



KÖRNYEZETTUDOMÁNYI DOKTORI ISKOLA

**ELEMANALITIKAI ÉS IZOTÓPTECHNIKAI MÓDSZEREK
FEJLESZTÉSE ÉS ALKALMAZÁSA POTENCIÁLISAN
TOXIKUS ELEMTARTALOM MEGHATÁROZÁSÁRA ÉS
MONITOROZÁSÁRA TALAJ/VÍZ/ÜLEDÉK RENDSZERBEN**

DOI: 10.54598/003410

DOKTORI (PhD) ÉRTEKEZÉS

Takács Anita

Gödöllő

2023

A doktori iskola

megnevezése: Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem,
Környezettudományi Doktori Iskola

tudományága: Környezettudomány

vezetője: Csákiné Prof. Dr. Michéli Erika
MTA levelező tagja, egyetemi tanár, intézetigazgató,
tanszékvezető
Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem,
Szent István Campus,
Környezettudományi Intézet,
Talajtani Tanszék

Témavezető(k): Dr. Heltai György
professzor emeritus, az MTA doktora
Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem,
Szent István Campus,
Környezettudományi Intézet,
Környezetanalitikai és Környezettechnológiai Tanszék

Dr. habil. Horváth Márk Kálmán
habilitált egyetemi docens
Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem,
Szent István Campus,
Környezettudományi Intézet,
Környezetanalitikai és Környezettechnológiai Tanszék

Az iskolavezető jóváhagyása

A témavezető(k) jóváhagyása

Tartalomjegyzék

Jelölések, rövidítések jegyzéke.....	5
1. Bevezetés.....	7
2. Célkitűzések.....	9
3. Irodalmi áttekintés.....	11
3.1. A potenciálisan toxikus elemek jellemzéseik és viselkedésük.....	13
3.2. Extrakciós módszerek.....	18
3.2.1. Egylépéses extrakciós módszerek.....	20
3.2.2. Többlépéses extrakciós módszerek.....	20
3.3. Kinetikai tanulmányok megalapozása.....	25
3.4. Az Európai Unió Vízkeret irányelve és határértékek.....	28
3.5. Geokémiai indexek.....	32
3.6. Cézium izotóp radioanalitikai analízise.....	32
4. Anyag és módszer.....	34
4.1. Minták származási helye és talajtani jellemzőik.....	34
4.2. Minták előkészítése.....	35
4.3. Extrakciós módszerek.....	36
4.3.1. A potenciálisan toxikus elemek pszeidototal elemtartalmának meghatározása.....	36
4.3.2. BCR szekvens extrakció.....	37
4.3.3. Frakcionálás.....	38
4.4. Elemtartalom meghatározása induktív csatolású plazma optikai emissziós spektrométerrel (ICP-OES).....	42
4.5. Oszloptanulmányok kiértékelése elsőrendű kinetika segítségével.....	44
4.6. Visszanyert elemtartalom meghatározása.....	44
4.7. Különböző geokémiai indexek használata a szennyezettségi és környezeti kockázatok értékelése céljából.....	45
4.7.1. Összes elemtartalomhoz kapcsolódó indexek.....	45
4.7.2. Frakcionált elemtartalomhoz kapcsolódó indexek.....	47
4.8. Radioanalitikai vizsgálat γ -spektroszkópiával.....	49
5. Eredmények és azok megbeszélése.....	52
5.1. Üledékminták pszeidototal elemtartalom meghatározása.....	52
5.2. Szekvens extrakció BCR protokoll alapján.....	55
5.3. Szuperkritikus folyadék extrakció (SFE) módszerfejlesztése és a 3. lépés kinetikai vizsgálata.....	58
5.4. A teljes SFE frakcionálás elemanalitikai mérési eredményeinek kiértékelése.....	63
5.5. Metodikai összehasonlítások, visszanyerhető elemtartalmak meghatározása üledék rétegekben.....	64

5.6. Halastavak üledékmintáinak geokémiai jellemzése rétegek szerint, PTE-k mobilizációjának kockázati becslése	68
5.6.1. Összes elemtartalomhoz kapcsolódó indexek kiértékelése	69
5.6.2. Frakcionált elemtartalomhoz kapcsolódó indexek kiértékelése	75
5.7. Radioanalitikai eredmények γ -spektroszkópia segítségével.....	77
6. Következtetések – javaslatok	81
7. Új tudományos eredmények.....	83
8. Összefoglalás.....	85
9. Summary	87
M1. Irodalomjegyzék	89
M2. Melléklet.....	97
Köszönetnyilvánítás	129
Az értekezés témaköréhez tartozó publikációk	130

Jelölések, rövidítések jegyzéke

ATK TAKI (korábban MTA TAKI) – Agrártudományi Kutatóközpont Talajtani Intézet

BCR – Community Bureau of Reference, Közösségi Referencia Iroda

BF – Bioavailability Factor, Biológiai hozzáférhetőség indexe

BMI – Bioavailable Metal Index, Biológiaiag hozzáférhető elemek indexe

CF – Contamination Factor, Szennyezettségi tényező

CRM – Certificated Reference Material, Certifikált Referencia minta

DTPA – dietilén-triamin-pentaecetsav (pentetinsav)

EDTA – etilén-diamin-tetraecetsav

EF – Enrichment Factor, Feldúsulási Faktor

EOV – Egységes Országos Vetületi rendszer

EU – Európai Unió

EVISA – European Virtual Institute for Speciation Analysis, Európai Virtuális Speciációs Elemző Intézet

FWHM – Full Width at Half Maximum, Félértékszélesség

FWTM – Full Width at Tenth Maximum, Csúcsszélesség

H₂O₂ – Hidrogén-peroxid

HNO₃ – Salétromsav

HPGe – High Purity Germanium, Nagytisztaságú Germánium

ICF – Individual Contamination Factor, Egyéni szennyezettségi tényező

ICP-MS – Inductively Coupled Plasma – Mass Spectrometry, Induktív csatolású plazma- Tömegspektrométer

ICP-OES – Inductively Coupled Plasma – Optical Emission Spectrometry, Induktív csatolású plazma – Optikai Emissziós Spektrométer

I_{geo} – Geo-accumulation Factor, Geoakkumulációs index

IUPAC – International Union of Pure and Applied Chemistry, Nemzetközi Tiszta és Alkalmazott Kémiai Unió

HPLC – High Performance Liquid Chromatography, Nagyhatékonyságú Folyadékromatográfia

KTM – Környezetvédelmi és Területfejlesztési Minisztérium

MATE – Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem

MSZ – Magyar Szabvány

MSZ EN – Európai szabványokat bevezető magyar nemzeti szabvány

MTA – Magyar Tudományos Akadémia

MW – Microwave, Mikrohullám

OTKA – Országos Tudományos Kutatási Alapprogramok

PLI – Pollution Load Index, Szennyezettségi terhelési index

PTE(s) – Potentially Toxic Element(s), Potenciálisan Toxikus Elem(ek)

RAC% – Risk Assessment Code, Kockázatértékelési Kód

RF – Rádiófrekvencia

SFE – Supercritical Fluid Extraction, Szuperkritikus Folyadék Extrakció

SZIE – Szent István Egyetem

USEPA – U.S. Environmental Protection Agency, Amerikai Környezetvédelmi Hivatal

VGT – Vízyűjtő Gazdálkodási Terv

VKI – Vízkeret irányelv

„Gondolkodj bátran, ne félj attól, hogy hibákat követsz el! Tartsd nyitva a szemed, az apró részleteket is vedd észre, és legyél mindenben mértéktartó, céljaidat kivéve.”
(Szent-Györgyi Albert)

1. Bevezetés

A talajok és a vízi környezeti érzékenysége, stressztűrőképessége, terhelhetősége lényegében azt fejezi ki, hogy ezen közegek miképp reagálnak adott természeti vagy antropogén tevékenység következményeképpen vagy eredményeképpen bekövetkező hatásokra. Fontos szem előtt tartanunk, hogy mennyi ideig és milyen mértékig, szintig képesek e hatásokat kiegyensúlyozni, mérsékelni anélkül, hogy minőségében részben, tartósan vagy visszafordíthatatlan következményeket okozzanak. A potenciálisan toxikus elemekkel (PTE) szennyezett területek alapvető környezeti problémát jelentenek. A talajok és az üledékek hosszú évekig képesek felhalmozni a PTE-eket anélkül, hogy azok akut mérgező hatása nyilvánvaló lenne. Egy bizonyos terhelési szint felett szűrőkapacitásuk kimerül, áteresztővé válnak és maguk is szennyező forrásként szerepelnek. Megjelennek a vizekben, felvehetővé válnak a növény számára és bekerülve a táplálékláncba hosszútávon kimutatható károsodást okozhatnak.

A PTE-szennyezések okozta környezeti kockázatok becslésének kutatásában az 1990-es évektől kezdődően új irányzat alakult ki. Az egyes elemek összes koncentrációjának meghatározásán alapuló, addig általánosan és jogszabályban elfogadott értékeléssel szemben előtérbe kerültek a kérdéses elemek megjelenési formáinak minőségi és mennyiségi meghatározásával foglalkozó módszerek. Ez az intenzív fejlődés a kilencvenes években új terminológia kialakulását eredményezte. Egyre növekvő számban jelentek meg közlemények, amelyek a kémiai speciáció, műveleti speciáció és más hasonló kifejezéseket használták, eltérő jelentéssel (Templeton et al., 2000). A speciációs analitikai kutatások a kilencvenes évektől kezdve hazánkban is több területen megkezdődtek: a felszíni vízrendszerek szennyezésével kapcsolatban (Hlavay, 1998; Heltai et al., 2002; Halász et al., 2007), az élelmiszerek és ivóvíz minőségvizsgálata terén (Fodor, 2000; Posta, 1996). A MATE (korábban SZIE) elsősorban az üledékek PTE-tartalmának frakcionálási módszereinek és speciációs analitikájának fejlesztésében ért el jelentős eredményeket (Heltai, 2005).

Az elmúlt évtizedek kutatásai feltárták, hogy a biogeokémiai körfolyamatokban nem elég csupán az egyes elemek összkoncentrációját megadni, ismerni kell azok kémiai megjelenési formáját (oxidációs állapot, komplex, vagy molekula szerkezet) is,

így nemcsak az élő szervezetbe bejutott elem mennyiségéről, hanem biológiai hatásáról is kaphatunk információt.

A teljes ökotoxikológiai és humán toxikológiai kockázatbecslés az összes elem teljes speciációját igényli, ami gyakorlatilag irreális analitikai feladat. Ezért a speciációs analízist célzottan alkalmazzuk (pl. Cr-szennyezés, Hg- szennyezés esetén, As-formák ivóvízben való megjelenésre). Emellett ismernünk kell az adott elem szerves vagy szervetlen komplexképző hajlamát, valamint adszorpciós kapacitását is (Heltai, 2005; Soriano-Dislaa, 2013). A szilárd fázisú környezeti elemekben (talaj, üledék, aeroszol) és hulladékokban (bányászati meddő, salak, pernye, vörösiszap) a nehézfémek mobilitását és biológiai hatását meghatározza, hogy azok milyen kémiai kötési formákban vannak jelen. A szennyezett területeken a biológiai kockázat teljes jellemzéséhez valamennyi jelenlévő szennyező elem összes specieszének meghatározása lenne szükséges, ami a gyakorlatban irreális feladat. Ennek a problémának a kiküszöbölésére jöttek létre eltérő kémiai hatású kivonószerek egymást követő alkalmazásán alapuló extrakciós eljárások, amelyek különböző környezeti mobilitást mutató frakciók meghatározását teszik lehetővé.

2. Célkitűzések

Doktori munkám szorosan kapcsolódott az ösztöndíjas munkahelyemen 2013-tól 2017-ig folyó „Nehézfém-szennyezés környezeti mobilitásának és időbeli átalakulásának értékelése szekvens extrakciós módszerekkel” című OTKA 108558 pályázathoz és annak célkitűzéseihez. A kutatócsoport munkájának és így doktori kutatásaimnak fő célja az Európai Unióban édesvízi üledékek PTE-tartalmának vizsgálatára ma általánosan ajánlott 3+1 lépéses frakcionálási eljárás metodikai továbbfejlesztése és különböző mátrixokra (talaj és üledék) és PTEk-re történő validálása és eredeti speciesz formák kinyerésére alkalmas eljárás továbbfejlesztése és kidolgozása volt. Ezek alkalmazásával az általunk korábban vizsgált nehézfém-szennyezést elszenvedett területen, a Gödöllő-Isaszeg közötti tórendszerben (1995-1998), értékeltük az első felmérés időpontja óta bekövetkezett változásokat a potenciálisan toxikus elemek környezeti mobilitási lehetőségeinek átalakulásában, eredeti és újonnan mintavételezett réteg üledékminták felhasználásával. Továbbfejlesztettük a korábban az eredeti speciesz formák kinyerésére kifejlesztett szuperkritikus folyadék extrakciós (SFE) módszerünket továbbfejlesztettük és radioanalitikai méréseket végeztünk γ -spektrometriával. A kutatócsoport e módszerfejlesztő munkájában tevékenyen részt vettem, és PhD-kutatómunkám céljait ennek alapján a következőkben összegeztem:

I.) Egyes potenciálisan toxikus elemek speciációs és frakcionálási analitikai módszereinek fejlesztése üledék-, talajminták esetén; elsősorban fejleszteni kívánom a különböző frakcionálási módszereket az eddig alkalmazott módszerek hiányosságaik csökkentésével, különös tekintettel a BCR szekvens extrakciós módszerre.

II.) Új, a minta eredeti speciesz formáit megőrző frakcionálási módszerek keresése, áztatásos (leaching) metodikák helyett egy folyamatos áramlású kioldási módszer továbbfejlesztése, kinetikai egyenletekkel alátámasztva. E célból a korábban a tanszéken kidolgozott szuperkritikus folyadék extrakciós (SFE) módszer optimalizálása a potenciálisan toxikus elemtartalom meghatározásának céljából.

III.) Tavi üledékminták és talajminták pszeidototál- és frakcionált elemtartalmának összevetése, (geo)statisztikai kiértékelése és a várható nehézfém-tartalmak

modellezése a környezeti mobilitás meghatározása, kapcsolódva az EU Víz Keretirányelv (VKI) és a humánegészségügyi jogszabályi követelményekhez.

IV.) Tavi üledékminták γ -radioanalitikai vizsgálatai az üledékképződés időbeni lefolyásának és változásának értékelésére.

3. Irodalmi áttekintés

A környezettudományban általában a „nehézfém” kifejezést nem kizárólag a szó eredeti jelentésének (olyan fém, amelynek sűrűsége 5 g/cm^3 -nél nagyobb) megfelelően használják. Gyakran a potenciálisan toxikus elemek szinonimájaként találkozhatunk velük, így viszont olyan elemeket is a nehézfémekkel együtt kezelnek, amelyek kémiai szempontból nem sorolhatók ide, mint például az alumínium (Al), az arzén (As) vagy éppen a szelén (Se). Az elmúlt évtizedben a potenciálisan toxikus nehézfémek igencsak a figyelem középpontjába kerültek, széles körben alkalmazzák őket az iparban, kis mennyiségben létfontosságú szerepet töltenek be az élő szervezetek működésében (habár nagyobb mennyiségben már toxikusak lehetnek), továbbá néhány képviselőjük már igen kis koncentrációban toxikus lehet (Hg, Pn, Sn) (Csathó, 1994).

Toxikusnak tekintünk egy anyagot (kémiai elemet, vegyületeit, szerves anyagot), amennyiben káros hatást fejt ki a talajra, növényre, állatra, emberre. Egy anyag káros hatásának ismerete azonban nem mindig elegendő a károsítás mértékének előre jelzéséhez, hiszen a hatás nem független a környezetben előforduló más anyagok, kémiai elemek jelenlététől vagy hiányától, a lehetséges kölcsönhatásoktól (Kádár, 1998.).

A toxicitás függ az expozíciós időtől és a rendszeres, tartós, vagy akár kisebb dózisú terhelések, akár veszélyesebbek is lehetnek, mert nehezebben észrevehetőek ezek akkumulációja. A növekvő terhelés, akár krónikus kimenetelű elváltozásokat és zavarokat okozhatnak. A hirtelen bekövetkező, egyszeri nagy dózis letális dózispusztulást okozhat a szervezetben. A környezet igen változatos kémiai formákkal jellemző, melyek egyensúlyi folyamatokban egymásba alakulhatnak, így mind a toxicitásuk, mind a mobilizációs képességük is jelentősen változhat. A biogeokémiai körforgalom, mivel egy igen összetett rendszer, emiatt a mikroelemek, továbbá a potenciálisan toxikus elemek forgalmának megismeréséhez külön-külön és részleteiben, mélységeiben is szükséges vizsgálni a talajok, üledékek, növények, levegő és a víz ásványi összetevőinek változását (Kádár 1991; Gupta et al., 1996).

A környezeti elemek és a bioszféra komplex rendszerében lejátszódó folyamatok minél átfogóbb megismerése azért (is) fontos, mert ezen információk birtokában, mind a víz-, mind a talajszennyezések hordozta kockázatok- a potenciálisan toxikus elemek mozgékonyságának és felvehetőségének szabályozásával mérsékelhetők. A szennyezések terjedésének becslése, beleértve a hidrogeológiai viszonyok által meghatározott beszivárgó vízzel, valamint a domborzati és az éghajlati viszonyok által

meghatározott víz- és szélrózióval történő szennyezést, potenciálisan toxikus elemfelvételt a táplálékláncon keresztül, feltételezi a környezeti kockázatot jelentő PTE-koncentrációk ismeretét, ezért is szükséges és fontos a meghatározó folyamatok mechanizmusok feltárása (Dudka és Adriano, 1997).

Mint ismeretes a bioszféra alkotóinak (víz, talaj, levegő, növény, állat, ember) szennyeződése különböző kémiai elemekkel, így toxikus fémekkel a kémiai környezetterhelés egyik formája, mely alapvető egészségügyi, gazdasági és ökológiai jelentőséggel bír (Csathó 1994, Kádár 1995).

A Föld fizikai, geológiai, kémiai és biológiai állapota olyan transzport-, illetve átalakulási folyamatok összességével jellemezhető, amelyek a legtöbb esetben körfolyamatként írhatóak le. A biogeokémiai körforgalom megnevezés egy összetett fogalom, mert nemcsak az organogén elemek, hanem más elemek így a nehézfémek globális, illetve regionális körforgásának leírására is alkalmazható. A biogeokémiai körfolyamatok felállításának az alapja globális anyagmérleg, amely az egyes PTE-ekre külön-külön is elkészíthető. Az, hogy az egyes PTE-k milyen arányban fordulnak elő, vannak jelen és milyen módon képesek a migrációra az egyes geoszférák között. Az anyagmérleg az egyes PTE-kre is elkészíthető, mivel ezek tömege az egész Földet, mint reakcióteret tekintve nem változik (Ligetvári, 2000; Papp, 2002, 2010).

A PTE-k fizikai és kémiai tulajdonságaitól függ az egyes környezeti elemek közötti migráció és megoszlás, melyek közül a fontosabbak a következők: gyakoriságuk az egyes környezeti elemekben, a fázisok közötti megoszlása, a tenziója és az egyéb tulajdonságokat leíró paraméterek. Azt, hogy miként viselkednek az adott közegben döntően a kémiai tulajdonságaik határozzák meg, ilyenek példaként az oldhatóság, stabilitás, komplexképző sajátságok, különböző szorpciós képességek, stb; de ha kicsit mélyebben szeretnék betekinteni a viselkedésmechanizmusokban, nem mehetünk el a szóba jöhető kémiai reakciótípusok mellett sem; mint például a sav-bázis reakciók, komplexképződés, stb. Mindezen tulajdonságok közül a legkiemelkedőbb a biológiai rendszerekben történő feldúsulásuk, amelyek alapvetően meghatározzák az antropogén folyamatokat és azok végbemeneteit (Ligetvári, 2000; Papp és Kümmel, 1992).

A PTE-k és vegyületeik a legtöbb biológiai folyamatra jelentős hatást gyakorolnak, a legtöbb esetben az abiotikus rendszerek határfelületén (levegő-talaj, víz-üledék) koncentrálnak és a fizikai vagy kémiai paraméterek változásának hatására (pH, hőmérséklet, áramlási viszonyok stb.) mobilizálódnak. Természetes körülmények között a talajban és földtani képződményekben a biológiai rendszerek

számára többnyire hozzáférhetetlen formában, ásványokként vannak jelen, melyek a biogeokémiai körforgalomba természetes úton, ezen képződményeik mállásával kerülnek. Mobilizációjukhoz jelentős mértékben az antropogén folyamatok játszanak szerepet (energiaipar, nyersanyagkitermelés) (Papp, 2002, 2010; Papp és Kümmel, 1992).

Felvehetőségüket segíti a szerves komplexképzők jelenléte és a savas pH is, ahol a PTE-k nagyobb mennyisége kerül oldott formában a talajoldatban; viszont felvételüket csökkentik a csapadékképződési reakciók, melyekben ezen elemek oldhatatlanná válnak, pl. szulfidok, foszfátok, karbonátok formájában; továbbá a talajban az agyagok és szerves kolloidok felületén bekövetkező részleges fixáció, különösen a semleges és a lúgos kémhatású tartományokban. A talaj fizikai félesége, a hőmérséklet, a nedvesség, a napsütés (sugárzás), a talajjavítás, a trágyázás stb. mind befolyásolhatja a növények elemfelvételét (Gunn et al. 1988).

A teljes elemtartalom ismerete önmagában nem nyújt információt a biológiai hatások, és ezen keresztül a környezeti és humán-egészségügyi kockázat becsléséhez. Az elemek speciációja, illetve a geokémiai formák határozzák meg közvetlenül a környezeti elemekben való viselkedésüket, így a mobilitási viszonyokat és a potenciális biológiai felvehetőséget (Templeton et al., 2000; Roberts et al., 2003).

A PTE-kibocsátás forrásai a bányászati, az ipari, a mezőgazdasági, az élelmiszeripari termelésből származó, továbbá a közlekedési és a kommunális hulladékok. Ez utóbbiban az orvosi és egészségügyi egészségügyi források a következők szerint jelentkezhetnek (Genuis et al., 2012):

A terápiás alkalmazásokban: Ag, As, Au, Bi, Ga, Li, Pt, Ru, Sb, Sn, Ti, V;

Daganatellenes szerek: Pt, (kísérletek: As, Ga, Ru, Ti, Os, Ir, Rh, Pd);

Kontrasztanyagok: MR: Gd, Mn, Fe; XR: Ba; Röntgen: ¹³¹I;

Nanomedicina: CdS, CdSe;

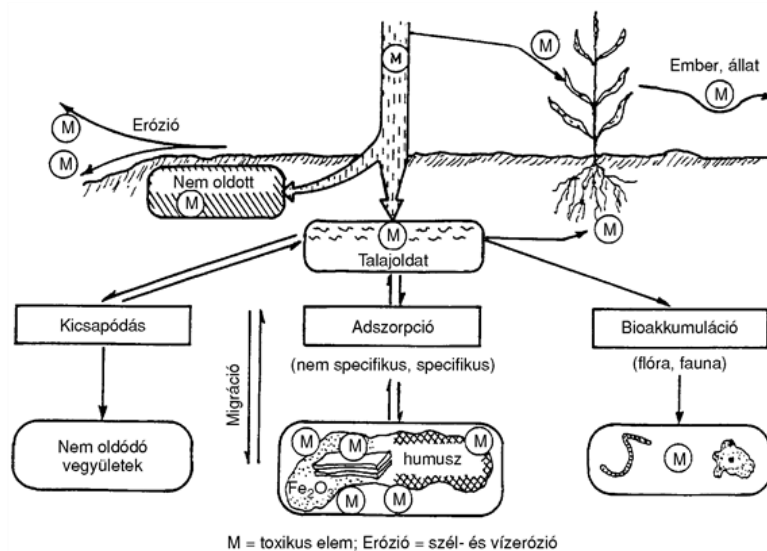
Ayurvédikus növényi gyógyszerek lehetséges szennyező PTE-kkel: Ag, Al, As, Cd, Cs, Co, Cr, Cu, Hg, Mo, Mn, Ni, Pb, Se, Sr, U, V, Zn, W;

Étrend-kiegészítők: Cu, Zn, Cr, Se.

3.1. A potenciálisan toxikus elemek jellemzéseik és viselkedésük

A PTE-k a vizekben oldott, szilárd, vagy diszpergált kolloidformákban lehetnek jelen. Hajlamosak szilárd formába alakulni kicsapódással, koprecipitációval, adszorpcióval és ioncserével, ezért a fémszennyezések nagy része az üledékben, illetve a lebegőanyagban található (1. ábra). Állóvizekben főként a fenéküledékbe kerülnek,

térbeli eloszlásuk pedig az áramlási viszonyok függvénye. A kiülepedés a szennyező forrásnál a legnagyobb, a távolság növekedésével pedig csökken.



1. ábra: A potenciálisan toxikus elemek megoszlása a talajban és a környezetben (Stefanovits et. al. 1992.)

A PTE-k szilárd fázisban leggyakrabban előforduló formái:

- önálló szilárd ásványi részecskékben;
- adszorpcióval részecskék felületén (mint agyag és szerves kolloidok) vagy elektromos töltésű szilárd felületeken;
- szerves anyagokban, mint huminkomplexek és sók formájában,
- karbonátokhoz kapcsolódóan;
- vas-és mangán-oxid, -hidroxidokon, amelyek önállóan, ill. nagyobb szilárd részecskék felületén vagy kristályszerkezetükbe beépülve fordulnak elő;
- szulfidvegyületekben;
- egyéb ásványi anyagokban (pl. szilikátok) szerkezetileg kötődve (Literáty,1982).

A PTE-k a talaj szilárd, illetve folyékony fázisában egyaránt megtalálhatók, ahol igen változatos kötésformákat hozhatnak létre. A szilárd fázisban megjelenhetnek az alapkőzet ásványi összetevőiként (a szilikátokban rácsalkotó ionokká válhatnak); kicserélhetően, vagy specifikusan adszorbeálódhatnak a talajkolloidokon; egyes anionokkal gyakran képeznek csapadékot, pl. karbonát (HCO_3^-), szulfát (SO_4^{2-}), foszfát (PO_4^{2-}) (Filep 1988, Stefanovits 1999). A talaj szilárd fázisában a talajkolloidok szerepe kiemelkedő. A 1-500 nm közötti szemcseméretű frakciót tekintik a

talajkolloidok mérettartományának. Közéjük tartoznak a különböző agyagásványok (montmorillonit, illit, halloisit, vermikulit, kaolinit) (Várallyay, 1990).

A talajkolloidok nagy mennyiségű fém kation adszorbeálására képesek, melynek egyik oka a nagy fajlagos felületük. A talajba kerülő fémek komplex vegyületeket, úgynevezett kelátokat képezhetnek a talaj szerves anyagaival, negatív ionokkal vagy semleges molekulákkal. Szerves komplexeik és kelátjaik fontosak a biológiai hozzáférhetőség szempontjából. A folyékony fázisban szabad hidratált ionok formájában, ionasszociációkban és szervesetlen komplexekben, diszpergált kolloidok alkotórészeként lehetnek jelen. Az egyes formák legtöbbször dinamikus egyensúlyban állnak egymással. A talajoldat kationjainak a talaj szilárd fázisában való megkötődése az adszorpciós reakciók csoportjába tartozik (Papp és Kümmel, 1992).

A fémionok a talajkolloidok felületén kationcsere útján kötődhetnek meg. A humuszkolloidok felülete számos negatív töltéssel bír. Abban az esetben, ha nagy mennyiségű fémiont juttatunk a talajba, az adszorpciós-, csapadékképződési folyamatok erősödnek fel, ha viszont a talaj pH-ja savas irányba tolódik el, akkor növekedhet a talajoldatba jutó fémionok mennyisége. Számos irodalmi hivatkozás számol be arra vonatkozóan, hogy a pH változása eltérő módon befolyásolja az egyes fémek mobilitását, illetve megkötődését a talajban (Stefanovits, 1989; Várallyay et al., 1989; Filep, 1999).

Az egységnyi tömegű szerves anyagnak nagyobb a kation- és anioncserélő kapacitása, mint az ásványoknak. A talajban található kis mennyiségük ellenére rendkívül jelentősek a nehézfémek megkötésében. A szerves kolloidok amorf anyagok, melyek igen fontosak a talajszerkezet kialakításában, valamint a talaj-, víz- és tápanyaggazdálkodásában. Az agyagásványokat és a Fe-, illetve Al-hidroxidokat részben humuszhártya veszi körül. A montmorillonit a kristályrács rétegei közötti felületen is köt meg humuszmolekulákat. A szerves anyag megváltoztathatja az ásványi kolloidok felületének sajátosságait. A létrejött bonyolult összetételű kolloidokat adszorpciós komplexumnak nevezik (Csathó, 1994.).

A talajok PTE-tartalmát befolyásoló tényezők:

A talaj háromfázisú diszperz rendszer, amelyben a szilárd fázis szervesetlen (ásványi) és szerves anyagokból, a talajoldat oldott sókból, oldott szerves anyagokból és gázokból, a talajlevegő pedig vízgőzből és különböző gázokból (CO₂, O₂, N₂) áll (Filep 1988; Várallyay 1990, Stefanovits et al. 1999). A talaj nehézfém-tartalmát, a

nehézfémek mobilitását és kimosódását a nehézfémek tulajdonságai, illetve a talajban lejátszódó fizikai-kémiai-biológiai folyamatok egyaránt befolyásolják.

A legfontosabb tényezők az alábbiak:

- a potenciálisan toxikus elemek kémiai tulajdonságai, ionformája, oxidációs foka;
- a talaj kémhatása,
- a talaj szerves és szervesetlen anyag (agyag és oxid) tartalma, és azok minősége;
- a talaj típusa, szemcseösszetétele;
- a talaj kationcsere kapacitása,
- a talaj redoxi viszonyai,
- a nehézfémek szinergizmusa, antagonizmusa (Kádár és Németh 2003; Kádár, 2008a., 2008b).

Filep (1988) szerint a PTE ionjai változatos kötési formákat hozhatnak létre a talaj folyékony és szilárd fázisában, amelynek eredményeképpen különböző mozgékonyaságú formákban vannak jelen a talajban:

1. Folyékony fázisban:

- szabad hidratált fémion ($[\text{Cd}(\text{aq})]^{2+}$, $[\text{Cu}(\text{aq})]^{2+}$, $[\text{Pb}(\text{aq})]^{2+}$),
- ionpárok és szervesetlen komplexek (CdCl^+ , CdCl_2 , PbCl^+ stb.) és
- szerves komplexek (humín- és fulvosav komplex) formájában.

2. Szilárd fázisban:

- szervesetlen kolloidokon kicserélhető és nem kicserélhető formában kötött fémionok,
- szerves kolloidokhoz kötött fémionok (kicserélhető formák és fém-huminsav komplexek) és
- csapadékok (PbCO_3 , CdCO_3 , CdS stb.) formájában.

Az üledékek keletkezése, felhalmozódása geológiai időskálán tekintve természetes folyamat, ami tavak esetében fokozatos feltöltődésben, elmocsarasodásban, végül kiszáradásban nyilvánul meg. Az emberi tevékenység (pl. erdőirtás, építkezés) hatására fokozódó erózió ugyanakkor felgyorsítja ezt a folyamatot. Az erózióra döntő hatással vannak a csapadékviszonyok és a talaj összetétele, továbbá a szervesanyag-tartalma is. Az üledékek szerkezetét, összetételét

a fenti egyszerű folyamatokon túl számos tényező befolyásolja (pl. éghajlati tényezők, áramlási viszonyok, élőlények tevékenysége, emberi hatások). Az üledékek jelentősége környezetvédelmi szempontból kiemelkedő. A klasszikus értelemben vett diffúz szennyező források (szárazföldről való lefolyás, kiülepedés a légkörből, stb.) a vízi ökoszisztémákat kívülről terhelik, a szennyezett üledékek viszont belső nem-pontszerű forrásként viselkedhetnek (Baudo & Muntau, 1990).

Az üledék a bioszféra oly fontos része, amely biztosítja a szükséges környezeti információkat, továbbá a potenciálisan toxikus nehézfémek végső precipitációs közege. Emellett a vízi élővilág alapját képező mikro- és makrofauna, mikro- és makroflóra fő táplálékforrását is jelenti. A PTE-k jelenléte az üledékekben minden vízi szervezetre és emberi életre hatással vannak, mivel a szövetekben felhalmozódás és biomagnifikáció révén beépülnek a táplálékláncba. Az üledék különböző részecskék heterogén keverékének tekinthető (Venkatramanan et al., 2015). Az üledékekben a PTE-k különböző módon kötődhetnek különböző kompartmentekhez: amorf anyagokban elzárva; agyagos felületeken vagy vas/mangán-oxi-hidroxidokon adszorbeálva; jelen van a másodlagos ásványok, például karbonátok, szulfátok vagy oxidok rácsában; és szerves anyagokkal vagy elsődleges ásványi anyagok, például szilikátok rácsával komplexálva (Peng et al., 2009). A szennyeztelen talajokban és üledékekben lévő PTE-k általában mozdulatlanok, és a szilikáthoz és az elsődleges ásványokhoz kötődnek (Ikem et al., 2003; Sungur et al., 2014).

Az egyes növények, növényi szervek eltérő mértékben veszik fel és akkumulálják a PTE-eket. A közvetlen emberi táplálékul szolgáló növények (zöldségfélék, gabonafélék) PTE-akkumuláló képessége megmutatja, hogy a lakosság mennyire veszélyeztetett egy adott terhelésnél. Ezek alapján a szennyezett területek minősíthetők és a szükséges védekező beavatkozások megtervezhetők. A fitotoxicitási határérték, ahol az adott PTE már mérgező a növény számára, amely nagymértékben függ a fajtól, a talajtípustól és számos környezeti faktortól is. Ezek mellett fontos hangsúlyoznunk a talajszennyezések táplálékláncre gyakorolt hatása is, amit a fogyasztásra kerülő növények, növényi részek PTE-tartalmának ismeretében ítélnünk meg (Kádár 1991, 1993, 1995; Szabó 1998; Fodor és Szegedi, 2006; Szabó és Fodor, 2006).

