmintát alumínium tálcára öntjük, szétterítés után a növényi részeket, nagyobb köveket eltávolítjuk, az összeragadt rögöket szétörjük. A mintát tálcás szárítószekrényben 105 °C-on kiszárítjuk, a minta mennyiségétől és nedvességtartalmától függően 10-24 óráig. A lehűlt mintát golyósmalomban, ha szükséges őrlőmalomban aprítjuk, golyósmalomban homogenizáljuk. A golyósmalomból kivett

homogenizált mintát laboratóriumi vibrációs szitagépen átszitáljuk és az 1,25 mm-es szitán áteső frakcióból végezzük el a radioaktivitás méréseket. A minta nedvességtartalmát ha szükséges szárítás előtt és után történő tömegmérésből meghatározzuk.

Környezeti és humán eredetű minták mérése passzív árnyékolású félvezető detektoros gamma-spektrometriai módszerrel (OKK OSSKI HSZ 2001)

A gamma-spektrometria nuklidspecifikus vizsgálati módszer: az energiaspektrum minőségi és mennyiségi vizsgálatra alkalmas. Gamma-spektrometriával a mintában lévő egy vagy többenergiájú gamma-sugárzó radionuklidok aktivitáskoncentrációját lehet közvetlenül mérni anélkül, hogy a mintát kémiaiailag roncsolni kelljen.

A gamma-spektrometriai mérőrendszer két CANBERRA GC1520 p- és GR20195 n-típusú 15 illetve 20 %-os relatív hatásfokú nagy tisztaságú germánium detektorral van felszerelve, amelyeket a háttérsugárzás csökkentése érdekében 10 cm falvastagságú ólomból készült árnyékolással veszünk körül. A CANBERRA gyártmányú AccuSpec/B sokcsatornás analízátorral és a Genie-2000 szoftverrel rendelkező számítógéppel felvettük és kiértékeljük a spektrumokat. A mérési idő 80000 és 160000 s között változott. A mintákat a következő mérési geometriákban mértük:

Marinelli edény 600cm³-ig feltöltve

Pordoboz 150cm³-ig feltöltve

„Gasztroplast” pohár 250cm³-ig feltöltve

⁴⁰K aktivitás-koncentrációjának meghatározása a kálium-ion koncentráció mérése alapján (OKK OSSKI HSZ 2001)

Vízminták esetén a kálium mérés, az “Ívóvízvizsgálat, nátrium-és kálium lángfotometriás meghatározása” MSZ 448-10:1977 szabványban leírtak szerint történik. A megmért kálium-koncentráció alapján számoljuk a vízminták ⁴⁰K aktivitás koncentrációját.

Megfelelően előkészített és feltárt növény, élelmiszer és talaj mintákból a kálium meghatározást atomabszorpciós spektrofotométeren (VARIAN SpectrAA-200) lángemisszióban végezzük és a megmért kálium-koncentráció alapján számoljuk a minták ⁴⁰K aktivitás koncentrációját

Vízben lévő béta-sugárzó izotópok összes béta-aktivitásának meghatározása (MSZ 19376:1977 alapján OKK OSSKI HSZ 2001)

A módszer alkalmas mindazon különböző eredetű (természetes felszíni víz, csapadékvíz, ivóvíz, ásványvíz, gyógyvíz stb.) vízminta analízisére, amelyben a béta sugárzó radionuklid radioaktív koncentrációja legalább 50 mBq/dm³. Illékony radionuklidok, és 150 keV-nál kisebb bétaenergiával rendelkező izotópok kimutatására a módszer nem alkalmas.

A minta radionuklid koncentrációját bepárlással és hamvasztással növeljük, majd a keletkező vízhamu béta aktivitását mérjük. Az impulzus számlálás sebességéből számítjuk a vízminta radioaktív koncentrációját, Bq/dm³ egységben. A bepárlás, illetve 380 °C-on történő hamvasztás során az illékony radionuklidok elvesznek. A preparátum béta aktivitásának mérését alacsony háttérű béta-mérő berendezésben (BERTHOLD LB 770/5/2/PC) végezzük.

⁹⁰Sr radioaktív koncentrációjának meghatározása vízben (MSZ 19393:1986 alapján OKK OSSKI HSZ 2001)

A minta ⁹⁰Sr koncentrációját a vele radioaktív egyensúlyban lévő ⁹⁰Y radiokémiai módszerrel történő szelektív elválasztásával, majd azt követő mérésével határozzuk meg. Tömény salétromsavas oldatból salétromsavval ekvibrált tributil-foszfáttal az ittriumot a kétértékű kationok mellől extraháljuk. A szerves fázisból desztillált vízbe visszaextrahált ittriumot megfelelő pH mellett ittrium-oxalát csapadék alakjában választjuk le. A leválasztott csapadék aktivitásának meghatározását az ⁹⁰Y béta sugárzásának alacsonyháttérű mérőberendezéssel történő mérésével végezzük.

Az enyhén megsavanyított minta 100 liternyi mennyiségéhez ittrium hordozó oldatot mértünk, majd vákuum bepárlóban, 50-55 °C-on, 20-25 mbar vákuum alatt, bepárlással koncentráltuk kb. 1000 cm³-re. A koncentrált vízmintából a stronciumot nátrium-karbonáttal leválasztottuk. A karbonát csapadék salétromsavas feloldása után, a tömény salétromsavas oldatból tributil-foszfáttal extraháltuk az ittriumot a kétértékű kationok mellől. A szerves fázisból az ittriumot desztillált vízzel kivontuk. Az ittriumot megfelelő pH mellett ittrium-oxalát csapadék alakjában leválasztottuk. A minta radioaktivitásának meghatározását BERTHOLD gyártmányú (BERTHOLD LB 770/5/2/PC), alacsony háttérű alfa-, béta-mérő berendezéssel végeztük. A minta radiokémiai tisztaságának ellenőrzése céljából a minta mérését 14 nap elteltével megismételtük. Az esetleg előforduló „maradékaktivitás” más, hosszabb felezési idejű radioizotópok jelenlétére utal, melyet a számításnál korrekcióba vettünk. A kémiai procedura hatásfokát a kémiai kitermelés meghatározásával vesszük figyelembe. Ennek számításához a hordozóként hozzáadott ittrium mennyiségét az eljárás végén atomabszorpciós spektrometriával határoztuk meg.

Növényi eredetű minták összes béta-aktivitásának meghatározása (OKK OSSKI HSZ 2001)

A módszer alkalmas növényi, növényi eredetű minták hamujának összes-béta aktivitásának meghatározására, ha a mintában a bétasugárzók radioaktív koncentrációja nagyobb vagy egyenlő mint 0,06 Bq/g hamu. A minták hamutartalmának ismeretében a száraz vagy nyers tömegre vonatkoztatott aktivitás-koncentráció számolható. A módszer illékony, vagy 150 keV alatti bétaenergiával rendelkező izotópok aktivitásának mérésére nem alkalmas.

A mintaelőkészítés során (szárítás, homogenizálás, hamvasztás) a vizsgált mintát a méréshez megfelelő térfogatra illetve formára hozzuk. A minta hamujából

0,3 g-ot ismert felületű alumínium mérőtálcába mérünk, az anyagot egyenletesen eloszlatjuk a tálka felületén. A preparátumot a béta-aktivitás mérésére alkalmas, alacsonyháttérű béta-mérőberendezéssel mérjük (BERTHOLD LB 770/5/2/PC).

⁹⁰Sr radioaktív koncentrációjának meghatározása növény mintákban (OKK OSSKI HSZ 2001)

A módszer alkalmas különböző növényi minták ⁹⁰Sr aktivitás-koncentrációjának meghatározására, ha a mintában a ⁹⁰Sr aktivitás-koncentrációja nagyobb vagy egyenlő mint 0,1 Bq/kg.

A minta ⁹⁰Sr radioaktív koncentrációját, ⁹⁰Y béta-sugárzásának mérésén keresztül határozzuk meg az ⁹⁰Y szelektív radiokémiai úton történő elválasztása után. A mérés azon alapul, hogy a ⁹⁰Sr és az ⁹⁰Y radioaktív egyensúlyban van. A növényi hamu savas feltárása után tömény (65%) salétromsavas oldatból salétromsavval ekvibrált tributil-foszfáttal az itriumot a kétértékű kationok –Ca, Mg, Sr, stb- mellől extraháljuk majd a szerves fázisból desztillált vízbe vissza extrahált itriumot, megfelelő pH mellett itrium-oxalát csapadék formájában választjuk le. A leválasztott csapadék aktivitását mérjük. A preparátumot a béta-aktivitás mérésére alkalmas, alacsonyháttérű béta-mérőberendezéssel mérjük (BERTHOLD LB 770/5/2/PC).

Izomzat és halminták feldolgozása, és aktivitás-koncentrációjának meghatározása (OKK OSSKI HSZ 2001)

A halból a feldolgozott minta mennyisége kb.2-3 kg. A húst és a csontos részeket elkülönítjük, a szárazanyag-, ill. hamutartalom meghatározásához kb.0,5-kg-ot kiveszünk. A minta többi részét kiszárítjuk, majd homogenizáljuk. Hal vizsgálatakor kétféle mintafeldolgozásra kerülhet sor. Amennyiben mód van rá, filézünk, azaz különválasztjuk a csontos és húsos részeket és ezeket külön mintaként dolgozzuk fel. Apró halaknál a teljes hal vizsgálatát egy mintaként végezzük el. A mintákat mikrohullámú sütőben 200°C-on, 2 órán át szárítjuk, vagy szárítószekrényben 200°C-on elszenesítjük, majd kemencében 450°C-on elhamvasztjuk a mintát.

Normális körülmények között a hús radioaktivitásának több. mint 90%-a a természetes eredetű ⁴⁰K izotóptól származik. Az összesbéta aktivitás-koncentráció meghatározásához 0,5-1,0 g mennyiségű hamut mérünk be mérőtálcába, majd alacsonyháttérű béta-mérőberendezéssel mérjük.

A nuklidspecifikus méréshez az elhamvasztott mintát gamma-spektrométeren analizáljuk.

Talaj minták összes béta-aktivitásának meghatározása (OKK OSSKI HSZ 2001)

A módszer alkalmas talaj ill. szedimentum minta összes-béta aktivitásának meghatározására, ha a mintában a béta-sugárzók radioaktív koncentrációja nagyobb vagy egyenlő mint 0,02 Bq/g száraz talaj. Illékony, vagy 150 keV alatti bétaenergiával rendelkező izotópok aktivitásának mérésére nem alkalmas.

A szárítással, aprítással és frakcionálással előkészített szedimentum mintából 1,0 g -ot ismert felületű alumínium mérőtálcába mérünk, az anyagot egyenletesen eloszlatjuk a tálka felületén. A preparátumot a béta-aktivitás mérésére alkalmas, alacsonyháttérű béta-mérőberendezéssel mérjük (BERTHOLD LB 770/5/2/PC).

⁹⁰Sr radioaktív koncentrációjának meghatározása talaj mintákban (MSZ 19400:86)

A módszer alkalmas talaj ill. szedimentum mintákból a ⁹⁰Sr aktivitás-koncentrációjának meghatározására, ha a mintában a ⁹⁰Sr aktivitás-koncentrációja nagyobb vagy egyenlő mint 0,1 Bq/kg

A minta ⁹⁰Sr radioaktív koncentrációját, ⁹⁰Y béta-sugárzásának mérésén keresztül határozzuk meg az ⁹⁰Y szelektív radiokémiai úton történő elválasztása után. A mérés azon alapul, hogy a ⁹⁰Sr és az ⁹⁰Y radioaktív egyensúlyban van. A szedimentum savas feltárása után tömény (65%) salétromsavas oldatból salétromsavval ekvibrált tributil-foszfáttal az ittriumot a kétértékű kationok –Ca, Mg, Sr, stb- mellől extraháljuk majd a szerves fázisból desztillált vízbe vissza extrahált ittriumot, megfelelő pH mellett ittrium-oxalát csapadék formájában választjuk le. A leválasztott csapadék aktivitását mérjük. A preparátumot a béta-aktivitás mérésére alkalmas, alacsonyháttérű béta-mérőberendezéssel mérjük (BERTHOLD LB 770/5/2/PC).

Vízben lévő trícium radioaktív koncentrációjának meghatározása (MSZ 19387:1987)

A vízmintákból 1-1 dm³-t csiszolatos gömblombikba mérünk, majd kráterrezsón ledesztillálunk kb.300 cm³ belőle. Ezután nátrium-peroxid hozzáadásával alkalikus elektrolitot állítunk elő, majd rozsdamentes acélból készített elektrolizáló cellában végezzük a víz elektrolízisét, hűtés mellett, 5-7 A áramerősséggel. A trícium-ionok mozgékonyasága kisebb, leválási potenciálja nagyobb mint a szabad protonoké, ezért az elektrolitból először a H₂O bomlik el, a maradék, triciált vízben (HTO) feldúsul. A dúsítás folyamán fellépő trícium veszteség meghatározására a mintákkal párhuzamosan trícium standard oldat dúsítását is el végezzük. A megfelelő mennyiségű víz elbontásához 660 Ah szükséges. A dúsított elektrolitból a vizet rozsdamentes acéllombikban ledesztilláljuk, alikvot részét polietilén szcintillációs küvettába mérjük, ULTIMA-GOLD™ LLT (PACKARD, USA) szcintillációs koktél adunk hozzá és aktivitását CANBERRA PACKARD 2550 TR/AB folyadékszcintillációs spektrométeren kétszer 100 percig mérjük.