A PTE-ek számos ponton támadják a növényi anyagcserét is. Azáltal, hogy bekerülnek a növényi sejtekbe hatásukra számos enzim aktivitása megváltozik. A küszöbértéket meghaladó PTE-koncentráció, például megnöveli több antioxidáns enzim (pl. peroxidázok) aktivitását, ennek az az oka, hogy a potenciálisan toxikus

nehézfémek felvételének hatására szabad gyökök keletkeznek, melyek a biológiai membránokban lipid peroxidációt eredményeznek, ezáltal megnöveked a membránok permeabilitása, ami felborítja az egymástól elválasztott anyagcsere folyamatok zavartalan lezajlását. A cink csak a levelekben, a réz csak a gyökerekben, a kadmium kezelés pedig mind a hajtásban, mind a gyökérben emeli az antioxidáns enzimek aktivitását. Bizonyos koncentráció felett azonban ez a védekezés nem elég és súlyos következményekkel jár(hat) (Fodor et al., 2010; Németh et al., 1993; Németh és Kádár 1991; Simon 2006).

1985-ben Albasel és Cottenie arra a következtetésre jutottak, hogy a növények által felvett nyomelemek mennyisége jelentős mértékben függ a talajviszonyoktól. A PTE-ek nagy koncentrációja a talajban nem mindig jár együtt a növények nagy elemtartalmával, mivel a nyomelemek felvételét olyan tényezők szabályozzák, mint a pH és a szervesanyag-tartalom. Példának okául, jóval nagyobb a növények fémfelvétele olyan talajok esetében, ahol ólmon kívül cinket és mangánt is tartalmaz, de az egyes fémek talajban előforduló koncentrációja nem mindig áll arányban a növényekben mért koncentrációval.

Vannak olyan fémek, amelyek - bizonyos koncentrációban - az élő szervezet létműködéséhez feltétlenül szükségesek, mivel részt vesznek a szervezet anyagcsere folyamataiban és az enzimreakciókban. Ezek az ún. esszenciális elemek, pl. cink, kobalt, króm, mangán, molibdén, réz és vas, ők alkotják az első csoportot. A második csoportot a stimulatív mikroelemek (pl. titán) képezik, a harmadik csoportba pedig a toxikusnak ítélt (pl. ezüst, higany, kadmium, ólom) elemek sorolhatók (Fekete et al., 1991). Az első két csoport nem különíthető el élesen egymástól, ugyanis egy bizonyos koncentráció felett még az esszenciális fémek is lehetnek mérgezőek, illetve egy toxikus hatású fém is lehet esszenciális csekély mennyiségben (Zn, Mn, Co) (Duffus, 2002).

3.2. Extrakciós módszerek

A PTE-szennyezések okozta környezeti kockázatok becslésének kutatásában az 1990-es évektől kezdődően új irányzat alakult ki. Az egyes elemek összes koncentrációjának meghatározásán alapuló, addig általánosan és jogszabályban elfogadott értékeléssel szemben ismerni kell azok kémiai megjelenési formáját (oxidációs állapot, komplex, vagy molekula szerkezet) is, így nemcsak az élő szervezetbe bejutott elem mennyiségéről, hanem minőségéről is kaphatunk

információt. A teljes ökotoxikológiai és humán toxikológiai kockázatbecslés az összes elem teljes speciációját igényli, ami irreális analitikai feladat. Ezért a speciációs analízist célzottan alkalmazzuk (pl. Cr-szennyezés, Hg- szennyezés esetén, As-formák ivóvízben való megjelenése). Emellett ismernünk kell az adott elem szerves- vagy szervetlen komplexképző hajlamát, valamint adszorpciós kapacitását is (Heltai, 2005; Soriano-Dislaa, 2013). 2002-ben az Európai Unió a tagok közötti információcsere előre mozdulása érdekében létrehozták az EVISA (European Virtual Institute for Speciation Analysis); továbbá a [www.speciation.net] oldalt a speciációs analitika területén dolgozók támogatására.

Az intenzív fejlődés a kilencvenes években új terminológia kialakulását eredményezte. Egyre növekvő számban jelentek meg közlemények, amelyek a kémiai speciáció, műveleti speciáció és más hasonló kifejezéseket használtak, eltérő jelentéssel. Az IUPAC 2000-ben (International Union of Pure and Applied Chemistry) az egységes tárgyalásmód érdekében az alábbi fogalmak használatát javasolta ezen területen dolgozó szakemberek számára (Templeton et al., 2000):

- **Speciesz:** egy elem adott fiziko-kémiai formája (izotóp összetétel, elektronkonfiguráció vagy oxidációs állapot és/vagy komplex- ill. molekulaszervezet szerint) a vizsgált rendszerben.
- **Speciációs analízis:** egy vagy több egyedi kémiai speciesz minőségi és/vagy mennyiségi meghatározására irányuló analitikai kémiai tevékenység.
- **Speciáció:** egy elem eloszlása az adott rendszerben előforduló valamennyi kémiai speciesze között.
- **Frakcionálás:** különböző kötésformákkal jellemezhető specieszek elválasztása elsősorban többé-kevésbé szelektív oldószerek alkalmazásával (korábban műveleti speciációnak nevezték, a gyakorlatban nem megvalósítható teljes speciáció egyszerűbb releváns alternatívája).

A mérés lehet direkt, ún. *szilárd mintás* mérés (pl. LIBS, Mösbauer spektroszkópia, XRF), illetve *talajkivonat* készítést követő analízis. A szilárd mintás méréssel összelemtartalom meghatározás érhető el, míg oldatkészítéskor lehetőség van részletes, az élőlények számára felvehető frakciók meghatározására. Az adott elem környezeti mobilitásának megbecslése az eltérő kötésformáinak különböző oldhatóságán alapul. Az agrokémiában a minta részleteihez adjuk hozzá a különböző reagenseket; míg a környezeti kémiában ugyanazon mintához, egymást követő

lépésekben végezzük el a kioldásokat; úgy, hogy minden lépés között elválasztjuk a fázisokat.

3.2.1. Egylépéses extrakciós módszerek

Az üledékek, talajok potenciálisan toxikus nehézfém-tartalmának vizsgálatára, környezet toxikológiai jellemzésére nélkülözhetetlen eszköz az ún. lépésenkénti vagy szekvens extrakció. Ebben az esetben a szilárd bemérést követően talajkivonatot készítenek; úgy, hogy a mintát meghatározott extraháló szerekkel: vízzel (MSZ 21470-50:2006), KCl-EDTA-val (MSZ 20135:1999), DTPA-val (Sahuquillo et al., 2003; Bakircioglu et al., 2011), CaCl₂-dal (Houba et al., 1986, 1991, 2000), Ammónium-laktáttal (Egner et al., 1960), Lakanen-Erviö eljárással (MSZ 20135:1999, Lakanen & Erviö, 1971), HNO₃/H₂O₂-dal (MSZ 21470-50:2006) vagy királyvízzel (MSZ EN 16170:2017) kezelik. Erre van is egy magyar szabvány (MSZ 21470-50 1998), azonban ez eltér az Európai Unió ajánlásaitól, ugyanis a Magyar Szabvány *egylépéses extrakciók* sorozatát írja elő, mindig az eredeti mintával, így minden extrahálószer után (1. táblázat) más információ tartalommal bíró extraktumot kapunk.

1. táblázat: A Magyar Szabvány szerinti egylépéses extrakciós módszerek üledékek és talajok elemtartalmának meghatározásához

Extrahálószer / eljárás MSZ – 21470-50 (1998)	Információ
minta + H ₂ O	vízoldható (mobilis) elemtartalom
minta + 0,02 mol dm ⁻³ EDTA / 0,5 mol dm ⁻³ NH ₄ OAc	felvehető (növényi) elemtartalom
minta + HNO ₃ / H ₂ O ₂ MW roncsolás	összes mobilizálható elemtartalom
minta + királyvizes feltárás	összes elemtartalom (szilikátok nélkül)

3.2.2. Többlépéses extrakciós módszerek

Az eredeti Tessier (Tessier et al. 1979)-féle sémára alapozva több 5-8 lépéses módszert dolgoztak ki, amely során fokozatosan lebontják, feloldják az eredeti minta struktúráját.

A nyomelemek elválasztásának definiálásakor, úgy választották ki a frakciókat, hogy azok különféle módon befolyásolják a környezeti feltételeket, ennek eredményeképpen az alábbi 5 frakciót választották ki (2. táblázat):

(1.) Kicserélhető: Számos tanulmányt végeztek üledékeken vagy azok fő alkotó elemein (agyag, vas és mangán hidratált oxidjai, huminsavak), melyeken a

nyomelemek adszorpcióját tanulmányozták; a víz ionos összetételében bekövetkező változásokat; amelyek befolyásolják szorpciós-deszorpciós folyamatokat.

(2.) Karbonátokhoz kötött: Több kutatás kimutatta, hogy szignifikáns kapcsolat van az üledékek nyomelem koncentrációja és a karbonáttartalom között; mely frakcióra hatással van a pH-változás.

(3.) Redukálható (vas) mangán oxi-hidroxidokhoz kötött elemtartalom: Anoxikus körülmények között termodinamikaileg instabilak.

(4.) Szerves anyagokhoz kötött: A nyomelemek a különféle módon kötődhetnek a szerves anyag (élő szervezetek, ásványi szemcsék bevonata, ...) eltérő formáihoz. Oxidáló körülmények között a természetes vizekben a szerves anyag lebontható, oldódó anyagban felszabadulhatnak a kérdéses elemek.

(5.) Reziduális: Miután az említett 4 frakciót kinyertük, a szilárd anyag maradéka visszamaradt elsődleges- és másodlagos ásványi alkotói kristályrendszerükben még nyomelemet tartalmaznak, melyek már nem várhatóak, hogy oldatba kerüljenek ésszerű idő alatt normál természeti körülmények mellett.

2. táblázat: Üledékek elemtartalmának frakcionálása Tessier-szerint (Tessier et al. 1979)

Tessier-féle (eredeti) szekvens extrakció	Kémiai információ
1. lépés: minta + 1 mol dm ⁻³ MgCl ₂ (pH=7)	kicserélhető elemtartalom
2. lépés: 1. lépés maradéka + 1 mol dm ⁻³ NaOAc (pH=5)	karbonátokhoz kötött elemtartalom
3. lépés: 2. lépés maradéka + 0,04 mol dm ⁻³ NH ₂ OH * HCl 25 v/v%-os HOAc	Fe- és Mn-oxidokhoz kötött elemtartalom
4. lépés: 3. lépés maradéka + 0,02 mol dm ⁻³ HNO ₃ + 30% v/v H ₂ O ₂ , majd + 30% v/v H ₂ O ₂ , majd + 3,2 mol dm ⁻³ NH ₄ OAc	szerves anyagtartalomhoz kötött elemtartalom
5. lépés: HF + HClO ₄ -os feltárás	reziduális frakció

Számos többlépéses, áztatásos módszerről találunk leírásokat, ilyen például Tessier mellett a Leleyter és Probst által alkalmazott 7 lépéses áztatásos módszere nyomelemek speciációjára, melyet a 3. táblázat foglal össze.

3. táblázat: 7-lépéses áztatásos módszer (Leleyter és Probst 1999)

7-lépéses áztatásos módszer	Kémiai információ
H ₂ O	vízoldható elemtartalom
1 M-os MgNO ₃	kicserélhető elemtartalom
1M-os CH ₃ COONa pH=4,50 (HOAc)	karbonátokhoz kötött elemtartalom
0,1M-os NH ₂ OH*HCl	mangán oxidokhoz kötött elemtartalom
0,2M-os (NH ₄) ₂ C ₂ O ₄ – 0,2M-os C ₂ H ₂ O ₄	amorf vasoxidokhoz kötött elemtartalom
0,2M-os (NH ₄) ₂ C ₂ O ₄ – 0,2M-os C ₂ H ₂ O ₄ – 0,1M-os C ₆ H ₈ O ₆	kristályos vasoxidokhoz kötött elemtartalom
0,02 M-os HNO ₃ és 35 %-os H ₂ O ₂	szerves anyagokhoz kötött elemtartalom
3,2 M-os NH ₄ OAc (20 v/v%-os HNO ₃)	

Az elemtartalom frakcionálására a BCR (Community Bureau of Reference) ajánlás szerinti eljárást alkalmaztam, amely egy 3+1 lépéses ajánlás (4. táblázat). A BCR protokoll rendkívül időigényes (5-7 nap), s az extraktumokban nem őrizhető meg az egyes elemi specieszek eredeti formája. A BCR szekvens extrakció módszerét meghatározó protokoll (Ure et al.; 1993; Quevauviller et al. 1997; López-Sánchez et al. 1998; Cappuyns et al. 2007; Chang et al., 2009; Horváth et al., 2010; Nemati et al., 2011; Li et al. 2013) pontosan ismerteti az extrakció lépéseit, a felhasználásra kerülő vegyszerek típusát és minőségét, hígításuk menetét, műszeres analitikai meghatározását mátrixillesztéses kalibráció mellett. Az eljárások közötti változás az extraháló szerek pontos pH beállítását, valamint a szerves anyag roncsolásakor alkalmazott főzési módszer hidrogén-peroxid mennyiségét módosítja.

4. táblázat: Az EU BCR által ajánlott (3+1) lépéses extrakciós módszer üledékek és talajok elemtartalmának frakcionálására (Ure et al. 1993)

BCR háromlépcsős szekvens extrakció	Kémiai információ
1. lépés: minta + 0,11 mol dm ⁻³ HOAc	vízoldható, kicserélhető és a karbonátokhoz kötött elemtartalom
2. lépés: 1. lépés maradéka + 0,1 mol dm ⁻³ NH ₂ OH * HCl (pH = 2)	redukálható (vas) mangán oxihidroxidokhoz kötött elemtartalom
3. lépés: 2. lépés maradéka + 8,8 mol dm ⁻³ H ₂ O ₂ roncsolás + 1 mol dm ⁻³ NH ₄ OAc (pH =2)	oxidálható (pl. szulfidokhoz és szerves anyagokhoz kötött) elemtartalom
+ 1. lépés: 3. lépés maradéka királyvizes feltárással	reziduális frakció
+ 2. lépés: eredeti minta királyvizes feltárással	pszeudototál elemtartalom

Módszertani problémákat és a megoldásukra irányuló kutatásokat az alábbi összefoglaló 5. táblázat mutatja be (Heltai et al., 2018):

5. táblázat: BCR és az SFE módszertani problémái és azok megoldásai

A BCR-eljárás hiányosságai	Fejlesztési lehetőségek, megoldások
<p>Nem illeszkedik a természetes mobilizáció kémiaiába ↔ immobilizációs utak.</p> <p>A BCR eljárás első lépése a savas reagenssel történő kioldás, amely megváltoztathatja a fémfajták ép formáit, ezért a kivonatból az eredeti speciesz nem azonosítható, ökotoxikológiai vizsgálatokhoz nem használható.</p> <p>A többlépcsős szakaszos kioldás legalább 5 napot vesz igénybe.</p> <p>Az extrakciós lépések szelektivitását és teljességét erősen befolyásolja a reagens-oldószer arány és a kioldás technikai feltételei (pl. rázó fordulatszám).</p> <p>A számos művelet és a reagens alkalmazása miatt nagy a (kereszt)szennyeződés kockázata. Az elsődleges alkalmazást üledékekre dolgozták ki. A talajokat és más mátrixokat kevésbé vették figyelembe, ezért a CRM csak az üledékekre áll rendelkezésre a hat elem (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn) frakcionálására validálva BCR-eljárásban.</p> <p>Egyes extraktumokban az extraháló reagens nagy koncentrációja miatt a spektrokémiai elemdetektálás erős mátrixhatásokkal terhelt, s különösen a multielemes technikák (ICP-OES, ICP-MS) alkalmazása esetén mátrix illesztés kalibráció nélkül nem juthatunk megbízható elemzési eredményekhez.</p>	<p>A környezeti mobilizáció kémiaiának jobb követése: a karbonizációs mobilizáció modellezése szuperkritikus extraktorban szuperkritikus CO₂, szubkritikus H₂O és H₂O/CO₂ oldószerek alkalmazásával.</p> <p>Nagyméretű (1–10 kg befogadó képességű) közet-, üledék-, talajoszlop felülről történő átmosása a természetes viszonyokat modellező oldószerekkel (víz, sóoldatok) és sebességgel (0,1–10 L/nap) elsősorban hidrogeológiai célokra.</p> <p>Vizes extrakció alkalmazása ökotoxikológiai tesztek kidolgozásához. Nehézfémekkel szennyezett vízi üledékekből centrifugálással kinyert póruszvíz, a hideg vizes extrakció és a szuperkritikus extraktorban szubkritikus vízzel végzett extrakció alkalmasnak bizonyult ökotoxikológiai tesztek alkalmazására</p> <p>Az áztatásos kioldási technika gyorsítása ultrahang, illetve mikrohullámú besugárzás segítségével.</p> <p>Folytonos áramlású extrakciós technikák kidolgozása:</p> <p>1) 0,25–5 g szilárd minta vizsgálatához kialakított, membránszűrőkkel határolt átfolyós keverőkamra, mágneses keveréssel ellátva. Az oldószereket perisztaltikus pumpával folyamatosan vezetik át a kamrán. Ehhez hasonló a kvarcszűrőkkel kialakított hengeres mikrooszlop-technika, amelyben azonban mindössze 5–25mg minta vizsgálható.</p> <p>2) Szuperkritikus extraktorban szuperkritikus CO₂, szubkritikus H₂O és H₂O/CO₂ oldószerek egymást követő alkalmazásával vízzoldható és hidrogén-</p>

A BCR-eljárás hiányosságai	Fejlesztési lehetőségek, megoldások
	<p>karbonát formában oldódó frakciók különíthetők el az eredeti specieszek megőrzésével.</p> <p>3) A 20 mL térfogatú, speciális planetáris centrifugán forgatott spirális oszloppal sikerült megvalósítani az extrahálószer folyamatos átáramlását az oszlopba töltött 0,5g szilárd mintán keresztül anélkül, hogy az oszlop ki- és bemenetét membránszűrőkkel kellene lezárni. Ezzel a berendezéssel talajok, üledékek, hordalékok elemtartalmának frakcionálása különböző reagenseket alkalmazó szekvenciális extrakciós eljárásokkal is megvalósítható volt.</p> <p>A reagensek és műveletek számának csökkentése, ez leginkább a folyamatos áramlású rendszerekkel valósítható meg. Az alkalmazási terület bővítése különböző minta-mátrixokra: talaj, szállópor, vörösiszap, komposzt, biofilm. A foszfor, az arzén, a szelén és más elemek frakcionálására más, a BCR-től eltérő frakcionálási eljárásokat (reagenseket) alkalmaznak.</p> <p>Multieleemes spektrokémiai elemvizelés kalibrálása és validálása különböző mintamátrixokban és extraháló oldatokban.</p>

Habár a szuperkritikus folyadék extrakció már 1900-as évektől ismert volt, de a berendezések kereskedelmi forgalomba hozatala csak az 1900-as évek közepére tehető. Az SFE nem érte el az ún. „black box” stádiumát; ahol az analízis egyik oldalán bejuttatjuk a mintát; majd a másik oldalon megkapjuk az eredményeket; viszont ezeket anélkül nem érthetjük meg míg nem látjuk, hogy mi megy végbe a két pont között. Az eljárás az alábbi módszerek bármelyikével végrehajtható, ezek lehetnek a statikus, dinamikus és statikus-dinamikus módok. Dinamikus mód során folyamatos, friss oldószer adagolásával valósul meg. Hétköznapi életben ilyen a kávé lefőzése. Statikus mód legegyszerűbb esete a teafilter és a forróvíz. Állandó mennyiségű oldószert alkalmazunk, ami a mintamátrixnak vagy a vizsgált komponens-diffúzióknak vagy a recirkulációnak van kitéve. Általában a statikus extrakciót néhány percnél tartó dinamikus extrahálás követi, amikor extrahált komponensek eltávolításra kerülnek az

extrakciós edényzetből. A dinamikus extrakció sokkal kimerítőbb, mint a statikus. A dinamikus eljárás kedveltebb módszer az esetek 90%-ában. A harmadik lehetőség a statikus-dinamikus mód, mely során az extrakciót statikus módban kezdjük el, nincs áramlás a rendszeren keresztül. Amikor az extrakció egy meghatározott ideig zajlott (eddig statikus), majd a szelepek kapcsolásával a rendszer dinamikus állapotba kerül (Stahl, 1988).

Az extrakciót meghatározó faktorok (az extrakció módjától függetlenül, de a mátrixból kinyert „komponens” az alábbiaktól függ):

- a vizsgált anyag oldhatósága az oldószerben,
- a vizsgált anyag és a mátrix interakciója,
- a vizsgált komponens helyzete a mátrixon belül és
- a mátrix porozitása.

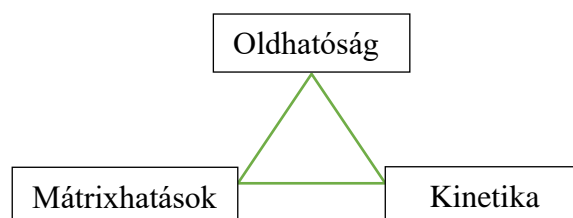
A „komponens” mátrixból történő eltávolítása az különböző mértékben függ:

- a vizsgált komponens oldhatósága a szuperkritikus oldószerben,
- a vizsgált anyag és a mátrix interakciója,
- a vizsgált komponens helyzete a mátrixon belül és
- a mátrix szabad térfogata (Hawthorne, 2000).

3.3. Kinetikai tanulmányok megalapozása

A kioldás egy összetett folyamat, melyet számos tényező - beleértve az eljárás paramétereit is – befolyásol. Az SFE kinetikáját meghatározó 3 faktor a következő.:

A szuperkritikus folyadék extrakció „háromszöge” Westwood (1992) alapján:



(1.) Az oldott anyagnak elegendő mértékben kell oldódnia a szuperkritikus folyadékban. Ha az oldhatóság nem elegendő, akkor modifikátor hozzáadásával javítható.

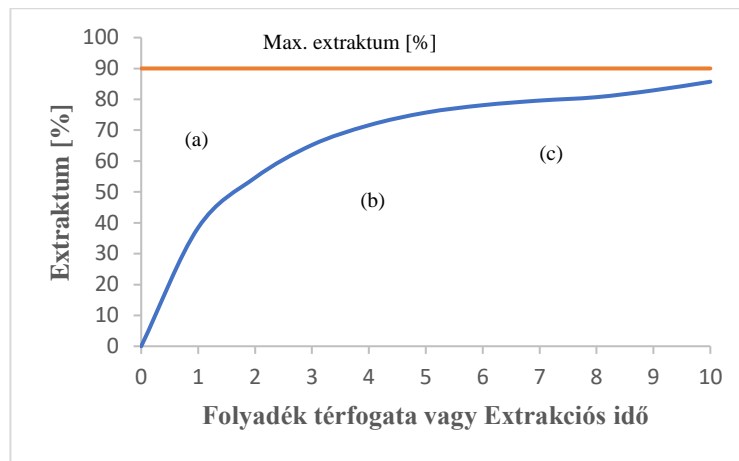
(2.) A diffúzióknak viszonylag gyorsnak kell lennie, amely függ a diffúziós együtthatótól és a „mátrix” méretétől.

(3.) A vizsgálandó komponens(ek)e)t ki kell „szabadítani” a mátrixból.

Számos mintamátrix paraméter befolyásolja az SFE módszerét. Általában a finomra aprított minta elősegíti a gyors folyamatot (magnövelt fajlagos felület miatt), az oldott anyag javított tömegátvitelének köszönhetően az áramló fluidumból. A mintát alkotó részecskék alakja szintén befolyásolja az extrakció kinetikáját, továbbá a gömb alakú részecske-forma nem túl előnyös megoldás a gyors és teljes SFE-hez. Nagy felületű minták esetén általában könnyebben kioldhatóak az elemek, mint a felület- vagy porozitás nélküli anyagokból. Tudni illik, hogy a minták morfológiai változásnak vannak kitéve, mivel a nagy nyomáson tartott folyadékok behatolnak a minta mátrixába, mellyel megváltoztathatják a minták eredeti morfológiáját (Suyder et al., 1984; McHugh and Krukoni, 1989).

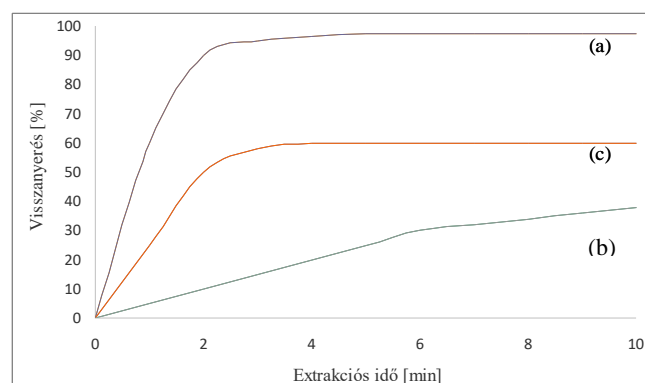
Vannak, olyan mintát jellemző mátrixparaméterek, melyek befolyásolják a szuperkritikus extrakció eredményességét, ezek között meg kell említenünk a minta méretét, alakját, területét, porozitását, nedvességtartalmát, morfológiai változását és extrahálhatósági szintjét. Az oldhatóságot befolyásoló paraméterek pedig az alábbiak: gőznyomás, kölcsönhatás a szuperkritikus folyadékkal, hőmérséklet, nyomás, denzitás és az adalékanyagok (Sairam et al. 2012.).

King és munkatársai (1993) a különböző fázisok megoszlását tanulmányozták a fluidum térfogata vagy az extrakciós idők függvényében és arra a megállapításra jutottak, hogy a görbék három főbb szakaszra bonthatóak fel: egyensúlyi-, átmeneti- és szabályozott fázisra; melyek esetünkben is jól elkülönülnek, amelyet az 2. ábra mutat be.



2. ábra: Fázisok megoszlása a fluidum térfogata vagy az extrakciós idők függvényében: (a) egyensúlyi-szabályozott szakasz, (b) átmeneti szakasz és (c) diffúzió-szabályozott szakasz (King et al., 1993)

A szuperkritikus extrakciós hozamot ábrázolva az extrakciós idő függvényében minden esetben hasonló alakú görbét kapunk, eltérések az extrakciós időtartamából adódóan lehetnek. A görbék egy kezdeti, közelítőleg lineáris emelkedő szakasszal (átmeneti szakasz) és a végső hozam által meghatározott vízszintes vonalhoz aszimptotikusan görbülő szakasszal jellemezhetőek. Az első, lineáris rész a végrehajtott extrakció körülményei között fennálló egyensúlyi állapotokra jellemző oldhatósággal arányos. A „végső” részhez tartozó görbét az extrakció végén a szilárd fázisban történő diffúzió határozza meg. Ekkor az extrakció sebessége (görbe meredekség) gyorsan csökken, mivel az oldható anyag a szemcsékből nehezebben nyerhető ki. Az anyagmegmaradási egyenletekből származó matematikai modellek lehetővé teszik az extrahált anyag mennyiségének meghatározását az idő függvényében és / vagy a töltet maradék koncentrációjának meghatározását egy adott időpillanatban a hely függvényében (Clifford, 2000, Sapkale et al. 2010).



3. ábra: Extrakciós profil a különböző kioldások esetében (Clifford 2000, Sapkale et al. 2010)

Általánosságban elmondható, hogy három „alap” extrakciós profilt (3. ábra) tudunk megkülönböztetni eltérő kioldási körülmények alapján, melyek a következők:

- (a) Egy tipikus szabályozott diffúzió görbéje. A kioldás kezdetben gyors, majd végezetül megközelíti a 100%-ot.
- (b) Az oldhatóság korlátozottságát mutatja a görbe. Az extrakció aránya közel állandó és csak a kioldás végén laposodik el a görbe.
- (c) Ahol jelentős mátrixhatások figyelhetők meg, valamiféle reverzibilis interakció következményeként (pl. deszorpció). A görbe ellaposodik, nagyon nehéz megmondani, hogy a „teljes” extrahálás eléri-e majd a 100%-ot (Clifford, 2000; Sapkale et al. 2010).

Az alábbi négy pontnak feltétlenül teljesülni kell ahhoz, hogy az tudjuk mondani, hogy az extrakciós vizsgálatunk sikeres, melyek az alábbiak:

- (1) Meg kell vizsgálni a vizsgálandó anyag szerkezetét.
- (2) Meg kell találni vagy meg kell határozni a vizsgált komponensek oldhatóságát a szerves oldószerekben.
- (3) El kell végezni a vizsgálandó komponensek szuper kritikus folyadék extrakcióját egy inert közegből.
- (4) Optimalizálnunk kell az SFE módszerét, nem ajánlott egyszerre több változót megváltoztatni, mert néhány SFE paraméter függ egymástól (King és France, 1992).

Az üledékben lévő mobilizálható PTE mennyiségének meghatározása a környezetszennyezés felmérésének egyik vezető mutatója. Ezért az üledék minőségét rendszeresen ellenőrizni kell a vízminőség fenntartása érdekében a fenntartható kezelés és hasznosítás érdekében.

3.4. Az Európai Unió Vízkereit irányelve és határértékek

Az Európai Unió csatlakozásunkkal vállaltuk, hogy megfeleljünk az általuk felállított irányelveknek. Ilyen irányelv a Vízkereit Irányelv, amely előírja minden tagállamnak a vízgyűjtő-gazdálkodási tervének elkészítését, melyet 6 évenként kötelező felülvizsgálni. Kormányunk 2022-ban elfogadta a 3. vízgyűjtő-gazdálkodási tervet (VGT3: 2022-2028) (Magyar Közlöny, 2022). Az egyes szabályokról szóló 221/2004. (VII. /21.) kormányrendeletben rögzítették a részletes meghatározásokat.

„A VKI célja, hogy a felszíni és felszín alatti vizek, valamint a vizekkel kapcsolatban lévő védett területek „jó állapotba” kerüljenek. Emellett a következő általános célokat is kitűzi:

- ✓ a vízi és vizes élőhelyek romlásának megakadályozása, védelme, állapotok javítása,
- ✓ a fenntartható vízhasználat elősegítése a hasznosítható vízkészletek hosszú távú védelmével,
- ✓ a vízminőség javítása a szennyezőanyagok kibocsátásának csökkentésével, veszélyes anyagok fokozatos kiiktatása,
- ✓ a felszín alatti vizek szennyezésének fokozatos csökkentése és további szennyezésük megakadályozása,
- ✓ az árvizek és aszályok kedvezőtlen hatásainak mérséklése.”

A VKI 2015. december 22-re tűzte ki a „jó állapot” vagy potenciál elérését, melynek teljesítése alól indoklással 2021-ig vagy 2027-ig vagy éppen tartósan mentességet lehet alkalmazni.

Célkitűzéseik várható megvalósítók alapján a következő csoportokba oszthatjuk:

- (1.) Mezőgazdaságot érintő tápanyagszennyezést csökkentő, továbbá a vízkivételeket, ezen belül öntözési vízszükségleteket mérséklő intézkedések,
- (2.) Településfejlesztést és üzemeltetést érintő, kisebb részben a belterületi köz- és magánterületet érintő intézkedések,
- (3.) Árvízvédelem, a vízfolyások és állóvizek medrét és partját érintő hidromorfológiai állapotjavító beruházások, beavatkozások,
- (4.) Fenntartható termálvíz-hasznosításra vonatkozó intézkedések
- (5.) Veszélyes anyagok kibocsátásának csökkentése (mint például: ipar, mezőgazdaság, szennyvízkezelés).

Az intézkedési program a korábbi VGT-khez képest nem változott. A VGT3 tervezése során, több mint 886db hazai vízfolyásra, víztestre készült ökológiai állapotértékelés. A környezetvédelmi törvények célja az ember és környezete harmonikus kapcsolatának kialakítása, a környezet egészének, valamint elemeinek és folyamatainak magas szintű, összehangolt védelme, a fenntartható fejlődés biztosítása.

33/2000 (III.17) Korm. Rend. A felszín alatti vizek minőségét érintő tevékenységekkel összefüggő egyes feladatokról:

1. § A rendelet célja: a felszín alatti víz terhelésének lehetőség szerinti elkerülése, a felszín alatti víz és a földtani közeg szennyezésének megelőzése, a bekövetkezett határértéket meghaladó szennyezettség, károsodás mértékének csökkentése, megszüntetése, valamint ezek érdekében szabályok megállapítása, mindezeknél törekedve a legjobb elérhető technika alkalmazására.

3. § E rendelet alkalmazásában

- földtani közeg: a föld felszíne és felszín alatti rétegei (a talaj, a kőzetek, beleértve az ásványokat és ezek természetes és átmeneti formáit);

- szennyezés: felszín alatti víz, földtani közeg kedvezőtlen állapotához vezető kibocsátás, amely kockázatos az emberi egészségre, a vizek használatára, az engedélyezett környezethasználatokra, valamint kedvezőtlen az élővilágra;

- szennyezettség: szennyezés hatására a felszín alatti vízben vagy a földtani közegben kialakuló kockázatos anyag koncentráció, amely jellemezhető szennyezettségi határértékekkel;

- (B) szennyezettségi határérték: jogszabályban vagy ennek hiányában hatósági határozatban - felszín alatti víznél az ivóvízminőség és a vízi ökoszisztéma igényei, földtani közeg esetében a talajok multifunkcionalitásának és a felszín alatti vizek szennyezéssel szembeni érzékenységének figyelembevételével - meghatározott kockázatos anyag koncentráció;

- (E) egyedi szennyezettségi határérték: a telephelyen a (B) szennyezettségi határérték helyett - a Kt. hatálybalépésekor már folytatott tevékenység esetében, vagy azokon a területeken, ahol az (Ab) bizonyított háttér-koncentráció meghaladja a (B) szennyezettségi határértéket - a helyzet tényleges ismerete alapján mennyiségi kockázatfelmérésre támaszkodóan, a területhasználat figyelembevételével hatósági határozatban megállapított szennyezettségi határérték. Az (E) egyedi szennyezettségi határérték nem lehet szigorúbb a (B) szennyezettségi határértéknél és nem lehet enyhébb a vizsgálatlaltal megállapított tényleges szennyezettségi koncentrációnál, illetve a (D) kármentesítési szennyezettségi határértéknél;

- (Ci) intézkedési szennyezettségi határérték: jogszabályban vagy ennek hiányában hatósági határozatban meghatározott kockázatos anyag koncentráció, amelyet meghaladó érték esetén - (E) egyedi szennyezettségi határérték vagy (D) kármentesítési szennyezettségi határérték hiányában - a kormányhivataloknak (korábban környezetvédelmi felügyelőségnek) intézkednie kell;

- (D) kármentesítési szennyezettségi határérték: komplex értékelésen, a kockázatos anyagnak a környezeti elemek közötti megoszlására, viselkedésére, terjedésére vonatkozó méréseken vagy modellszámításokon, mennyiségi kockázatfelmérésen alapuló, a területhasználat figyelembevételével, a kármentesítési eljárás keretében, hatósági határozatban előírt koncentráció, amelyet az emberi egészség és az ökoszisztémák károsodásának megelőzése érdekében a kármentesítés eredményeként el kell érni;
- monitoring: a felszín alatti víz, földtani közeg mindenkori állapotának, terhelésének, szennyezésének (beleértve a szennyeződésterjedést is) és igénybevételének megismerésére, illetőleg az állapotváltozás nyomon követésére szolgáló mérő-, megfigyelő-, észlelő- és ellenőrző hálózat az adatok mérésével, gyűjtésével, feldolgozásával, nyilvántartásával és értékelésével, szükség szerint más környezeti elemre is kiterjedően;

A földtani közeg és a felszín alatti víz szennyezéssel szembeni védelméhez szükséges határértékekről és a szennyezések méréséről 6/2009. (IV. 14.) KvVM-EüM-FVM együttes rendelet foglalkozik. Anyagcsoportonként megadják a (B) szennyezettségi határértékeket (6. táblázat) földtani közegre és a felszín alatti vizekre egyaránt, mely még kitér a mintavétel és a minták analitikai vizsgálatára is.

6. táblázat: Anyagcsoportonként (B) szennyezettségi határértékek földtani közegre

Fémek/félfémek megnevezése	B [mg/kg sz. a.]
Króm összes	75
Króm VI.	1
Kobalt	30
Nikkel	40
Réz	75
Cink	200
Arzén	15
Szelén	1
Molibdén	7
Kadmium	1
Ón	30
Bárium	250
Higany	0,5
Ólom	100
Ezüst	2
Antimon	5
Bór (B)	1000

3.5. Geokémiai indexek

A geokémiai indexek a környezetben lévő elemek arányai és a háttérben lévő referenciakonzentrációk között, és a talaj fizikai és kémiai fejlődésének értékelésére használják a geológiai idők folyamán (Mikkonen et al., 2016). A környezetvédelmi vizsgálatokban a leggyakrabban használt talaj szennyeződés értékelési módszerek két csoportba sorolhatók csoportba, nevezetesen a kvantitatív és a kvalitatív módszerek közé (Wu et al., 2014).

A kvantitatív módszerek magukban foglalják az egyes PTE koncentrációk értékelését a vizsgált helyen referencia értékekkel szemben. Ezt a referencia értéket geokémiai háttérnek, alap- vagy normálértéknek nevezik, melyet az „anyakőzet” összetételének vizsgálatával (Taylor and McLennan, 1985; Rudnick and Gao, 2003) vagy különféle analitikai és/vagy statisztikai módszerek alkalmazásával, regionális és nemzeti szintű léptékben határozzák meg.

Az analitikai kémiának 2 fontos szerepe van a környezeti geokémiában és annak megértésében, az egyik; hogy a PTE-k és a földtani anyagok minőségi és mennyiségi meghatározása, illetve a „tipikus” geogén eredetű elemek (ilyenek például az As és F); továbbá a megfelelően kiválasztott analitikai kémiai módszerek, mérés technikák alkalmazása az elemek geokémiai viselkedésének megértéséhez (Armienta, 2018).

3.6. Cézium izotóp radioanalitikai analízise

1986. április 26-án baleset történt az ukrain Csernobil és Pripjaty között található Vlagyimir Iljics Lenin Atomerőműnek 4-es számú blokkjában. Az ezt követő kilencnapos tűz volt felelős a radioaktivitás fő környezetbe jutásáért. Nagyjából az összes xenongáz, a cézium és a jód 20%-a, és a reaktorban maradt radioaktív anyagok 5%-a a baleset következtében felszabadult. A baleset következtében felszabadult, ami több mint egy millió tonna radioaktív anyagot jelentett, több; mint 8×10^{18} Bq (1becquerel 1 bomlás másodpercenként) a hasadási termékekből a légkörbe (Mould, 2000). Az emberiség legnagyobb atombaleseteként tartják számon. A tavakban számos radionuklid könnyen adszorbeálódik a lebegő részecskék által és feltehetően leülepednek a fenéken. Az üledékben lévő radionuklidok teljes mennyisége számos fizikai, geokémiai és biológiai tényezőtől és folyamattól függ (Ilus & Saxén, 2005).

A vízi környezetben, mint például a részecskéképződés, az üledékképződés sebessége, a reszuszpendálás, az üledék típusa, a részecskék koncentrációja a mélyben lévő területekre, a részecskék eltávolítása a talajból a tóból áramló vízzel, stb.

A természetes cézium (Cs) egyetlen stabil izotópból, ^{133}Cs -ból áll (tiszta elem). Ezen kívül 39 radioaktív izotópja ismert, melyek tömegszáma a 112–151 tartományba esik. A leghosszabb életű a ^{135}Cs (felezési ideje 2,3 millió év), a ^{137}Cs (30,1671 év) és a ^{134}Cs (2,0652 év) (http1).

A cézium üledék általi adszorpcióját elsősorban az agyagásványok jelenléte határozza meg. A szorpciós arány alacsony sótartalomnál nagyjából arányosnak bizonyult az üledék agyagtartalmával. Kísérletük során megállapították, hogy ugyanannál az üledéknél a szorpciós arány fordítottan arányos a NaCl koncentrációjával, ami azt bizonyítja, hogy az agyagásványokon történő ioncsere a cézium uralkodó szorpciós mechanizmusa (Lieser & Steinkopff 1989). A cézium adszorbeálódhat a kolloidok és szuszpendált részecskék felületén, amelyek lerakódnak a tófenékre. Lujaniené és munkatársai (2004) megfigyelték, hogy a fenéküledékek céziummegkötő kapacitása a részecskeméret függvényében változik és a ^{137}Cs aktivitás koncentrációja növekedik a részecskeméret csökkenésével.

A folyók és tavak vizeinek radionuklidokkal való szennyezésének tartós és megbízható regisztrálójának tekintik, mivel a víztestet szennyező komponensek az üledékben rakódnak le.

A hosszú távú radioaktív szennyezés felhalmozódik, és amikor az üledék felkeveredik, a radionuklidok újra bekerülnek az ökológiai táplálkozási láncokba. A radionuklidok diszlokációja viszont nagyon bonyolult folyamat, de a logikai menetet követve a radionuklidok magasabb koncentrációja várható azokon a helyeken, ahol a folyó áramlása lelassul (Bikit et al., 2006).

4. Anyag és módszer

4.1. Minták származási helye és talajtani jellemzőik

A nagyhörcsöki, mosonmagyaróvári és kecskeméti talajminták a MATE Talajtani Tanszék Talajerőgazdálkodás csoport (korábban SZIE Talajtani és Agrokémia Tanszékének) talajbankjából származnak. A budakalászi, imrehegyi és kiskunhalasi talajmintákat 2015-ben mintavételeztem, melyek átlagos mélysége 0-30 cm volt. Mindhárom területen konyhakerti jellegű mezőgazdasági tevékenység zajlik, szerves trágya felhasználása mellett. A vásárosnaményi üledék minta, továbbá a Gödöllő-Isaszeg I-VII. számú halas tavaiból származó réteg üledékminták (4. a-b ábrák és 7. táblázat EOY koordináták) 108558 számú OTKA pályázat keretében 2013-ban gyűjtöttük be.



4. a. ábra: I-es tó

4. b. ábra: VII-es tó

7. táblázat: Gödöllő-Isaszegi tórendszer I-es és VII-es tavának mintavételi adatai

Mintaazonosító	É-i szélesség	K-i hosszúság	Vízmélység [cm]	Mintasorszám [db]	
I-es tó	1.	47°34,603	19°21,664	100	7
I-es tó	2.	47°34,559	19°21,686	110	8
I-es tó	3.	47°34,537	19°21,657	80	5
VII-es tó	9.	47°33,484	19°22,648	100	9
VII-es tó	10.	47°33,475	19°22,617	120	7
VII-es tó	11.	47°33,461	19°22,644	150	7
VII-es tó	12.	47°33,461	19°22,668	120	9

A pályázatban lefektetett feladataink között szerepelt a már korábban, 1996-ban megvett üledékminták elemanalitikai eredményeinek összevetése a 2013. évi mintavételből származó mintákra kapott eredményekkel. A Gödöllői-dombság

területén húzódó kistáj vízfolyásainak többsége szennyezett. A területen több tó és tározó található, melyek közül az egyik legnagyobb az Isaszegi-tó. A Gödöllői-Isaszegi tórendszer egyesek szerint 10, mások szerint 12 tóból áll (Démény K., 2007). Napjainkban is a mesterségesen kialakított tavak halastóként funkcionálnak (8. táblázat).

8. táblázat: Gödöllő-Isaszegi tórendszer halas tavai

Gödöllő-Isaszeg tórendszer	Tulajdonos	Területe [ha]	Horgászható halak
<i>I.-II. sz. tó</i>	Béke Horgászegyesület, Budapest	0,9	ponty, amur, süllő, csuka, harcsa, busa
<i>III. sz. tó (Malom-tó)</i>	Malomtó Horgászegyesület, Gödöllő	7	ponty, amur, harcsa, süllő, csuka, busa
<i>IV. sz. tó</i>	Pelikán Horgászegyesület, Gödöllő	2,1	ponty, amur, harcsa, süllő, csuka, kősüllő
<i>V. sz. tó</i>	Pelikán Horgászegyesület, Gödöllő	3,5	ponty, amur, harcsa, süllő, csuka, busa
<i>VI. sz. tó</i>	MÚOSZ Patakpart Horgászegyesület, Budapest	4,9	ponty, amur, süllő, csuka, harcsa, balin, busa
<i>VII. sz. tó</i>	Silver Tours Kft.	2	nincs adat

A vizsgált minták az alábbiak voltak:

- ❖ Budakalász: Duna öntéstalaj
- ❖ Imrehegy: Duna-Tisza köze, homoktalaj
- ❖ Kecskemét: Duna/Tisza öntés talaj, homok
- ❖ Kiskunhalas: Duna- Tisza köze, homoktalaj
- ❖ Mosonmagyaróvár: Duna öntéstalaj, vályog
- ❖ Nagyhörcsök: löszön képződött vályog
- ❖ Vásárosnamény: folyóvízi üledék, tiszai cianid szennyezés
- ❖ Gödöllő- Isaszeg tórendszer (I-VII.tó) 1995 és 2013: tavi üledék

4.2. Minták előkészítése

A talajgyűjteményből származó mintákat (Nagyhörcsök, Kecskemét és Mosonmagyaróvár), illetve a 2013. évi halastavi mintákat előkészítve kaptam meg, a vizsgálatok elvégzése előtt csak homogenizálnom kellett. A saját gyűjtésű talajmintákat (Budakalász, Imrehegy és Kiskunhalas) előre feliratozott, azonosító cédulákkal ellátott műanyag zacskóban szállítottam a laborba; míg a réteg üledékmintákat (Vásárosnamény és Gödöllő-Isaszeg tórendszer) hosszában elvágott műanyagcsövekben, lefóliázva szállítottuk. A mintavételt követően a nedves mintákat műanyag tálcákra terítettük, illetve a rétegmintákat képeztünk (9. táblázat) 10 cm-es

felosztásokkal és szobahőmérsékleten száradni hagytuk. Az idegen anyagokat; mint például a kavics, a növényi maradványok stb. eltávolítottuk a légszáras mintákból; majd achát mozsárban porítottuk, homogenizáltuk. Az átdörzsölt mintákat 0,20 mm lyukátmérőjű szitán átszitáltuk; majd számozott mintatartókba töltöttük.

9. táblázat: Rétegminták mélysége és felosztása

[2013]		Gödöllő I. tó/1.	Gödöllő I. tó/2.	Gödöllő I. tó/3.	Gödöllő VII. tó/9.	Gödöllő VII.	Gödöllő VII.	Gödöllő VII.
0-10	cm							
10-20	cm							
20-30	cm							
30-40	cm							
40-50	cm							
50-60	cm							
60-70	cm							
70-80	cm							
80-90	cm							

4.3. Extrakciós módszerek

4.3.1. A potenciálisan toxikus elemek pszeidototal elemtartalmának meghatározása

A környezeti minták teljes elemtartalom meghatározását $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ -as MW roncsolatból a MSZ-21470-50:2006-os szabvány írja le. A feltáráshoz CEM MARS 5 zárt terű, hőmérséklet- és nyomá szenzorokkal ellátott mikrohullámú készüléket (5. ábra) használtam, az alábbi beállítási paraméterek mellett: (1.) felfűtési idő: 20 min, 180 °C, 450 psi; (2.) tartási idő: 15 min, 180 °C, 450 psi, 800 W; (3.) pihentetés: 5 min, 0 W; (4.) tartási idő: 5 min, 180 °C, 450 psi, 800 W és (5.) lehűtés: kb. 20 min.



5. ábra: CEM MARS 5 típusú mikrohullámú feltáró (készítette: Takács A.)

4.3.2. BCR szekvens extrakció

Az elemtartalom frakcionálására a BCR (Community Bureau of Reference) ajánlás szerinti eljárást alkalmaztam, kezdetben az eredeti protokoll szerint. Mivel a munkahelyemen a korábbi kísérletek még 1993-ban kezdődtek, így azok az eredeti protokollt alkalmazzák. A BCR ajánlás rendkívül időigényes (5-6 nap), és az extraktumokban nem őrizhető meg az egyes elemi specieszek eredeti formája. Az eredmények összevethetősége érdekében a vizsgálataimat elvégeztem, mind a régi protokoll szerint, majd a módosított protokollhoz kifejlesztett referencia mintával is (Rauret et al., 2001), így a későbbiekben az eredeti és a módosított protokoll szerinti kioldás várható eltéréseit is értékelni tudtam.

1. lépés: A mintákat 16 órán át rázattam (240 perc^{-1}) 40 ml $0,11 \text{ mol dm}^{-3}$ ecetsavval (Merck, Darmstadt), majd 20 percig 4000 perc^{-1} sebességgel centrifugáltam. A felülúszót MN389-es típusú szűrőpapíron (Macherey-Nagel, Düren) szűrtem át. A szilárd maradékot 20 ml desztillált vízzel 15 percig rázattam (240 perc^{-1}), hogy eltávolítsam a maradék extrahálószer, majd 10 percig 4000 perc^{-1} sebességgel centrifugáltam és a felülúszót elöntöttem.

2. lépés: Az 1. lépés szilárd maradékát 40 ml $0,1 \text{ mol dm}^{-3}$ hidroxil-amin-hidrokloriddal (Merck, Darmstadt) ($\text{pH}=2$) rázattam (240 perc^{-1}) 16 órán át, majd 20 percig 4000 perc^{-1} sebességgel centrifugáltam. A felülúszót MN389-es típusú szűrőpapíron (Macherey-Nagel, Düren) szűrtem át. A szilárd maradékot 20 ml desztillált vízzel 15 percig rázattam (240 perc^{-1}), hogy eltávolítsam a maradék extrahálószer, majd 10 percig 4000 perc^{-1} sebességgel centrifugáltam és a felülúszót elöntöttem.

3. lépés: A 2. lépés szilárd maradékát 20 ml $8,8 \text{ mol dm}^{-3}$ hidrogén-peroxiddal (Thomasker, Budapest) nyílt rendszerben roncsoltam $85 \text{ }^{\circ}\text{C}$ -on 8 órán át, majd 50 ml

1 mol dm⁻³ ammónium-acetáttal (Merck, Darmstadt) (pH=2) adtam hozzá és további 16 órán át ráztattam (240 perc⁻¹), majd ezt követően 20 percig 4000 perc⁻¹ sebességgel centrifugáltam. A felülúszót MN389-es típusú szűrőpapíron (Macherey-Nagel, Düren) szűrtem át. A szilárd maradékot 20 ml desztillált vízzel 15 percig ráztattam (240 perc⁻¹), hogy eltávolítsam az extrahálószer maradványait, majd 10 percig 4000 percig centrifugáltam és a felülúszót elöntöttem.

+1. lépés: A 3. lépés szilárd maradékát 5 ml 65 (m/m)% HNO₃ (Honeywell, Seelze) és 2 ml 30 (m/m)% H₂O₂ (Thomasker, Budapest) keverékével tartam fel. A mikrohullámú feltáráshoz már korábban ismertetett CEM MARS 5 zárt, hőmérséklet- és nyomásfigyelő berendezést használtam.

+2. lépés: Az eredeti minták teljes elemtartalom meghatározását (HNO₃ + H₂O₂)-os MW roncsolatból a MSZ-21470-50:2006-os szabvány szerint (4.3.1. fejezetben leírtak szerint). Fontos megemlíteni az adatkiértékelés szempontjából, hogy +1. és +2. lépésekben kapott eredmények csak indikatív adatként szolgálnak számunkra.

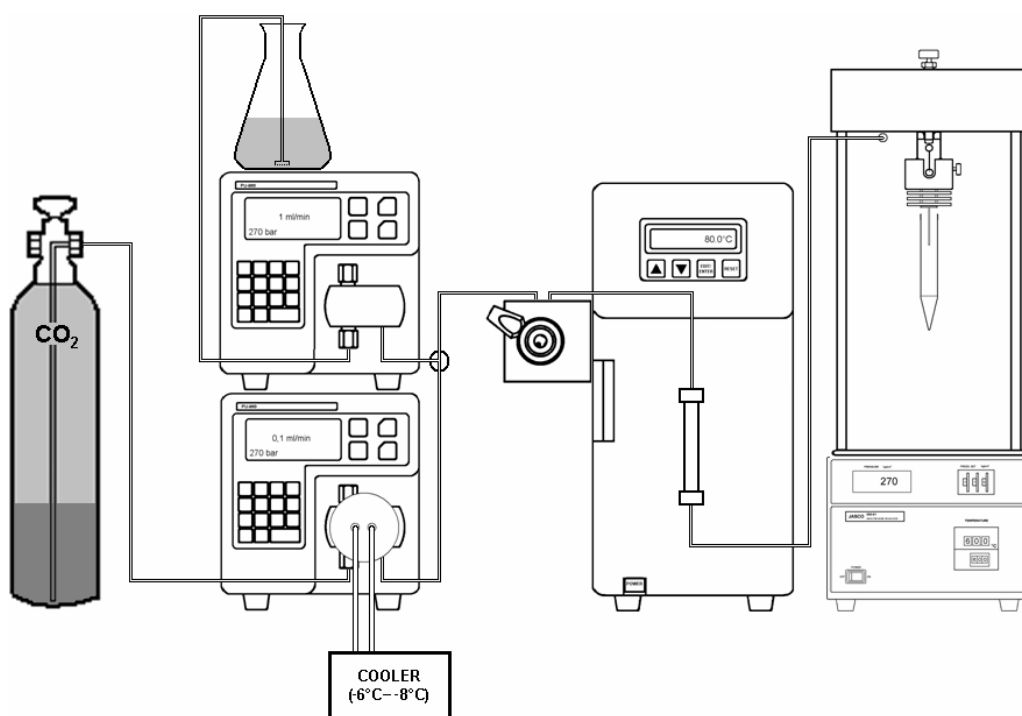
4.3.3. Frakcionálás

A MATE-n (korábban SZIE-n) 15-20 évvel ezelőtt a BCR ajánlás kiegészítésére egy az eredeti állapotú specicszék megőrzésére alkalmas, szuperkritikus extraktorban CO₂ és H₂O alkalmazására alapozott folyamatos áramlású, háromlépéses eljárást fejlesztettek ki (Heltai et al., 2000; Heltai et al., 2002). A szekvenciális extrakciót szuperkritikus folyadék extraktorban: a háromlépéses extrakcióval (10.-11. táblázatok) hajtották végre. (Heltai 2005., Heltai et al., 2013; Horváth et al., 2013).

10. táblázat: A 3 lépéses CO₂/H₂O szekvenciális extrakció sematikája (Heltai et al., 2013)

Lépés	Kivonatok	Hőmérséklet (°C)	Nyomás (MPa)	Időtartam (min)	Kémiai információ (frakció)
1.	Szuperkritikus CO ₂	80	27	30	CO ₂ -oldható organikus frakciók és szulfidok
2.	Szubkritikus H ₂ O	80	27	30	H ₂ O-oldható frakciók
3.	Szubkritikus H ₂ O/CO ₂ (5%)	80	27	30	Karbonát-tartalomhoz kötött

A háromlépéses szekvens extrakciót (Heltai et al. 2000, Heltai et al. 2002) egy szuperkritikus extraktorban végeztem el, melynek részei: 2 darab Jasco PU 980 HPLC pumpa, melyből az egyik hűtőfeltéttel van ellátva a szén-dioxid továbbításához, 1 Jasco CO 980 oszlopfűtő termosztát, valamint 1 Jasco 880-81 nyomásszabályzó (restriktor). Szén-dioxidot továbbító pumpa a palackhoz csatlakoztatva, valamint Neslab RTE-100 termosztát a pumpa hűtéséhez ($-6 - -8^{\circ}\text{C}$ -ra hűtött fagyálló folyadék keringtetésével történik), melyet az 6. ábra szemléltet.



6. ábra: A Jasco szuperkritikus extraktor vázlata (Halász 2010)

A módszerfejlesztés során a metodika 3. lépésének reakció idejét optimalizáltam az eltérő talajtani tulajdonságokkal (különös tekintettel a szerves anyagtartalomra és a mésztartalomra) rendelkező talajokra és üledékekre nézve. Az általam alkalmazott metodika a következőképpen módosul (11. táblázat) az alább leírtakhoz képest.

11. táblázat: Módosított metodika

Lépés	Kivonatok	Hőmérséklet (°C)	Nyomás (MPa)	Időtartam (min)	Kémiai információ (frakció)
1.	Szuperkritikus CO ₂	80	27	60	CO ₂ -oldható organikus frakciók és szulfidok (apoláros szerves anyagok)
2.	Szubkritikus H ₂ O	80	27	90	H ₂ O-oldható frakciók
3.	Szubkritikus H ₂ O/CO ₂ (5%)	80	27	90-180	Karbonát-tartalomhoz kötött

Az extrakciók során alkalmazott beállításokat a következő táblázat (12. táblázat) mutatja be.

12. táblázat: Beállítási paraméterek (Halász 2010) /*megjegyzés: esetemben 120-180 min/

Beállítás	1. lépés	2. lépés	3. lépés
Oszloptér hőmérséklete [°C]	80	80	80
Nyomás [MPa]	27	27	27
CO ₂ áramlási sebessége [cm/min]	1	0	0,1
H ₂ O áramlási sebessége [cm/min]	0	1	1
Restriktor hőmérséklete [°C]	60	60	60
Időtartama [min]	30-60	30-60	30-90*

A korábban alkalmazott nagyméretű extraháló oszlop méretét lecsökkentettem (7.a-c ábrák, 13. táblázat) (40,40 cm³-ről 22,78 cm³-re, ami 43,61%-os térfogatcsökkenést jelent), így a betöltött kb. 1:20 minta- kvarchomok arányát is csökkenteni tudtam 1:2 minta-kvarchomok arányra; amely 0,5 g talajminta és 1,0 g kvarchomok betöltését jelentette.



7. a-c ábrák (készítette: Takács A.)

13. táblázat: Oszlopok paramétereit

Paraméterek	Régi oszlop	Új oszlop
Átmérő [cm]	1,00	1,00
Magasság [cm]	12,86	7,25

A minták 0,5000g-os részleteit 1,0000g-nyi kvarchomokkal kevertem be, majd 2-4 órán át extraháltam mintától függően. Az extraktumokat 5 perces szakaszokban vettem le, kivételt képez a nagyhörcsöki minta, ahol 10 perces szakaszokban gyűjtöttem az extraktumokat (így össze tudtam hasonlítani a korábbi évek eredményeivel). Ahhoz, hogy az előbb leírt gondolatokat, észrevételeket alátámasszam, egy 3. oszlopot is bevontam a kísérletsorozatba. Ez az oszlop egy Accucore™ C30-as 2,6 μ m-os folyadékkromatográfias oszlop (8. ábra) (Daood Hussein, Regionális Tudásközpont, Gödöllő). A kísérlet elvégzéséhez a használhatatlanná vált oszlop ultratiszta szilícium-dioxid töltetét el kellett távolítanom, majd alkoholos mosás alá vetnem. A vizsgálatban tesztmintának kvarchomokot használtam a korábbiakhoz hasonlóan, melyen a szódavizes lépést hajtottam végre 1ml/min-es árammal úgy, hogy az extraktumaimat 5 percenként vettem le 2 órán át, így 24 db mintából álló sorozatot kaptam.



8. ábra: Accucore™ C30-as folyadékkromatográfias oszlop (készítette: Takács A.)

Kutatásom során az extrakció időtartamán és az oszlopméret változtatásán kívül más egyéb beállítási paraméter változtatása jelen állapotokon belül nem volt indokolt. A felhasznált extrakciós csövek méretéből adódó bizonytalanságot jelentősen visszaszorítottam egy új oszlopkonstrukció kialakításával; amely lehetővé tette a minták szilárd hígításának csökkentését, amitől a nagy tömegű kvarchomokra visszavezethető vakérték csökkenés volt várható. Az igen híg vizes oldatok elemzésekor a mért koncentrációk esetén még a jó kimutatási képességű módszer esetén is néhol a kimutatási határ közelébe eshetnek; melynek következményeképpen a meghatározás bizonytalansága nő, nem beszélve az ezzel együtt járó vakértékek növekedésével, amely szintén megnövelik az elemek mérési bizonytalanságát.

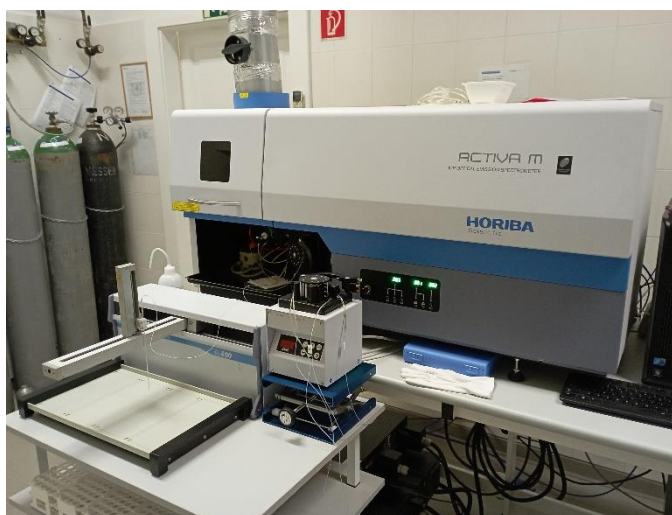
Ezen problémákon részben segíthet a kivonatok bepárlása, amely viszont együtt járhat az oldatok szennyeződésével, amely szintén rontaná a mérések megbízhatóságát.

Az SFE szekvens extrakció befejező (+1) lépéseként a rezidumjaimat $\text{HNO}_3+\text{H}_2\text{O}_2$ elegyével mikrohullámú rásegítéssel elroncsoltam, ugyanazon beállítási paraméterek mellett, melyeket a pszeidotótál elemtartalom és a BCR protokoll utolsó (+1) lépésénél alkalmaztam.

A különböző eljárásokkal nyert vizes és savas oldatok, illetve a feltárt rezidumok elemtartalmát ICP-OES módszerrel határoztam meg.

4.4. Elemtartalom meghatározása Induktív Csatolású Plazma Optikai Emissziós Spektrométerrel (ICP-OES)

Az induktív csatolású plazma optikai emissziós spektrometria (ICP-OES) a legmodernebb műszeres analitikai módszerek közé tartozik. A gyorsaság, ill. a csekély zavaróhatás miatt az ICP (9. ábra) sugárforrással működő spektrométerek ideális analitikai rendszerek kémiai elemek vizes és nemvizes oldatokból történő meghatározására.



9. ábra: ICP-OES készülék (Készítette: Takács A.)

Az ICP-OES készülékek legfontosabb egységei:

- a mintabevivő rendszer,
- az induktív csatolású argonplazma és nagyfrekvenciás (RF) generátor,
- a spektrométer és a detektor,
- a vezérlő, az adatfeldolgozó elektronika és a szoftver.

A mintaoldatból a porlasztórendszerben aeroszol keletkezik. Ez az aeroszol jut a mintagázzal a plazma középpontjában végig húzódó csatornába. A nagy hőmérsékleten a minta elpárolog, atomizálódik, illetve ionizálódik. A gerjesztett állapotú atomok és az ionok által kibocsátott fény hordozza az analízishez szükséges információt. A spektrométer által létrehozott spektrumban színekvonalak azonosíthatók, melyek hullámhossza a minőségi, intenzitása a mennyiségi analízist teszi lehetővé.

Az ICP-OES jó kimutatási képességű sokelemes módszer. Az általunk használt Horiba Jobin Yvon ACTIVA-M ICP-OES készülék működési paraméterei a következők voltak: plazma teljesítmény 1200 W , plazma gáz 16 L/min , burkoló gáz $0,3\text{ L/min}$, porlasztó nyomás $2,89\text{ bar}$, porlasztó áramlás $0,83\text{ mL/min}$, auxiális gáz $0,6\text{ L/min}$, argonnedvesítés, ciklon típusú ködkamra és a Meinhard porlasztó.

Belső standardként itriumot alkalmaztam (1 mg/l). Vizsgálataim során kalciumot és hat elemet (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb és Zn) mértem, mivel ezek koncentrációját a BCR CRM 701 referenciamintához hitelesítették (USEPA 1994; Wai et al, 1997, Zemberyová et al., 2006; Zhan et al., 2014). A kalibrálást extrahálószer-oldószer

mátrix illesztett többelemes standardokkal végeztem el (MERCK CertiPUR 1.11355.0100 ICP többelemes standard oldat IV.: 23 elem híg salétromsavban) (Heltai et al., 2019). A vizsgált elemek hullámhosszai: Ca: 315,887 nm és Ca: 393,3666 nm Ni: 222,296 nm, Cd: 214,441 nm, Pb: 220,353 nm, Cr: 205,571 nm, Zn: 231,857 nm és Cu: 324,754 nm.

4.5. Oszloptanulmányok kiértékelése elsőrendű kinetika segítségével

Részletesebb kiértékelés során különböző matematikai modellek futtatását végeztem el. A kinetikai görbék tanulmányozása során az alábbi egyenlettel számoltam (Fit Exponential Decay/First Order):

$$y=A_1*\exp(-x/t_1)+y_0, \text{ melyben} \quad [1.]$$

az A_1 a kezdőponttól a végpontig terjedő y tengelyen leolvasható „szakasz”; t_1 az időfaktor reciproka ($1/t_1 = k =$ kinetikai állandó), melyet $\ln 2$ -vel szorozva megadja a felezési időt ($t_{1/2}$), amely a kioldódás sebességét jelzi, az y_0 tényező pedig az aszimptotát jelenti. A felezési idő nem függ a reaktáns kiindulási koncentrációjától. Ez azt jelenti, hogy egy elsőrendű reakció során a kiindulási koncentráció mindig ugyanakkora időközönként feleződik.

4.6. Visszanyert elemtartalom meghatározása

A módszer hatékonyságát és a kapott eredmények pontosságát a szekvens extrakciók során alkalmazott különböző reagensekkel kapott elemtartalmak összege az összelemtartalom hányadosának százalékos alakjában szokás megadni, melyet az alábbi egyenlet ír le:

$$\text{Visszanyert elemtartalom (\%)} = \left(\frac{c_{\text{vızold}} + c_{\text{red}} + c_{\text{ox}} + c_{\text{rez}}}{c_{\text{összelem}}} \right) \times 100 \quad [2.]$$

ahol: $c_{\text{vızold}}$, c_{red} , c_{ox} , c_{rez} és az $c_{\text{összelem}}$ a vízoldható, kicserélhető és a karbonátokhoz kötött elemtartalmat, a redukálható (vas)-mangán oxi-hidroxidokhoz kötött elemtartalmat, az oxidálható (pl. szulfidokhoz és szerves anyagokhoz kötött) elemtartalmat, reziduális frakciót [mg/kg] és az összelemtartalmat jelentik [mg/kg] - ban kifejezve (Saleem et al., 2018).

4.7. Különböző geokémiai indexek használata a szennyezettségi és környezeti kockázatok értékelése céljából

A potenciálisan toxikus nehézfémek (várható) kockázatait eltérő indexek segítségével osztályoztam, melyekhez külön-külön 1-1 értéket, kategóriát rendeltem hozzá; így a későbbiekben szemléletesebben tudom jellemezni a mérési eredményeimet. Az indexeket 2 csoportba rendezve alkalmaztam:

- (a) összes elemtartalomhoz kapcsolódó indexek és a
- (b) frakcionált elemtartalomhoz kapcsolódó indexek.

4.7.1. Összes elemtartalomhoz kapcsolódó indexek

Szennyezettségi tényező - Contamination factor [CF]

A toxikus anyagok szennyezettségének hatásfokát egy közegben a szennyezettségi tényezővel (CF) írjuk le (Hakanson, 1980), amely:

$$CF = \frac{c_n}{B_n}, \text{ ahol} \quad [3.]$$

c_n a mért elem koncentrációja és a B_n a vizsgált elem háttérkoncentrációja az [mg/kg]-ban kifejezve. Az osztályozási rendszerét a 14. táblázat mutatja be.

14. táblázat: CF index osztályozási rendszere

Kategória	Megnevezés	Index
$CF < 1$	alacsony	1
$1 < CF < 3$	mérsékelt	2
$3 < CF < 6$	jelentős	3
$6 < CF$	magas	4

Feldúsulási faktor - Enrichment Factor [EF]

Egy igen széles körben elterjedt mérőszám (Buat-Menerd and Chesselt, 1979), mellyel leírjuk, hogy mennyivel nőtt egy adott elem koncentrációját a mintavételi közegben az természetes abundanciájához képest az egyes antropogén hatások következtében.

$$EF = \frac{c_n(\text{elem})/c_{\text{ref}}(\text{elem})}{B_n(\text{háttér})/B_{\text{ref}}(\text{háttér})}, \text{ ahol} \quad [4.]$$

c_n (elem) a mért elem koncentrációja, c_{ref} (elem) a referencia elemnek választott elem mért koncentrációja, B_n (háttér) a mért elem háttérkoncentrációja az és B_{ref} (háttér) a

referencia elem háttérkoncentrációja [mg/kg]-ban kifejezve. Az osztályozási rendszere a 15. táblázat foglalja össze.