EREDMÉNYEK

Ezen munka fő célkitűzése, hogy meghatározza egyrészt a különböző természetes másrészt a mesterséges eredetű radionuklidok koncentrációit a tó szedimentumában, vizében, különböző növényekben elsősorban nádban, és a tóban élő különböző halfajokban annak érdekében, hogy egy adatbázist hozzunk létre a Balaton radiotív szennyezettségéről. Ezen adatbázis a későbbi vizsgálatok alapjául

szolgálhat. Tisztában vagyunk azzal, hogy a projekt során nyert adatok nem elégségesek mélyreható megállapítások megtételéhez (egy éves felmérés) viszont a felhalmozott adatok alapján későbbi monitorozási program indítható el. Ennek megfelelően jelen jelentésünk nagyrészen a mért eredmények közlésére szorítkozik, mélyreható konklúziók megtétele nélkül. Reményeink szerint ezen adatok felhasználhatók a helyi lakosság és az üdülő közönség tájékoztatására, ill. a Balaton radiológiai adatbázisának megalapozására. A mért adatokból a következő radionuklidok koncentrációs értékeit közöljük:

természetes eredetű radionuklidok közül:

- a ^{232}Th -bomlási sorból az ^{228}Ac radioaktivitás koncentrációját,
- az ^{238}U bomlási sorába tartozó ^{234}Th és ^{226}Ra radioaktivitás koncentrációját,
- ahol lehetséges az ^{235}U radioaktivitás koncentrációját,
- a primordiális ^{40}K radioaktivitás koncentrációját,

mesterséges eredetű radionuklidok közül:

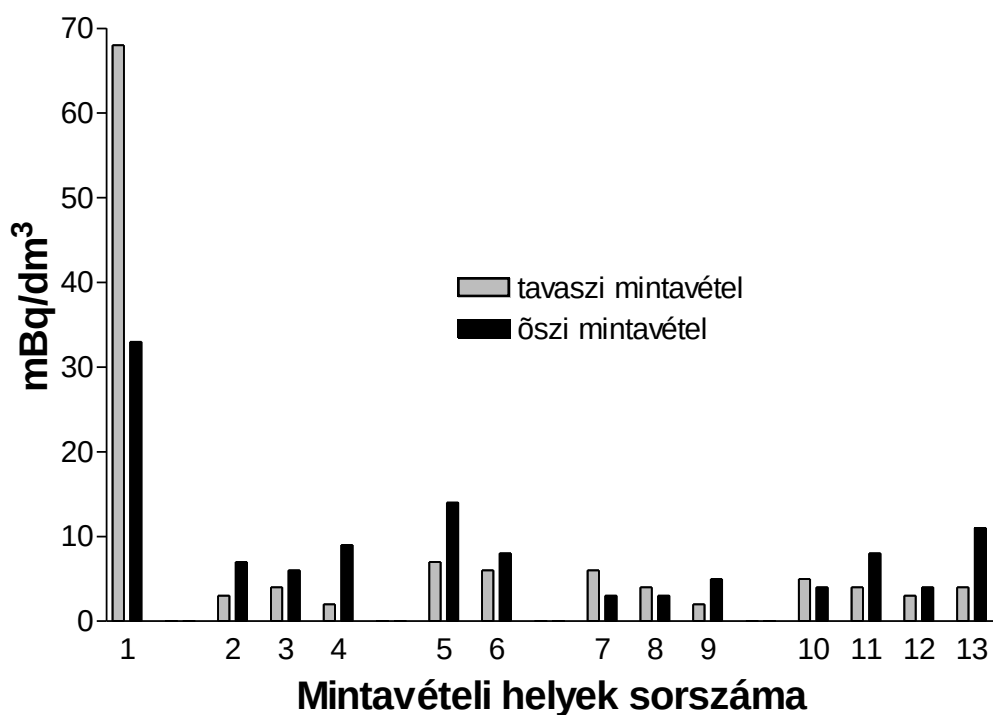
- a ^3H radioaktivitás koncentrációját,
- a ^{90}Sr és a ^{137}Cs radioaktivitás koncentrációját,
- a monitorozási célra széles körben használt összes-béta radioaktivitás szintjét.

A Balaton vizének vizsgálata

A természetes eredetű radionuklidok (^{228}Ac , ^{234}Th , ^{226}Ra , ^{235}U) vizsgálatának eredményeit a 2-4. ábrákon mutatjuk be ill. a mért eredményeket 3.-4. Táblázatban közöljük. Az ábrák és a táblázatok tanulmányozása után a következő megállapítások tehetők:

- általában a Hévízi csatorna vizében magasabb aktivitás koncentrációkat mértünk természetes radionuklidok esetén (lásd ^{228}Ac és ^{226}Ra adatai) ami természetesen nem meglepő, mivel a Hévízi víz természetes radionuklidokban gazdag,
- ez a magasabb érték már nem jelentkezik a Zala torkolatában, ami a hígulással ill. a szedimentumhoz való kötődéssel magyarázható,
- a Balaton különböző medencéiben mért természetes radionuklidok koncentrációi közel azonos értéket mutatnak, amiből arra a következtetésre juthatunk, hogy ezen nuklidok egyenletesen oszlanak el a Balaton vizében,
- meglepő adatként kezelhetjük a Kétöles patak vizében megjelenő magasabb ^{226}Ra és ^{234}Th koncentrációkat, melyekre jelen pillanatban magyarázatot adni nem tudunk,
- általánosságban elmondható, hogy a tavaszi mintavételezés során vett mintákban ezen fent említett radionuklidok koncentrációi vagy magasabbak vagy közel azonosak az őszi mintavétel során vett mintákban mért koncentrációs értékekkel. Azonban szezonális változás ilyen rövid vizsgált időszak alapján nem állapítható meg egyértelműen,

- a vizsgált vízmintákban mért ^{228}Ac aktivitás koncentráció 2-68 mBq/dm^3 közötti tartományban mozgott és a két mintavételi időszakra számított átlagértéke 9 mBq/dm^3 -nek adódott
- a vizsgált vízmintákban mért ^{234}Th aktivitás koncentráció 15-105 mBq/dm^3 közötti tartományban mozgott és a két mintavételi időszakra számított átlagértéke 45 mBq/dm^3 -nek adódott
- vizsgált vízmintákban mért ^{226}Ra aktivitás koncentráció 7-117 mBq/dm^3 közötti tartományban mozgott és a két mintavételi időszakra számított átlagértéke 55 mBq/dm^3 -nek adódott
- A vizsgált vízmintákban mért ^{235}U aktivitás koncentráció 2-6 mBq/dm^3 közötti tartományban mozgott és a két mintavételi időszakra számított átlagértéke 4 mBq/dm^3 -nek adódott



2. ábra. A különböző helyen és időben vett balatoni vízmintákban mért ^{228}Ac aktivitás koncentráció értékei.

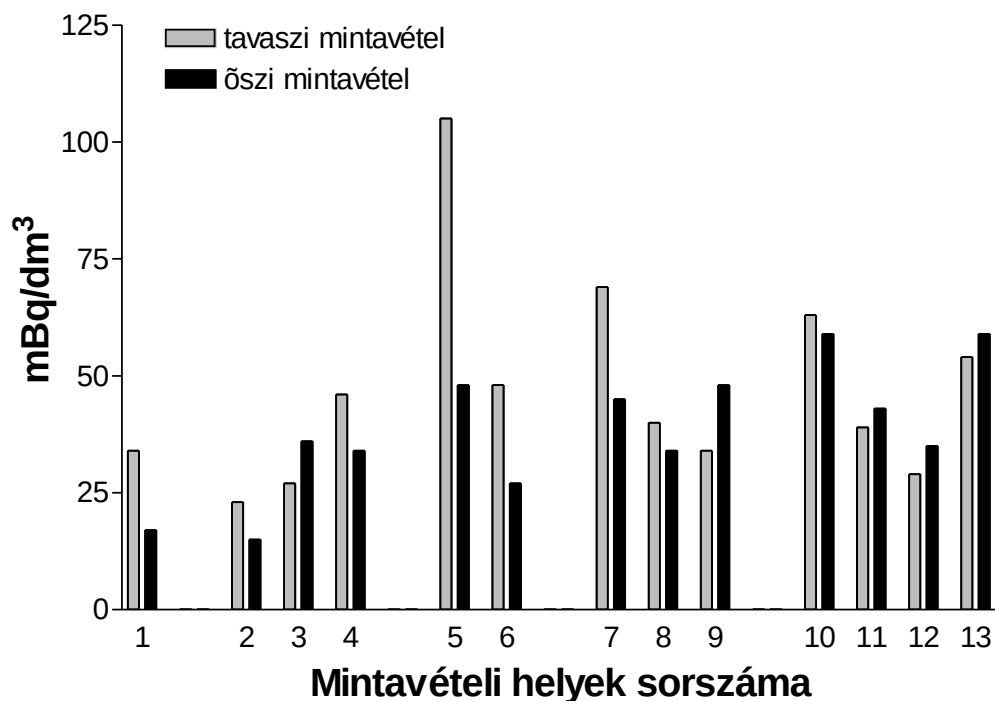
3. Táblázat. A tavaszi és az őszi mintavételezéskor vett balatoni vizmintákban mért ^{228}Ac és ^{235}U radioaktivitás koncentráció értékei.

Mintavételi helyek sorszáma	Mintavétel helye	Mintavétel ideje	^{228}Ac		^{235}U	
			érték [mBq/l]	hiba %	érték [mBq/l]	hiba %
1	Hévízi csatorna	04.22	68,0	2	kha	
2	Zala folyó torkolata	04.22.	< 3,0		kha	
3	Keszthely	04.03.	4,0	24	kha	
4	Balatongyörök	04.03.	2,0	36	2,0	8
5	Kétöles patak	04.03.	7,0	12	6,0	5
6	Fonyód	04.22	6,0	15	3,0	6
7	Révfülp	04.03.	6,0	19	3,0	78
8	Balatonszepezd	04.22	4,0	23	3,0	7
9	Balatonboglár	04.23	< 2,0		kha	
10	Tihany/Balatonfüred	04.03.	5,0	22	3,0	6
11	Csopak	04.22	4,0	13	2,0	6
12	Balatonfűzfő	04.03.	3,0	37	kha	
13	Siófok	04.22	4,0	14	3,0	4
1	Hévízi csatorna	09.09.	33,0	2	kha	
2	Zala folyó torkolata	09.09.	7,0	8	kha	
3	Keszthely	09.09.	6,0	8	kha	
4	Balatongyörök	09.09.	9,0	6	2,0	5
5	Kétöles patak	09.18.	14,0	4	4,0	19
6	Fonyód	09.19.	8,0	7	kha	
7	Révfülp	09.18.	3,0	16	4,0	7
8	Balatonszepezd	09.18.	3,0	16	5,0	6
9	Balatonboglár	09.19.	5,0	10	2,0	6
	Tihany/Balatonfüred	09.18.	4,0	16	6,0	13
11	Csopak	09.18.	8,0	7	kha	
12	Balatonfűzfő	09.18.	4,0	13	kha	
13	Siófok	09.19.	11,0	5	3,0	4

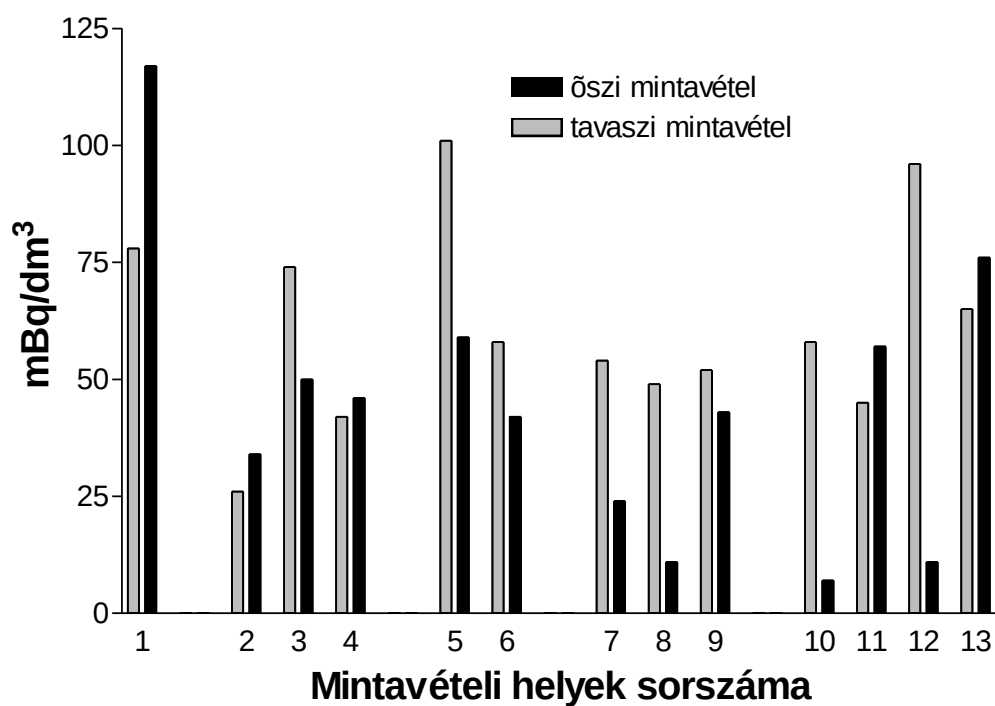
kha= kimutatási határ alatt

4. Táblázat. A tavaszi és az őszi mintavételezéskor vett balatoni vizmintákban mért ^{226}Ra és ^{234}Th radioaktivitás koncentrációi

Mintavételi helyek sorszáma	Mintavétel helye	Mintavétel ideje	^{226}Ra		^{234}Th	
			érték [mBq/l]	hiba %	érték [mBq/l]	hiba %
1	Hévízi csatorna	04.22	78	6	34	6
2	Zala folyó torkolata	04.22.	26	12	23	14
3	Keszthely	04.03.	74	8	27	14
4	Balatongyörök	04.03.	42	8	46	9
5	Kétöles patak	04.03.	101	5	105	6
6	Fonyód	04.22	58	6	48	8
7	Révfülp	04.03.	54	7	69	7
8	Balatonszepezd	04.22	49	7	40	10
9	Balatonboglár	04.23	52	7	34	10
10	Tihany/Balatonfüred	04.03.	58	6	63	7
11	Csopak	04.22	45	6	39	5
12	Balatonfűzfő	04.03.	96	7	29	11
13	Siófok	04.22	65	4	54	4
1	Hévízi csatorna	09.09.	117	3	17	12
2	Zala folyó torkolata	09.09.	34	6	15	10
3	Keszthely	09.09.	50	5	36	5
4	Balatongyörök	09.09.	46	5	34	5
5	Kétöles patak	09.18.	59	21	48	4
6	Fonyód	09.19.	42	6	27	7
7	Révfülp	09.19	24	12	45	9
8	Balatonszepezd	09.18.	11	6	34	6
9	Balatonboglár	09.19.	43	6	48	4
10	Tihany/Balatonfüred	09.18.	7	41	59	4
11	Csopak	09.18.	57	5	43	5
12	Balatonfűzfő	09.18.	11	5	35	6
13	Siófok	09.19.	71	4	59	4



3. ábra. A különböző helyen és időben vett balatoni vízmintákban mért ^{234}Th aktivitás koncentráció értékei.



4. ábra. A különböző helyen és időben vett balatoni vízmintákban mért ^{226}Ra aktivitás koncentráció értékei.

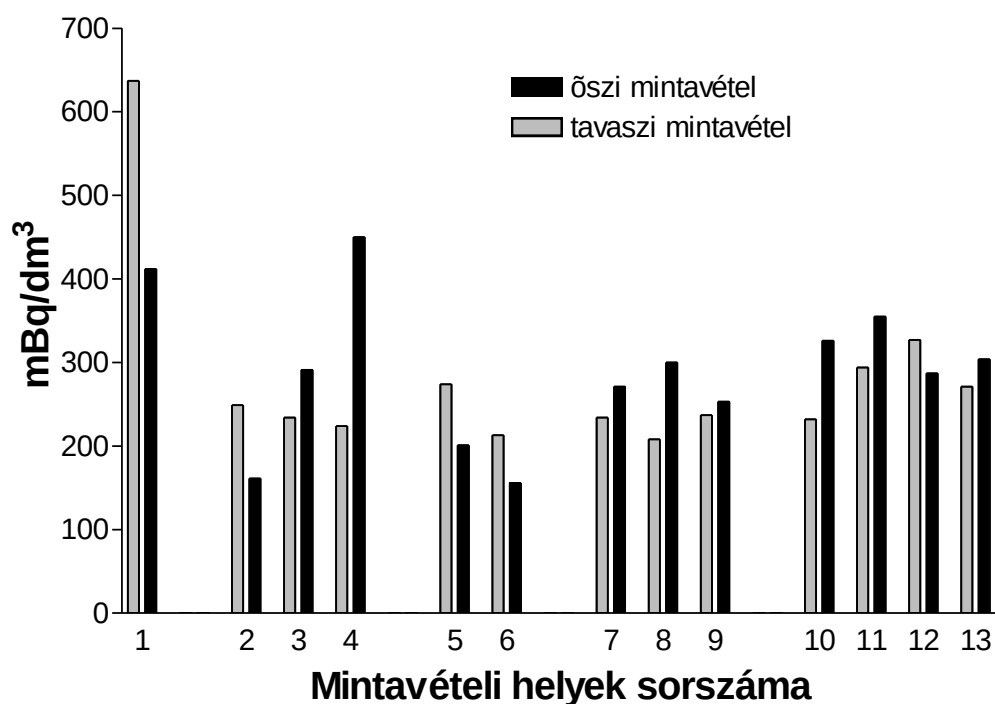
A sugáregészségügyi monitorozási célra széles körben használt összes-béta radioaktivitás koncentráció szintjét az 5. Táblázatban ill. 5. ábrán mutatjuk be. Mivel a szakirodalom alapján normál körülmények között az összes béta aktivitás 80-90 %-a természetes ^{40}K béta sugárzásából adódik, így logikus, hogy ezen két adatsort együtt tárgyaljuk. A ^{40}K eredményeket az 5. Táblázatban és a 6. ábrán közöljük. Az ábrák és a táblázat vizsgálata során a következő megállapítások tehetők:

- a Hévízi csatorna vizében magasabb összes béta aktivitás koncentrációkat mértünk. Az azonos ponton és időben mért ^{40}K természetes radionuklid értékei viszont nem térnek el jelentősen a Balaton más pontján vett vízminták értékeitől. Ebből arra következtethetünk, hogy a hévízi mintákban az összes béta aktivitás koncentráció értékeiben az egyéb más természetes radionuklidokból származó béta-sugárzás jelentős hányadot képvisel,
- a Balaton különböző medencéiben mért összes béta és ^{40}K koncentrációi közel azonos értéket mutatnak amiből arra a következtetésre juthatunk, hogy a ^{40}K egyenletesen oszlik el a Balaton vizében. Gondosabb elemzés során megállapítható, hogy úgy az összes béta mint a ^{40}K aktivitás koncentráció értékei a Siófoki medencében magasabbak mint a Balaton többi medencéjében,
- nagy általánosságban elmondható, hogy az őszi mintavételezés során vett mintákban úgy az összes-béta mint a ^{40}K aktivitás koncentrációi magasabbak a tavaszi mintavétel során vett mintákban mért koncentrációk értékeknél. Ezek alapján szezonális változás állapítható meg. Természetesen ezen megállapítást óvatosan kell kezelnünk, mivel a vizsgált időszak nagyon rövid (1 év). A jelenséget magyarázhatjuk a vízállás változásával is, mivel a megnövekedett aktivitás értékek a Balaton víz "bepárlódásából" is adódhatnak,
- a vizsgált vízmintákban mért összes béta aktivitás koncentráció $156\text{--}637\text{ mBq/dm}^3$ közötti tartományban mozgott és a két mintavételi időszakra számított átlagértéke 255 mBq/dm^3 -nek adódott. Ez az átlagérték jó egyezést mutat az Intézetünk által 20 éve folyó Dunaprogram során a természetes felszíni vizekre vonatkozó adatokkal. Az összes-béta aktivitás koncentráció adat kielégíti a WHO által az ivóvizekre ajánlott 1 Bq/dm^3 határértéket. Másszóval a Balaton vize jelenleg sugáregészségügyi szempontból ivóvíz minőségű,
- a vizsgált vízmintákban mért ^{40}K aktivitás koncentráció $78\text{--}227\text{ mBq/dm}^3$ közötti tartományban mozgott és a két mintavételi időszakra számított átlagértéke 170 mBq/dm^3 -nek adódott. Ez az átlagérték jó egyezést mutat az Intézetünk által 20 éve folyó Dunaprogram során a természetes felszíni vizekre vonatkozó adatokkal ($\sim 200\text{ mBq/dm}^3$).

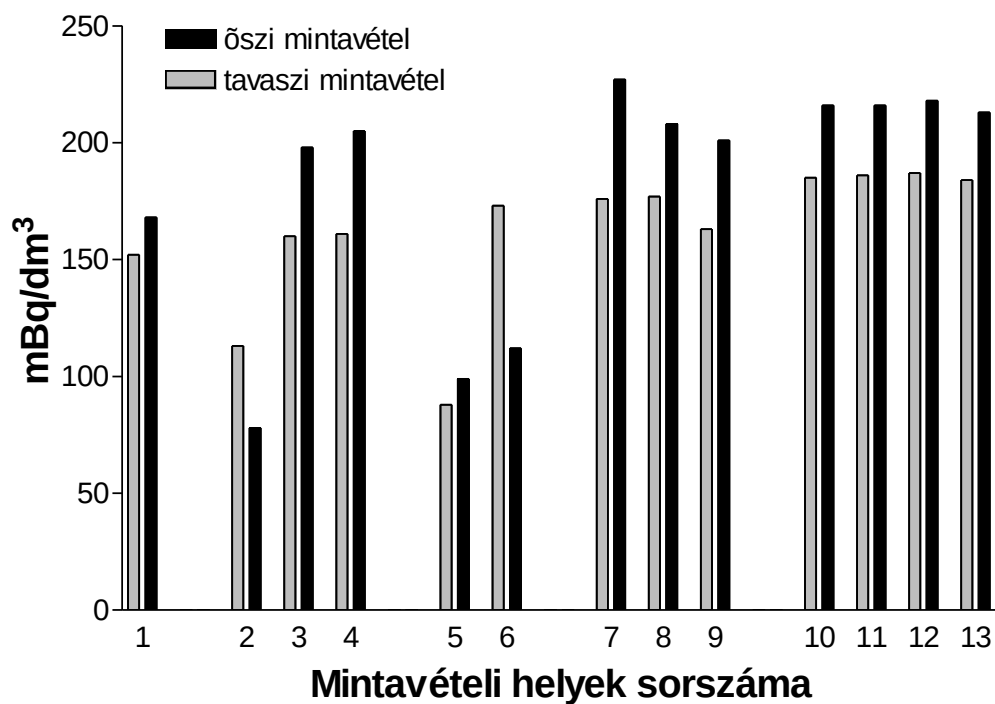
Itt emelnénk ki ismételten, hogy a Balaton víz összes-béta aktivitás koncentrációi a **WHO által az ivóvizekre ajánlott 1 Bq/dm^3 -es referencia értéket nem haladták meg. Tehát hétköznapien szólva a Balaton vize jelenleg ivóvíz minőségű.**

5. Táblázat. A tavaszi és az őszi mintavételezéskor vett balatoni vízmintákban mért összes- béta és ^{40}K radioaktivitás koncentrációi

Mintavételi helyek sorszáma	Mintavétel helye	Mintavétel ideje	Összes-béta		^{40}K	
			érték [mBq/l]	hiba %	érték [mBq/l]	hiba %
1	Hévízi csatorna	04.22	637,5	8	152,6	2
2	Zala folyó torkolata	04.22.	249,6	13	113,7	2
3	Keszthely	04.03.	234,0	12	160,0	2
4	Balatongyörök	04.03.	224,5	12	161,0	2
5	Kétöles patak	04.03.	274,1	17	87,9	2
6	Fonyód	04.22	213,9	12	173,0	2
7	Révfülöp	04.03.	234,8	11	175,8	2
8	Balatonszepezd	04.22	208,3	11	177,5	2
9	Balatonboglár	04.23	237,7	11	163,2	2
10	Tihany/Balatonfüred	04.03.	232,1	11	185,1	2
11	Csopak	04.22	294,6	11	186,2	2
12	Balatonfűzfő	04.03.	327,3	11	187,6	2
13	Siófok	04.22	271,4	11	184,5	2
1	Hévízi csatorna	09.09.	412,1	8	168,3	0,3
2	Zala folyó torkolata	09.09.	161,3	15	78,4	0,4
3	Keszthely	09.09.	291,5	12	198,2	0,3
4	Balatongyörök	09.09.	450,3	12	205,2	0,4
5	Kétöles patak	09.18.	201,4	15	99,7	0,5
6	Fonyód	09.19.	156,1	13	112,6	0,6
7	Révfülöp	09.18	271,2	10	227,4	0,4
8	Balatonszepezd	09.18.	300,1	11	208,6	0,4
9	Balatonboglár	09.19.	253,1	10	201,3	0,5
10	Tihany/balatonfüred	09.18.	326,3	10	215,0	0,4
11	Csopak	09.18.	355,2	7	215,9	0,5
12	Balatonfűzfő	09.18.	287,7	11	217,8	0,4
13	Siófok	09.19.	304,3	11	212,8	0,4



5. ábra. A különböző helyen és időben vett balatoni vízmintákban mért összes-béta aktivitás koncentráció értékei.

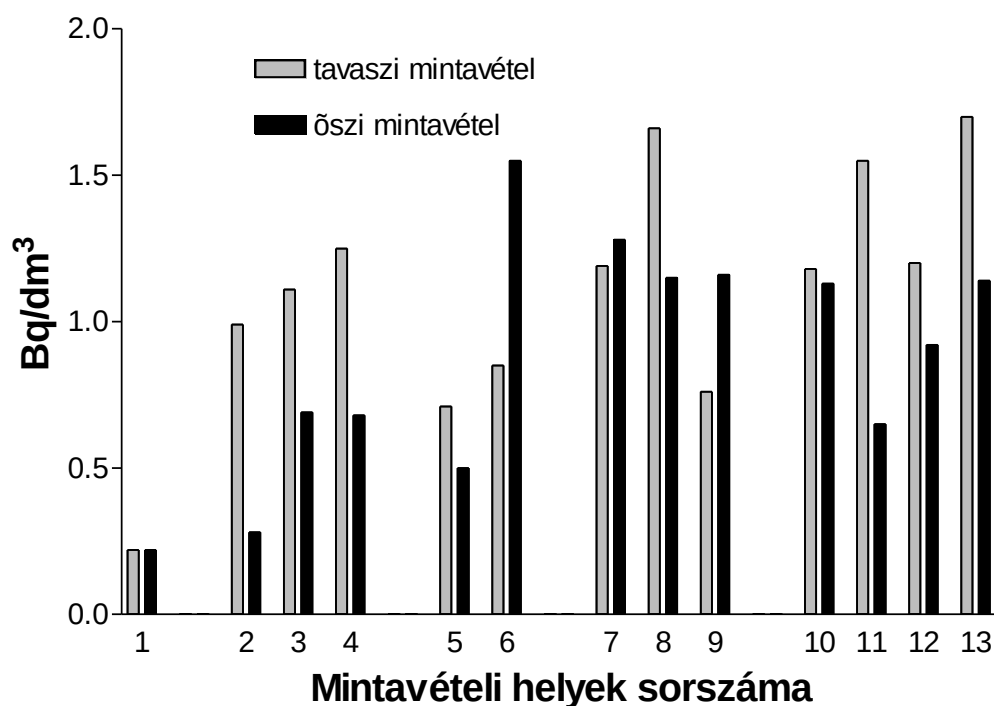


6. ábra. A különböző helyen és időben vett balatoni vízmintákban mért ^{40}K aktivitás koncentráció értékei.