15. táblázat: Az EF index osztályozása

Kategória	Megnevezés	Index
$EF \leq 2$	minimális szintű feldúsulás	1
$2 < EF \leq 5$	mérsékelt szintű feldúsulás	2
$5 < EF \leq 20$	jelentős szintű feldúsulás	3
$20 < EF \leq 40$	nagyon magas szintű feldúsulás	4
$40 < EF$	extrém magas szintű feldúsulás	5

Geoakkumulációs index - Geo-accumulation Factor [I_{geo}]

Eredetileg Müller határozta meg 1969-ben a szennyezettség mértékét leíró, 2 mikronos frakciókban előforduló potenciálisan toxikus elemekre. A globálisan használt formula az alábbi:

$$I_{geo} = \log_2 \frac{c_n}{1,5 \times B_n}, \text{ ahol} \quad [5.]$$

c_n a mért elem koncentrációja, B_n a vizsgált elem háttérkoncentrációja [mg/kg]-ban kifejezve és „1,5” konstans, melyet természetes ingadozások és a nagyon kismértékű antropogén hatások miatt vezették be. Az osztályozási rendszere a 16. táblázatban található.

16. táblázat: Az I_{geo} osztályozási rendszere

Kategória	Megnevezés	Index
$I_{geo} \leq 0$	nincs szennyezés	1
$0 < I_{geo} \leq 1$	mérsékelt szennyezés	2
$1 < I_{geo} \leq 2$	csekély szintű szennyezés	3
$2 < I_{geo} \leq 3$	mérsékelt szintű szennyezés	4
$3 < I_{geo} \leq 4$	súlyos szintű szennyezés	5
$4 < I_{geo} \leq 5$	magas szintű szennyezés	6
$5 < I_{geo}$	extrém szintű szennyezés	7

Szennyezettségi terhelési index - Pollution Load Index [PLI]

Ez az empirikus index egyszerű, összehasonlító eszközt biztosít a potenciálisan toxikus nehézfémek szennyezettség mértékének feltérképezéséhez (Saleem et al.,

2018). Leírja, hogy a talajok és üledékek milyen kapcsolatban lehetnek/vannak azon potenciálisan toxikus nehézfémekre, melyek hatással lehetnek a flórájukra és faunájukra.

$$PLI = (CF_1 \times CF_2 \times CF_3 \times \dots \times CF_n)^{\frac{1}{n}}, \text{ ahol} \quad [6.]$$

CF_n= „n” számú mintára kapott kontaminációs faktor.

Az osztályozása rendkívül egyszerű, ha a PLI értéke kisebb, mint 1; akkor nem áll fenn kontamináció, ha 1-nél nagyobb, akkor pedig igen.

4.7.2. Frakcionált elemtartalomhoz kapcsolódó indexek

Biológiailag hozzáférhető elemek indexe - Bioavailable Metal Index [BMI]

A szennyezett talajok jellemzésére és kármentesítésére irányuló szabályozási keretrendszerek kockázatalapú megközelítés felé mozdultak el, figyelme véve a (potenciális) szennyező források biológiailag való hozzáférhetőségét a teljes bioszféra esetén. Ennek leírására Rosaldo és munkatársai 2015-ben alkották meg az alábbi indexet:

$$BMI = \left[\frac{C_{F1}^1}{c_R^1} \times \dots \times \frac{C_{F1}^i}{c_R^i} \times \dots \times \frac{C_{F1}^n}{c_R^n} \right]^{\frac{1}{n}}, \text{ ahol} \quad [7.]$$

C_{F1}ⁱ= könnyen felvehető, vízdoldható elemtartalom (BCR szekvens extrakció első lépése = F1) „i” elem esetében

C_Rⁱ = könnyen felvehető, vízdoldható elemtartalom a háttérminta esetében és

n = a vizsgált PTE (potenciálisan toxikus nehézfémek) száma.

Biológiai hozzáférhetőség indexe - Bioavailability Factor [BF]

Definiálja az egyéni fizikai, kémiai és biológiai kölcsönhatásokat, amelyek meghatározzák a flóra és a fauna talajjal és üledékekkel kapcsolatos potenciálisan toxikus nehézfémekkel való kitettségét (Okbah et al., 2020).

$$BF = \frac{c_{bio}}{c_{total}}, \text{ ahol} \quad [8.]$$

c_{bio}= a vízdoldható, könnyen felvehető elemtartalom [mg/kg] és

c_{total}= a teljes elemtartalom [mg/kg].

Ennek az indexnek nincs kategória rendszere.

Egyéni szennyezettségi tényező - Individual Contamination Factor [ICF]

Fontos szempont a vizsgált elemek szennyezettségi tényezőjének meghatározása, amely jelzi az adott elem környezetre gyakorolt kockázatának mértékét a retenciós idejéhez viszonyítva (Forghami et al., 2012), melyet az alábbi egyenlettel írhatunk le. Osztályozását a 17. táblázat mutatja be.

$$ICF = \frac{EXC + CARB + RO + OM}{RES}, \text{ ahol} \quad [9.]$$

EXC = kicserélhető elemtartalom

CARB = karbonátokhoz kötött elemtartalom

RO = redukálható oxidokhoz kötött elemtartalom

OM= szerves anyagokhoz kötött elemtartalom és

RES = reziduális frakció.

17. táblázat: Az ICF-index osztályozási rendszere

Kategória	Megnevezés	Index
ICF <1	alacsony	1
1 < ICF < 3	mérsékelt	2
3 < ICF < 6	jelentős	3
6 < ICF	magas	4

Kockázatértékelési kód - Risk Assessment Code [RAC%]

Meghatározza a különböző fázisokban az elemek biológiai hozzáférhetőségét és az azokhoz kapcsolódó kockázatokat a vízi ökoszisztémákban (Saleem et al., 2015). A nyomelemek kockázatértékelését RAC% index segítségével határozható meg; mely függ a szekvens extrakció első (F1) és második (F2) lépéseitől (Perin et al., 1985, Zhao et al., 2012.), melyet a régi BCR szekvens extrakcióra dolgoztak ki.

$$RAC = EXC\% + CARB\%, \text{ ahol} \quad [10.]$$

EXC% = kicserélhető elemtartalom (F1) és

CARB% = karbonátokhoz kötött elemtartalom (F2).

A módosított (3+1 lépéses) BCR protokoll, miatt a RAC = F1(%)

Osztályozási rendszere (18. táblázat) az alábbiak szerint alakul.

18. táblázat: RAC% osztályozása

Kategória	Megnevezés	Index
$RAC \leq 1\%$	nincs kockázat	1
$1\% < RAC \leq 10\%$	alacsony kockázat	2
$10\% < RAC \leq 30\%$	közepes kockázat	3
$30\% < RAC \leq 50\%$	magas kockázat	4
$50\% < RAC$	nagyon magas kockázat	5

4.8. Radioanalitikai vizsgálat γ -spektroszkópiával

Az üledékminták radioanalitikai elemzését γ -spektroszkópiával végeztük el. A szárított és homogenizált mintákat a Marinelli tartályokhoz hasonló geometriájú, légmentesen záródó, 38 cm³-es műanyag dobozba töltöttük és egy szilárdtest-detektort (Canberra HPGe, 10. ábra) 1333 keV félszélesség-érzékelőt használtunk egy többcsatornás analizátorhoz csatlakoztatva. Az radionuklidok aktivitását [Bq/kg] egységekben határoztam meg. Dolgozatomban a csernobili eredetű ¹³⁷C aktivitását hasonlítottam össze az egyes rétegekben (Heltai et al. 2018.)



10. ábra: Canberra HPGe kristályt tartalmazó γ -spektrométer (forrás: http 2.)

A gamma-analízis folyamata:

Először megbecsüljük a mérendő spektrumot, majd ahhoz kiválasztjuk a megfelelő izotóp-etalonokat, szerencsés esetben rendelkezünk a mérendő mintákkal azonos geometriájú etalonokkal, ha nem akkor:

- radiológiai laboratóriumban elkészítjük azokat, vagy
- az etalon és a minta geometriája közötti konverziós tényezőt analitikusan határozzuk meg.

A példában adott az alábbi izotópleltár: ^{154}Eu , ^{144}Ce , ^{141}Ce , ^{51}Cr , ^{125}Sb , ^{108}Ag , ^{103}Ru , ^{106}Ru , ^{137}Cs , ^{95}Zr , ^{134}Cs , ^{58}Co , ^{54}Mn , ^{94}Nb , ^{110}Ag , ^{65}Zn , ^{60}Co , ^{59}Fe és a ^{124}Sb .

Ezen kívül, a példában analitikusan határozzuk meg az etalon és a minta geometriája közötti konverziós tényezőt. Ki kell választani a mérés spektrumát, ami a nuklidok csúcsai alapján a 120 keV - 1700 keV tartományra esik. Az etalonok és a minták geometriája közötti eltérést kompenzáló geometriai korrekció értéke kis kiterjedésű területi, vagy térfogati minta és etalon pontforrás között elhanyagolható, míg más esetben számításokkal, vagy kalibrációs mérésekkel kell azt kiszámítani.

A vizsgálatok során az alábbi 5 db nuklid kiválasztására (Nagy L., 1998) került sor, megadva a felezési időket is ($t_{1/2}$): ^{60}Co ($t_{1/2}$: 1924 nap), ^{152}Eu ($t_{1/2}$: 4964 nap), ^{133}Ba ($t_{1/2}$: 3833 nap), ^{137}Cs ($t_{1/2}$: 11012 nap) és a ^{22}Na ($t_{1/2}$: 950 nap).

Ezt követően elvégezzük az energia-, félérték szélesség és határfok kalibrációit.

A gamma-spektrometria folyamán a gammasugárzás által a detektorban leadott E_{abs} energiára utaló, ún. spektrometriai információt a töltött részecskék T_e energiája, majd a szabad töltéshordozók N_e száma, illetve Q osztott töltése, majd a kialakított és későbbiekben megformált és felerősített feszültségimpulzus U amplitúdója, végezetül pedig az amplitúdónak megfelelő csatornaszám fejezi ki. Energiakalibrációval közvetlen összefüggést határozunk meg a folyamat két végpontjában szereplő E_{abs} és ch mennyiségek között.

$$E_{\text{abs}}(\text{keV}) \rightarrow T_e(\text{keV}) \rightarrow N_e(\text{darab}) \rightarrow Q(\text{C}) \rightarrow U(\text{V}) \rightarrow ch(i)$$

Ha a gamma-sugárzás teljes energiáját leadja a detektorban, akkor az említett mennyiségek a gamma-sugárzás teljes E_{gamma} energiája és a hozzá tartozó teljesenergia-csúcs centroidjának csatornaszáma (ch) (helyzete, pozíciója). A félvezető detektorok jellemzői, valamint az alkalmazott lineáris jelfeldolgozó elektronika miatt az összefüggés lineáris. Az energiamérés pontossága még tovább finomítható spektrumok kiértékelésekor a linearitástól való kis eltérések (amiket elsősorban az elektronika okoz, ezért adott beállításnál időben állandóak) meghatározásával és korrekcióra történő felhasználásával.

Az energiafelbontás meghatározza, hogy milyen távol kell egymástól lennie két csúcs maximumának ahhoz, hogy különböző megbízhatósággal és pontossággal külön

lehessen választani és kiértékelni őket. Az energiafelbontás kifejezésére a csúcs különböző magasságaiban mért szélességet használjuk:

(1.) félértékszélesség (Full Width at Half Maximum, FWHM):

Félmagasságban mért csúcshélesség. Két azonos területű, egymás maximumától $1 \times \text{FWHM}$ távolságra levő teljesenergia-csúcs például könnyedén azonosítható összetett csúcsként, amit a spektrum kiértékelő programok jó pontossággal részekre választanak. Kalibrációja fontos.

Nal(Tl): relatív FWHM (661.7 keV) $\geq 6-7\%$, azaz ≥ 40 keV,

HPGe: FWH (1 332.5 keV) ~ 1.7 keV.

(2.) FWTM (Full Width at Tenth Maximum or FW0.1M):

Tizedmagasságban mért csúcshélesség. A csúcshélességek arányai a csúcsalakot minősítik, és folyamatos minőségbiztosításra nyújtanak egyszerű módon lehetőséget. Jól beállított mérőrendszer esetében például a FWTM/FWHM ≤ 1.9 .

Hatásfok kalibráció:

A gamma spektrométerek nagyon fontos jellemzője az abszolút teljesenergia-csúcs hatásfok (ζ), amely mennyiségi meghatározásokhoz vagy radioaktivitásra vonatkozó mérésekhez gyakran elengedhetetlen. Általában hitelesített A abszolút aktivitású és pontszerű geometriájú gamma-sugárforrások elegendően nagy (150–200 mm) minta-detektor távolságban végzett mérése alapján történik a meghatározása,

$$\zeta = \frac{I_{TE}}{A \cdot k_n \cdot k_\gamma} \quad [11.]$$

ahol I_{TE} a teljesenergia-csúcsban mért számlálási sebesség, k_n az adott nuklid meghatározott irányú bomlási valószínűsége, míg a k_γ az adott gamma energia valószínűsége. A hatásfok energiafüggő, a függvény analitikus formája log–log skálájú polinom illesztésével kiszámítható.

A mérés során nincs szükség mintavételi és mintaelőkészítési procedúrára pontforrások mérése esetén. Általában a mérendő anyagot a szokásosan alkalmazott mintatartó edénybe kell bemérni, ideális esetben a mérendő anyag és a kalibráló térfogati forrás sűrűsége megegyezik és azonos geometriában mérhető.

A mérési eredmények kiértékeléséhez a CAMBIO szoftvert használtam.

5. Eredmények és azok megbeszélése

5.1. Üledékminták pszeidototal elemtartalom meghatározása

A Gödöllő-Isaszegi tórendszer I-es (3 rétegmintában) és VII-es (4 rétegmintában) tavainak üledékéből 2013-ban újra mintavételezésre került sor. A rétegmintákat 10 cm-es felosztásokban elemeztem, melyekből MSZ 21470-50:1998 szabvány szerinti mikrohullámú feltárást követően ICP-OES módszerrel 11 elem koncentrációját határoztam meg, melyek az alábbiak voltak: kadmium (Cd), kobalt (Co), króm „összes” (Cr), réz (Cu), vas (Fe), mangán (Mn), nikkel (Ni), ólom (Pb), cink (Zn), kén (S) és vanádium (V).

Eredményeim értékelése során megvizsgáltam, hogy adott szelvény 10 cm-es felosztásaiban, továbbá, hogy az adott rétegmintában hogyan viselkednek az elemek egymáshoz képest, melyeket összevettem (Melléklet, 4.a. és 4.b. táblázatai) a 1996-os mintavételi év eredményeivel (Kruppiné Dr. Fekete Ilona, 2003) is. A korábbi évek kutatási kimutatták, hogy az I-es tóban kommunális, míg a VII-es tóban ipari eredetű PTE akkumulálódás figyelhető meg, melyeket szintén alátámasztanak az általam bemutatott eredmények is. Mint tudni illik az I-es tó esetén Gödöllő város tisztított szennyvizét 1995-ig, míg a VII-es tónál a part mellett elhelyezkedő gépgyár csapadékvizét vezették el.

Elmondható, hogy a kiugróan magas elemkoncentrációk elsősorban a minták felső 30 cm-eiben jelennek meg (néhány kivétellel); viszont ami még aggasztóbb, hogy számos mintában határérték feletti elemkoncentrációkat találtam. Az átlagértékeket táblázatosan Melléklet, 3. táblázatában tüntettem fel, amiben *piros színnel, dőlten* jelöltem azon eredményeket, ahol 10/2000. KöM-EüM-FVM-KHVM rendelet, illetve az EPA által megadott talajszennyezettségi határértékek esetén túllépés figyelhető meg.

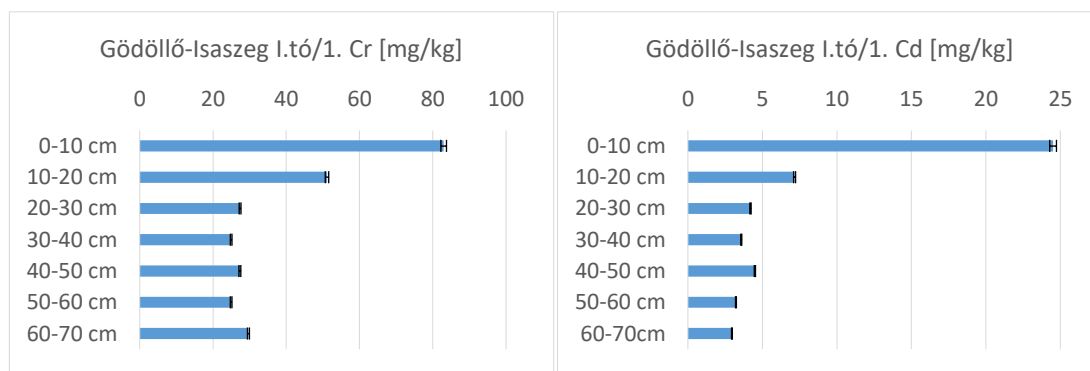
A Cd koncentrációja az I-es tó 1-es, 2-es és 3-as teljes hosszanti szelvényében határérték túllépés tapasztalható, a VII-es tó esetében a 9-es ponton a felső 50 cm-ben, 10-es ponton a felső 20 cm-ben, a 11-es ponton a felső 20 cm-ben, míg a 12-es ponton a felső 10 cm-ben figyelhető meg határérték túllépés, elsősorban a króm és a cink esetében. A többi elemnél nem tapasztalható ilyen mértékű kiugrás. Ritkábban a felsőbb régiókban vagy a szelvény középső régiójában dominálnak egyes PTE-k.

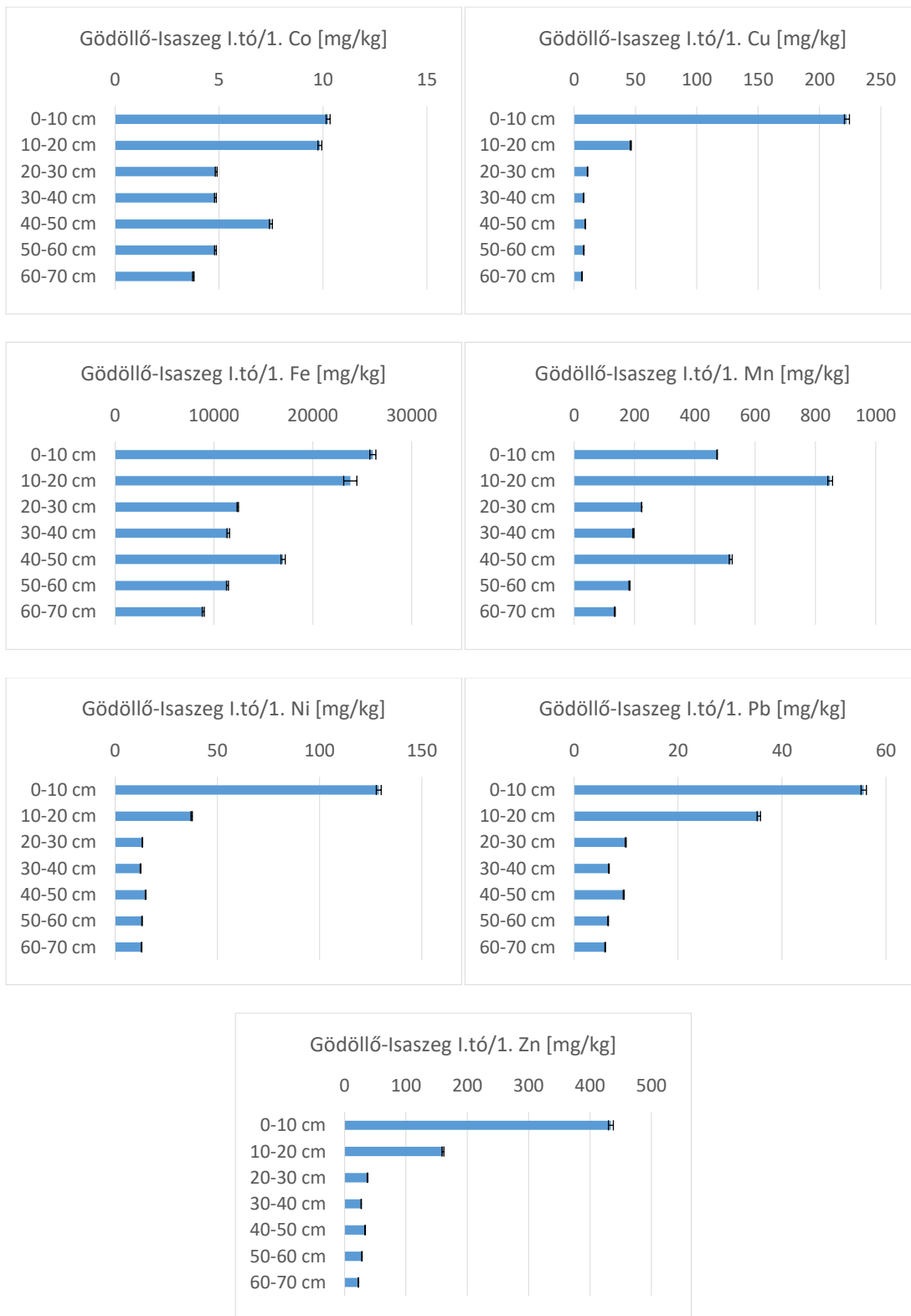
Az I-es tó 3 szelvényét, míg a VII-es tó 4 szelvényét összevetve az alábbi minimum és maximum koncentrációkkal jellemezhetőek, melyet a 19. táblázat foglal össze.

19. táblázat: Az I-es és a VII-es tavakat leíró minimum-maximum elemtartalmak

		I. tó (Σ 3 szelvény)	VII. tó (Σ 4 szelvény)
Cd [mg/kg]	Min	2,96 \pm 0,03	0,1 \pm 0
	Max	24,5 \pm 0,2	40,4 \pm 0,2
Co [mg/kg]	Min	3,76 \pm 0,03	1,62 \pm 0,01
	Max	10,2 \pm 0,1	32,3 \pm 0,3
Cr [mg/kg]	Min	13,4 \pm 0,1	3,64 \pm 0,03
	Max	244 \pm 2	1970 \pm 18
Cu [mg/kg]	Min	6,54 \pm 0,06	2,76 \pm 0,03
	Max	569 \pm 5	230 \pm 2
Mn [mg/kg]	Min	135 \pm 1	32,4 \pm 0,3
	Max	1190 \pm 11	676 \pm 6
Ni [mg/kg]	Min	10,6 \pm 0,1	3,11 \pm 0,03
	Max	139 \pm 1	134 \pm 1
Pb [mg/kg]	Min	5,98 \pm 0,05	4,84 \pm 0,04
	Max	55,7 \pm 0,5	379 \pm 3
V [mg/kg]	Min	7,81 \pm 0,07	0,78 \pm 0,01
	Max	37,6 \pm 0,4	33,2 \pm 0,3
Zn [mg/kg]	Min	20,8 \pm 0,2	3,91 \pm 0,04
	Max	787 \pm 7	1636 \pm 15
Fe [mg/kg]	Min	7549 \pm 39	1761 \pm 8
	Max	26074 \pm 308	28321 \pm 40
S [mg/kg]	Min	7,28 \pm 0	1333 \pm 1
	Max	15480 \pm 184	30530 \pm 116

Eredményeimet grafikusán is ábrázoltam, melyeken jól látható, hogy adott szelvény esetében hogyan változik elemenként a koncentráció a mélység felé haladva (11. a-i. ábrák). A teljes pszeidototal elemtartalom méréseket bemutató grafikonokat a mennyiségük miatt a Melléklet fejezetben az 1.a-i – 6.a-i. ábrákon szerepeltetem.





11. a-i. ábrák: A potenciálisan toxikus elemek koncentrációjának mélységi eloszlása a I.tó/1-es szelvényben \pm SD (2013)

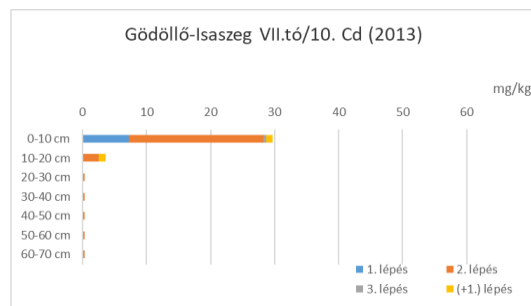
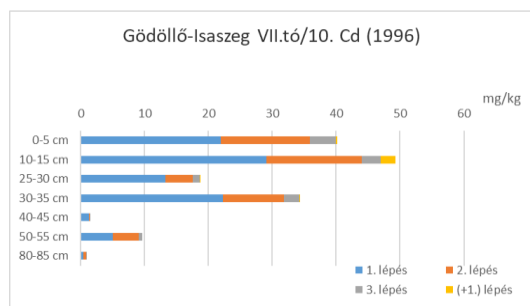
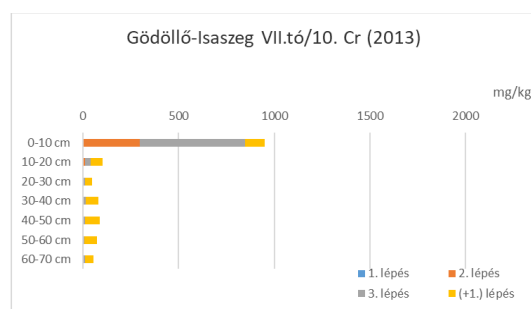
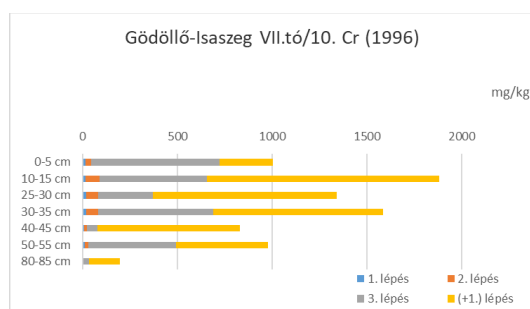
A 2013-as mintavételek során vett üledékmagminták teljes oldható PTE-koncentrációjának függőleges térképezésének eredményeit a táblázatos formában a

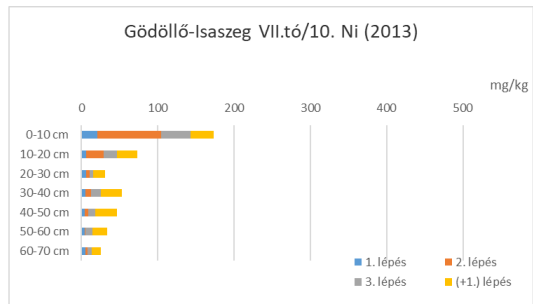
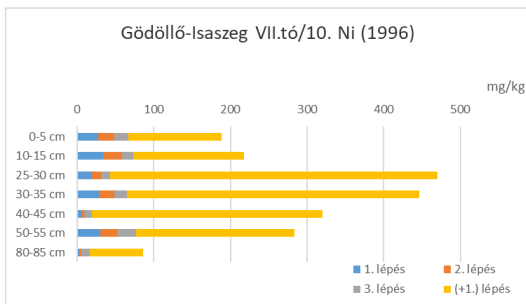
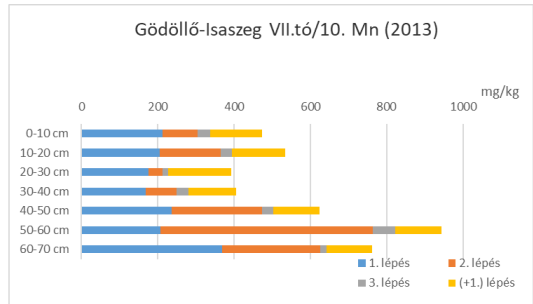
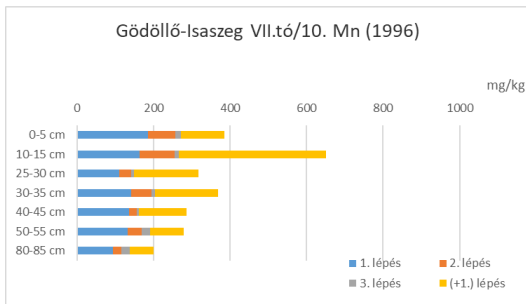
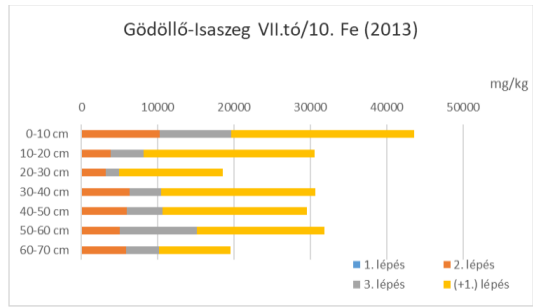
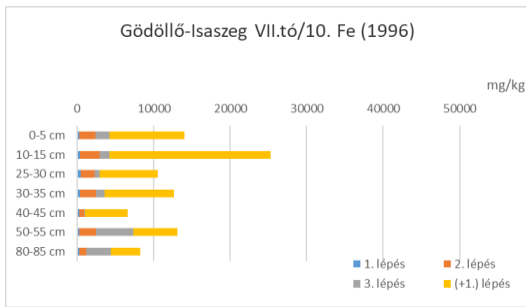
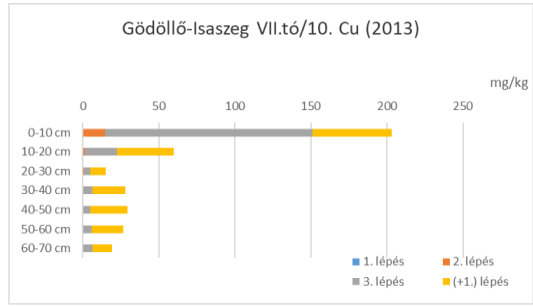
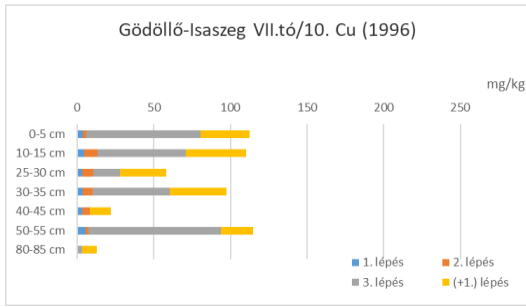
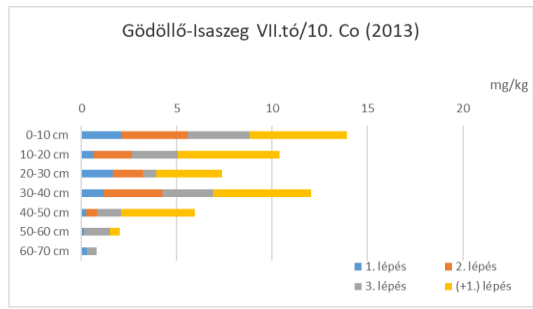
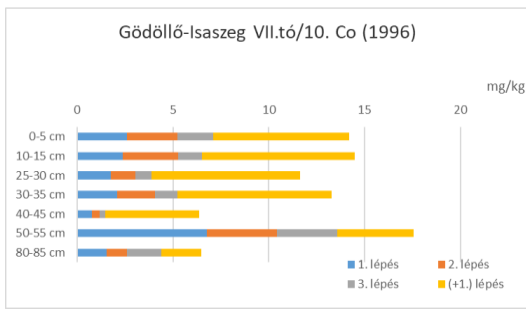
Melléklet fejezetben a 2.a. és 2.b. táblázatokban foglaltam össze. A VII.-es tóból 2013-ban vett üledékmagmintákban a PTE-koncentráció csökkenésének tendenciája figyelhető meg legtöbb elem esetében, kivételt képez ez alól a vanádium és a cink elemek. A Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb és a Zn koncentrációja a mélyebb rétegekben 2013-ban jelentősen csökkent, de a 0-10 cm-es felső rétegben még mindig igen magas, melyek néhány esetben meghaladják a szennyezettségi határértékeket is.

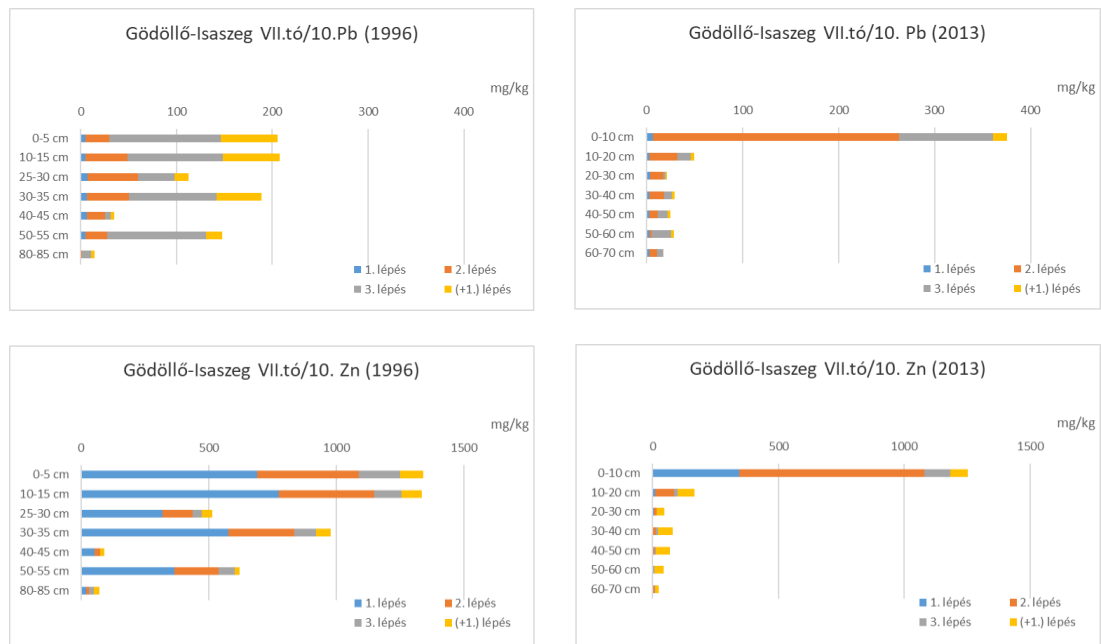
A Fe - és Mn koncentrációja minden rétegben jelentősen megnőtt 2013-ban, valószínűleg a 2003-as üledékeltávolítási művelet során kialakult oxidatív körülményekkel magyarázható. Általánosságban megállapítható, hogy a PTE-szennyezés eltávolítása a VII-es tóból 2003-ban nem volt teljes.