A mesterséges eredetű radionuklidok közül a ^3H radioaktivitás koncentráció szintjét a 6. Táblázatban ill. 7. ábrán, a ^{90}Sr radioaktivitás koncentráció szintjét 6. Táblázatban ill. a 8. ábrán míg a ^{137}Cs radioaktivitás koncentráció szintjét a 7. Táblázatban ill. a 9. ábrán mutatjuk be. Természetesen mértük a Csernobili reaktorbalesetből eredő ^{134}Cs aktivitás koncentrációját, amely minden esetben a mérőműszereink kimutatási határa alatti értéket mutatott, ezért az adatokat nem közöljük ezen összeállításban. Az ábrák és a táblázatok adatainak elemzése után a következő megállapítások tehetők:

- minden esetben a Hévízi csatorna és a Zala folyó vizében a legalacsonyabbak a mesterséges radionuklidok aktivitás koncentrációs adatai, összehasonlítva a Balaton többi helyéről származó vízminták adataival. Ebből arra következtethetünk, hogy a Balatont a Zala folyón keresztül mesterséges eredetű radioaktív szennyeződés nem érte a vizsgált időszak során,
- a Balaton különböző medencéiben mért ^3H , ^{90}Sr és ^{137}Cs koncentrációi közel azonos értéket mutatnak, amiből arra a következtetésre juthatunk, hogy ezen radionuklidok egyenletesen oszlanak meg a Balaton vizében. Gondosabb elemzés során megállapítható, hogy úgy a ^3H mint a ^{90}Sr aktivitás koncentráció értékei a Szemesi és a Siófoki medencében magasabbak mint a Balaton többi medencéjében. Ezzel ellentmondó adatokat kaptunk ^{137}Cs esetében, amely azt mutatta, hogy az őszi mintavételezés során a Keszthelyi medencében 2-3-szor magasabb a ^{137}Cs aktivitás koncentrációja a Balaton vizében. Jelen pillanatban ezen adatok birtokában a jelenségre magyarázatot nem tudunk adni,
- általánosságban elmondható, hogy az őszi mintavételezés során vett mintákban, úgy a ^{90}Sr mint a ^{137}Cs aktivitás koncentrációi magasabbak a tavaszi mintavétel során vett mintákban mért koncentrációs értékeknél. A ^3H adatok vizsgálata ennek ellenkezőjére utal, ahol is a tavaszi mintavételezés során vett vízminták aktivitás koncentráció értékei a magasabbak. Ezek alapján szezonális változásra következtethetünk. Természetesen ezen megállapítást óvatosan kell kezelnünk mivel a vizsgált időszak nagyon rövid (1 év) volt. A ^{90}Sr és a ^{137}Cs esetében felfedezni vélt jelenséget magyarázhatjuk a vízállás változásával is, mivel a megnövekedett aktivitás értékek a Balaton víz "bepárlódásából" is adódhatnak,
- a vizsgált vízmintákban mért ^3H aktivitás koncentráció $0,2-1,7 \text{ Bq/dm}^3$ közötti tartományban mozgott és a két mintavételi időszakra számított átlagértéke $1,1 \text{ Bq/dm}^3$ -nek adódott. Ez az érték alacsonyabb a jelenleg egyéb felszíni vizekre megállapított $\sim 2 \text{ Bq/dm}^3$ -es átlagértéknél,
- a vizsgált vízmintákban mért ^{90}Sr aktivitás koncentráció $0,7-12,9 \text{ mBq/dm}^3$ közötti tartományban mozgott és a két mintavételi időszakra számított átlagértéke 7 mBq/dm^3 -nek adódott. Ez az érték kissé magasabb az ezen időszak alatt a Dunában mért radiostroncium koncentrációs adatainál ($\sim 2-3 \text{ mBq/dm}^3$). Ebből arra következtethetünk, hogy a valaha a Balatont ért ^{90}Sr szennyeződés nem tud eltávozni a tóból és a víz ^{90}Sr aktivitás koncentrációját a víz és a szedimentum közötti pillanatnyi megoszlási hányados fogja befolyásolni,

- a vizsgált vízmintákban mért ^{137}Cs aktivitás koncentráció $0,7\text{--}9,8 \text{ mBq/dm}^3$ közötti tartományban mozgott és a két mintavételi időszakra számított átlagértéke 2 mBq/dm^3 -nek adódott. Ez az érték kissé magasabb az ezen időszak alatt a Dunában mért radiocézium koncentrációs adatainál ($<2 \text{ mBq/dm}^3$). Ebből arra következtethetünk, hogy a valaha a Balatont ért ^{137}Cs szennyeződés nem tud eltávozni a tóból és a víz ^{137}Cs aktivitás koncentrációját a víz és a szedimentum közötti pillanatnyi megoszlási hányados fogja befolyásolni



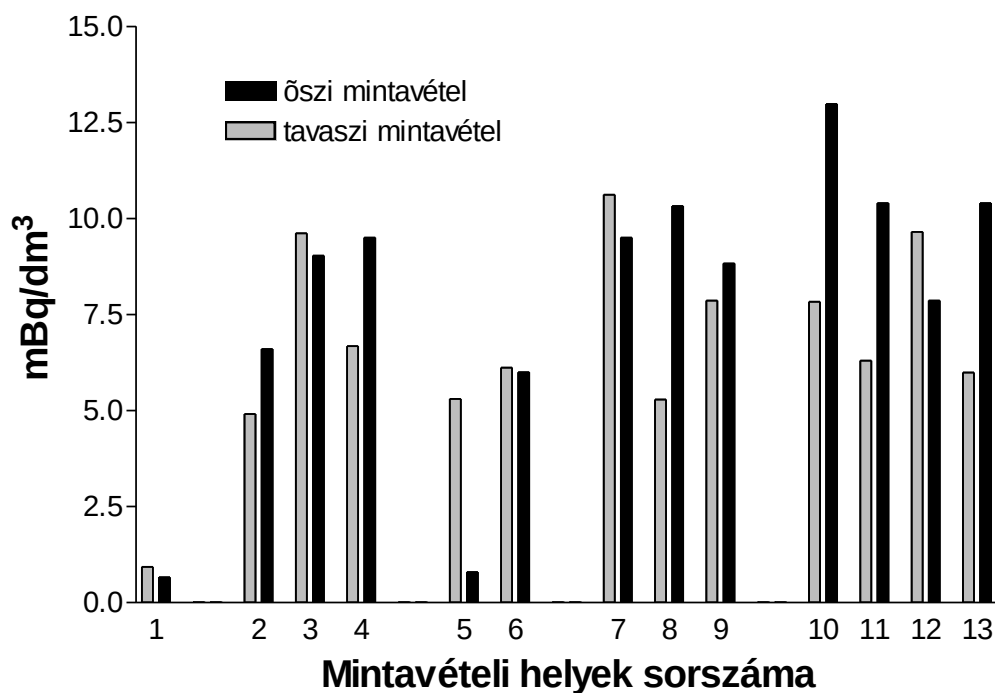
7. ábra. A különböző helyen és időben vett balatoni vízmintákban mért trícium aktivitás koncentráció értékei.

6. Táblázat. A tavaszi és az őszi mintavételezéskor vett balatoni vízmintákban mért ^3H és ^{90}Sr radioaktivitás koncentrációi

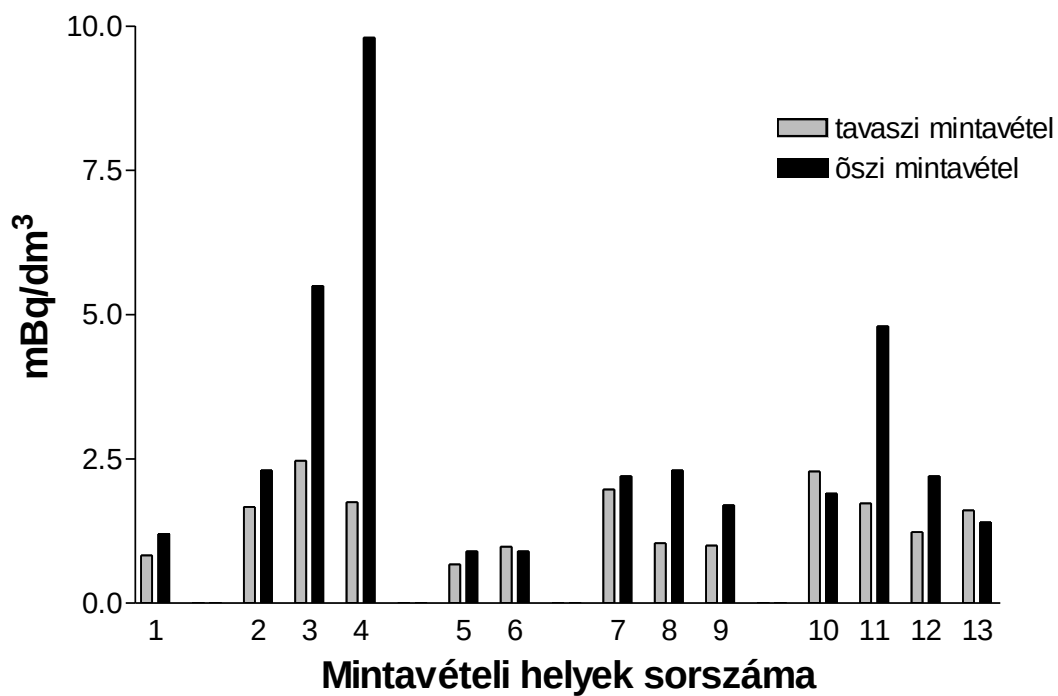
Mintavételi helyek sorszáma	Mintavétel helye	Mintavétel ideje	^3H		^{90}Sr	
			Érték [Bq/l]	hiba %	Érték [mBq/l]	hiba %
1	Hévízi csatorna	04.22	0,2	99	0,9	20
2	Zala folyó torkolata	04.22.	0,9	47	4,9	9
3	Keszthely	04.03.	1,1	35	9,6	9
4	B.györök	04.03.	1,3	35	6,7	8
5	Kétöles patak	04.03.	0,7	60	5,3	11
6	Fonyód	04.22	0,8	51	6,1	8
7	Révfülp	04.03.	1,2	35	10,6	9
8	B.szepezd	04.22	1,6	17	5,3	7
9	B.boglár	04.23	0,7	66	7,9	8
10	Tihany/Balatonfüred	04.03.	1,2	32	7,8	9
11	Csopak	04.22	1,5	26	6,3	7
12	B.fűzfő	04.03.	1,2	30	9,6	10
13	Siófok	04.22	1,7	28	5,9	8
1	Hévízi csatorna	09.09.	0,2	99	0,7	18
2	Zala folyó torkolata	09.09.	0,3	99	6,6	5
3	Keszthely	09.09.	0,7	57	9,1	6
4	Balatongyörök	09.09.	0,7	50	9,5	4
5	Kétöles patak	09.18.	0,5	68	0,8	17
6	Fonyód	09.19.	1,5	26	6,0	7
7	Révfülp	09.18.	1,3	28	9,5	5
8	Balatonszepezd	09.18.	1,1	33	10,3	5
9	Balatonboglár	09.19.	1,2	33	8,8	6
10	Tihany/Balatonfüred	09.18.	1,1	35	12,9	6
11	Csopak	09.18.	0,6	61	10,4	5
12	Balatonfűzfő	09.18.	0,9	43	7,8	5
13	Siófok	09.19.	1,1	32	10,4	6

7. Táblázat. A tavaszi és az őszi mintavételezéskor vett balatoni vízmintákban mért ^{137}Cs radioaktivitás koncentrációi

Mintavételi helyek sorszáma	Mintavétel helye	Mintavétel ideje	^{137}Cs	
			érték [mBq/l]	hiba %
1	Hévízi csatorna	04.22	0,83	19
2	Zala folyó torkolata	04.22.	1,67	14
3	Keszthely	04.03.	2,47	10
4	Balatongyörök	04.03.	1,75	14
5	Kétöles patak	04.03.	0,67	99
6	Fonyód	04.22	0,98	23
7	Révfülp	04.03.	1,97	13
8	Balatonszepezd	04.22	1,04	21
9	Balatonboglár	04.23	1,00	20
10	Tihany/Balatonfüred	04.03.	2,28	11
11	Csopak	04.22	1,73	10
12	Balatonfűzfő	04.03.	1,23	18
13	Siófok	04.22	1,61	11
1	Hévízi csatorna	09.09.	< 1,2	
2	Zala folyó torkolata	09.09.	2,3	5
3	Keszthely	09.09.	5,5	5
4	Balatongyörök	09.09.	9,8	3
5	Kétöles patak	09.18.	< 0,9	
6	Fonyód	09.19.	< 0,9	
7	Révfülp	09.18.	2,2	8
8	Balatonszepezd	09.18.	2,3	8
9	Balatonboglár	09.19.	1,7	9
10	Tihany/Balatonfüred	09.18.	1,9	9
11	Csopak	09.18.	4,8	5
12	Balatonfűzfő	09.18.	2,2	8
13	Siófok	09.19.	1,4	11



8. ábra. A különböző helyen és időben vett balatoni vízmintákban mért ^{90}Sr aktivitás koncentráció értékei.



9. ábra. A különböző helyen és időben vett balatoni vízmintákban mért ^{137}Cs aktivitás koncentráció értékei.

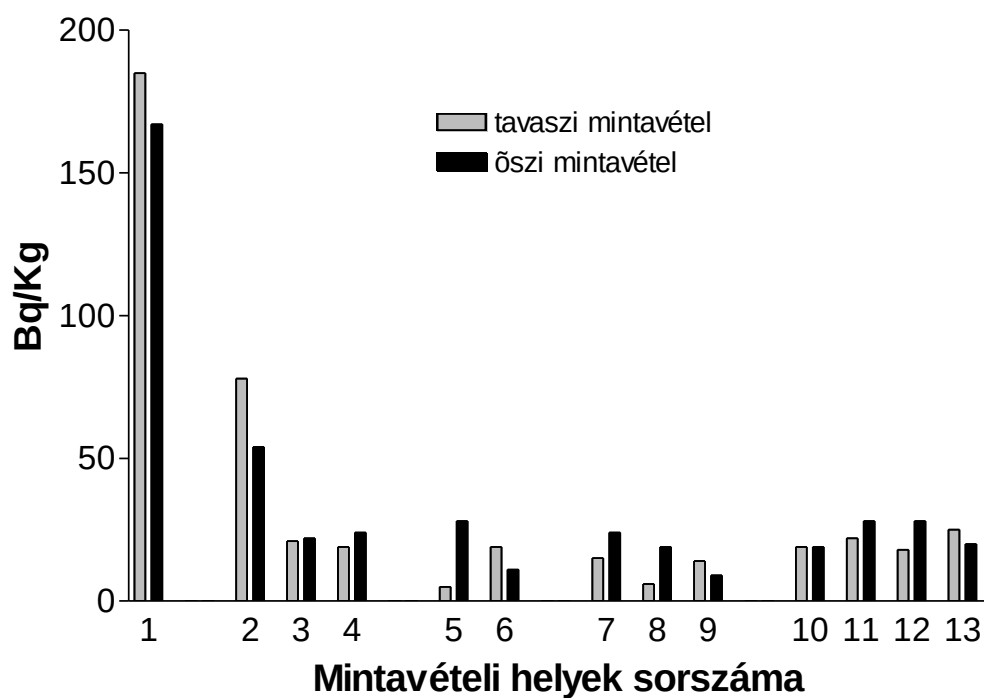
Balatoni szedimentum vizsgálata

A természetes eredetű radionuklidok (^{228}Ac , ^{234}Th , ^{226}Ra , ^{235}U) vizsgálatának eredményeit a 10-13. ábrákon mutatjuk be, ill. a mért eredményeket 8.-9. Táblázatban közöljük. Az ábrák és a táblázatok tanulmányozása után a következő megállapítások tehetők:

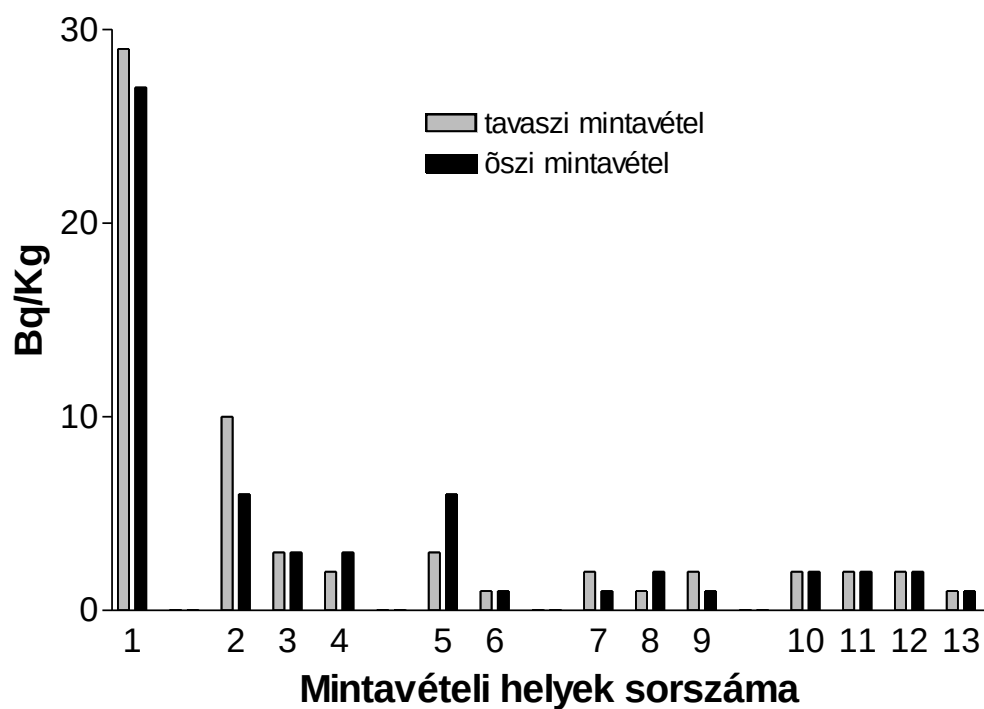
- általában a Hévízi csatorna szedimentumában 3-6-szor magasabb aktivitás koncentrációkat mértünk természetes radionuklidok esetén mint a Balaton más helyeiről származó mintákban. Ez a mérési eredmény természetesen nem meglepő, mivel a Hévízi tóból származó víz természetes radionuklidokban gazdag,
- ez a magasabb érték már jelentősen csökken a Zala torkolatában. Ezen radioaktív koncentrációs adatok a Balaton további részén egyre alacsonyabbak, ami azt mutatja, hogy ezek a radionuklidok erősen kötődnek a szedimentumhoz és vándorlásukat a tó szedimentum mozgása határozza meg. Tehát emelkedett természetes koncentrációs adatokat a Keszthelyi medencében várhatunk,
- a Balaton egyes medencéiben mért természetes radionuklidok alacsony koncentrációi közel azonos értéket mutatnak (kivétel Keszthelyi medence), amiből arra a következtetésre juthatunk, hogy ezen nuklidok egyenletesen oszlanak el a Balaton szedimentumában,
- meglepő adatként kezelhetjük az őszi mintavételezés során nyert a Kétöles patak szedimentumában megjelenő magasabb ^{226}Ra , ^{235}U és ^{234}Th koncentrációkat melyekre jelen pillanatban magyarázatot adni nem tudunk. Esetleges magyarázat lehet a patak vízgyűjtő területén bekövetkező talaj/közet erózió, amely megjelenik a patak hordalékában,
- általánosságban elmondható, hogy a tavaszi mintavételezés során vett mintákban ezen fent említett radionuklidok koncentrációi nem térnek el jelentősen az őszi mintavétel során vett mintákban mért koncentrációs értékektől. Ennek megfelelően szezonális változás ilyen rövid vizsgált időszak alapján nem állapítható meg egyértelműen,
- a vizsgált szedimentum mintákban mért ^{228}Ac aktivitás koncentráció 5-185 Bq/kg közötti tartományban mozgott és a két mintavételi időszakra számított átlagértéke 34 Bq/kg-nak adódott
- a vizsgált szedimentum mintákban mért ^{234}Th aktivitás koncentráció 16-161 Bq/kg közötti tartományban mozgott és a két mintavételi időszakra számított átlagértéke 54 Bq/kg-nak adódott
- vizsgált szedimentum mintákban mért ^{226}Ra aktivitás koncentráció 16-647 Bq/kg közötti tartományban mozgott és a két mintavételi időszakra számított átlagértéke 99 Bq/kg-nak adódott
- A vizsgált szedimentum mintákban mért ^{235}U aktivitás koncentráció 1-29 Bq/kg közötti tartományban mozgott és a két mintavételi időszakra számított átlagértéke 4 Bq/kg-nak adódott

8. Táblázat. A tavaszi és az őszi mintavételezéskor vett balatoni szedimentum mintákban mért ^{228}Ac és ^{235}U radioaktivitás koncentrációi

Mintavételi helyek sorszáma	Mintavétel helye	Mintavétel ideje	Ac-228		U-235	
			érték [Bq/kg]	hiba %	érték [Bq/kg]	hiba %
1	Hévízi csatorna	04.22	185	3	29	3
2	Zala folyó torkolata	04.22.	78	3	10	3
3	Keszthely	04.03.	21	4	3	5
4	Balatongyörök	04.03.	19	4	2	5
5	Kétöles patak	04.03.	5	11	3	4
6	Fonyód	04.22	19	3	1	6
7	Révfülöp	04.03.	15	7	2	10
8	Balatonszepezd	04.22	6	8	1	7
9	Balatonboglár	04.23	14	7	2	7
10	Tihany/Balatonfüred	04.03.	19	4	2	6
11	Csopak	04.22	22	4	2	18
12	Balatonfűzfő	04.03.	18	7	2	10
13	Siófok	04.22	25	4	1	8
1	Hévízi csatorna	09.09.	167	4	27	3
2	Zala folyó torkolata	09.09.	54	3	6	3
3	Keszthely	09.09.	22	7	3	6
4	Balatongyörök	09.09.	24	4	3	6
5	Kétöles patak	09.18.	28	4	6	4
6	Fonyód	09.19.	11	4	1	7
7	Révfülöp	09.19	24	4	2	8
8	Balatonszepezd	09.18.	19	6	2	5
9	Balatonboglár	09.19.	9	5	1	8
10	Tihany/Balatonfüred	09.18.	19	5	2	8
11	Csopak	09.18.	28	3	2	5
12	Balatonfűzfő	09.18.	28	3	2	9
13	Siófok	09.19.	20	4	1	8



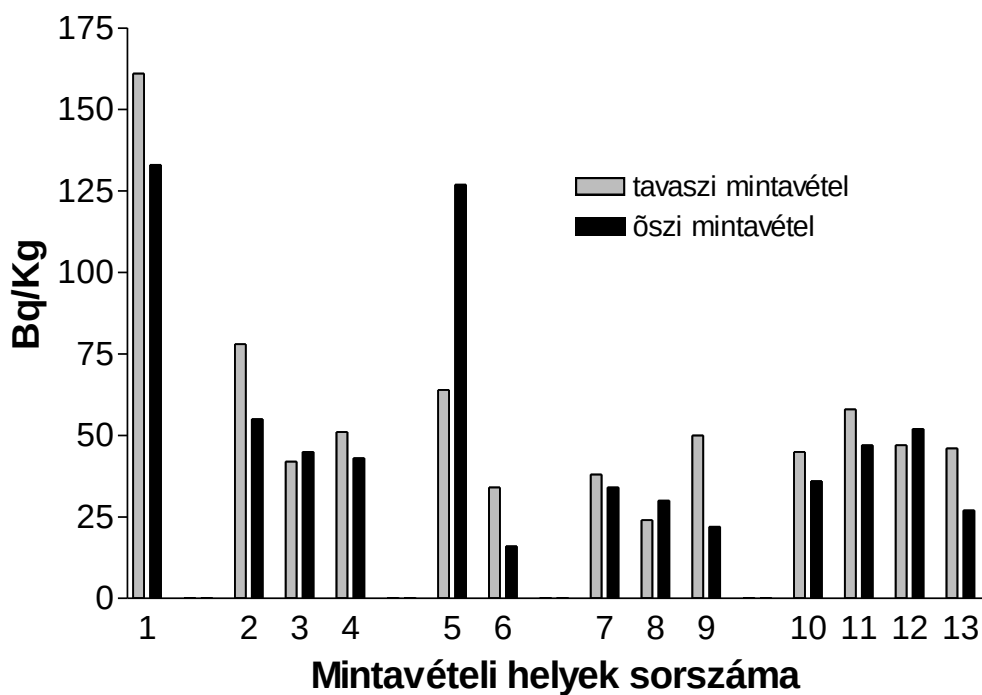
10. ábra. A különböző helyen és időben vett balatoni szedimentum mintákban mért ^{228}Ac aktivitás koncentráció értékei.



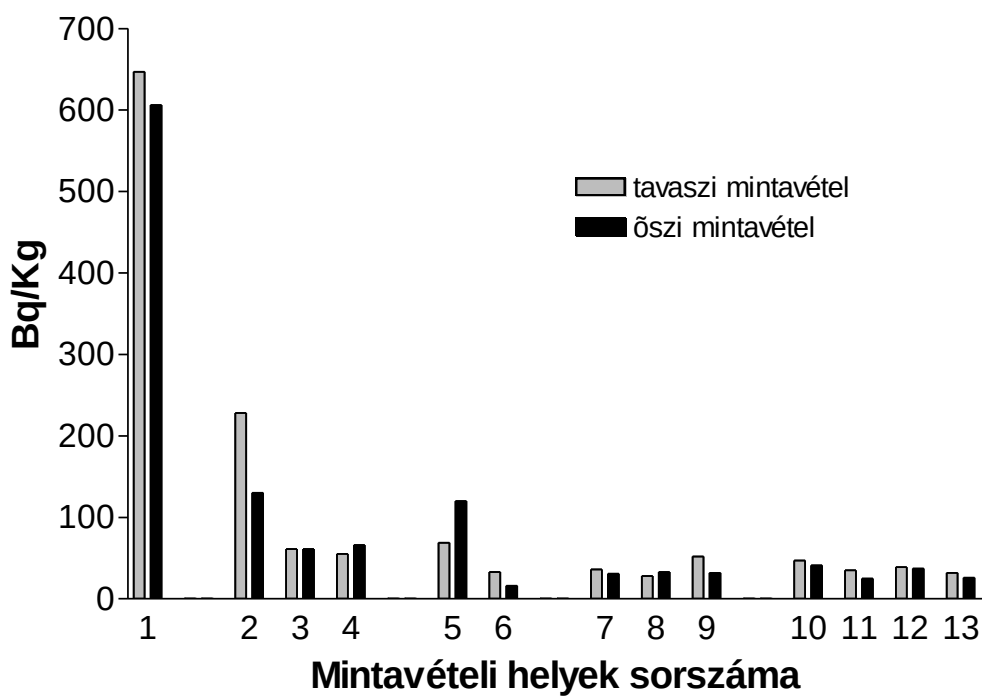
11. ábra. A különböző helyen és időben vett balatoni szedimentum mintákban mért ^{235}U aktivitás koncentráció értékei.

9. Táblázat. A tavaszi és az őszi mintavételezéskor vett balatoni szedimentum mintákban mért ^{234}Th és ^{226}Ra radioaktivitás koncentrációi

Mintavételi helyek sorszáma	Mintavétel helye	Mintavétel ideje	Th-234		Ra-226	
			érték [Bq/kg]	hiba %	érték [Bq/kg]	hiba %
1	Hévízi csatorna	04.22	161	4	647	3
2	Zala folyó torkolata	04.22.	78	4	228	3
3	Keszthely	04.03.	42	8	61	5
4	Balatongyörök	04.03.	51	6	55	5
5	Kétöles patak	04.03.	64	5	69	4
6	Fonyód	04.22	34	7	33	6
7	Révfülöp	04.03.	38	12	36	10
8	Balatonszepezd	04.22	24	9	28	7
9	Balatonboglár	04.23	50	8	52	7
10	Tihany/Balatonfüred	04.03.	45	8	47	6
11	Csopak	04.22	58	15	35	18
12	Balatonfűzfő	04.03.	47	11	39	10
13	Siófok	04.22	46	7	32	8
1	Hévízi csatorna	09.09.	133	5	606	3
2	Zala folyó torkolata	09.09.	55	6	130	3
3	Keszthely	09.09.	45	8	61	6
4	Balatongyörök	09.09.	43	3	66	3
5	Kétöles patak	09.18.	127	4	120	4
6	Fonyód	09.19.	16	9	16	9
7	Révfülöp	09.19	34	7	31	6
8	Balatonszepezd	09.18.	30	7	33	5
9	Balatonboglár	09.19.	22	8	2	8
10	Tihany/Balatonfüred	09.18.	36	10	41	8
11	Csopak	09.18.	47	5	25	5
12	Balatonfűzfő	09.18.	52	9	37	9
13	Siófok	09.19.	27	10	26	8



12. ábra. A különböző helyen és időben vett balatoni szedimentum mintákban mért ^{234}Th aktivitás koncentráció értékei.