5.2. Szekvens extrakció BCR protokoll alapján

Ahhoz, hogy mérésem jóságát alátámasszam referencia mintát is vizsgáltam. Az általam alkalmazott certifikált BCR CRM-701-es üledékminta 6 elemre van bizonylatolva, melyek a kadmium (Cd), króm (Cr), réz (Cu), nikkel (Ni), ólom (Pb) és cink (Zn) elemek. Fontosnak tartom itt is megemlíteni, hogy a +1. és +2. lépések során kapott eredmények csak indikatív információval szolgálnak számunkra. A Melléklet fejezet 5. táblázatában tüntettem fel a BCR CRM-701-es üledék referencia minta BCR protokoll szerinti mérési eredményeit (szignifikancia szint: $p=1\%$).







12. a-m. ábrák: A Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn BCR szekvens extrakció eredményei az 1996-ban és 2013-ban vett VII/10 üledék magmintákban (az SD értéke nem haladja meg a ± 5 mg/kg-ot)

A Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb és a Zn BCR szekvens extrakció eredményei (12. a-m ábrák) az 1996-ban és 2013-ban vett VII/10 üledék magmintákban. Azért esett a választás a VII/10-es mintára, mert ezen a ponton volt a legmagasabb kimutatható PTE-terhelés 1996-ban.

Az 1996-os mintavétel eredményihez képest (Heltai et al. 2018) a Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb és a Zn koncentrációja a mélyebb rétegekben 2013-ban jelentősen csökkent, de a 0-10 cm-es felső rétegben még mindig magas és egyes esetekben meghaladja a talajszennyezettségi határértékeket is. A Fe és a Mn koncentrációja minden rétegben jelentősen megemelkedett a 2013-as évet követően.

A BCR 1-es frakciójában a PTE-k aránya jelentősen csökkent, mely annak tulajdonítható, hogy a 2003-as üledékeltávolítás során a legmobilisabb frakció ez elfolyó vízzel tovább szállítódott.

A BCR 2-es frakció aránya a több elem esetében jelentősen megnőtt, ez az oldhatatlan vas- és mangánoxidok képződésével magyarázható, mivel az üledék felső rétege közvetlenül érintkezett a levegővel.

A pszeidototál elemtartalom eredmények kiértékelésénél tett megállapításom itt is helyt áll, hogy a PTE-szennyeződés eltávolítása a VII-es tóból nem volt teljes 2003-ban. Az üledékek különböző kémiai fázisaihoz (F1 = vízoldható, kicserélhető és a karbonátokhoz kötött elemtartalom, F2 = redukálható (vas) mangán oxi-hidroxidokhoz

kötött elemtartalom, F3 = oxidálható (pl. szulfidokhoz és szerves anyagokhoz kötött) elemtartalom, és F4= reziduális frakció) tartozó elemek értékei (20. táblázat) a következő sorrendet követik a 2013-as mintavételi évben.

20. táblázat: Adott elemek frakciók közötti megoszlása

Rétegek [cm]	Cr				Cd				Co				Cu				Fe				Mn				Ni				Pb				Zn							
	F1	F2	F3	F4	F1	F2	F3	F4	F1	F2	F3	F4	F1	F2	F3	F4	F1	F2	F3	F4	F1	F2	F3	F4	F1	F2	F3	F4	F1	F2	F3	F4	F1	F2	F3	F4				
0-10																																								
10-20																																								
20-30																																								
30-40																																								
40-50																																								
50-60																																								
60-70																																								

Ezek alapján elmondható, hogy a króm a felső 10 cm-ben F3, majd F4; a kadmium F2; a kobalt 50 cm-ig F4, majd F3; a réz, vas és a nikkelt teljes rétegmintában F4; mangán F1; az ólom 40 cm-ig F2, 60 cm-ig F3, majd ismét F2 és a cink 20 cm-ig F2, majd F4 frakciókban dominálnak, melyeket a sötét szürke szín jelez.

5.3. Szuperkritikus folyadék extrakció (SFE) módszerfejlesztése és a 3. lépés kinetikai vizsgálata

A kinetikai vizsgálataimnak alapjául szolgált Halász (2010) korábbi módszerfejlesztése, oly módon; hogy a korábban alkalmazott oszlopkonstrukciót lekicsinyítettem és 0,5000g-os mintabetöltést alkalmaztunk a vakminta mellett.

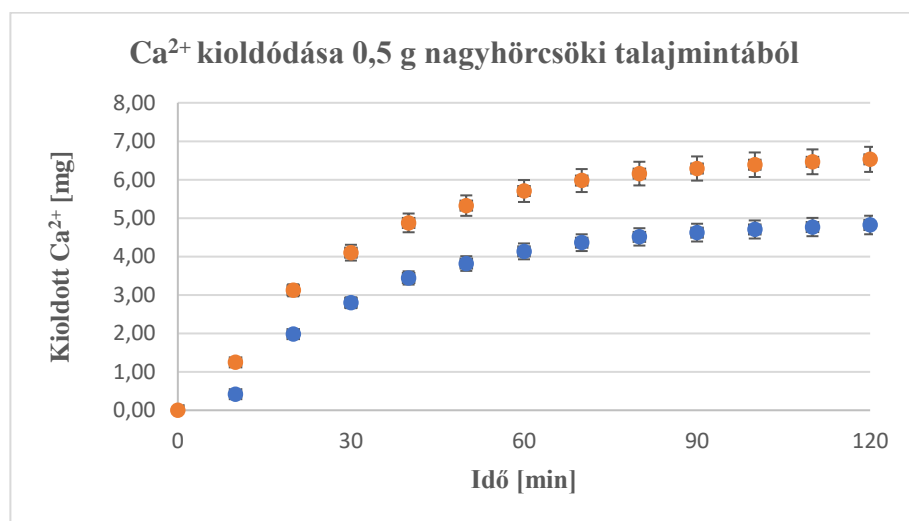
A felhasznált minták az alábbiak voltak:

- ✧ analitikai tisztaságú kvarchomok (VWR)
- ✧ nagyhőrcsöki talaj
- ✧ kecskeméti talaj
- ✧ mosonmagyaróvári talaj

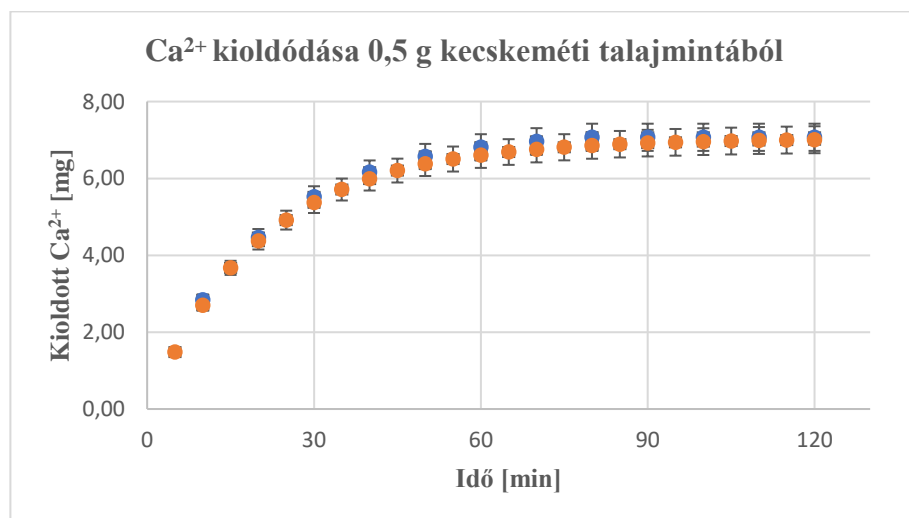
Kinetikai vizsgálataim alapjának tekintem King és munkatársainak (1993) fázisgörbe meghatározását, melyet 3 szakaszra osztottam fel és alkalmaztam a fent említett minták tanulmányozásakor. Elmondható, hogy a nagyhőrcsöki (Melléklet, 6.

táblázat) - és a kecskeméti (Melléklet, 7. táblázat) talajminták esetén jól látható a 3 szakasz felosztása; míg a jóval kötöttebb és magasabb szerves anyagtartalmú mosonmagyaróvári minta (Melléklet, 8. táblázat) esetén a 2. szakasz épp, hogy kirajzolódni látszik.

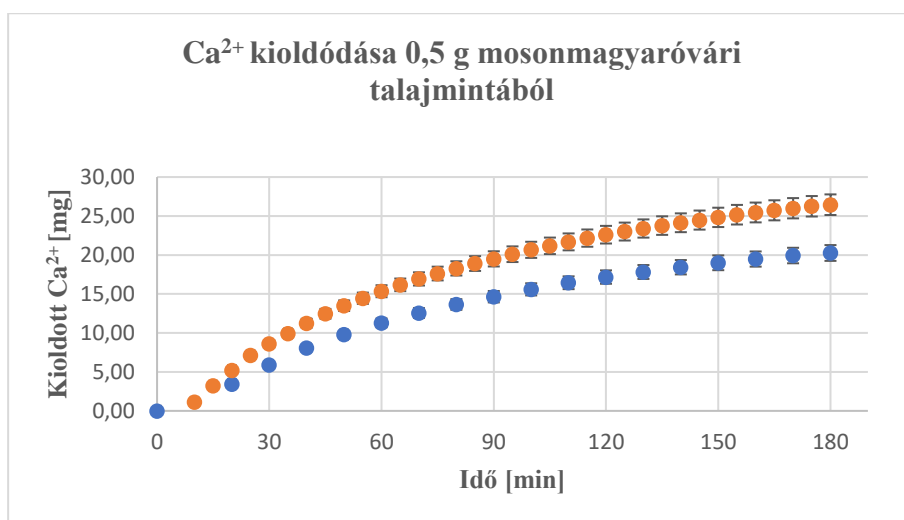
Itt indokolt a 3. lépés reakció idejének jelentős mértékű megnövelése. Mindhárom esetben elmondható, hogy vizsgálataink eredményesnek bizonyultak, hiszen a 2015-ös évben mért extraktumok koncentrációi által kirajzolt görbék „meghaladják” a 2011-es évet, kivételt képez a kecskeméti minta; ahol szinte teljesen fedésben van e két görbe; ezért ennek a mintának részletesebb statisztikai kiértékelésétől eltekintek. Mindezeket a fenti 3 grafikon jól szemlélteti (13-15. ábrák).



13. ábra: Ca²⁺ kioldódása a nagyhorcsöki talajmintából (kék pontok: 2011. év, piros pontok: 2015. év, 5-os hibásavval)



14. ábra: Ca²⁺ kioldódása a kecskeméti talajmintából (kék pontok: 2011. év, piros pontok: 2015. év, 5%-os hibásavval)



15. ábra: Ca^{2+} kioldódása a mosonmagyaróvári talajmintából (kék pontok: 2011. év, piros pontok: 2015. év, 5%-os hibasávval)

Jól látható, hogy a 2015-ben alkalmazott csökkentett méretű oszlop esetén nagyobb mértékű Ca^{2+} ion kioldódása tapasztalható az egyes frakciókban. Determinációs együttható (R^2) az új oszloppal elvégzett mérések görbéje esetén jobb. A paramétereket az „anyag” oldékonysága határozza meg. A kinyerési görbék páronként hasonló „alakúak”.

A korrigált Ca^{2+} ionok koncentrációját összevetve az extrakciós idő, illetve a minták összes Ca^{2+} koncentrációjának függvényében; elmondható, hogy az új oszloppal kinyert frakciók összevont koncentrációik alapján a nagyhőrsöki minta esetén 17,81%-kal; míg a mosonmagyaróvári minta esetén 14,00%-kal több Ca^{2+} -t sikerült extrahálnunk, melyet a 21. és 22. táblázatok szemléltetnek. Telítési idők grafikus ábrázolásról elmondhatjuk, hogy a nagyhőrsöki minta esetén 120 perc alatt 6,55 mg Ca^{2+} -t; míg a mosonmagyaróvári minta 180 perc alatt 26,45 mg Ca^{2+} -t tudtam kioldani.

21. táblázat: A nagyhőrsöki minta Ca^{2+} kioldódásának mértéke

Nagyhőrsök			
	Extrakciós idő [min]	Kioldott ΣCa^{2+} [mg]	Korrigált kioldott Ca^{2+} [mg]
Régi oszlop	120	8,54	4,82
Új oszlop	120	10,25	6,55

22. táblázat: A mosonmagyaróvári minta Ca^{2+} kioldódásának mértéke

Mosonmagyaróvár			
	Extrakciós idő [min]	Kioldott ΣCa^{2+} [mg]	Korrigált kioldott Ca^{2+} [mg]
Régi oszlop	180	23,98	20,26
Új oszlop	180	30,17	26,45

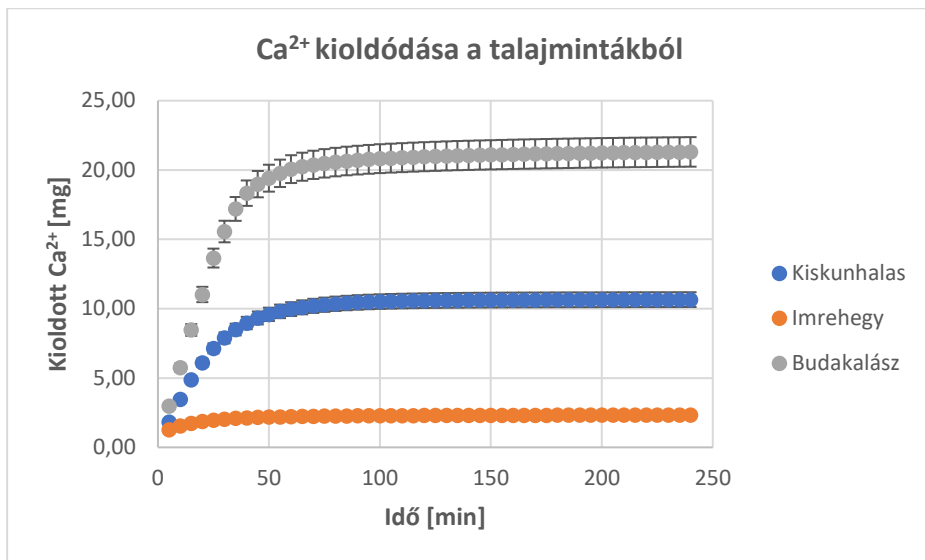
Elmondható, hogy az extraháló oszlop méretének lecsökkentésével jelentős kioldásból származó problémára találtunk megoldást, mint például sikeresen lecsökkentettük a vak értékéből származó zavaró hatásokat.

A módszer igazolását követően újabb mintákra végeztem el a szuperkritikus extrakció 3. lépését (Melléklet, 9. táblázat), melyhez kiskunhalasi, imrehegyi és budakalászi mintákat használtam. Az alábbi táblázat néhány talajtani paramétert mutat be (23. táblázat).

23. táblázat: Különböző talajminták vizsgálati alapparaméterei

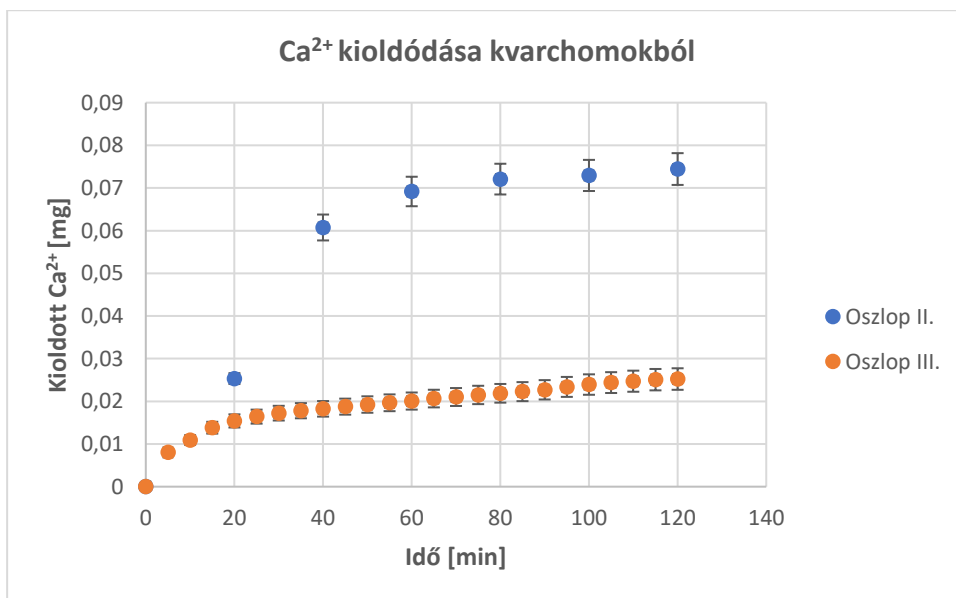
Minta megnevezése (jelölése)	Kiskunhalas (KKH)	Imrehegy (IH)	Budakalász (BK)
$\text{pH}_{(\text{vizes})}$	8,86	8,47	8,17
$\text{pH}_{(\text{KCl})}$	6,87	7,11	7,14
savanyodási hajlam	1,99	1,36	1,03
KA	<25	<25	34
mésztartalom min.	++	+	++
mésztartalom	3,26	0,85	1,91
karbonát tartalom	6 mg $\acute{\text{e}}\acute{\text{e}}/100\text{g}$ talaj	18 mg $\acute{\text{e}}\acute{\text{e}}/100\text{g}$ talaj	30 mg $\acute{\text{e}}\acute{\text{e}}/100\text{g}$ talaj
hidrokarbonát tartalom	12,2 mg $\acute{\text{e}}\acute{\text{e}}/100\text{g}$ talaj	0 mg $\acute{\text{e}}\acute{\text{e}}/100\text{g}$ talaj	42,7 mg $\acute{\text{e}}\acute{\text{e}}/100\text{g}$ talaj

Az alábbi grafikonnal (16. ábra) szemléltetem az eltérő karbonát-tartalmú talajminták SFE 3. lépését.



16. ábra: Ca²⁺ kioldódása a kiskunhalasi, imrehegyi és budakalászi talajmintákból (5%-os hibasávval)

Korábban említettem, hogy a kísérletsorozat alátámasztása érdekében egy 3. oszloptípust is bevontam. Ezen oszlop 3. lépésből származó eredményeit a módosított oszlop eredményeivel vettem össze (17. ábra). E méréseket csak analitikai tisztaságú kvarchomokra végeztem el.



17. ábra: Szubkritikus H₂O/CO₂ (5%) kioldások az Oszlop II-ben (módosított, 5%-os hibasávval) és Oszlop III-ban (10%-os hibasávval)

Ezzel a mérési sorozattal azt szerettem volna érzékeltetni, hogy mekkora jelentőséggel bír egy helyesen megválasztott oszlop konstrukció, gondolva itt a

térfogatra, fajlagos felületre, méretváltozásra, bemért tömegekre. Az eredményekből jól látszik, hogy a módosított oszlop (Oszlop II.) jó választásnak bizonyult.

5.4. A teljes SFE frakcionálás elemanalitikai mérési eredményeinek kiértékelése

A szuperkritikus folyadék extrakció (24. a-b táblázatok) mindhárom lépését végrehajtottam 5 db mintán. A szuperkritikus CO₂-dal végzett első lépésre elmondható, hogy csak néhány esetben sikerült értékelhető elemkoncentrációt mérnünk. A második és harmadik lépésekben jelentős kioldódás figyelhető meg, főleg a mosonmagyaróvári minta esetén. A cink koncentrációja a talajban általában alacsony. Elmondható, hogy rézhez hasonló tulajdonságokkal rendelkezik. A nagy mennyiségű szénsavas meszet tartalmazó talajokban, mint például az általam vizsgált mosonmagyaróvári mintában jóval több cink elem-koncentráció figyelhető meg; mint egy kevésbé kötött talaj esetén (Nagyhörcsök, Kecskemét). Ez az észrevétel viszont ellentmond a szakirodalomban kőbe vésett megállapításoknak, mi szerint a magasabb szénsavas mésztartalom esetén cink-hiányos talajokra számíthatunk. Ezt az eredményt a SFE karbonátokhoz kötött frakciók feltárásával tudom magyarázni. A réz nagyon kevésbé mozgékony a talajokban. Elmondható, hogy minél magasabb egy minta szerves anyag tartalma, annál magasabb az SFE-vel kioldható elemtartalom. A kecskeméti minta nikkeltartalma 2,46 mg/kg-os értéket kaptunk, ezzel ő képviseli a legmagasabb értéket. Homoktalajok esetén a nikkeltartalom és cink koncentrációk, míg a kötöttebb talajok esetén a kadmium és a króm is megfigyelhető. A budakalászi minta esetén 14,08 mg/kg-nyi cinket kaptam.

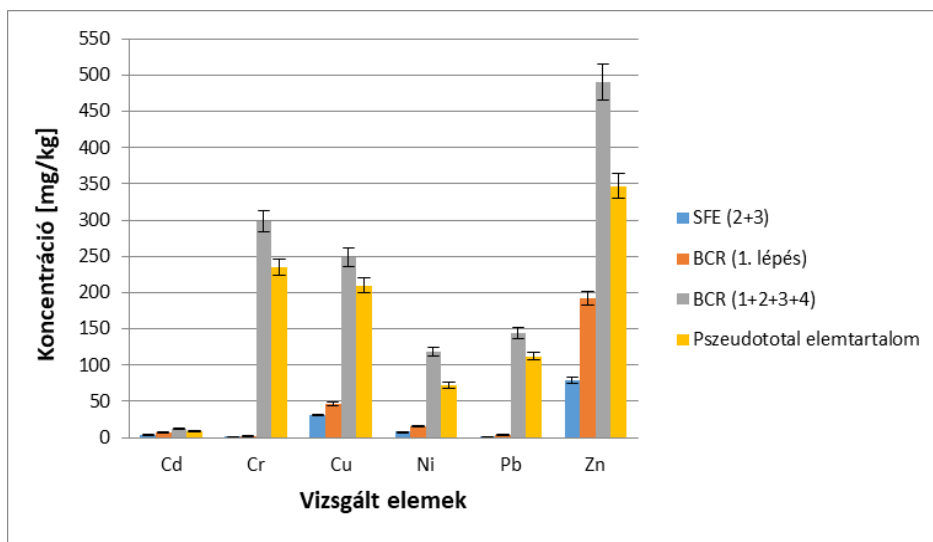
24. a-b. táblázatok: Elemanalitikai vizsgálat eredményei [mg/kg]-ban kifejezve (az SD értéke nem haladja meg a Ca esetén a ± 10 mg/kg-ot, a többi elem esetében nem haladta meg a relatív $\pm 10\%$ -ot)

Elem	Nagyhörcsök			Kecskemét			Mosonmagyaróvár		
	SFE 1.	SFE 2.	SFE 3.	SFE 1.	SFE 2.	SFE 3.	SFE 1.	SFE 2.	SFE 3.
[mg/kg]									
Ca	n.d.	4700	7367	9,15	2785	2510	n.d.	3585	76,84
Cd	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,01	n.d.	149,9
Cr	n.d.	n.d.	n.d.	1,05	n.d.	n.d.	0,01	0,03	105,3
Cu	n.d.	0,50	n.d.	0,10	n.d.	n.d.	n.d.	0,37	87,04
Ni	n.d.	0,32	0,92	2,46	0,21	0,23	n.d.	0,19	103,1
Pb	n.d.	n.d.	0,07	0,06	n.d.	0,07	n.d.	n.d.	n.d.
Zn	n.d.	7,22	n.d.	0,21	0,31	1,75	n.d.	n.d.	97,78

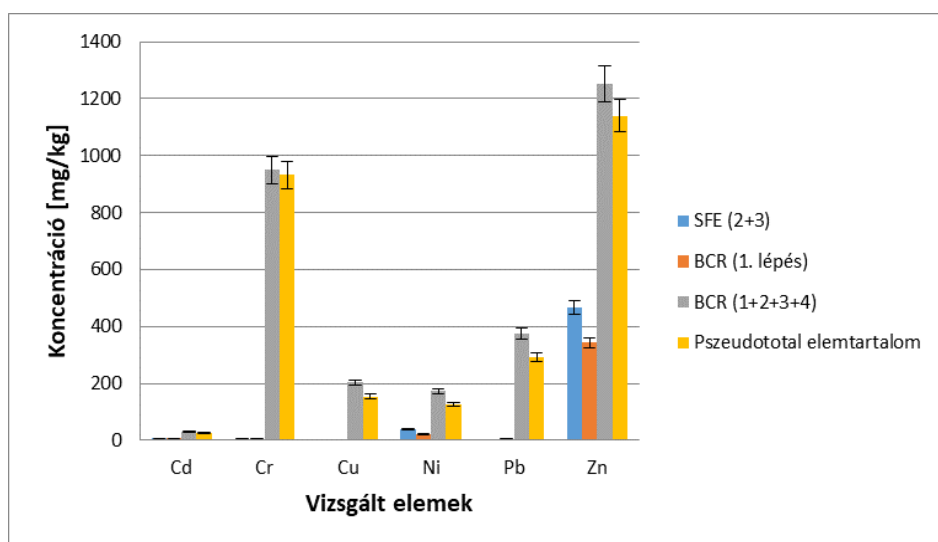
Elem	Vásárosnamény			Budakalász		
	[mg/kg]	SFE 1.	SFE 2.	SFE 3.	SFE 1.	SFE 2.
Ca	n.d.	2031	3940	n.d.	3203	10269
Cd	n.d.	n.d.	0,52	n.d.	n.d.	0,22
Cr	n.d.	0,03	0,06	n.d.	n.d.	n.d.
Cu	n.d.	0,16	n.d.	0,14	0,08	0,26
Ni	n.d.	0,05	2,16	n.d.	0,36	1,46
Pb	n.d.	n.d.	0,80	n.d.	n.d.	5,92
Zn	n.d.	n.d.	19,38	0,04	n.d.	14,04

5.5. Metodikai összehasonlítások, visszanyerhető elemtartalmak meghatározása üledék rétegekben

Az alábbi két grafikon (18. ábra és 19. ábra) szemlélteti a BCR-701-es üledék referencia minta és a Gödöllő-Isaszeg között található VII.tó/10-es szelvényből származó üledékminta nehézfémek koncentrációinak megoszlását az SFE (szubkritikus H₂O-zel és szubkritikus H₂O/CO₂ keverékével kinyert elemtartalmak összege), BCR (1. lépése és a 4 lépésének összege) és a mikrohullámú feltárás között. Jól látható a két grafikonon, hogy a könnyen mobilizálható elemek; a réz, a nikkelt; de legfőképpen a cink elem tartalma emelkedik ki az SFE eljárás során.



18. ábra: BCR-701-es referencia minta értékeinek összehasonlítása



19. ábra: Gödöllő- Isaszeg V. tó (0-10cm) üledékminta értékeinek összehasonlítása

A BCR szekvens extrakciós eljárással (25. táblázat) és a továbbfejlesztett SFE eljárással elérhető frakcionálási eredményeket a BCR CRM-701 minta és a Gödöllő-Isaszegi tórendszer VII. számú halas tavából vett üledékminta segítségével hasonlítottam össze.

A BCR CRM 701 referencia mintára mért és hitelesített értékek különbsége $p=5,0$ %-os szinten szignifikáns különbséget mutatnak, melyeket a táblázatban *-gal jelöltem. Ezek a különbségek $p=0,1$ %-os szinten nem szignifikánsak. Megállapítható, hogy a BCR CRM 701 esetében a mért és a hitelesített koncentrációk elfogadható egyezést mutatnak, azaz a BCR szekvens extrakció alkalmazása megbízhatóan történt. Ezek alapján elmondható, hogy a gödöllői-isaszegi üledékmintára kapott frakcionálási eredmények is megbízhatóak.

25. táblázat: A BCR CRM 701 minta és a gödöllői tó üledékmintájának frakcionálási eredményei

[mg/kg]	BCR protocol				
		BCR CRM 701	Certifikált érték	Visszanyert certifikált érték, %	Gödöllő (2013)
1. lépés	Cd	6,96 ± 0,09	7,3 ± 0,4	95,34	7,25 ± 0,18
	Cr	2,68 ± 0,02*	2,26 ± 0,16	118,58*	4,13 ± 0,13
	Cu	46,8 ± 0,1*	49,3 ± 1,7	94,93*	0,2 ± 0
	Ni	15,8 ± 1,6	15,4 ± 0,9	102,60	21,1 ± 0,4
	Pb	3,55 ± 0,22	3,18 ± 0,21	111,64	6,32 ± 0,25
	Zn	192 ± 2	205 ± 6	93,66	344 ± 13
2. lépés	Cd	3,66 ± 0,55	3,77 ± 0,28	97,08	21 ± 0,9
	Cr	46,6 ± 6	45,7 ± 2,0	101,97	294 ± 9
	Cu	112 ± 2	124 ± 3	90,32	14 ± 1
	Ni	29 ± 4,7	26,6 ± 1,3	109,02	83,9 ± 2,1
	Pb	116 ± 3	126 ± 3	92,06	257 ± 11
	Zn	117 ± 15	114 ± 5	102,63	737 ± 22
3. lépés	Cd	0,09 ± 0,05	0,27 ± 0,06	33,33	0,51 ± 0,04
	Cr	118 ± 9	143 ± 7	96,55	551 ± 61
	Cu	53,1 ± 1,2	55 ± 4	96,55	136 ± 2
	Ni	14,9 ± 4,2	15,3 ± 0,9	94,77	37,9 ± 0,4
	Pb	9,2 ± 0,8	9,3 ± 2,0	98,93	97,8 ± 0,6
	Zn	42,4 ± 2,5	46 ± 4	92,17	101 ± 1
(+) lépés	Cd	1,68 ± 0,03			0,97 ± 0,15
	Cr	131 ± 1			101 ± 2
	Cu	37,8 ± 1,3			52,2 ± 0,2
	Ni	59,6 ± 1,8			30,5 ± 0,1
	Pb	15,2 ± 0,58			14,4 ± 0,56
	Zn	139 ± 2			70,7 ± 2,2
Σ(1+2+3+(+))	Cd	12,39			29,73
	Cr	298,28			950,13
	Cu	249,7			202,4
	Ni	119,3			173,4
	Pb	143,95			375,52
	Zn	490,4			1252,7
Pszuedototal elemtartalom	Cd	9,52 ± 0,53			25,7 ± 0,9
	Cr	235 ± 12			932 ± 32
	Cu	210 ± 17			154 ± 54
	Ni	72 ± 5			127 ± 4
	Pb	112 ± 10			291 ± 10
	Zn	347 ± 18			1139 ± 39

A BCR CRM 701 - és a gödöllői isaszegi tó üledékmintájának frakcionálási eredményeit összehasonlítva megállapítható, hogy mindkét üledékminta minden frakcióban jelentős mennyiségű PTE-t tartalmaz, és az egyes elemek frakciók közötti eloszlása jól tükrözi a szennyeződés eredetét. Látható, hogy a leginkább mobilizálható 1. frakció a réz kivételével mindkét mintában azonos nagyságrendben tartalmaz PTE-ket. A 26. táblázatban látható, hogy az 1. BCR lépéssel hasonló, de nem pontosan

azonos mennyiségű PTE oldható ki, mint az összegzett három SFE lépéssel, azaz az SFE eljárásunk a legpontosabban a könnyen mobilizálható PTE frakciókat jellemzi.

26. táblázat: A BCR CRM 701 minta és a gödöllői üledékmintának pszeidototal - és SFE szekvens extrakcióval kinyert elemtartalmának összehasonlítása

[mg/kg]	SFE		
		BCR CRM 701	Gödöllő (2013)
SFE 1.	Cd	0,01 ± 3,53	n.d.
	Cr	0,10 ± 1,45	n.d.
	Cu	0,04 ± 0,33	n.d.
	Ni	0,07 ± 1,72	0,04 ± 13,01
	Pb	0,03 ± 1,77	0,01 ± 8,65
	Zn	0,05 ± 0,6	0,04 ± 4,25
SFE 2.	Cd	0,15 ± 3,83	0,10 ± 4,89
	Cr	0,54 ± 0,95	0,84 ± 2,23
	Cu	5,13 ± 0,19	0,94 ± 1,27
	Ni	1,84 ± 0,65	1,99 ± 5,32
	Pb	n.d.	n.d.
	Zn	2,60 ± 0,52	3,56 ± 0,50
SFE 3.	Cd	3,51 ± 0,90	6,48 ± 0,21
	Cr	0,66 ± 0,41	4,41 ± 0,40
	Cu	28,22 ± 0,26	0,12 ± 8,02
	Ni	6,81 ± 3,59	37,69 ± 1,59
	Pb	1,76 ± 8,86	n.d.
	Zn	82,67 ± 0,38	464,55 ± 0,99
Σ(1+2+3)	Cd	3,67	6,58
	Cr	1,30	5,25
	Cu	33,39	1,06
	Ni	8,72	39,72
	Pb	1,79	0,01
	Zn	85,32	468,15
Pszeidototal elemtartalom	Cd	9,52 ± 0,53	25,7 ± 0,9
	Cr	235 ± 12	932 ± 32
	Cu	210 ± 17	154 ± 54
	Ni	72 ± 5	127 ± 4
	Pb	111 ± 10	291 ± 10
	Zn	347 ± 18	1139 ± 39

A korábbi tapasztalatok (Heltai et al. 2002) alapján a Cd, Pb, és Zn elemekre nagyságrendi különbségek adódtak a két módszer között, melyet az extrakciós idők megnövelésével sikerült kiküszöbölnünk. A mobilis elemfrakciót a BCR-ajánlás szerinti ecetsavas kioldás önmagában jellemzi, míg az SFE eljárás két frakcióra bontja, vízoldható és karbonátokhoz kötött frakciókra (27. és 28. táblázatok).

A (BCR 3)/(CO₂) arányából az apoláris jellegű szerves anyagokra, illetve esetleg elemi kénre tudunk következtetni. A mintákat összevetve elmondható, hogy mindkét esetben a cink és a kadmium könnyebben mobilizálódik a többi elemhez képest. A VII.-es tó 10-es szelvénye esetén a magas arány alapján feltételezhető, hogy a nikkellel, az ólom és a kadmium jelentős része szerves anyaghoz kötődik.

27. táblázat: A BCR és az SFE extrakció összehasonlítása – BCR CRM 701 esetében

Hányadosok/ Elemek	(BCR 1) / (H ₂ O)	(BCR 1) / (H ₂ O/CO ₂)	(BCR 1) / (H ₂ O)+(H ₂ O/CO ₂)	(BCR 3) / (CO ₂)
Cd	49,24 ± 0,02	2,14 ± 0,10	2,05 ± 0,02	13,00 ± 0,01
Cr	5,43 ± 0,02	4,41 ± 0,05	2,43 ± 0,01	1559 ± 1
Cu	9,84 ± 0,53	1,79 ± 0,38	1,51 ± 0,22	2124 ± 4
Ni	9,28 ± 2,46	2,50 ± 0,45	1,97 ± 0,38	261,4 ± 0,3
Pb	nd	2,28 ± 0,02	2,18 ± 0	484 ± 1
Zn	79,74 ± 3,85	2,51 ± 5,26	2,43 ± 2,22	989 ± 4

28. táblázat: A BCR és az SFE extrakció összehasonlítása – Gödöllő-Iszaszeg VII.tó/10. (0-10 cm) esetében

Hányadosok/ Elemek	(BCR 1) / (H ₂ O)	(BCR 1) / (H ₂ O/CO ₂)	(BCR 1) / (H ₂ O)+(H ₂ O/CO ₂)	(BCR 3) / (CO ₂)
Cd	69,5 ± 0,1	1,12 ± 0,86	1,10 ± 0,04	n.d.
Cr	4,93 ± 0,06	0,94 ± 0,33	0,79 ± 0,05	n.d.
Cu	0,21 ± 0	0,48 ± 0	0,15 ± 0	n.d.
Ni	10,59 ± 0,08	0,56 ± 0,25	0,53 ± 0,06	939 ± 0,03
Pb	n.d.	n.d.	n.d.	14410 ± 0,01
Zn	96,53 ± 26,00	0,74 ± 13,13	0,73 ± 8,72	2391,6 ± 0,3

5.6. Halastavak üledékmintáinak geokémiai jellemzése rétegek szerint, PTE-k mobilizációjának kockázati becslése

A geokémiai indexek értékeihez egy adott kategóriát rendelünk, melyek általában (indextől függően) 1-5/1-6/1-7 közti értékeket kapnak. A könnyebb összehasonlítás érdekében minden kategóriához 1-1 szürke színárnyalatot rendeltem. Az 1-es érték, mely esetében nem áll fenn vagy nagyon csekély mértékű szennyezés áll fenn nagyon világos szürke színt kapott. A többi érték esetében minél magasabb az index értéke, annál sötétebb árnyalatú szürke jelölést kaptak.

A Fe-t választottam referencia elemnek, melyet számos szakirodalom javasol. Az indexeket kadmiumra (Cd), kobaltra (Co), krómra (Cr), rézre (Cu), mangánra (Mn), nikkelle (Ni), ólomra (Pb) és cinkre (Zn) számoltam ki.

Az értékelés során szem előtt kell tartani, hogy nincsenek köbe vésve a referencia elemeknek használható elem(ek) köre, továbbá, hogy melyik szakirodalomban közölt litográfiai/anyagőzet elemkoncentrációját kell referencia elemkoncentrációként alkalmazni, éppen ezért sokak által használt CRC kézikönyvben (Haynes 2016) rögzített, számolt adatait használtam fel.

Sakan és munkatársai (2014) számos irodalomban szereplő háttérkoncentrációk nemzetközi- és nemzeti „referenciakoncentrációk” normalizált értékét használták fel. Egy olyan javaslattal álltak elő, hogy az üledékek PTE-tartalmának mennyiségi meghatározásához helyi és regionális értékeket kellene felhasználni, mivel ezek az értékek helyenként és régióként igen eltérőek (lehetnek). Vagy éppen az USGS (http3.) tanulmányai, akik 1008 db üledék minta vizsgálatát végezték el, majd matematikai modellek lefuttatása után határozták meg a referencia értékeket.

Az általam alkalmazott geokémiai indexek nagyon jól összevethetőek a PTE-k pszeidototál és szekvens extrakciós eredményekkel, továbbá az MSZ és EPA szabványok háttérértékes rendszerével. Fontosnak tartom megjegyezni, hogy míg a környezetanalitikában a $\text{HNO}_3+\text{H}_2\text{O}_2$ MW feltárást, addig a környezeti geokémiában királyvizes feltárást részesítik előnyben. A szakirodalomban a geokémiai indexek kiértékelésénél nincs kötelezően alkalmazandó mátrix sem, ebből adódóan kisebb eltérések lehetnek.

A következőkben 8 geokémiai indexre kapott eredményeimet mutatom be.

5.6.1. Összes elemtartalomhoz kapcsolódó indexek kiértékelése

Szennyezettségi tényező - Contamination factor [CF]

A szennyezettségi tényező esetén egy 4 kategóriás rendszert alkalmaztam (29. táblázat). Az 1-es értékű rétegekben alacsony szintű szennyezés, a 2-es rétegekben mérsékelt szintű, a 3-as jelentős szintű, míg a 4-es kategóriánál már nagyon magas szintű szennyezés áll fenn.

A kadmium CF értékéről elmondható, hogy az I-es tó/1-3 rétegminták esetében nagyon magas értékeket kaptam, amely a VII-es tó/10, 11-es rétegminták is igaz. A kobaltnál, a mangánál és a nikkelnél alacsony szintű szennyezés figyelhető meg, habár a nikkelnél már 6 rétegben mérsékelt szintű szennyezés áll fenn. A krómnál, réznél, ólomnál és cinknél egyes rétegek esetében jelentős szintű és/vagy nagyon magas szintű szennyezés áll fenn, melyek a felső 30 cm- es rétegvastagságot jellemzik.

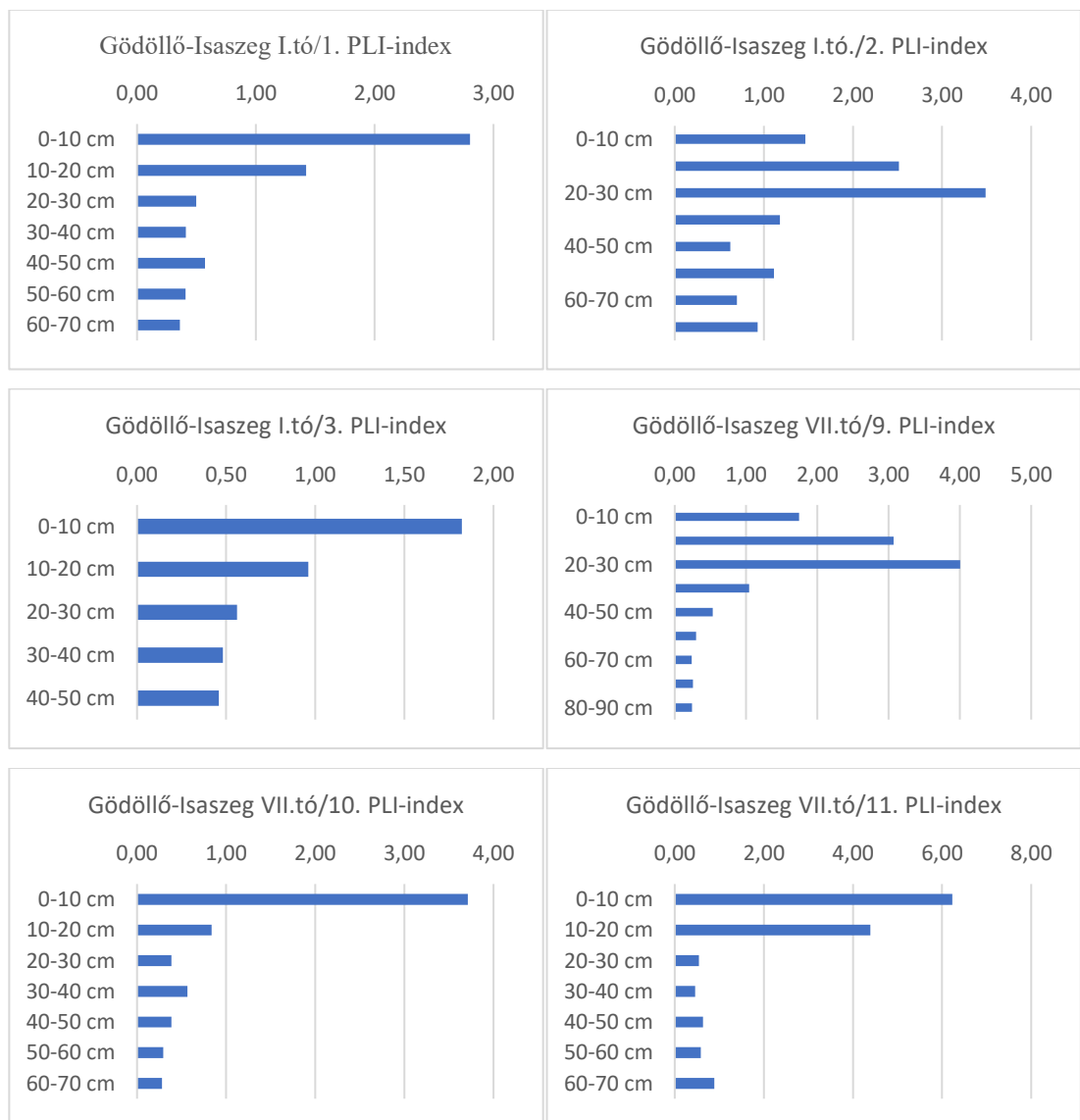
29. táblázat: Üledékminták szennyezettségi tényezőinek (CF) értékei

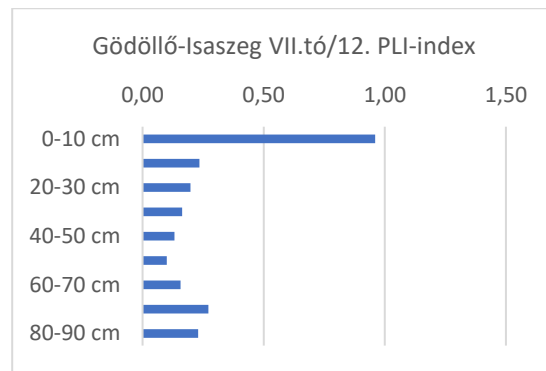
Minta	Réteg	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn
I.tó /1.	0-10 cm	4	1	1	3	1	2	3	4
I.tó /1.	10-20 cm	4	1	1	1	1	1	2	2
I.tó /1.	20-30 cm	4	1	1	1	1	1	1	1
I.tó /1.	30-40 cm	4	1	1	1	1	1	1	1
I.tó /1.	40-50 cm	4	1	1	1	1	1	1	1
I.tó /1.	50-60 cm	4	1	1	1	1	1	1	1
I.tó /1.	60-70 cm	4	1	1	1	1	1	1	1
I.tó /2.	0-10 cm	4	1	1	2	1	1	2	3
I.tó /2.	10-20 cm	4	1	2	4	1	1	2	4
I.tó /2.	20-30 cm	4	1	2	4	1	2	3	4
I.tó /2.	30-40 cm	4	1	1	2	1	1	2	2
I.tó /2.	40-50 cm	4	1	1	1	1	1	2	2
I.tó /2.	50-60 cm	4	1	1	1	1	1	2	2
I.tó /2.	60-70 cm	4	1	1	1	1	1	2	1
I.tó /2.	70-80 cm	4	1	1	1	1	1	2	1
I.tó /3.	0-10 cm	4	1	1	3	1	1	2	3
I.tó /3.	10-20 cm	4	1	1	1	1	1	1	2
I.tó /3.	20-30 cm	4	1	1	1	2	1	1	1
I.tó /3.	30-40 cm	4	1	1	1	1	1	1	1
I.tó /3.	40-50 cm	4	1	1	1	1	1	1	1
VII.tó /9.	0-10 cm	4	1	2	1	1	1	3	3
VII.tó /9.	10-20 cm	4	1	4	2	1	1	4	4
VII.tó /9.	20-30 cm	4	2	3	2	1	2	4	4
VII.tó /9.	30-40 cm	4	1	1	1	1	1	2	1
VII.tó /9.	40-50 cm	4	1	1	1	1	1	2	1
VII.tó /9.	50-60 cm	3	1	1	1	1	1	1	1
VII.tó /9.	60-70 cm	2	1	1	1	1	1	2	1
VII.tó /9.	70-80 cm	2	1	1	1	1	1	2	1
VII.tó /9.	80-90 cm	2	1	1	1	1	1	1	1
VII.tó /10.	0-10 cm	4	1	4	2	1	2	4	4
VII.tó /10.	10-20 cm	4	1	1	1	1	1	2	2
VII.tó /10.	20-30 cm	3	1	1	1	1	1	1	1
VII.tó /10.	30-40 cm	3	1	1	1	1	1	2	1
VII.tó /10.	40-50 cm	2	1	1	1	1	1	1	1
VII.tó /10.	50-60 cm	3	1	1	1	1	1	2	1
VII.tó /10.	60-70 cm	3	1	1	1	1	1	1	1
VII.tó /11.	0-10 cm	4	1	4	3	1	2	4	4
VII.tó /11.	10-20 cm	4	1	4	2	1	2	4	4
VII.tó /11.	20-30 cm	3	1	1	1	1	1	2	1
VII.tó /11.	30-40 cm	3	1	1	1	1	1	2	1
VII.tó /11.	40-50 cm	3	1	1	1	1	1	2	1
VII.tó /11.	50-60 cm	3	1	1	1	1	1	2	1
VII.tó /11.	60-70 cm	4	1	2	1	1	1	2	2
VII.tó /12.	0-10 cm	4	1	2	1	1	1	2	2
VII.tó /12.	10-20 cm	2	1	1	1	1	1	1	1
VII.tó /12.	20-30 cm	2	1	1	1	1	1	1	1
VII.tó /12.	30-40 cm	1	1	1	1	1	1	1	1

Minta	Réteg	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn
VII.tó /12.	40-50 cm	1	1	1	1	1	1	1	1
VII.tó /12.	50-60 cm	1	1	1	1	1	1	1	1
VII.tó /12.	60-70 cm	2	1	1	1	1	1	1	1
VII.tó /12.	70-80 cm	3	1	1	1	1	1	1	1
VII.tó /12.	80-90 cm	2	1	2	1	1	1	1	1

Szennyezettségi terhelési index - Pollution Load Index [PLI]

A CF indexet a PLI-vel együtt szokás értékelni. Amennyiben a PLI értéke 1 feletti szennyezés áll(hat) fenn. Az I-es tó az 1-es mintájának 0-20 cm-es rétegében, a 2-es minta 0-40 cm-ben, továbbá 50-60 cm-en, míg a 3-as minta esetében 0-10 cm-es rétegébenben igazolt a szennyezés lehetősége. A VII-es tó 9-es minta a felső 40 cm-ben, a 10-es esetén felső 10 cm-ben, a 11-es minta 0-20 cm-es mélysége igazolt a szennyezés lehetősége. A 12-es minta PLI-indexe nem utal szennyezésre. Az alábbi megállapításokat a 20. a-g ábrák szemléltetik.





20.a-g ábrák: Üledékminták PLI-indexei

Feldúsulási faktor - Enrichment Factor [EF]

Ezt az indexet egy 5-fokozatú osztályozási rendszerrel írhatjuk le, mely során az 1-es minimális szintű, 2-es mérsékelt szintű, a 3-as jelentős szintű, a 4-es nagyon magas szintű, az 5-ös pedig extrém magas szintű feldúsulást jelent (30. táblázat). A kadmiumról elmondható, hogy jelentős szintűtől az extrém magas szintű feldúsulást figyelhető meg. A VII-es tó/ 10-12 rétegmintáinak mélyebb részein már csak jelentős szintű feldúsulás van. A kobalt, mangán és nikkell elemek esetében minimális, néhol mérsékelt szintű feldúsulás jellemzi. A króm, nikkell, ólom és cink esetében viszont a felső 30 cm-es rétegekre mérsékelt-jelentős vagy jelentős-nagyon magas szintű feldúsulások figyelhetőek meg. A VII.tó/10-es és 11-es minta felső 10 cm-ben extrém magas az ólom EF értéke, míg a cink esetében VII.tó/9-es minta 10-20 cm-ben, illetve a VII.tó/11-es minta 0-10 cm-ben extrém magas EF értéket határoztam meg.

30. táblázat: Az üledékminták feldúsulási faktor (EF) értékei

Minta	Réteg	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn
I.tó /1.	0-10 cm	5	1	1	3	1	2	3	3
I.tó /1.	10-20 cm	5	1	1	1	2	1	3	3
I.tó /1.	20-30 cm	5	1	1	1	1	1	2	2
I.tó /1.	30-40 cm	5	1	1	1	1	1	2	1
I.tó /1.	40-50 cm	5	1	1	1	1	1	2	1
I.tó /1.	50-60 cm	5	1	1	1	1	1	2	2
I.tó /1.	60-70 cm	5	1	1	1	1	1	2	2
I.tó /2.	0-10 cm	5	1	2	3	2	1	3	3
I.tó /2.	10-20 cm	5	1	3	4	2	2	3	4
I.tó /2.	20-30 cm	5	1	3	4	1	2	3	4
I.tó /2.	30-40 cm	5	1	1	3	1	1	3	3
I.tó /2.	40-50 cm	5	1	1	1	1	1	3	3
I.tó /2.	50-60 cm	5	1	1	2	1	1	3	3
I.tó /2.	60-70 cm	5	1	1	1	1	1	2	2
I.tó /2.	70-80 cm	5	1	1	1	2	1	2	2

Minta	Réteg	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn
I.tó /3.	0-10 cm	5	1	2	3	2	2	3	4
I.tó /3.	10-20 cm	5	1	2	3	2	2	3	3
I.tó /3.	20-30 cm	5	1	1	1	3	1	2	2
I.tó /3.	30-40 cm	5	1	1	1	2	1	2	1
I.tó /3.	40-50 cm	5	1	1	1	1	1	2	1
VII.tó /9.	0-10 cm	5	1	3	2	1	2	4	4
VII.tó /9.	10-20 cm	5	2	4	3	1	2	4	5
VII.tó /9.	20-30 cm	5	2	3	2	1	2	4	3
VII.tó /9.	30-40 cm	5	1	1	1	1	1	3	2
VII.tó /9.	40-50 cm	5	1	1	1	1	1	3	2
VII.tó /9.	50-60 cm	4	1	1	1	1	1	3	1
VII.tó /9.	60-70 cm	4	1	1	1	1	1	3	1
VII.tó /9.	70-80 cm	4	1	1	1	1	1	3	1
VII.tó /9.	80-90 cm	4	1	2	1	1	1	3	2
VII.tó /10.	0-10 cm	5	1	3	3	1	2	5	4
VII.tó /10.	10-20 cm	5	1	2	1	1	1	3	3
VII.tó /10.	20-30 cm	3	1	1	1	1	1	2	2
VII.tó /10.	30-40 cm	3	1	1	1	1	1	2	1
VII.tó /10.	40-50 cm	3	1	1	1	2	1	2	1
VII.tó /10.	50-60 cm	3	1	1	1	2	1	3	1
VII.tó /10.	60-70 cm	3	1	1	1	2	1	2	1
VII.tó /11.	0-10 cm	5	1	4	3	1	2	5	5
VII.tó /11.	10-20 cm	5	1	4	2	1	2	4	4
VII.tó /11.	20-30 cm	4	1	1	1	1	1	3	2
VII.tó /11.	30-40 cm	3	1	1	1	1	1	2	1
VII.tó /11.	40-50 cm	3	1	1	1	1	1	2	1
VII.tó /11.	50-60 cm	3	1	1	1	1	1	2	1
VII.tó /11.	60-70 cm	5	1	3	1	1	1	3	3
VII.tó /12.	0-10 cm	5	1	3	2	1	1	3	3
VII.tó /12.	10-20 cm	4	1	2	1	2	1	3	2
VII.tó /12.	20-30 cm	4	1	1	1	1	1	3	2
VII.tó /12.	30-40 cm	3	1	1	1	1	1	3	2
VII.tó /12.	40-50 cm	3	1	1	1	2	1	3	2
VII.tó /12.	50-60 cm	4	2	1	1	2	1	3	1
VII.tó /12.	60-70 cm	4	1	2	2	1	2	3	1
VII.tó /12.	70-80 cm	5	1	3	2	1	2	3	2
VII.tó /12.	80-90 cm	4	1	3	1	1	2	3	2

Geoakkumulációs index - Geo-accumulation Factor [I_{geo}]

A pszeidototal elemtartalmak értékelésére használt 4. index a geoakkumulációs index, amely egy 7-es kategóriarendszer felállításával jellemezhető, melyek nincs, mérsékelt, csekély szintű, mérsékelt szintű, súlyos szintű, magas szintű és extrém szintű szennyezést jelentenek. A 31. táblázat alapján az alábbi megállapításokat tettem, hogy egyedül a kadmiumra kaptam extrém szintű szennyezést, ami egészen 40 cm-ig

is kimutatható, amely az I. tó/2-es és a VII. tó/9-es rétegmintákat jellemzi. A kobalt és a mangán esetében nincs, míg a nikkelnél 4 réteg kivételével szintén nincs szennyezés. A másik 4 elemnél általában felső 30 cm-ben, néhol 40 cm-ben csekély-mérsékelt szintű szennyezés figyelhető meg; viszont a VII. tó/10-es rétegminta 0-10 cm-ében ólomra és cinkre súlyos szintű, míg VII. tó/11-es esetében súlyos és magas szintű szennyezéseket mutattam ki krómra, ólomra és cinkre.

31. táblázat: Az üledékminták geoakkumulációs (Igeo) értékei

Minta	Réteg	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn
I.tó /1.	0-10 cm	7	1	1	3	1	2	3	3
I.tó /1.	10-20 cm	7	1	1	1	1	1	2	2
I.tó /1.	20-30 cm	6	1	1	1	1	1	1	1
I.tó /1.	30-40 cm	5	1	1	1	1	1	1	1
I.tó /1.	40-50 cm	6	1	1	1	1	1	1	1
I.tó /1.	50-60 cm	5	1	1	1	1	1	1	1
I.tó /1.	60-70 cm	5	1	1	1	1	1	1	1
I.tó /2.	0-10 cm	6	1	1	2	1	1	2	3
I.tó /2.	10-20 cm	7	1	2	4	1	1	2	4
I.tó /2.	20-30 cm	7	1	2	4	1	2	3	4
I.tó /2.	30-40 cm	7	1	1	1	1	1	2	2
I.tó /2.	40-50 cm	6	1	1	1	1	1	1	1
I.tó /2.	50-60 cm	6	1	1	1	1	1	2	2
I.tó /2.	60-70 cm	6	1	1	1	1	1	1	1
I.tó /2.	70-80 cm	6	1	1	1	1	1	2	1
I.tó /3.	0-10 cm	6	1	1	3	1	1	2	3
I.tó /3.	10-20 cm	6	1	1	1	1	1	1	2
I.tó /3.	20-30 cm	6	1	1	1	1	1	1	1
I.tó /3.	30-40 cm	6	1	1	1	1	1	1	1
I.tó /3.	40-50 cm	6	1	1	1	1	1	1	1
VII.tó /9.	0-10 cm	7	1	2	1	1	1	3	3
VII.tó /9.	10-20 cm	7	1	4	1	1	1	4	4
VII.tó /9.	20-30 cm	7	1	3	2	1	2	4	4
VII.tó /9.	30-40 cm	7	1	1	1	1	1	2	1
VII.tó /9.	40-50 cm	6	1	1	1	1	1	1	1
VII.tó /9.	50-60 cm	3	1	1	1	1	1	1	1
VII.tó /9.	60-70 cm	1	1	1	1	1	1	1	1
VII.tó /9.	70-80 cm	1	1	1	1	1	1	1	1
VII.tó /9.	80-90 cm	1	1	1	1	1	1	1	1
VII.tó /10.	0-10 cm	7	1	4	2	1	1	5	5
VII.tó /10.	10-20 cm	5	1	1	1	1	1	2	1
VII.tó /10.	20-30 cm	3	1	1	1	1	1	1	1
VII.tó /10.	30-40 cm	3	1	1	1	1	1	1	1
VII.tó /10.	40-50 cm	1	1	1	1	1	1	1	1
VII.tó /10.	50-60 cm	3	1	1	1	1	1	1	1
VII.tó /10.	60-70 cm	3	1	1	1	1	1	1	1
VII.tó /11.	0-10 cm	7	1	5	3	1	1	6	5

Minta	Réteg	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn
VII.tó /11.	10-20 cm	7	1	5	2	1	2	4	5
VII.tó /11.	20-30 cm	3	1	1	1	1	1	2	1
VII.tó /11.	30-40 cm	3	1	1	1	1	1	1	1
VII.tó /11.	40-50 cm	3	1	1	1	1	1	1	1
VII.tó /11.	50-60 cm	3	1	1	1	1	1	1	1
VII.tó /11.	60-70 cm	5	1	1	1	1	1	2	1
VII.tó /12.	0-10 cm	4	1	1	1	1	1	2	2
VII.tó /12.	10-20 cm	1	1	1	1	1	1	1	1
VII.tó /12.	20-30 cm	1	1	1	1	1	1	1	1
VII.tó /12.	30-40 cm	1	1	1	1	1	1	1	1
VII.tó /12.	40-50 cm	1	1	1	1	1	1	1	1
VII.tó /12.	50-60 cm	1	1	1	1	1	1	1	1
VII.tó /12.	60-70 cm	1	1	1	1	1	1	1	1
VII.tó /12.	70-80 cm	3	1	1	1	1	1	1	1
VII.tó /12.	80-90 cm	1	1	1	1	1	1	1	1

Míg a pszeidototál elemtartalmakat leíró indexeket a teljes mintakészletre számoltam ki, addig a frakcionált elemtartalmakat bemutatókhoz, csak a VII-es tó/10-es minta rétegeire kapott szekvens PTE-eredményekkel számoltam.

5.6.2. Frakcionált elemtartalomhoz kapcsolódó indexek kiértékelése

Biológiailag hozzáférhető elemek indexe - [BMI]

BMI számítása során a BCR 1. lépésében kapott koncentrációkat viszonyítjuk az háttérkoncentrációkhoz, amely során figyelembe vesszük a mért PTE-k számát is, így ezek alapján az alábbi eredményeket kaptam: 0-10 cm-ben 0,14; 0-20 cm-ben 0,1; 20-30 cm-ben 0,04; 30-40 cm-ben 0,03; 40-50 cm-ben 0,01; 50-60 cm-ben 0,04 és a 60-70 cm-ben 0,03. Ezek alapján azt a megállapítást teszem, miszerint a háttérhez viszonyított PTE-k BCR szerint 1. lépés eredményi igen alacsony indexeket eredményezett.

Biológiai hozzáférhetőség indexe [BF], Egyéni szennyezettségi faktora [ICF] és a Kockázatértékelési kód [RAC%]

A BF-re nincs kidolgozott kategória rendszer, mert lényegében ez egy arányszám. Az ICF indexet egy 4 kategóriából álló rendszerrel jellemezhetjük: alacsony, moderált, mérsékelt és magas, míg a RAC%-ot pedig: 1- nincs, 2- alacsony, 3- közepes, 4- magas és 5- nagyon magas kockázatot jelentenek osztályozást kapott. A következő táblázatban (32. táblázat) e 3 indexhez kapcsolódó eredményeimet mutatom be. A BF a kadmium esetén a legnagyobb, azaz 1. A króm a felső 10 cm-ben, a kobalt az 50-70

cm-ben, a réz esetében jelentős eltérések nem tapasztalhatóak, a vas a 0-10 cm és 50-70 cm között kiugró, a mangán a teljes rétegmintában 0,50 felett van, nikkelnél a felső 10 cm-ben igen magas, de 10-70 cm között is jelentősebb, az ólom az egész mintában 0,89 fölött van és a cink pedig a 0-10 cm-ben magas.

32. táblázat: VII. tó/10-es rétegmintájának BF, ICF és RAC értékei

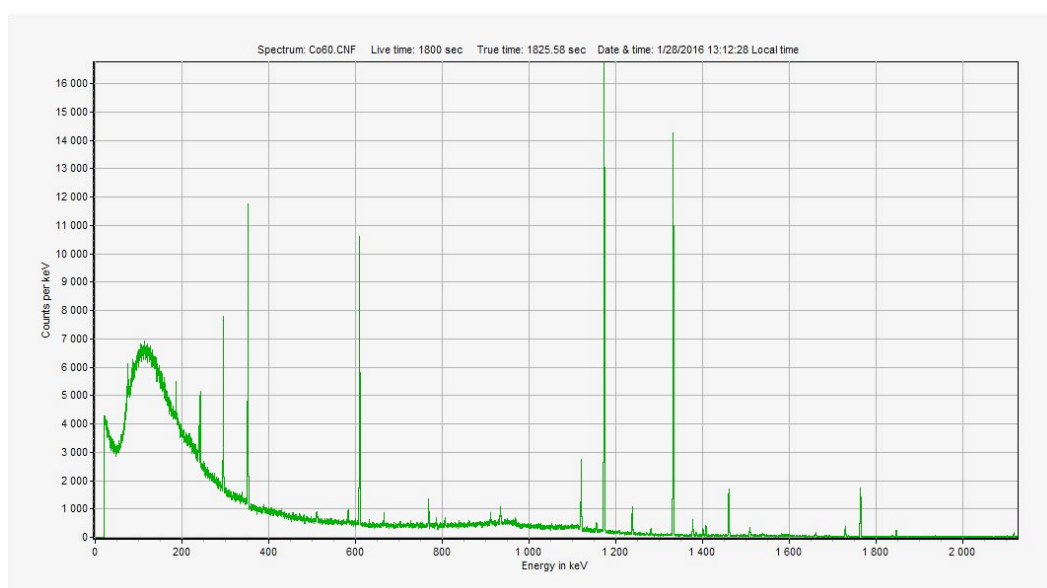
Réteg	Elem	BF	ICF	RAC	Réteg	Elem	BF	ICF	RAC
0-10 cm	Cr	0,89	4	1	0-10 cm	Mn	0,71	2	4
10-20 cm		0,39	1	2	10-20 cm		0,74	2	4
20-30 cm		0,24	1	2	20-30 cm		0,58	2	4
30-40 cm		0,17	1	2	30-40 cm		0,69	2	4
40-50 cm		0,13	1	2	40-50 cm		0,81	3	4
50-60 cm		0,11	1	2	50-60 cm		0,87	4	3
60-70 cm		0,19	1	2	60-70 cm		0,84	3	4
0-10 cm	Cd	0,97	4	3	0-10 cm	Ni	0,82	3	3
10-20 cm		0,70	2	2	10-20 cm		0,64	2	2
20-30 cm		1,00	1	1	20-30 cm		0,51	2	3
30-40 cm		1,00	1	1	30-40 cm		0,48	1	2
40-50 cm		1,00	1	1	40-50 cm		0,39	1	2
50-60 cm		1,00	1	1	50-60 cm		0,43	1	3
60-70 cm		1,00	1	1	60-70 cm		0,54	2	3
0-10 cm	Co	0,63	2	3	0-10 cm	Pb	0,96	4	2
10-20 cm		0,49	1	2	10-20 cm		0,91	4	2
20-30 cm		0,53	2	2	20-30 cm		0,95	4	3
30-40 cm		0,57	2	1	30-40 cm		0,90	4	2
40-50 cm		0,35	1	1	40-50 cm		0,90	4	2
50-60 cm		0,74	2	1	50-60 cm		0,89	4	2
60-70 cm		1,00	1	4	60-70 cm		1,00	1	3
0-10 cm	Cu	0,74	2	1	0-10 cm	Zn	0,94	4	3
10-20 cm		0,37	1	1	10-20 cm		0,60	2	2
20-30 cm		0,33	1	1	20-30 cm		0,34	1	2
30-40 cm		0,23	1	1	30-40 cm		0,26	1	2
40-50 cm		0,17	1	1	40-50 cm		0,19	1	2
50-60 cm		0,22	1	1	50-60 cm		0,17	1	2
60-70 cm		0,33	1	1	60-70 cm		0,42	1	2
0-10 cm	Fe	0,45	1	1					
10-20 cm		0,27	1	1					
20-30 cm		0,27	1	1					
30-40 cm		0,34	1	1					
40-50 cm		0,36	1	1					
50-60 cm		0,47	1	1					
60-70 cm		0,52	2	1					

A króm 0-10 cm-ben magas, majd alacsony, a kadmium teljes hosszában magas, a kobalt alacsony és moderált, a réz teljes hosszában alacsony, a vas 0-60 cm között

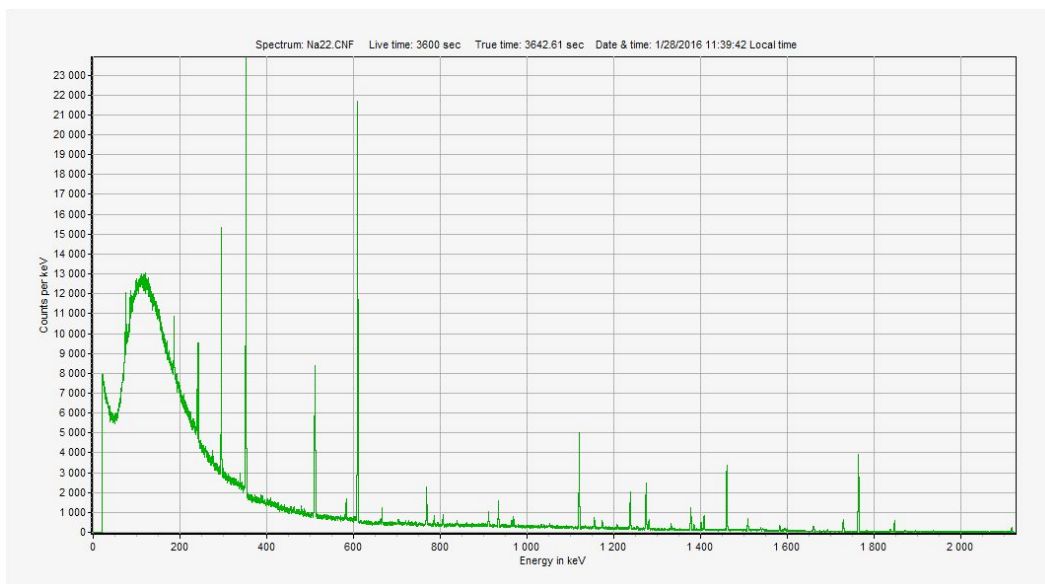
alacsony, míg a 60-70 cm-ben moderált CF értékeket mutatnak. A mangán 40-70 cm között mérsékelten magas, a nikkelt a felső 10 cm-ben magas. Az ólom 60 cm-ig magas, majd 70 cm-ig alacsony. Végezetül a cink a 0-10 cm között magas, 10-20 cm-ben moderált, majd a mélyebb rétegekben alacsony. A RAC esetén az alábbiak szerint alakulnak az egyes értékek a PTE-k szerint: a króm 20-70 cm között alacsony, a kadmium 0-10 cm között közepes és 10-20 cm között alacsony, a kobalt 0-10 cm között közepes és 60-70 cm között magas, a réz és a vas teljes szelvényben alacsony kockázatot mutatnak. A mangán 50-60 cm-ben közepes, viszont a többi rétegben magas. A rétegek nikkelt, az ólom és a cink RAC- értékei alacsony és közepes kockázatúak.