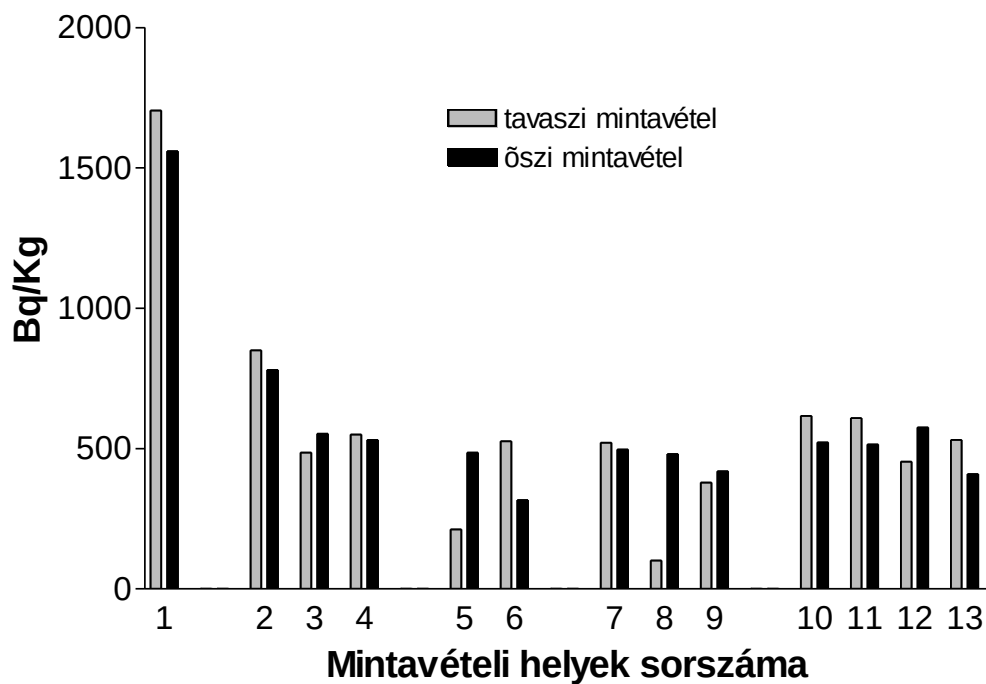
13. ábra. A különböző helyen és időben vett balatoni szedimentum mintákban mért ^{226}Ra aktivitás koncentráció értékei.

A sugáregészségügyi monitorozási célra széles körben használt összes-béta radioaktivitás koncentráció szintjét a 10. Táblázatban ill. 14. ábrán mutatjuk be. Mivel a szakirodalom alapján normál körülmények között az összes béta aktivitás 80-90 %-a természetes ^{40}K béta sugárzásából adódik, így logikus, hogy ezen két adatsort együtt tárgyaljuk. A ^{40}K eredményeket az 10. Táblázatban és a 15. ábrán közöljük. Az ábrák és a táblázat vizsgálata során a következő megállapítások tehetők:

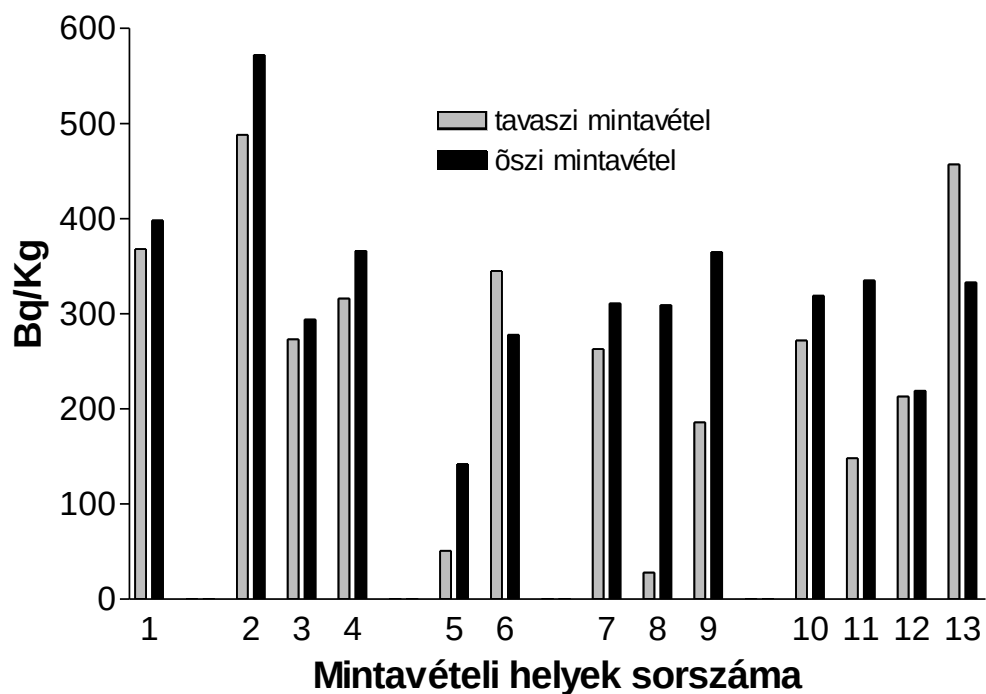
- általában a Hévízi csatorna szedimentumában magasabb összes béta aktivitás koncentrációkat mértünk. Az azonos ponton és időben mért ^{40}K természetes radionuklid értékei viszont nem térnek el jelentősen a Balaton más pontján vett szedimentum minták értékeitől. Ebből arra következtethetünk, hogy a hévízi mintákban az összes béta aktivitás koncentráció értékeiben az egyéb más természetes radionuklidokból származó béta-sugárzás jelentős hányadot képvisel,
- a Balaton különböző medencéiben mintázott szedimentumban mért összes-béta és ^{40}K koncentrációk közel azonos értéket mutatnak, amiből arra a következtetésre juthatunk, hogy a ^{40}K egyenletesen oszlik el a Balaton üledékében. Gondosabb elemzés során megállapítható, hogy az összes-béta aktivitás koncentráció értékei a Keszthelyi medencében magasabbak mint a Balaton többi medencéjében, míg a ^{40}K értékei ezt a különbséget nem mutatják,
- általánosságban elmondható, hogy az őszi és a tavaszi mintavételezés során vett mintákban, úgy az összes-béta mint a ^{40}K aktivitás koncentrációi általában hasonló értékeket mutatnak. Ezek alapján szezonális változás nem állapítható meg,
- a vizsgált szedimentum mintákban mért összes-béta aktivitás koncentráció 101-1705 Bq/kg közötti tartományban mozgott és a két mintavételi időszakra számított átlagértéke 580 Bq/kg-nak adódott. Ez az átlagérték alacsonyabb az Intézetünk által 20 éve folyó Dunaprogram során a természetes felszíni vizek üledékére megállapított jelenlegi adatoknál (~800 Bq/kg),
- a vizsgált szedimentum mintákban mért ^{40}K aktivitás koncentráció 28-572 Bq/kg közötti tartományban mozgott és a két mintavételi időszakra számított átlagértéke 380 Bq/kg-nak adódott. Ez az átlagérték jó egyezést mutat az Intézetünk által 20 éve folyó Dunaprogram során a természetes felszíni üledékre vonatkozó adatokkal (~400 mBq/dm³).

10. Táblázat. A tavaszi és az őszi mintavételezéskor vett balatoni szedimentum mintákban mért ^{40}K és összes-béta radioaktivitás koncentrációi

Mintavételi helyek sorszama	Mintavétel helye	Mintavétel ideje	^{40}K		Összes-béta	
			érték [Bq/kg]	hiba %	érték [Bq/kg]	hiba %
1	Hévízi csatorna	04.22	368	3	1705	3
2	Zala folyó torkolata	04.22.	488	3	850	5
3	Keszthely	04.03.	273	4	486	6
4	Balatongyörök	04.03.	316	3	550	6
5	Kétöles patak	04.03.	51	14	212	11
6	Fonyód	04.22	345	3	526	6
7	Révfülöp	04.03.	263	5	521	6
8	Balatonszepezd	04.22	28	17	101	21
9	Balatonboglár	04.23	186	6	379	7
10	Tihany/Balatonfüred	04.03.	272	4	617	6
11	Csopak	04.22	148	17	608	9
12	Balatonfűzfő	04.03.	213	7	453	6
13	Siófok	04.22	457	3	531	6
1	Hévízi csatorna	09.09.	398	3,5	1560	3
2	Zala folyó torkolata	09.09.	572	3	781	5
3	Keszthely	09.09.	294	4	553	6
4	Balatongyörök	09.09.	366	3	531	6
5	Kétöles patak	09.18.	142	7	486	6
6	Fonyód	09.19.	278	3	317	8
7	Révfülöp	09.19	311	3	497	6
8	Balatonszepezd	09.18.	308	3	481	6
9	Balatonboglár	09.19.	365	3	419	7
10	Tihany/Balatonfüred	09.18.	319	4	522	6
11	Csopak	09.18.	335	3	515	6
12	Balatonfűzfő	09.18.	219	6	575	6
13	Siófok	09.19.	333	3	409	7



14. ábra. A különböző helyen és időben vett balatoni szedimentum mintákban mért összes-béta aktivitás koncentráció értékei.



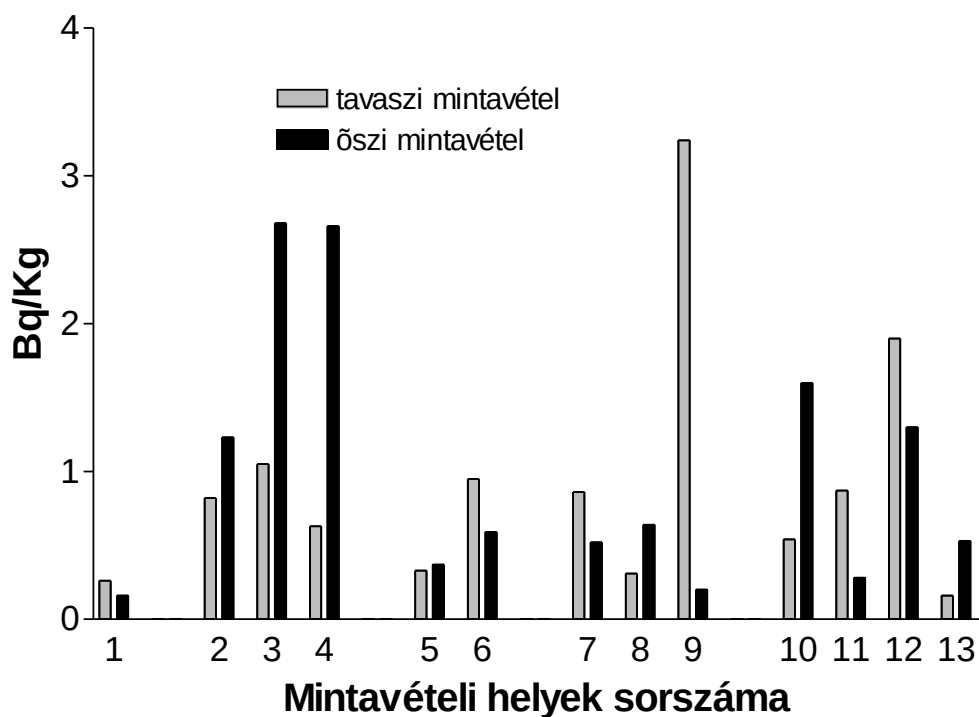
15. ábra. A különböző helyen és időben vett balatoni szedimentum mintákban mért ^{40}K aktivitás koncentráció értékei.

A mesterséges eredetű radionuklidok közül a ^{90}Sr radioaktivitás koncentráció szintjét a 11. Táblázatban ill. a 16. ábrán, míg a ^{137}Cs radioaktivitás koncentráció szintjét a 11. Táblázatban ill. a 17. ábrán mutatjuk be. Természetesen mértük a Csernobili reaktorbalesetből eredő ^{134}Cs aktivitás koncentrációját, amely minden esetben a mérőműszereink kimutatási határa alatti értéket mutatott, ezért az adatokat nem közöljük ezen összeállításban. Az ábrák és a táblázatok adatainak elemzése után a következő megállapítások tehetők:

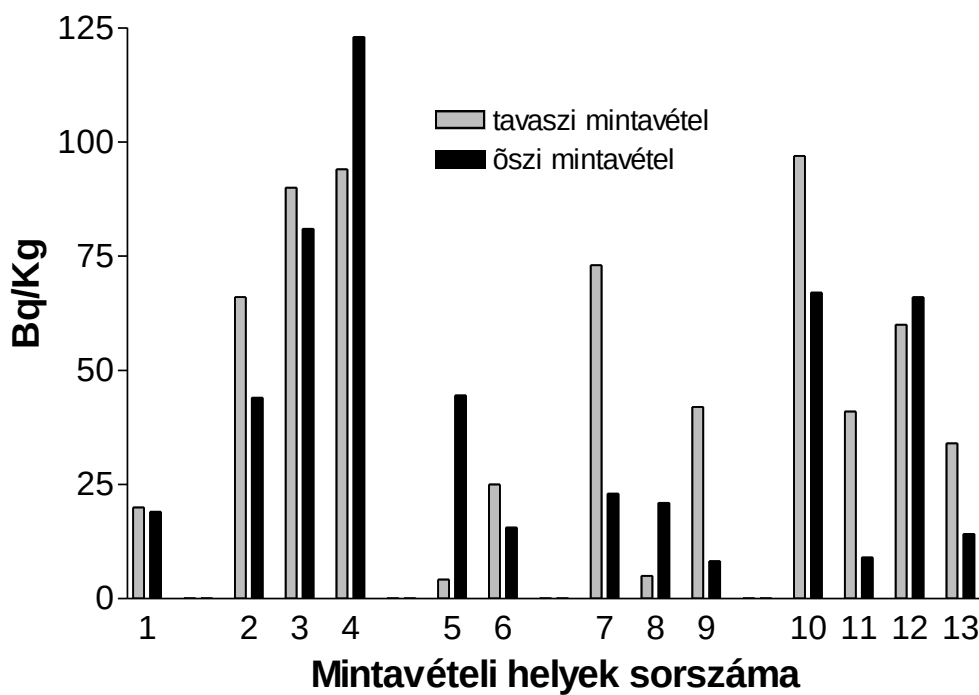
- minden esetben a Hévízi csatorna szedimentumában a legalacsonyabbak a mesterséges radionuklidok aktivitás koncentrációs adatai, összehasonlítva a Balaton többi helyéről származó szedimentum minták adataival. Ebből arra következtethetünk, hogy a Balatont a Hévízi csatornán keresztül mesterséges radioaktív szennyeződés nem érte a vizsgált időszak során,
- a Balaton különböző medencéiben mért ^{90}Sr és ^{137}Cs koncentrációi nagymértékű szóródást mutatnak, amiből arra a következtetésre juthatunk, hogy ezen radionuklidok esetében a mintavételezés nagymértékben befolyásolhatja a kapott eredményeket. Ebből a megállapításból az is következik, hogy a szedimentum tulajdonságai (szemcseméret, szervesanyag tartalom, agyagásvány tartalom stb.) meghatározhatják a hozzá kötött radionuklidok mennyiségét. Gondosabb elemzés során megállapítható, hogy a ^{137}Cs aktivitás koncentráció értékei a Keszthelyi medencében magasabbak mint a Balaton többi medencéjében. Ebből arra következtethetünk, hogy az atomfegyver kísérletek ill. a csernobili reaktor balesetből származó “egyenletesnek” mondható légköri kihullásból származó szennyeződés mellett az évek során a Zala folyón keresztül szennyeződés érte a Balatont. Ez a szennyeződés erősen kötődött a szedimentumhoz és ez jelenik meg a kb. 2-3-szor magasabb ^{137}Cs aktivitás koncentrációs értékekben,
- általánosságban elmondható, hogy az őszi és a tavaszi mintavételezés során vett mintákban, úgy a ^{90}Sr mint a ^{137}Cs aktivitás koncentrációi nagy szóródást mutatnak. Ezért szezonális változás nem állapítható meg a mért eredmények alapján,
- a vizsgált szedimentum mintákban mért ^{90}Sr aktivitás koncentráció 0,16-3,24 Bq/kg közötti tartományban mozgott és a két mintavételi időszakra számított átlagértéke 0,92 Bq/kg-nak adódott. Ez az érték kissé alacsonyabb az ezen időszak alatt a Duna szedimentumában mért radiostroncium koncentrációs adatainál (~2 Bq/kg),
- a vizsgált szedimentum mintákban mért ^{137}Cs aktivitás koncentráció 4-123 Bq/kg közötti tartományban mozgott és a két mintavételi időszakra számított átlagértéke 45 Bq/kg-nak adódott. Ez az érték kissé magasabb az ezen időszak alatt a Duna szedimentumában mért radiocézium koncentrációs adatainál (<10-20 Bq/kg). Ebből arra következtethetünk, hogy a valaha a Balatont ért ^{137}Cs szennyeződés nem tud eltávozni a tóból és a szedimentum ^{137}Cs aktivitás koncentrációját a víz és a szedimentum közötti pillanatnyi megoszlási hányados fogja befolyásolni