5.7. Radioanalitikai eredmények γ -spektroszkópia segítségével

A vizsgálatok során először megbecsültük az eredményeket, majd pedig 5 db nuklid kiválasztására került sor, melyek az alábbiak: ^{60}Co (21. ábra), ^{152}Eu , ^{133}Ba , ^{137}Cs és a ^{22}Na (22. ábra), melyek felezési ideje: 1923,915 nap, 4964 nap, 3832,5 nap, 11012,05 nap és 950,3805 nap.

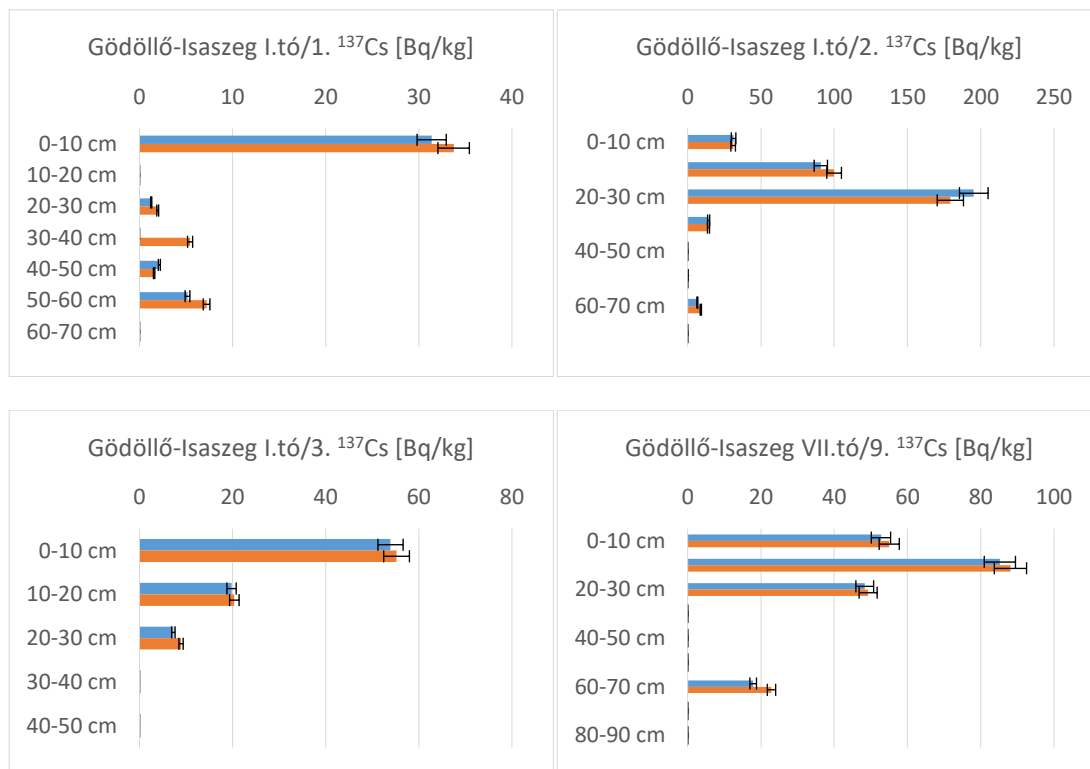


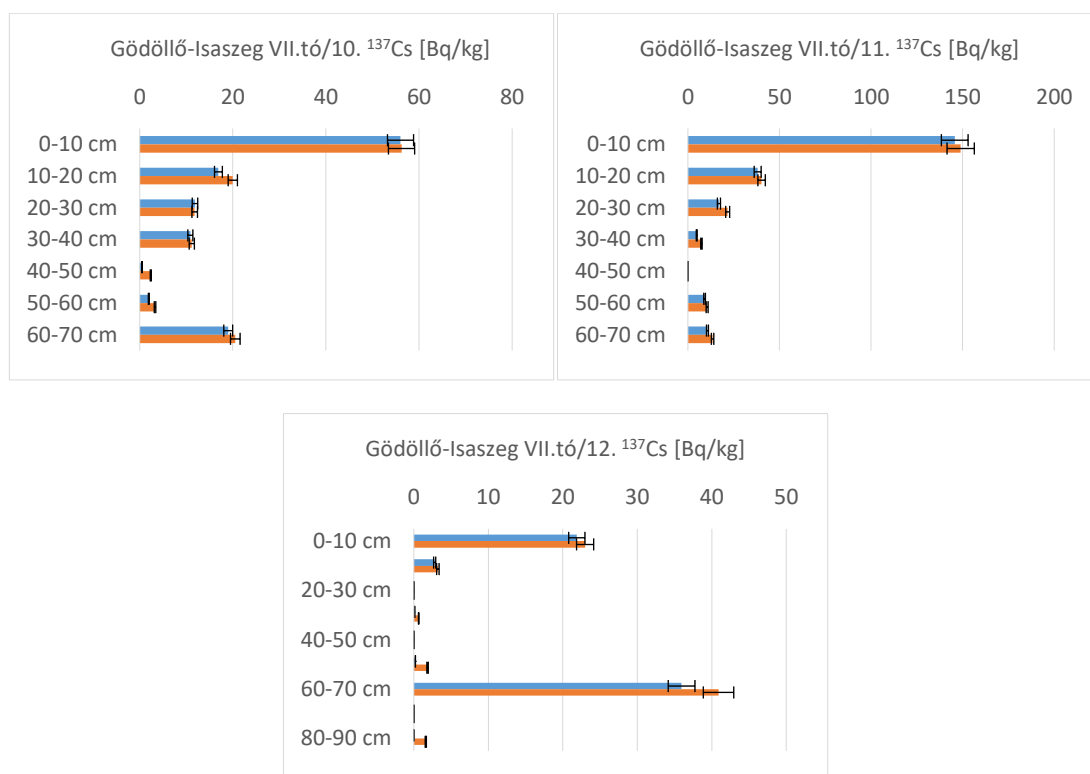
21. ábra: ^{60}Co nuklid etalon γ -spektruma



22. ábra: ^{22}Na nuklid etalon γ -spektruma

A 2013-ban gyűjtött minták γ -spektrometriai mérése 2016-ban került sor. A grafikonok által bemutatott eredmények összefoglaló táblázata a Melléklet fejezet 10. táblázatában, továbbá néhány fontosabb spektrum a Melléklet fejezet 7.a-p. ábráin szerepelnek. Korábbi alfejezetekhez hasonlóan itt is a mélység függvényében ábrázoltam a ^{137}Cs nuklid aktivitás-koncentrációk értékeit (23. a-g ábrák). A ^{137}Cs felezési ideje 30,17 év.





23. a-g ábrák: Üledékminták ^{137}Cs nuklid aktivitása 10cm-es rétegekben (CANBERRA: kék szín és MANUAL: narancs szín)

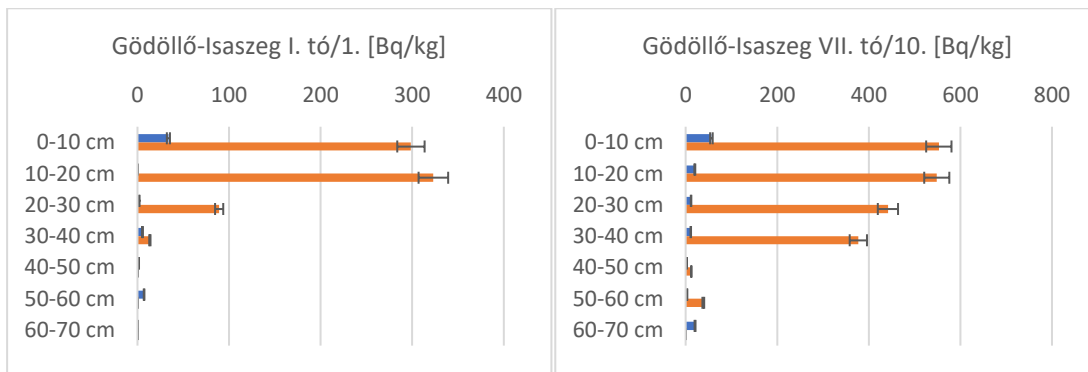
A grafikonokon jól látható az egyes rétegek aktivitás koncentrációja. A CANBERRA a mért értékeket, míg a MANUAL oszlopok a tényleges értékeket jelentik. Az 1-es tó 1-es mintavételi pontján a ^{137}Cs nuklid aktivitása: 0-33,74 Bq/kg, 2. ponton: 0-179,26 Bq/kg és a 3. pontján: 0-55,22 Bq/kg; míg a VII-es tó 4 teljes szelvény esetében: 0-88,11 Bq/kg, 2,37-56,24 Bq/kg, 0-148,91 Bq/kg és 0-40,91 Bq/kg közti tartományokkal jellemezhetőek. Ha egy kicsit részletesebben megvizsgáljuk a rétegeket, láthatjuk, hogy nuklid aktivitáskoncentrációját 30-35 cm-es mélységig észleljük mind a 7 db szelvény esetében, azonban a VII-es tó mind a 4 szelvény még a 60-70 cm-es rétegben jelentős nuklid aktivitás koncentrációkat tapasztalhatunk (33. táblázat).

33. táblázat: 2013-as mintavételi évet leíró ^{137}Cs nuklid aktivitáskoncentrációk

Rétegek [cm]	A_m (Bq/kg)						
	I. tó/ 1.	I. tó/ 2.	I. tó/ 3.	VII. tó/ 9.	VII. tó/ 10.	VII. tó/ 11.	VII. tó/ 12.
0-10	33,74	31,06	55,22	55,02	56,24	148,91	23,00
10-20	0,00	99,95	20,37	88,11	19,99	40,25	3,22
20-30	1,96	179,26	8,93	49,26	11,81	21,72	0,00
30-40	5,44	14,22	0,00	0,00	11,18	7,39	0,65

Rétegek [cm]	A_m (Bq/kg)						
	I. tó/ 1.	I. tó/ 2.	I. tó/ 3.	VII. tó/ 9.	VII. tó/ 10.	VII. tó/ 11.	VII. tó/ 12.
40-50	1,57	0,00	0,00	0,00	2,37	0,00	0,00
50-60	7,21	0,00		0,00	3,29	10,49	1,85
60-70	0,00	8,98		22,88	20,52	13,48	40,91
70-80		0,00		0,00			0,00
80-90				0,00			1,61

Csoportunk 2018-ban (Heltai et al. 2018) publikálta ezen eredményeit (csernobili eredetű radionuklidokra vonatkozóan) a 1996-os mérési eredményekkel összevetve a I.tó/1. és VII.tó/10-es szelvényekre (24. a-b ábrák) vonatkozóan, mely során az alábbi következtetéseket állapítottuk meg.



24. a-b: 2 szelvény aktivitáskonzentrációja 1996-os és 2016-os mintavételi években (5%-os hibával)

Az 1996-ban mért koncentrációkat a bomlási sebesség figyelembevételével 2016-ra korrigáltuk, továbbá az aktivitáskonzentráció egy nagyságrenddel való koncentráció csökkenése figyelhető meg 2013-ban mindkét helyen, amely nem a radioaktív bomlásra vezethető vissza.

Ez a csökkenés ^{137}Cs -nek a tavakon keresztül történő vízáramlással történő kioldódással és szállításával magyarázható. A PTE-k függőleges irányú eloszlása hasonló volt a ^{137}Cs -hez, ami azt jelenti, hogy felhalmozódásuk az 1986-1996 közötti időszakban intenzívebbé vált.

6. Következtetések – javaslatok

A szennyező elemeknek az aktuálisan biológiailag hozzáférhető, illetőleg a különböző körülmények között oldható állapotba kerülő hányadát a talaj-üledék-víz rendszerben a lehetséges fizikai-kémiai kölcsönhatások alapján becsülhetjük meg. Az erre a célra kifejlesztett frakcionálási módszerek a különböző környezeti körülményeket modellező kioldószeres egymást követő vagy egyenkénti alkalmazásán alapulnak.

A kockázatbecslés elsődleges célja a kijutó PTE-k környezeti mobilitását rövid- és hosszú távon jellemző frakcionálás. Erre a célra eddig alkalmazott módszerek továbbfejlesztésre szorulnak, mivel mindaddig elsősorban vízi üledékek vizsgálatára nyertek alkalmazást. A BCR frakcionálás validálásához a mindösszesen hat elemre (Cd, Cu, Cr, Ni, Pb, Zn) tanúsított BCR-701 üledék anyagminta állt rendelkezésemre. A validálás talajokra és más üledéktípusokra történő kiterjesztéséhez és a vizsgálható szennyező elemek számának növeléséhez meg kellett oldani az ehhez szükséges ICP-OES módszer optimalizálását, a kalibrálást nehezítő kémiai és fizikai mátrix hatások minimalizálását. Az ittrium (Y) belső standard alkalmazására alapozott, flexibilis elemválasztást lehetővé tevő ICP-OES elemvizsgáló sikeresen tudtam alkalmazni tavi- és folyami üledékek, továbbá különböző típusú talajok pszeudototal és BCR-frakcionált PTE-tartalmának meghatározására. A mérések validálását a különböző mintatípusok (üledék és talaj) esetében az adott mérési sorozatba illesztett BCR-701 CRM minta vizsgálatával, továbbá a BCR-frakciók összegének a pszeudototal elemkoncentrációkkal történt összevetésével megfelelően kontrollálni tudtam a nem bizonyított elemek frakcionálása esetében is.

Az általam továbbfejlesztett SFE módszer szuperkritikus szén-dioxid, szubkritikus víz és keverékük oldószerként alkalmazva alkalmasnak bizonyultak környezeti minták könnyen mobilizálható elemtartalmának vizsgálatára. A fejlesztést a korábbiakhoz képest csökkentett méretű oszloppal valósítottuk meg, amely igen kedvező eredményeket adott a kinetikai tanulmány elkészítésekor. Az SFE információtartalma eltér a BCR protokollhoz képest. A BCR ajánlás 1. lépése, melyben ecetsavas kioldást alkalmazunk összesítve jellemzi a vízoldható és hidrogénkarbonát-képződéssel mobilizálható frakciót. Ezzel szemben az SFE eljárás ezt két frakcióra bontja; még pedig vízoldható és karbonátokhoz kötött frakcióra. Időszükséglete töredéke a BCR protokollra fordított időhöz képest. További előnye

még, hogy a kivonatokból lehetőség van az eredeti állapotú specieszek megkeresésére és beazonosítására.

A különböző mintaterületeken elvégzett geokémiai értékelések fő kérdése az volt, hogy az észlelt elemkoncentrációk természetes forrásból származnak-e, vagy antropogén, vagy helyben kibocsátások és/vagy tevékenységek befolyásolják őket, figyelembe véve az üledékekben lévő koncentrációkat szabályozó geokémiai mechanizmusokat. Az egyes geokémia indexek pedig segítettek megérteni a kapcsolatot a pszeidototál-, szekvens extrakcióval nyert frakciók elemtartalmi és az anyakőzet tulajdonságai közötti összefüggéseket. Az elvégzendő feladatok között szerepel még, hogy a matematikai modellek kiterjesztése és hiányzó paramétereik meghatározása talajtani vizsgálatok (például a pórusterfogot) alapján, melyekkel a már megfelelő modellek futtathatóak.

A radioanalitikai vizsgálatok segítségével lehetővé vált a Gödöllő-Isaszeg közötti tórendszerben az üledékképződés és a PTE-szennyeződés időbeli változásának és környezeti mobilitásának értelmezése. Az 1996-ban mért ^{137}Cs koncentrációkat a bomlási sebesség figyelembevételével 2016-ra korrigáltuk. Az aktivitáskoncentráció egy nagyságrenddel való koncentráció csökkenése figyelhető meg 2013-ban mindkét helyen, amely nem a radioaktív bomlásra vezethető vissza. Ez a csökkenés a tavakon keresztül történő vízáramlással történő kioldódással és szállításával magyarázható. A PTE-k függőleges irányú eloszlása hasonló volt a ^{137}Cs -hez, ami azt jelenti, hogy az üledékképződés időbeli változása 1986-1996 közötti időszakban intenzívebb volt.

7. Új tudományos eredmények

1. A csoportunk által közreműködésemmel is kidolgozott flexibilis multielemes ICP-OES módszert eredményesen alkalmaztam különböző mintatípusok (üledékek, talajok) pszeudototal és BCR-frakcionált PTE-tartalmának meghatározására. Az ICP-OES módszer a BCR-extrakció oldószereivel végzett mátrixillesztéses kalibráció és ittrium belső standard alkalmazása esetén lehetővé vált a BCR frakcionálási módszernek az eddigieknél szélesebb körű validálása a korábban csak tavi üledékekre és hat PTE (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn) frakcionálására tanúsított BCR 701 CRM segítségével más mintatípusokra és elemekre is. A vizsgálatba bevont további elemek esetében is a BCR frakciókban kioldott összesített elemtartalmak és a pszeudototal elemtartalmak elfogadható egyezést mutattak.

2. Az általam továbbfejlesztett SFE módszer szuperkritikus szén-dioxid, szubkritikus víz és keverékük oldószerként alkalmazva alkalmasnak bizonyultak a különböző környezeti mintákban (talaj, üledék) a vízoldható és a karbonát tartalomhoz kötött elemtartalom meghatározására külön-külön, így e kivonatokból lehetőség van az eredeti állapotú specieszek megkeresésére és beazonosítására. Az általam kidolgozott módszer előnye, hogy részletesebb információt kaphatunk a karbonátokhoz és hidrogén-karbonátokhoz kötött elemtartalomról. Az extrakciós időket különböző típusú minták eltérő karbonát tartalmának függvényében optimalizáltam. A módszer optimalizálása különböző minták teljes kinetikai tanulmányával valósult meg. A bonyolult mátrix összetevők, valamint a minta esetenként magas Ca-tartalma miatt az ICP-OES mérési paraméterek optimalizálása (plazmateljesítmény emelése, gázáramok illesztése) is szükségessé vált.

3. A Gödöllő-Isaszeg közötti tórendszer 1996-ban végzett üledékszennyeződési vizsgálatának 2013-2016 időszakban történt megismérlése során a következőket állapítottam meg:

a. Elmondható, hogy a kiugróan magas elemkoncentrációk elsősorban a szelvények felső 30 cm-eiben jelennek meg (néhány kivétellel); viszont ami még aggasztóbb, hogy számos mintában határérték feletti elemkoncentrációkat találtam.

b. A Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb és a Zn koncentrációja a mélyebb rétegekben 2013-ban jelentősen csökkent, de a 0-10 cm-es felső rétegben még mindig igen magas, melyek néhány esetben meghaladják a szennyezettségi határértékeket is.

c. Bemutattam, hogy 2003-as üledékeltávolítási művelet eredményeképpen fellépő oxidatív körülmények miatt minden rétegben jelentősen megnövekedett a Fe és a Mn koncentrációja. Az elfolyó vízzel tovább szállítódott szennyezőanyag következményeképpen a BCR 1-es frakciójában lecsökkent; viszont a 2-es frakcióban nőtt, mely az időközben lezajlott üledékeltávolítási művelet következménye.

d. 1995-ben a γ -spektrometriás vizsgálatok során a tavak üledékrétegben jól detektálható volt az 1986-ban történt csernobili reaktor balesetből származó ^{137}Cs izotóp felhalmozódása az üledék felső 30-40 cm vastagságú rétegében. A 2013-ban megismételt mintavétel eredményeinek kiértékelése során hasonló mélységi eloszlást mutatott aktivitás koncentrációja, azonban az aktivitás csökkenése nagyobb mértékű volt, mint a radioaktív bomlás sebességéből számítható érték.

4. Különböző geokémiai indexek segítségével jellemeztem a különböző mintavételi területeket és bemutattam a pszeidototál- és a szekvens elemtartalmak közötti összefüggéseket.

8. Összefoglalás

Doktori munkám során foglalkoztam az elemanalitikai és izotóptechnikai módszerek fejlesztésével és alkalmazásával potenciálisan toxikus elemtartalom meghatározására és monitorozására talaj/víz/üledék rendszerben.

Az irodalmi feldolgozás során bemutattam az egyes potenciálisan toxikus elemek jellemzését és viselkedését, ezt követően bemutattam az egy- és többlépéses extrakciós eljárásokat, nagy hangsúlyt fektetve a BCR és az SFE szekvens extrakciós módszerekre, továbbá kitértem ezek problémáira és megoldásaira. Ezután áttekintettem a kinetikai tanulmányokat megalapozó szakirodalmakat, az Európai Unió Vízkeret Irányelvét és a hozzá kapcsolódó határértékeket, végezetül ismertettem a geokémiai indexek és a cézium izotóp radioanalitikai analíziséhez kapcsolódó irodalmi hátteret.

Az Anyag és Módszer fejezetben bemutattam a mintáim származási helyeit, azok talajtani jellemzőit és a mérések előtt elvégzendő mintaelőkészítési procedúrát. Ezt követően részletesen bemutattam a különböző extrakciós módszerek lépéseit és azok során használt oldatokat és a velük szemben támasztott igényeket, továbbá az ezekhez szükséges műszeres hátteret, azok beállítási körülményeivel. Bemutattam az SFE során használt csökkentett oszlopkonstrukció fontosságát, melyek eredményességét kinetikai modellekkel támasztottam alá. Részletesen bemutattam a különböző geokémiai indexek használatát a szennyezettségi és környezeti kockázatok értékelése céljából. Végezetül bemutattam a radioanalitikai vizsgálatokhoz használt γ -spektroszkópiás mérés technikát.

Az Eredmények és azok megbeszélése fejezetben részletesen bemutattam a munkám során elért tudományos eredményeket és azokból megfelelő levont következtetéseket. Bemutattam, hogy a BCR szekvens extrakciós eljárása a különböző eredetű PTE-szennyeződések hosszútávú sorsának nyomon követésére a tavi üledékekben sok lehetőséget mutatott; továbbá, hogy meghatározott időközönkénti megismétlésével az adott szennyeződések immobilizációja, akkumulálódása és vertikális mozgása is nyomon követhetővé válhat.

A vizsgálataim eredményesnek bizonyultak, hiszen a 2015-ben alkalmazott csökkentett méretű oszlop esetén nagyobb mértékű Ca^{2+} kioldódása tapasztalható az

egyek frakciókban. A továbbfejlesztett SFE technika alkalmazásával, így kiegészítő információk nyerhetők a legmozgékonyabb PTE frakciók összetételéről, amelyet a BCR-eljárás első lépcsőjében ecetsavas extrakcióval nyerhetünk ki. Ezzel a módszerfejlesztéssel a vízben oldódó és a karbonátokhoz kötött frakciók megbízhatóan meg lehet különböztetni az üledék - és a talajban mintákban. Elmondható, hogy sikerült lecsökkentenem a szilárd mintás hígításból származó zavaró hatásokat, oly módon, hogy lecsökkentettem az oszloptérfogatot és a bemért vakminta mennyiségét.

Geokémiai indexek segítségével bemutattam a kapcsolatot a pszeidototál- és a szekvens elemtartalmak közötti összefüggéseket. Végezetül γ - radioanalitikai vizsgálatokat végeztem az üledékképződés időbeni lefolyásának és változásának értékelésére.

9. Summary

My doctoral work focused on the development and application of analytical and isotopic methods for the determination and monitoring of potentially toxic elemental content in soil/water/sediment systems.

In the literature review, I presented the characterisation and behaviour of some potentially toxic elements, followed by a description of single- and multi-step extraction methods, with a strong emphasis on BCR and SFE sequential extraction methods, and their problems and solutions. I then reviewed the literature that underpins kinetic studies, the European Union Water Framework Directive and its associated limits, and finally I described the literature related to geochemical indices and radioanalytical analysis of the isotope caesium.

In the Materials and Methods chapter, I described the sites of origin of my samples, their soil characteristics and the sample preparation procedure to be carried out before the measurements. I then described in detail the steps of the different extraction methods and the solutions used in them and their requirements, as well as the instrumentation required for their application, including their setup conditions. I have demonstrated the importance of the reduced column design used in SFE, the effectiveness of which has been supported by kinetic models. I have detailed the use of different geochemical indices to assess contamination and environmental risks. Finally, I have presented the γ -spectroscopy measurement technique used for radioanalytical studies.

In the results and discussion chapter, I have presented the scientific results of my work in detail and drawn appropriate conclusions. I have shown that the BCR sequence extraction procedure has shown many possibilities for monitoring the long-term fate of PTE contaminants of different origins in lake sediments; and that by repeating the procedure at defined intervals, the immobilisation, accumulation and vertical movement of the contaminants can be monitored.

My studies proved to be successful, with the reduced column size used in 2015 showing a higher Ca^{2+} leaching in each fraction. By using the improved SFE technique, additional information on the composition of the most mobile PTE fractions can thus

be obtained by acetic acid extraction in the first step of the BCR procedure. With this method development, water-soluble and carbonate-bound fractions can be reliably distinguished in sediment and soil samples. It can be said that I was able to reduce the interferences from solid sample dilution by reducing the column volume and the amount of blank sample taken.

I have used geochemical indices to show the relationship between pseudototal and sequence elemental content. Finally, γ -radioanalytical studies were performed to evaluate the time course and variation of sedimentation.

M1. Irodalomjegyzék

Albasel, N., Cottenie, A. (1985): Heavy metal contamination near major highways, industrial and urban areas in Belgian grassland. *Water, Air and Soil Pollution*, 24 (1), 103-109. p.

Armienta, M.A. (2018): The Importance of Analytical Chemistry in Environmental Geochemistry Studies in Mexico, Special Issue on *Modern Analytical Chemistry in Interdisciplinary Research*, Vol.62. No.2.

Bakircioglu, D., Bakircioglu, Y. K., Ibar, H, (2011.): Comparison of extraction procedures for assessing soil metal bioavailability of to wheat grains. *Clean Soil, Air, Water*. 39. (8) 728–734.

Bikit, I., Slivka, J., Veskovic, M., Varga, E., Žikic-Todorovic, N., MrYa, D., Forkapic, S. (2006): Measurement of Danube sediment radioactivity in Serbia and Montenegro using gamma ray spectrometry, *Radiation Measurements* 41, pp. 477 – 481

Buat-Menerd, P., Chesselt, R. (1979): Variable influence of the atmospheric flux on the trace metal chemistry of oceanic suspended matter, *Earth Planet Sci. Lett.* 42., 398–411.

Cappuyns V., Swennen R., Niclaes M. (2007): *Jour. of Geochem. Explor.* 93., pp.78-90.

Chang C.H., Wang C.F., Mui D.T., Chiang H.L. (2008): *Jour. of Hazard. Mater.* 163., pp.578-587.

Clifford, A.A (2000): *Supercritical Fluid Extraction, Chapter 2: Extraction*, Academi Press, pp. 1442-1448.

Csathó P. (1994): A környezet nehézfém szennyezettsége és az agrártermelés. Tematikus szakirodalmi szemle. MTA-TAKI, Budapest. 116. p.

Démény K. (2007): A gödöllői-dombság általános bemutatása Tájékológiai Lapok 5 (2): 213–223.

Dudka, S., Adriano, D.C. (1997): Environmental impacts of metal ore mining and processing: A review. *J. Environ. Qual.* 26, 590-602.

Duffus, J.H. (2002): „Heavy metals” – A meaningless term. *Pure Appl. Chem.* 74(5), 793-807

Egner, H., Riehm, H., Domingo, W. (1960): Untersuchungen über die chemische Bodenanalyse als Grundlage für die Beurteilung des Nährstoffzustandes der Böden II. Chemische Extraktionsmethoden zur Phosphor- und Kaliumbestimmung. *Kungl. Lantbrukshögsk. Ann.* 26. 199–215.

Fekete Ilona (2003): A környezetterhelés komplex értékelése a Gödöllő és Isaszeg közötti tórendszerben. PhD értekezés, SZIE Gödöllő

- Filep György (1988): Talajkémia, Akadémia Kiadó, Bp., pp. 220-239., 293p.
- Fodor L., Szegedi L., Tury R. (2010): Heavy metals in the soil-plant system. *Növénytermelés*. 59. Supplement. 405-408. p.
- Fodor László és Szegedi László (2006): Changes of availability of some microelements in heavy metal amended soil. *Cereal Research Communication*, Vol. 34 No.1. Cereal Research Non-Profit Company, Hungary, Szeged 303-306 p.
- Fodor P. (2000): Minőségbiztosítás a speciációs analitikában, *Magyar Kémiai Folyóirat* 106 (5-6), pp. 192-200.
- Forghani, G., Moore, F., Qishlaqi, A. (2012) The Concentration and Partitioning of Heavy Metals in Surface Sediments of the Maharlu Lake, SW Iran, *Soil and Sediment Contamination* 21, pp. 872–888
- Genuis, S.J., Schwalfenberg, G., Siy, A.K.J., Rodushkin, I. (2012) Toxic element contamination of natural health products and pharmaceutical preparations, *PLoS One* 7 (11), e49676
- Gupta, S.K., Vollmer, M.K., Krebs, R. (1996): The importance of mobile, mobilisable and pseudo total heavy metal fractions in soil for three-level risk assessment and risk management. *Sci. Total Environ.* 178, 11-20.
- Gunn, A. M., Winnard, D.A., Hunt, D.T.E. (1988): Trace metal speciation in sediment and soils, in: J.R. Kramer, H.E. Allen (Eds.), *Metal Speciation: Theory, Analysis and Application*, Lewis Publications, Boca Raton, Florida
- Hakanson, L. (1980): An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach, *Water Res.* 14., 975–1001.
- Halász G. (2010): Felszíni vizek és üledékeik minőségének megítélésére alkalmas analitikai és ökotoxikológiai módszerek fejlesztése és alkalmazása, Doktori disszertáció, Gödöllő, SZIE
- Hawthorne, S.B., Grabanski, C.B., Martin, E., Miller, D.J. (2000): Comparisons of Soxhlet extraction, pressurized liquid extraction, supercritical fluid extraction and subcritical water extraction for environmental solids: recovery, selectivity and effects on sample matrix, *Journal of Chromatography A*, 892, 421–433
- Haynes, W.M. (2016): Abundance of elements in the earth's crust and in the sea, *CRC Handbook of Chemistry and Physics*, *CRC Press*; 97th edition (June 24, 2016), p. 14-17
- Heltai Gy. (2005): Elemanalitikai és speciációs analitikai módszerek kifejlesztése és alkalmazása mezőgazdasági-környezetvédelmi célokra. MTA Doktori értekezés, Gödöllő

- Heltai Gy., Percsich K., Fekete I., Barabás B., Józsa T. (2000): Speciation of waste water sediments. *Microchem. Journ.*, 67.(1-3.), pp.43-51.
- Heltai Gy., Fehér B., Percsich K., Barabás B., Fekete I. (2002): Application of sequential extraction with supercritical CO₂, subcritical H₂O, and an H₂O/CO₂ mixture for estimation of environmentally mobile heavy metal fractions in sediments. *Journ. Anal. and Bioanal. Chem.*; 373.(8.), pp.863-866.
- Heltai Gy., Győri Z., Fekete I., Halász G., Kovács K., Takács A., Boros N., Horváth M. (2018): Longterm study of transformation of potentially toxic element pollution in soil/water/sediment system by means of fractionation with sequential extraction procedures, *Microchem. Journ.*, 136. pp.85-93.
- Heltai Gy., Győri Z., Fekete I., Halász G., Kovács K., Takács A., Khumalo L., Horváth M. (2019): Application of flexible multi-elemental ICP-OES detection in fractionation of potentially toxic element content of solid environmental samples by a sequential extraction procedure, *Microchem. Journ.*, 149(1):104029.
- Hlavay J., Polyák K. (1998): Chemical speciation of elements in sediment samples collected at Lake Balaton. *Microchem. J.*, 58, 281–290.
- Horváth M., Bohová V., Heltai Gy., Flórián K., Fekete I. (2010): Study of application of BCR sequential extraction procedure for fractionation of heavy metal content of soils, sediments, and gravitation dusts. *Toxic. and Envir. Chem.*, 92.(3.), pp.429-441.
- Houba, V. J. G., Jászberényi, I., Loch, J. (1991): Application of 0.01 M CaCl₂ as a single extraction solution for evaluation of the nutritional status of Hungarian soils. *Debreceni Agrártudományi Egyetem Tudományos Közleményei* 30. 85–89.
- Houba, V. J. G., Novozamsky, I., Huijbregts, A. W. M., Van Der Lee, J. J. (1986): Comparison of soil extractions by 0,01 M CaCl₂, by EUF and by some conventional extraction procedures. *Plant and Soil*. 96. 433–437.
- Houba, V. J. G., Temminghoff, E. J. M., Gaikhorst, G. A., Van Vark, W. (2000): Soil analysis procedures using 0.01 M calcium chloride as extraction reagent. *Communications in Soil Science & Plant Analysis*. 31. 1299–1396.
- Ikem, A., Egiebor, N.O., Nyavor, K. (2003): Trace elements in water, fish and sediment from Tuskegee Lake, Southeastern USA, *Water Air Soil Pollut.* 149., 51–75.
- Ilus, E., Saxén, R. (2005): Accumulation of Chernobyl-derived ¹³⁷Cs in bottom sediments of some Finnish lakes, *Journal of Environmental Radioactivity* 82, 199-221
- Kádár I. (1991): Környezet- és természetvédelmi kutatások. A talajok és növények nehézfém-tartalmának vizsgálata. KTM, MTA TAKI, Budapest, pp.1-103.
- Kádár I. (1995): A talaj - növény - ember tápláléklánc szennyeződése kémiai elemekkel Magyarországon. Környezet- és Természetvédelmi Kutatások, KTM-MTA TAKI, Budapest. 388.p.
- Kádár I. (1998): A szennyezett talajok vizsgálatáról. Kármentesítési Kézikönyv 2. Kármentesítési program. Környezetvédelmi Minisztérium, Budapest. 152 p.