11. Táblázat. A tavaszi és az őszi mintavételezéskor vett balatoni szedimentum mintákban mért ^{90}Sr és ^{137}Cs radioaktivitás koncentrációi

Mintavételi helyek sorszama	Mintavétel helye	Mintavétel ideje	^{90}Sr		^{137}Cs	
			érték [Bq/kg]	hiba %	érték [Bq/kg]	hiba %
1	Hévízi csatorna	04.22	<0,26	99	20	3
2	Zala folyó torkolata	04.22.	0,82	11	66	3
3	Keszthely	04.03.	1,05	13	90	3
4	Balatongyörök	04.03.	0,63	17	94	3
5	Kétöles patak	04.03.	0,33	26	4	6
6	Fonyód	04.22	0,95	11	25	3
7	Révfülöp	04.03.	0,86	16	73	3
8	Balatonszepezd	04.22	< 0,31	99	5	5
9	Balatonboglár	04.23	3,24	5	42	3
10	Tihany/Balatonfüred	04.03.	0,54	13	97	3
11	Csopak	04.22	0,87	18	41	4
12	Tihany/Balatonfűzfő	04.03.	1,90	10	60	3
13	Siófok	04.22	< 0,16	99	34	3
1	Hévízi csatorna	09.09.	<0,16	99	19	3
2	Zala folyó torkolata	09.09.	1,23	11	44	3
3	Keszthely	09.09.	2,68	6	81	3
4	Balatongyörök	09.09.	2,66	8	123	3
5	Kétöles patak	09.18.	<0,37	99	45	3
6	Fonyód	09.19.	0,59	66	16	3
7	Révfülöp	09.19	0,52	21	23	3
8	Balatonszepezd	09.18.	0,64	19	21	3
9	Balatonboglár	09.19.	<0,20	99	8	3
10	Tihany/Balatonfüred	09.18.	1,60	9	67	3
11	Csopak	09.18.	0,28	25	9	3
12	Balatonfűzfő	09.18.	1,30	9	66	3
13	Siófok	09.19.	0,53	61	14	3



16. ábra. A különböző helyen és időben vett balatoni szedimentum mintákban mért ^{90}Sr aktivitás koncentráció értékei.



17. ábra. A különböző helyen és időben vett balatoni szedimentum mintákban mért ^{137}Cs aktivitás koncentráció értékei.

Balatonai nád vizsgálata

A balatonai növényzetből a nádat választottuk ki, mivel ez a növényfajta megtalálható volt minden egyes mintavételezési ponton.

Mértük a természetes eredetű radionuklidok (^{228}Ac , ^{234}Th , ^{226}Ra , ^{235}U) aktivitás koncentrációját a balatonai nád mintákban. A minták 70 %-ban a mért értékek a mérőműszereink kimutatási határa alatti értéket mutatott, ezért az adatokat nem közöljük ezen összeállításban

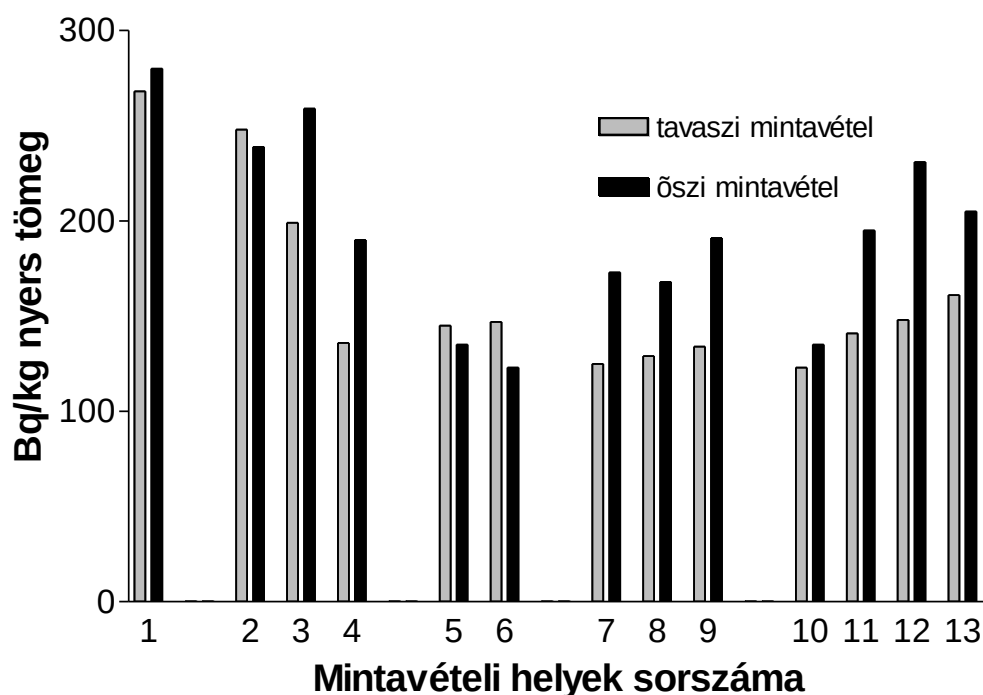
A sugáregészségügyi monitorozási célra széles körben használt összes-béta radioaktivitás koncentráció szintjét a 12. Táblázatban ill. a 18. ábrán mutatjuk be. Mivel a szakirodalom alapján normál körülmények között az összes béta aktivitás 80-90 %-a természetes ^{40}K béta sugárzásából adódik, így logikus, hogy ezen két adatsort együtt tárgyaljuk. A ^{40}K eredményeket a 12. Táblázatban és a 19. ábrán közöljük. Az ábrák és a táblázat vizsgálata során a következő megállapítások tehetők:

- a Balaton különböző medencéiből ill. a Hévízi csatornából származó nád összes-béta és ^{40}K koncentrációi közel azonos értéket mutatnak, amiből arra a következtetésre juthatunk, hogy a ^{40}K egyenletesen oszlik el a növényzetben és a kálium felvétel a biológiai folyamatok determinálják függetlenül a jelenlévő kálium mennyiségétől. Gondosabb elemzés során megállapítható, hogy úgy az összes-béta mint a ^{40}K aktivitás koncentráció értékei a Keszthelyi és a Siófoki medencéből származó nádban magasabbak mint a Balaton többi medencéjéből vett nádmintákban,
- általánosságban elmondható, hogy az őszi mintavételezés során begyűjtött nád aktivitás koncentrációi magasabbak. Ez a megfigyelés magyarázható az őszi minták nagyobb szárazanyag tartalmával vagy a vegetáció előrehaladtával. Ennek alapján szezonális változás valószínűsíthető,
- a vizsgált nádmintákban mért összes-béta aktivitás koncentráció 123-280 Bq/kg nyers tömeg közötti tartományban mozgott és a két mintavételi időszakra számított átlagértéke 176 Bq/kg nyers tömegnek adódott,
- a vizsgált nádmintákban mért ^{40}K aktivitás koncentráció 87-268 Bq/kg közötti tartományban mozgott és a két mintavételi időszakra számított átlagértéke 147 Bq/kg nyers tömegnek adódott,
- összehasonlítva a balatonai nádban mért összes-béta és ^{40}K radioaktivitás koncentrációk értékeit, megállapítható, hogy ezen növényi minták esetében teljesül az a feltételezés miszerint az összes-béta aktivitás kb. 90 %-a a ^{40}K bétasugárzásából ered.

A mesterséges eredetű radionuklidok közül a ^{90}Sr radioaktivitás koncentráció szintjét a 13. Táblázatban ill. 20. ábrán, míg a ^{137}Cs radioaktivitás koncentráció szintjét az 13. Táblázatban ill. 21. ábrán mutatjuk be. Természetesen mértük a Csernobili reaktorbalesetből eredő ^{134}Cs aktivitás koncentrációját, amely minden esetben a mérőműszereink kimutatási határa alatti értéket mutatott, ezért az adatokat

nem közöljük ezen összeállításban. Az ábrák és a táblázat adatainak elemzése után a következő megállapítások tehetők:

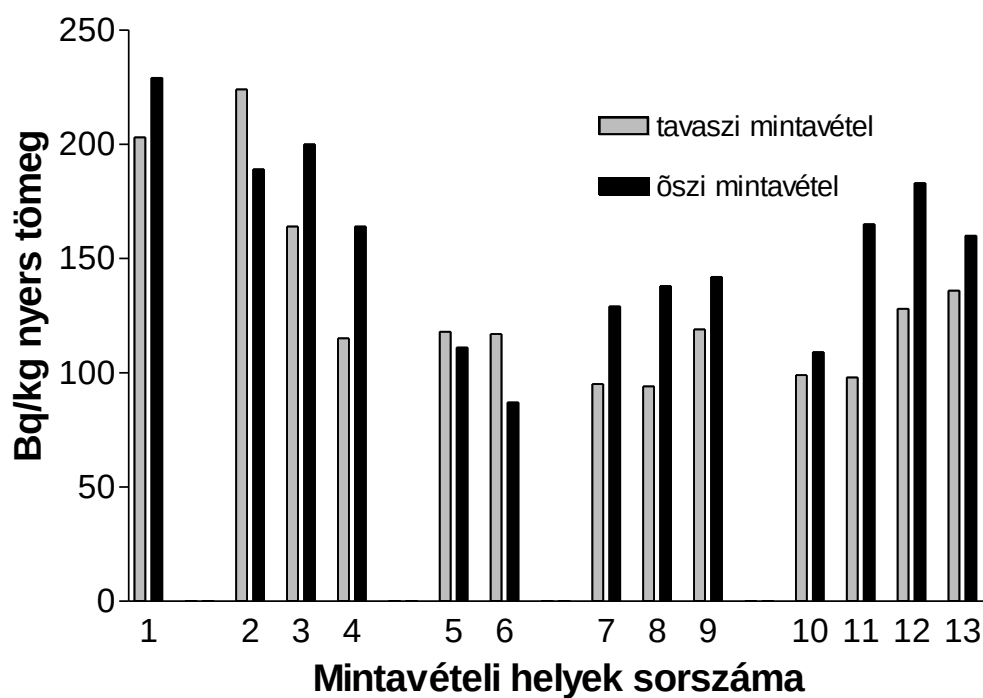
- a Balaton különböző medencéiben vett nádban mért ^{90}Sr és ^{137}Cs aktivitás koncentráció adatok alapján nem állapítható meg területi összefüggés,
- összehasonlítva az őszi és a tavaszi mintavételezés során vett mintákban mért ^{90}Sr és ^{137}Cs aktivitás koncentráció adatait szezonális összefüggés nem állapítható meg,
- a vizsgált nádmintákban mért ^{90}Sr aktivitás koncentráció 0,01-2,07 Bq/kg nyers tömeg közötti tartományban mozgott és a két mintavételi időszakra számított átlagértéke 0,45 Bq/kg nyers tömegnek adódott.
- a vizsgált nádmintákban mért ^{137}Cs aktivitás koncentráció 0,22-3,44 Bq/kg nyers tömeg közötti tartományban mozgott és a két mintavételi időszakra számított átlagértéke 0,99 Bq/kg nyers tömegnek adódott.



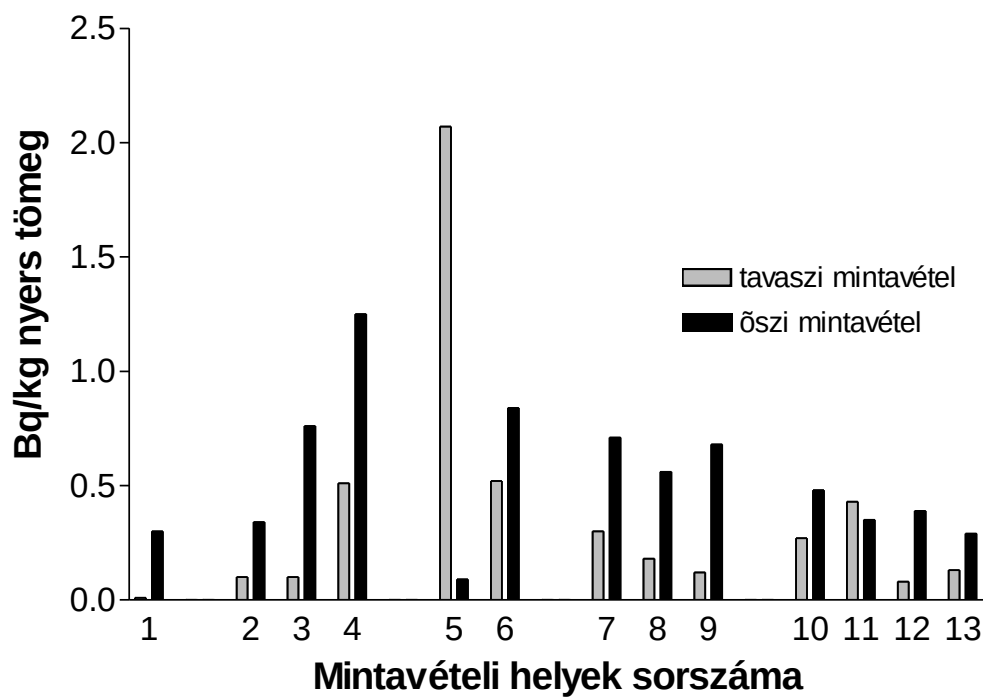
18. ábra. A különböző helyen és időben szedett balatoni nádmintákban mért összes-béta aktivitás koncentráció értékei.

12. Táblázat. A tavaszi és az őszi mintavételezéskor vett balatoni nádban mért ^{40}K és összes-béta radioaktivitás koncentrációi

Mintavételi helyek sorszáma	Mintavétel helye	Mintavétel ideje	^{40}K		Összes-béta	
			érték (Bq/kg nyers tömeg)	hiba %	érték (Bq/kg nyers tömeg)	hiba %
1	Hévízi csatorna.	05. 31.	203	2	268	2
2	Zala folyó torkolata	05. 31.	224	2	248	2
3	Keszthely	05. 31.	164	2	199	2
4	Balatongyörök	06. 06.	115	2	136	3
5	Kétöles patak	06. 06.	118	2	145	3
6	Fonyód	05. 31.	117	2	147	2
7	Révfülöp	06. 06.	95	2	125	3
8	Balatonszepezd	06. 06.	94	2	129	3
9	Balatonboglár	05. 31.	119	2	134	2
10	Tihany/Balatonfüred	06. 06.	99	2	123	3
11	Csopak	06. 06.	98	2	141	3
12	Balatonfűzfő	06. 06.	128	2	148	2
13	Siófok	05. 31.	136	2	161	2
1	Hévízi csatorna	09. 11	229	2	280	3
2	Zala folyó torkolata	09. 11	189	2	239	3
3	Keszthely	09. 11	200	2	259	3
4	Balatongyörök	09. 11	164	2	190	4
5	Kétöles patak	09. 18	111	2	135	3
6	Fonyód	09. 11	87	2	123	3
7	Révfülöp	09. 11	129	2	173	3
8	Balatonszepezd	09. 11	138	2	168	3
9	Balatonboglár	09. 11	142	2	191	3
10	Tihany/Balatonfüred	09. 11	109	2	135	4
11	Csopak	09. 11	165	2	195	3
12	Balatonfűzfő	09. 11	183	2	231	3
13	Siófok	09. 11	160	2	205	3



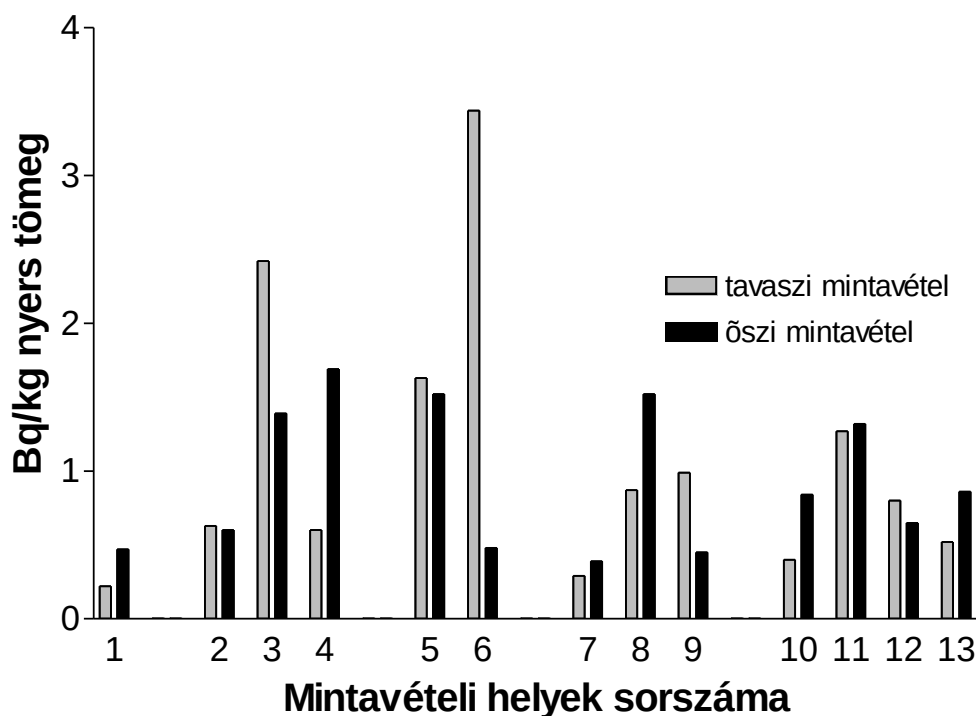
19. ábra. A különböző helyen és időben szedett balatoni nádmintákban mért ^{40}K aktivitás koncentráció értékei.



20. ábra. A különböző helyen és időben szedett balatoni nádmintákban mért ^{90}Sr aktivitás koncentráció értékei.

13. Táblázat. A tavaszi és az őszi mintavételezéskor vett balatoni nádban mért ^{90}Sr és ^{137}Cs radioaktivitás koncentrációi

Mintavételi helyek sorszáma	Mintavétel helye	Mintavétel ideje	^{90}Sr		^{137}Cs	
			érték (Bq/kg nyers tömeg)	hiba %	érték (Bq/kg nyers tömeg)	hiba %
1	Hévízi csatorna	05. 31.	<0,01	99	0,22	17
2	Zala folyó torkolata	05. 31.	0,1	24	0,63	7
3	Keszthely	05. 31.	0,1	45	2,42	3
4	Balatongyörök	06. 06.	0,51	14	0,60	5
5	Kétöles patak	06. 06.	2,07	5,8	1,63	3
6	Fonyód	05. 31.	0,52	9,8	3,44	3
7	Révfülöp	06. 06.	0,3	17	0,29	11
8	Balatonszepezd	06. 06.	0,18	29	0,87	5
9	Balatonboglár	05. 31.	0,12	11	0,99	3
10	Tihany/Balatonfüred	06. 06.	0,27	15,7	0,40	8
11	Csopak	06. 06.	0,43	17	1,27	5
12	Balatonfűzfő	06. 06.	<0,08	99	0,80	6
13	Siófok	05. 31.	0,13	23	0,52	8
1	Hévízi csatorna	09. 11	0,30	18	<0,47	99
2	Zala folyó torkolata	09. 11	0,34	18,5	0,60	7
3	Keszthely	09. 11	0,76	13,1	1,39	5
4	Balatongyörök	09. 11	1,25	10	1,69	5
5	Kétöles patak	09. 18	<0,09	99	1,52	3
6	Fonyód	09. 11	0,84	9,1	0,48	3
7	Révfülöp					
8	Balatonszepezd	09. 11	0,56	12,4	1,52	4
9	Balatonboglár	09. 11	0,68	11	0,45	10
10	Tihany/Balatonfüred	09. 11	0,48	16,0	0,84	5
11	Csopak	09. 11	0,35	13,0	1,32	6
12	Balatonfűzfő	09. 11	0,39	14,8	0,65	6
13	Siófok	09. 11	0,29	19	0,86	6



21. ábra. A különböző helyen és időben szedett balatoni nádmintákban mért ^{137}Cs aktivitás koncentráció értékei.

Balatoni halak vizsgálata

A balatoni halmintákból csak a sugáregészségügyi monitorozási célra széles körben használt összes-béta radioaktivitás koncentrációt (14. Táblázat), a természetes ^{40}K radioaktivitás koncentrációt (14. Táblázat) ill. a mesterséges eredetű radionuklidok közül a ^{90}Sr radioaktivitás koncentrációt (14. Táblázat) és a ^{137}Cs radioaktivitás koncentrációt (14. Táblázat) határoztuk meg két mintavételi időpontban. A beérkezett halmintákat minden esetben kifiléztük és csak a halhús (ehető rész) radioaktivitás koncentrációit határoztuk meg. A táblázatban szereplő adatok értékeléséből a következő megállapítások tehetők:

- általánosságban elmondható, hogy a két mintavételezés során vett halminták aktivitás koncentrációi hasonló értéket mutatnak,
- a vizsgált halmintákban mért összes-béta aktivitás koncentráció 118-205 Bq/kg nyers halhús közötti tartományban mozgott és a két mintavételi időszakra számított átlagértéke 143 Bq/kg nyers halhúsra adódott,
- a vizsgált halmintákban mért ^{40}K aktivitás koncentráció 88-134 Bq/kg nyers halhús közötti tartományban mozgott és a két mintavételi időszakra számított átlagértéke 111 Bq/kg nyers halhúsra adódott,
- összehasonlítva a balatoni halakban mért összes-béta és ^{40}K radioaktivitás koncentrációk értékeit, megállapítható, hogy ezen minták esetében teljesül az a

feltételezés miszerint az összes-béta aktivitás kb. 90 %-a a ^{40}K bétasugárzásából ered,

- a vizsgált halmintákban mért ^{90}Sr aktivitás koncentráció 0,04-1,61 Bq/kg nyers halhús közötti tartományban mozgott és a két mintavételi időszakra számított átlagértéke 0,51 Bq/kg nyers halhúsra adódott,
- a vizsgált halmintákban mért ^{137}Cs aktivitás koncentráció 1,58-7,92 Bq/kg nyers halhús közötti tartományban mozgott és a két mintavételi időszakra számított átlagértéke 3,97 Bq/kg nyers halhúsra adódott.

14. Táblázat. Két mintavételezéskor vett balatoni halakban mért összes-béta, ^{40}K , ^{90}Sr és ^{137}Cs radioaktivitás koncentrációi (Bq/kg nyers halhús)

Mintavétel ideje	halfaj	összes-béta		^{40}K		^{90}Sr		^{137}Cs	
		Érték Bq/kg	hiba %	Érték Bq/kg	hiba %	Érték Bq/kg	hiba %	Érték Bq/kg	hiba %
2001. 12. 04.	Süllő	205	6	133	3	0,13	11	6,42	3
2001. 12. 04.	Keszeg	136	7	96	3	1,61	7	1,58	3
2001. 12. 04.	Balin	143	7	88	3	0,17	22	5,75	3
2001. 12. 04.	Busa	129	7	93	3	0,04	94	2,51	3
2002. 10. 30	Keszeg	118	8	116	3	0,63	48	2,01	3
2002. 10. 30	Balin	137	7	134	3	0,51	47	7,92	3
2002. 10. 30	Busa	132	7	114	3	0,47	54	1,59	3

Indikátor növény keresése

Munkánk egyik célkitűzése az volt, hogy vizsgálataink során találjunk olyan vízi élőlényt, amely bio-indikátorként felhasználható és képes legyen jelezni a tó esetleges radionuklid szennyeződését. Ennek érdekében a tavaszi mintavételezés során nagyszámú különböző típusú növényeket gyűjtöttünk be. Ezen növényekből ^{137}Cs aktivitás koncentrációt határoztunk meg. A kapott eredményeket a 15. Táblázatban közöljük az azonos mintavételi ponton vett nádminták aktivitás koncentrációival együtt. A táblázat adatait értékelve megállapíthatjuk, hogy mint indikátor három növényt vehetünk számításba. Nevezetesen a kolokánt, a fésűs békaszlőt és a fűzres süllő hinárt. Ezek a növények esetleg alkalmazhatók arra, hogy mérésükkel megállapíthassuk valyon a tavat érte-e radionuklid szennyezés. Természetesen tisztában vagyunk azzal, hogy jelenlegi munkánk nem adhat megnyugtató választ ezen kérdésre. Véleményünk szerint további alapos vizsgálatok és elemzések szükségesek annak megállapítására, hogy mely vízi élőlényt használhatjuk bio-indikátorként.

15. Táblázat. A tavaszi mintavételezés során vett különböző növényi minták és az azonos helyen vett nádminták ^{137}Cs aktivitás koncentráció adatai (Bq/kg száraz növényi tömeg)

Mintavétel helye	Mintavétel ideje	Növény típusa	^{137}Cs		^{137}Cs nádban	
			Érték Bq/kg	hiba %	Érték Bq/kg	hiba %
Hévizi csatorna	05.31.	Keskeny levelű gyékény	<2,4		0,63	17
Hévizi csatorna	05.31.	Üveglevelű békaszőlő	1,0	27		
Zala folyó torkolata	05.31.	Kolokán	10,3	5	1,81	7
Keszthely	05.31.	Zsombék sás	7,8	4	7,0	3
Keszthely	05.31.	Keskeny levelű gyékény	<2,5			
Fonyód	05.31.	hinár	8,8	3	9,9	3
Fonyód	05.31.	Fonalas alga	2,7	3		
Fonyód	05.31.	Keskeny levelű gyékény	4,6	8		
Balatonszepezd	06. 06	Széles levelű sás	0,2	5	2,5	5
Balatonboglár	05. 31.	Keskeny levelű gyékény	3,2	12	2,8	3
Tihany/Balatonfüred	06. 06	Széles levelű sás	<1,8		1,2	8
Csopak	06. 06	Keskeny levelű gyékény	<1,8		3.6	5
Siófok	05.31.	Fésűs békaszőlő	5,4	4	1,5	8
Siófok	05.31.	Füzéres süllő hinár	8,3	8		

KÖSZÖNETNYÍLVÁNÍTÁS

Köszönetet mondunk a Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztériumnak azért, hogy pályázatunkat támogatásra érdemesnek találta. A pályázatban résztvevők megköszönik a Balatoni Halászati Részvénytársaságnak a halmintázásban nyújtott segítséget. Itt kívánjuk megköszönni a Közép-Dunántúli Környezetvédelmi Felügyelőség szakmai támogatását.