Kádár I. (2008a): A talajszennyezés megítélése kutatói szemmel 2. *Agrokémia és Talajtan* 57: 177-190. p.

Kádár I. (2008b): A talajszennyezés megítélése kutatói szemmel 3. *Agrokémia és Talajtan*. 57: 334-346. p.

Kádár I., Németh T. (2003): Mikroelemek kilúgzása meszes csernozjom talajon. In: *Mikroelemek a táplálékláncban*. (Szerk.: Simon L. – Szilágyi M.). Bessenyei György Könyvkiadó. Nyíregyháza. 134-149. p.

King, J.W., France, J.E. (1992): Basic Principles of Analytical Supercritical Fluid Extraction, Wenclawiak, B. (Ed.) *Analysis with Supercritical Fluids: Extraction and Chromatography*, pp. 32-60.

King J.W., Hill H.H., Lee M.L. (1993): *Analytical Supercritical Fluid Chromatography and Extraction* pp. 34-38., pp. 42-43.

Lakanen, E., Erviö, R. (1971): A comparison of eight extractants for the determination of plant available micronutrients in soil. *Acta Agr. Fenn.* 123: 223-232. p.

Li H., Qian X., Hu W., Wang Y., Gao H. (2013): Chemical speciation and human health risk of trace metals in urban street dusts from a metropolitan city, Nanjing, SE China. *Scienc. of the Tot. Envir.* 456-457., pp.212-221.

Lieser, K.H., Steinkopff, Th., (1989): Chemistry of radioactive cesium in the hydrosphere and in the geosphere. *Radiochimica Acta* 46, 39e47.

Ligetvári F. (szerk.) (2000): *Környezetünk és védelme*. 1. kötet. Szarvas: Ökológiai Intézet a Fenntartható Fejlődésért Alapítvány. 290. p

López- Sánchez, J.F., Sahuquillo, A., Fiedler, H.D., Rubio,R., Rauret, G., Muntau, H., Quevauviller, Ph. (1998): CRM 601, a Stable Material for its Extractable Content of Heavy Metals. *Analyst*, 123., pp. 1675-1677.

Lujanienė, G., Jokšas, K., Silobritienė, B., Morkunienė, R., (2004): Physical and chemical characteristics of ¹³⁷Cs in Baltic Sea. In: *Radionuclides in the Environment, International Conference on Isotopes in Environmental Studies: Aquatic Forum*, Elsevier, Monaco, pp. 25–29.

Magyar Közlöny 23., 2022. május 19., csütörtök

McHugh, M. A., Krukonis, V. J. (1989): „Supercritical Fluids” in Mark, H. F., Bihales, N. M., Overberger, C. G., Menges, G. (Eds.), *Encyclopedia of Polymer Science and Engineering*, Vol. 16., 2nd ed., Wiley, New York, p.368.

Mould R. F. (2000): *Chernobyl Record: The Definite History of the Chernobyl Catastrophe*. Institute of Physics Publishing, Philadelphia.

- Müller, G. (1969): Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River, *Geojournal* 2., 108–118.
- Nagy Lajos György (1998): Radiokémia és izotóptechnika. Budapesti Műszaki Egyetem
- Nemati K., Bakar N.K.A., Abas R. MhD., Sobhanzadeh E. (2011): Speciation of heavy metals by modified BCR sequential extraction procedure in different depths of sediments from Sungai Buloh, Selangor, Malaysia. *Jour. of Hazard. Mater.* 192. pp.402-410.
- Németh T., Kádár I. (1991): Macro- and micronutrients in Hungarian soils. In: Proc. IGBP Symp. „Cycling of Nutritive Elements in the Geosphere and Biosphere”. (Ed.: Pais, I.) KEE. Budapest. pp.19-52.
- Németh T., Molnár E., Csillag J., Bujtás K., Lukács A., Pártay G. (1993): Fate and plant uptake of heavy metals in soil-plant systems studied on soil monoliths. *Agrokémia és Talajtan*, 42. (1-2), pp.195-207.
- Okbah, M., El-Gammal, M.I., Ibrahim, M.S., Waheshi, Y.A.A. (2020) Geochemical speciation of trace metals in sediments of the northern Nile Delta Lake by sequential extraction technique, *Chemistry and Ecology* 36(1), pp. 1-20.
- Papp S. (2002): Biogeokémia – körfolyamatok a természetben. Veszprém. Veszprémi Egyetemi Kiadó. 273. p.
- Papp S. (2010): Biogeokémiai körfolyamatok és antropogén módosításuk. Magyar Tudomány. 171. évfolyam – 2010/3. szám. 298-308. p.
- Papp S., Kümmel, R. (1992): Környezeti kémia. Akadémiai Kiadó, Budapest. 359. p.
- Peng, J.F.; Song, Y.H.; Yuan, P.; Cui, X.Y.; Qiu, G.L. (2009): The remediation of heavy metals contaminated sediment. *J. Haz. Mat.* 161, 633–640.
- Perin, G., Craboledda, L., Cirillo, M., Dotta, L., Zanette, M.L., Orio, A.A. (1985): Heavy metal speciation in the sediments of Northern Adriatic Sea: a new approach for environmental toxicity determination, in: T.D. Lekkas (Ed.), *Heavy Metal in the Environment*, vol. 2, CEP Consultant, Edinburgh, pp. 454–456.
- Quevauviller, Ph., Rauret, G., López- Sánchez, J.F., Rubio, R., Ure, A., Muntau, H. (1997): Certification of trace metal extractable contents in a sediment reference material (CRM 601) following a three-step sequential extraction procedure. *Sci. Tot. Envir.*, 205., pp. 223-234.
- Rauret, G.; López-Sánchez, J. F.; Lück, D.; Yli-Halla, M.; Muntau, H.; Quevauviller, Ph. (2001): The certification of the extractable contents (mass fraction) of Cd, Cr, Cu, Ni, Pb and Zn in freshwater sediment following a sequential extraction procedure BCR-701
- Rosado, D., Usero, J., Morillo, J. (2015): Application of a new integrated sediment quality assessment method to Huelva estuary and its littoral of influence (Southwestern Spain). *Mar. Pollut. Bull.* 98, 106–114

Sahuquillo, A., Rigol, A., Rauret, G., (2003): Overview of the use of leaching extraction tests for risk assessment of trace metals in contaminated soils and sediments. *Trends Anal. Chem.* 22. 152–159.

Sairam P., Ghosh S., Jena S., Rao K.N.V, Banji D. (2012): Nalada College of Pharmacy, Charlapally, Hyderabad Road, Nalgonda-508001 Andhra Pradesh: Supercritical Fluid Extraction (SFE)- An Overview *Asian J. Res. Pharm. Sci.*; Vol. 2: Issue 3, pp.112-120.

Sakan, S., Devic, G., Relic, D., Andelkovic, I., Sakan, N., Đorđević, D. (2014): Evaluation of sediment contamination with heavy metals: the importance of determining appropriate background content and suitable element for normalization. *Environ Geochem Health* 37(1):97-113. doi: 10.1007/s10653-014-9633-4.

Saleem, M., Iqbal, J., Akhter, G., Shah, M. H. (2018): Fractionation, bioavailability, contamination and environmental risk of heavy metals in the sediments from a freshwater reservoir, Pakistan, *Journal of Geochemical Exploration* 184., 199-208.

Sapkale G.N., Patil S.M, Surwase U.S., Bhatbhage P.K. (2010): Supercritical Fluid Extraction. *Int. J. Chem. Sci.*: 8(2), pp.729-743.

Simon L. (2006): Toxikus elemek akkumulációja, fitoindikációja és fitoremediációja a talaj-növény rendszerben. MTA Doktori értekezés. Nyíregyháza. 158 p.

Soriano-Dislaa JM, Janika L, McLaughlina MJ, Forrestera S, Kirbya JK, Reimannd C, the EuroGeoSurveys GEMAS Project Team (2013): Prediction of the concentration of chemical elements extracted by aqua regia in agricultural and grazing European soils using diffuse reflectance mid-infrared spectroscopy. *Appl. Geochem.* 39: pp. 33-42.

Stahl, E., Quirin, K. W., Gerard, D. (1988): Dense Gases for Extraction and Refining, Springer, Berlin

Stefanovits P., Filep Gy., Füleky Gy. (1999): Talajtan, Mezőgazda Kiadó, pp. 115-119., pp.125-128., 217.p., pp.219-223., 230.p., pp. 352-353., pp. 366- 368.; pp.382-386.

Sungur, A.; Soyak, M.; Yilmaz, S.; Özcan, H. (2014): Determination of heavy metals in sediments of the Ergene River by BCR sequential extraction method. *Environ. Earth Sci.* 72, 3293–3305

Suyder, J. M., Friedrich, J. P., Christianson, D. D. (1984): *J. Am. Oil Chem. Soc.* 61. 1851.

Szabó L. (1998): Növénytermesztés és a környezet. Tan-Grafix Művészeti, Szolgáltató és Kiadó Kft. Budapest. 381. p.

Szabó L. és Fodor L. (2006): Uptake of Microelements by Crops Grown on Heavy Metal – Amended Soil. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 37 (15-20), pp.2679-2690.

Templeton, D.M. (2000): Guidelines for terms related to chemical speciation and fractionation of elements. Definitions, structural aspects, and methodological

approaches (IUPAC Recommendations 2000) *Pure Appl. Chem.*, 72. (8.), pp.1453-1470.

Tessier, A., Campbell, P.G.C., Bisson, M. (1979): Sequential Extraction Procedure for the Speciation of Particulate Trace Metals. *Anal. Chem.*, 51., pp. 844-851.

Ure, A.M., Quevauviller, Ph., Muntau, H., Griepink, B. (1993): Speciation of Heavy Metals in Soils and Sediments. An Account of the Improvement and Harmonization of Extraction Techniques Undertaken Under the Auspices of the BCR of the Commission of the European Communities. *Int. J. Envir. Anal. Chem.*, 51., pp. 135-151.

USEPA, 1994. Technical resource document: extraction and beneficiation of ores and minerals. Lead–Zinc Volume I. US Environmental Protection Agency, Office of Solid Waste, EPA 530-R-94-011, NTIS PB94-170248.

Várallyay Gy. (1990): Soil quality and land use. In: Hinrichsen, D. and Enyedi, Gy. (Eds.): State of Hungarian environment. Hungarian Academy of Sciences – Ministry of Environment – CSO of Hungary. Budapest, pp. 91-123.

Venkatramanan, S.; Chung, S.Y.; Ramkumar, T.; Gnanachandrasamy, G.; Kim, T.H. (2015): Evaluation of geochemical behavior and heavy metal distribution of sediments: The case study of the Tirumalairajan river estuary, southeast coast of India. *Int. J. Sed. Res.* 30, 28–38.

Wai, C.M., Wang, S. (1997.): Supercritical fluid extraction: metals as complexes. *J. Chromatogr. A* 785. 369–383.

Westwood, S. A. (Ed.) (1992): Supercritical Fluid Extraction and its Use in Chromatographic Samples Preparation, Blackie Academic and Professional, Glasgow, UK

Zemberyová, M., Barteková, J.; Hagarová, I. (2006.): The utilization of modified BCR three-step sequential extraction procedure for the fractionation of Cd, Cr, Cu, Ni, Pb and Zn in soil reference materials of different origins. *Talanta* 70. (5) 973-978.

Zhan, H.Y., Jiang, Y.F., Yuan, J., Hu, X.F., Nartey, O.N., Wang, B.L. (2014.): Trace metal pollution in soil and wild plants from lead–zinc smelting areas in Huixian county, northwest China. *J. Geochem. Explor.* 149. 182–188.

Zhao, S., Feng, C., Yang, Y., Niu, J., Shen, Z. (2012): Risk assessment of sedimentary metals in the Yangtze Estuary: New evidence of the relationships between two typical index methods, *Journal of Hazardous Materials* 241– 242., pp. 164– 172.

Szabványok:

MSZ 20135:1999, Determination of the soluble nutrient element content of the soil, Hungarian Standards Institution, Budapest

MSZ 21470-50 Környezetvédelmi talajvizsgálatok. Az összes és az oldható toxikus elem-, nehézfém- és a króm(VI)-tartalom meghatározása. (1998 visszavont, 2006), Budapest

MSZ EN 16170:2017: Iszap, kezelt biohulladék és talaj. Elemek meghatározása induktív csatolású plazma sugárforrású optikai emissziós spektrometriával (ICP-OES)

Rendeletek:

33/2000 (III.17.) Korm. Rend.: A felszín alatti vizek minőségét érintő tevékenységekkel összefüggő egyes feladatokról

6/2009. (IV. 14.) KvVM-EüM-FVM együttes rendelet: A földtani közeg és a felszín alatti víz szennyezéssel szembeni védelméhez szükséges határértékekről és a szennyezések méréséről

221/2004. (VII. /21.) kormányrendelet a vízgyűjtő-gazdálkodás egyes szabályairól

Internetes források:

www.speciation.net

http1: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/element/Cesium#section=Uses>

http2:<https://www.directindustry.com/prod/canberra-industries/product-23661-1625959.html>

http3: <https://pubs.usgs.gov/of/2006/1350/index.html>

M2. Melléklet

Pszidototál elemtartalom meghatározás

Melléklet, 1.a. táblázat: Üledékminták pszidototál elemtartalom meghatározása (I. és II. A [-])

	Szelvények	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	V	Zn	S
	[cm]	I. A [-]										
I/1	0-10	0,42	0,18	1,55	4,17	489,11	8,97	2,44	1,03	0,73	8,13	56,24
	10-20	0,05	0,12	0,67	0,61	317,61	11,41	0,52	0,46	0,44	2,13	16,18
	20-30	0,01	0,05	0,36	0,14	166,42	3,08	0,20	0,12	0,22	0,49	3,06
	30-40	0,01	0,06	0,37	0,12	176,42	3,11	0,21	0,09	0,20	0,41	0,59
	40-50	0,02	0,09	0,36	0,12	227,64	7,03	0,22	0,12	0,19	0,44	2,19
	50-60	0,02	0,07	0,44	0,14	206,99	3,42	0,26	0,11	0,17	0,51	n.a.
	60-70	0,01	0,05	0,53	0,12	163,04	2,54	0,26	0,10	0,25	0,40	n.a.
I/2	0-10	0,04	0,05	0,89	1,74	178,18	6,27	0,50	0,44	0,22	3,98	87,66
	10-20	0,07	0,05	2,39	5,60	227,03	8,57	1,21	0,59	0,18	9,21	121,54
	20-30	0,22	0,07	3,67	8,58	366,65	7,88	2,12	0,73	0,32	11,86	220,23
	30-40	0,11	0,07	0,60	1,33	216,80	4,58	0,65	0,42	0,32	2,60	16,72
	40-50	0,01	0,05	0,36	0,33	169,37	4,47	0,21	0,30	0,20	1,25	9,93
	50-60	0,04	0,12	0,83	0,82	375,81	8,07	0,44	0,67	0,48	3,04	22,57
	60-70	0,02	0,08	0,45	0,22	218,96	4,95	0,25	0,23	0,28	0,77	8,26
I/3	0-10	0,06	0,10	1,26	2,74	157,86	6,73	1,14	0,35	0,22	5,17	94,98
	10-20	0,04	0,09	0,54	0,79	125,39	5,47	0,82	0,22	0,25	1,83	45,73
	20-30	0,03	0,10	0,21	0,15	136,92	18,20	0,19	0,14	0,25	0,38	29,25
	30-40	0,04	0,13	0,24	0,14	205,33	17,30	0,22	0,15	0,31	0,38	30,01
	40-50	0,03	0,08	0,22	0,12	138,53	2,28	0,17	0,11	0,29	0,30	12,58
VII/9	0-10	0,12	0,11	3,54	0,60	160,38	3,12	0,58	0,87	0,19	4,59	31,39
	10-20	0,28	0,15	8,90	1,16	176,80	2,97	0,96	1,54	0,18	9,18	72,65
	20-30	0,12	0,27	4,77	1,17	247,94	1,99	1,22	1,37	0,28	6,05	274,27
	30-40	0,04	0,09	0,45	0,21	141,23	2,38	0,39	0,23	0,24	0,46	151,16
	40-50	0,04	0,08	0,55	0,23	180,19	3,89	0,34	0,29	0,27	0,47	235,55
	50-60	-0,03	0,03	0,44	0,16	129,02	2,72	0,23	0,22	0,31	0,31	197,42
	60-70	-0,04	0,03	0,21	0,11	82,15	1,87	0,15	0,26	0,16	0,16	172,82
	70-80	-0,04	0,03	0,27	0,12	86,44	1,39	0,19	0,22	0,24	0,18	168,08
VII/10	0-10	0,26	0,12	12,50	2,03	349,60	5,21	1,58	3,57	0,33	14,74	224,66
	10-20	-0,01	0,08	0,89	0,50	240,38	5,49	0,54	0,44	0,30	1,49	97,43
	20-30	-0,03	0,06	0,38	0,13	170,54	3,53	0,21	0,15	0,14	0,43	19,14
	30-40	-0,03	0,08	0,53	0,18	219,87	3,54	0,30	0,20	0,30	0,54	32,96
	40-50	-0,04	0,03	0,36	0,12	162,69	5,59	0,21	0,16	0,17	0,30	41,59
	50-60	-0,04	0,01	0,15	0,08	146,25	8,30	0,12	0,18	0,11	0,14	49,22
	60-70	-0,04	0,01	0,19	0,09	133,52	7,17	0,13	0,12	0,10	0,16	60,13
VII/11	0-10	0,66	0,16	34,24	4,00	489,42	5,36	2,07	6,58	0,44	28,42	152,24
	10-20	0,19	0,15	18,14	1,49	351,48	3,31	1,62	1,80	0,33	14,21	127,18
	20-30	-0,03	0,05	0,66	0,28	191,29	2,75	0,30	0,41	0,21	0,87	86,40
	30-40	-0,04	0,05	0,37	0,16	203,11	2,95	0,21	0,18	0,23	0,40	54,54
	40-50	-0,04	0,08	0,59	0,22	288,67	6,74	0,32	0,22	0,34	0,60	59,02
	50-60	-0,04	0,09	0,71	0,18	225,37	2,69	0,36	0,22	0,25	0,53	65,23
	60-70	0,00	0,08	2,62	0,39	262,44	4,25	0,53	0,65	0,27	1,79	129,82

	Szelvények	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	V	Zn	S
	[cm]	I. A [-]										
VII/12	0-10	-0,01	0,07	2,56	0,53	214,89	4,38	0,57	0,58	0,22	2,25	291,42
	10-20	-0,04	0,01	0,24	0,12	69,04	2,99	0,10	0,15	0,02	0,31	119,22
	20-30	-0,04	0,03	0,23	0,09	80,02	1,84	0,14	0,15	0,04	0,23	118,68
	30-40	-0,04	0,01	0,17	0,07	64,46	1,80	0,11	0,13	0,02	0,20	91,17
	40-50	-0,04	0,01	0,12	0,06	44,29	1,99	0,10	0,14	-0,01	0,11	97,37
	50-60	-0,04	0,01	0,05	0,04	28,71	1,60	0,07	0,12	-0,02	0,05	88,72
	60-70	-0,04	0,01	0,10	0,06	25,85	0,38	0,10	0,09	0,26	0,05	73,62
	70-80	-0,04	0,01	0,87	0,12	41,42	0,62	0,21	0,09	0,39	0,11	84,68
80-90	-0,04	0,01	1,19	0,07	38,18	0,77	0,14	0,04	0,41	0,10	70,03	

Melléklet, 1.a. táblázat: Üledékminták pszeudotótál elemtartalom meghatározása (I. és II. A [-], folyt.)

	Szelvények	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	V	Zn	S
	[cm]	II. A [-]										
I/1	0-10	0,46	0,19	1,56	4,17	489,04	8,89	2,42	1,05	0,70	8,14	55,76
	10-20	0,10	0,13	0,68	0,62	317,54	11,33	0,50	0,47	0,41	2,14	15,70
	20-30	0,06	0,07	0,37	0,15	166,35	3,00	0,18	0,13	0,19	0,50	2,59
	30-40	0,06	0,07	0,38	0,12	176,35	3,03	0,19	0,10	0,17	0,42	0,11
	40-50	0,06	0,10	0,37	0,12	227,57	6,95	0,20	0,13	0,16	0,45	1,71
	50-60	0,06	0,09	0,45	0,15	206,91	3,34	0,24	0,12	0,14	0,52	n.a
	60-70	0,05	0,07	0,54	0,12	162,97	2,47	0,24	0,11	0,22	0,41	n.a
I/2	0-10	0,08	0,07	0,90	1,75	178,11	6,20	0,47	0,46	0,20	3,99	87,19
	10-20	0,11	0,07	2,40	5,60	226,96	8,49	1,19	0,60	0,15	9,22	121,06
	20-30	0,27	0,09	3,67	8,58	366,57	7,80	2,10	0,74	0,29	11,87	219,76
	30-40	0,15	0,09	0,61	1,33	216,73	4,50	0,62	0,43	0,29	2,61	16,25
	40-50	0,06	0,07	0,37	0,33	169,29	4,39	0,18	0,31	0,18	1,26	9,45
	50-60	0,08	0,13	0,84	0,82	375,74	8,00	0,42	0,68	0,45	3,05	22,09
	60-70	0,06	0,09	0,46	0,22	218,88	4,87	0,22	0,24	0,25	0,78	7,78
I/3	0-10	0,10	0,12	1,27	2,74	157,79	6,66	1,11	0,36	0,20	5,18	94,50
	10-20	0,09	0,11	0,55	0,79	125,31	5,39	0,79	0,23	0,22	1,84	45,25
	20-30	0,07	0,12	0,22	0,15	136,85	18,13	0,17	0,15	0,22	0,39	28,77
	30-40	0,08	0,14	0,25	0,14	205,26	17,23	0,20	0,16	0,28	0,39	29,54
	40-50	0,07	0,09	0,23	0,13	138,46	2,20	0,15	0,13	0,26	0,31	12,10
VII/9	0-10	0,17	0,12	3,55	0,60	160,30	3,04	0,56	0,88	0,16	4,60	30,91
	10-20	0,32	0,16	8,91	1,16	176,72	2,90	0,94	1,55	0,15	9,19	72,18
	20-30	0,16	0,29	4,77	1,18	247,86	1,92	1,20	1,38	0,25	6,06	273,80
	30-40	0,08	0,11	0,46	0,21	141,15	2,30	0,37	0,25	0,21	0,47	150,69
	40-50	0,08	0,10	0,56	0,23	180,11	3,81	0,32	0,30	0,24	0,48	235,07
	50-60	0,01	0,04	0,45	0,16	128,95	2,65	0,21	0,23	0,28	0,32	196,94
	60-70	0,00	0,04	0,22	0,11	82,08	1,80	0,12	0,27	0,14	0,17	172,34
	70-80	0,00	0,05	0,28	0,12	86,36	1,31	0,16	0,23	0,21	0,19	167,60
80-90	0,01	0,05	0,36	0,15	98,57	1,24	0,17	0,17	0,32	0,30	143,91	
VII/10	0-10	0,30	0,14	12,51	2,04	349,52	5,13	1,55	3,59	0,30	14,75	224,18
	10-20	0,03	0,10	0,90	0,50	240,31	5,42	0,52	0,45	0,28	1,50	96,96
	20-30	0,01	0,08	0,39	0,14	170,47	3,45	0,19	0,16	0,11	0,44	18,66
	30-40	0,01	0,09	0,53	0,18	219,80	3,47	0,28	0,21	0,27	0,54	32,48
	40-50	0,01	0,04	0,37	0,12	162,62	5,51	0,18	0,17	0,14	0,30	41,12
50-60	0,01	0,03	0,15	0,08	146,17	8,23	0,09	0,19	0,08	0,15	48,75	

	Szelvények	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	V	Zn	S
	[cm]	II. A [-]										
	60-70	0,01	0,02	0,20	0,09	133,44	7,10	0,11	0,13	0,07	0,17	59,66
VII/11	0-10	0,70	0,17	34,25	4,00	489,34	5,28	2,05	6,59	0,41	28,43	151,76
	10-20	0,23	0,17	18,15	1,49	351,41	3,23	1,59	1,81	0,30	14,22	126,70
	20-30	0,01	0,07	0,67	0,28	191,21	2,67	0,27	0,42	0,18	0,88	85,92
	30-40	0,01	0,06	0,38	0,16	203,04	2,87	0,19	0,19	0,21	0,41	54,06
	40-50	0,01	0,09	0,60	0,22	288,59	6,66	0,29	0,23	0,31	0,61	58,55
	50-60	0,01	0,11	0,72	0,18	225,29	2,61	0,34	0,23	0,22	0,53	64,75
	60-70	0,05	0,09	2,63	0,39	262,37	4,17	0,50	0,66	0,24	1,80	129,34
VII/12	0-10	0,03	0,09	2,57	0,53	214,82	4,30	0,54	0,60	0,19	2,26	290,94
	10-20	0,01	0,03	0,25	0,12	68,96	2,91	0,08	0,16	-0,01	0,32	118,74
	20-30	0,00	0,04	0,24	0,09	79,95	1,76	0,12	0,16	0,01	0,24	118,21
	30-40	0,00	0,03	0,18	0,07	64,38	1,72	0,09	0,14	-0,01	0,21	90,69
	40-50	0,00	0,03	0,13	0,06	44,22	1,92	0,07	0,15	-0,04	0,12	96,89
	50-60	0,00	0,03	0,06	0,04	28,64	1,53	0,05	0,13	-0,05	0,06	88,24
	60-70	0,00	0,02	0,11	0,06	25,77	0,31	0,08	0,10	0,23	0,06	73,14
	70-80	0,01	0,03	0,88	0,12	41,35	0,54	0,19	0,10	0,36	0,11	84,21
80-90	0,00	0,02	1,20	0,07	38,11	0,70	0,12	0,06	0,38	0,11	69,56	

Melléklet, 2.a. táblázat: Üledékminták pszeidototál elemtartalom meghatározása
(átlagolt koncentrációk ± SD)

	Szelvények	Cd	Co	Cr	Cu	Fe
	[cm]					
I/1	0-10	24,51 ± 0,23	10,24 ± 0,09	82,97 ± 0,76	222,3 ± 2,0	26074 ± 308
	10-20	7,16 ± 0,07	9,85 ± 0,09	51,11 ± 0,47	46,16 ± 0,42	23789 ± 664
	20-30	4,20 ± 0,04	4,86 ± 0,04	27,38 ± 0,25	10,93 ± 0,10	12410 ± 73
	30-40	3,58 ± 0,03	4,83 ± 0,04	24,95 ± 0,23	7,65 ± 0,07	11445 ± 126
	40-50	4,50 ± 0,04	7,49 ± 0,07	27,34 ± 0,25	9,18 ± 0,08	16993 ± 216
	50-60	3,23 ± 0,03	4,83 ± 0,04	24,95 ± 0,23	7,97 ± 0,07	11369 ± 100
	60-70	2,96 ± 0,03	3,76 ± 0,03	29,67 ± 0,27	6,54 ± 0,06	8919 ± 103
I/2	0-10	6,07 ± 0,06	4,92 ± 0,05	65,82 ± 0,61	127,7 ± 1,2	13027 ± 112
	10-20	7,66 ± 0,07	4,76 ± 0,04	165,1 ± 1,5	384,5 ± 3,5	15592 ± 41
	20-30	17,69 ± 0,16	5,73 ± 0,05	243,8 ± 2,2	569,3 ± 5,2	24321 ± 161
	30-40	9,47 ± 0,09	5,31 ± 0,05	37,18 ± 0,34	81,58 ± 0,75	13270 ± 153
	40-50	3,64 ± 0,03	4,23 ± 0,04	23,57 ± 0,22	21,31 ± 0,20	10914 ± 190
	50-60	4,40 ± 0,04	7,25 ± 0,07	46,11 ± 0,42	45,36 ± 0,42	20713 ± 29
	60-70	4,53 ± 0,04	6,65 ± 0,06	33,97 ± 0,31	16,41 ± 0,15	16075 ± 199
I/3	0-10	6,90 ± 0,06	7,66 ± 0,07	84,05 ± 0,77	181,9 ± 1,7	10483 ± 14
	10-20	5,20 ± 0,05	6,64 ± 0,06	33,29 ± 0,31	47,76 ± 0,44	7549 ± 39
	20-30	4,90 ± 0,05	7,74 ± 0,07	14,47 ± 0,13	10,02 ± 0,09	8984 ± 118
	30-40	4,16 ± 0,04	7,64 ± 0,07	13,35 ± 0,12	7,40 ± 0,07	10844 ± 203
	40-50	5,67 ± 0,05	7,28 ± 0,07	17,87 ± 0,16	9,85 ± 0,09	10885 ± 189
VII/9	0-10	11,44 ± 0,11	8,40 ± 0,08	245,4 ± 2,3	41,84 ± 0,38	11092 ± 85
	10-20	23,18 ± 0,21	11,48 ± 0,11	637,1 ± 5,9	83,23 ± 0,77	12637 ± 598
	20-30	17,65 ± 0,16	32,29 ± 0,30	532,4 ± 4,9	131,2 ± 1,2	27638 ± 50
	30-40	9,39 ± 0,09	12,21 ± 0,11	53,07 ± 0,49	24,68 ± 0,23	16224 ± 258
	40-50	4,42 ± 0,04	5,25 ± 0,05	29,43 ± 0,27	12,15 ± 0,11	9542 ± 333
	50-60	0,48 ± 0,00	2,38 ± 0,02	25,68 ± 0,24	9,38 ± 0,09	7352 ± 178
	60-70	0,30 ± 0,00	2,77 ± 0,03	14,69 ± 0,14	7,46 ± 0,07	5373 ± 30
	70-80	0,33 ± 0,00	3,20 ± 0,03	19,13 ± 0,18	8,25 ± 0,08	5834 ± 40
VII/10	0-10	17,78 ± 0,31	8,13 ± 0,07	736,6 ± 6,8	119,9 ± 1,1	20584 ± 222
	10-20	2,07 ± 0,02	5,75 ± 0,05	53,22 ± 0,23	29,48 ± 0,27	14226 ± 252
	20-30	0,52 ± 0,05	5,36 ± 0,05	27,88 ± 0,26	9,71 ± 0,09	12176 ± 153
	30-40	0,86 ± 0,02	7,61 ± 0,07	43,16 ± 0,40	14,67 ± 0,13	17731 ± 18
	40-50	0,42 ± 0,02	3,41 ± 0,03	29,38 ± 0,27	9,84 ± 0,09	12886 ± 112
	50-60	0,53 ± 0,00	2,25 ± 0,02	12,73 ± 0,12	6,87 ± 0,06	12005 ± 59
	60-70	0,46 ± 0,01	1,96 ± 0,02	15,73 ± 0,14	7,44 ± 0,07	10601 ± 90
VII/11	0-10	40,39 ± 0,15	9,98 ± 0,09	1970 ± 18	230,2 ± 2,1	28149 ± 327
	10-20	18,59 ± 0,17	13,57 ± 0,12	1462 ± 11	120,1 ± 1,1	28321 ± 40
	20-30	0,84 ± 0,01	4,27 ± 0,04	43,03 ± 0,30	18,27 ± 0,17	12317 ± 222
	30-40	0,60 ± 0,01	5,48 ± 0,05	32,57 ± 0,30	13,66 ± 0,13	17425 ± 105
	40-50	0,54 ± 0,01	7,55 ± 0,07	49,72 ± 0,46	18,20 ± 0,17	23749 ± 399
	50-60	0,58 ± 0,02	9,04 ± 0,08	60,08 ± 0,55	15,12 ± 0,14	18762 ± 113
	60-70	2,43 ± 0,06	4,93 ± 0,05	139,7 ± 1,3	20,90 ± 0,19	13962 ± 89
VII/12	0-10	1,77 ± 0,02	5,09 ± 0,05	145,8 ± 1,3	30,32 ± 0,28	12178 ± 43
	10-20	0,33 ± 0,02	1,69 ± 0,02	16,80 ± 0,15	7,79 ± 0,07	4587 ± 25
	20-30	0,26 ± 0,00	2,47 ± 0,02	13,75 ± 0,13	5,06 ± 0,05	4659 ± 6
	30-40	0,15 ± 0,00	1,72 ± 0,02	11,27 ± 0,10	4,62 ± 0,04	3984 ± 27
	40-50	0,12 ± 0,00	1,62 ± 0,01	7,41 ± 0,07	3,55 ± 0,03	2603 ± 41

50-60	0,10 ± 0,00	1,84 ± 0,02	3,64 ± 0,03	2,76 ± 0,03	1761 ± 8
60-70	0,21 ± 0,00	2,34 ± 0,02	11,74 ± 0,11	6,38 ± 0,06	2705 ± 23
70-80	0,50 ± 0,00	2,21 ± 0,02	75,69 ± 0,70	10,39 ± 0,10	3569 ± 3
80-90	0,33 ± 0,00	2,13 ± 0,02	105,6 ± 1,0	6,30 ± 0,06	3352 ± 20

Melléklet, 2.b. táblázat: Üledékminták pszeidotótál elemtartalom meghatározása (folyt., átlagolt koncentrációk ± SD)

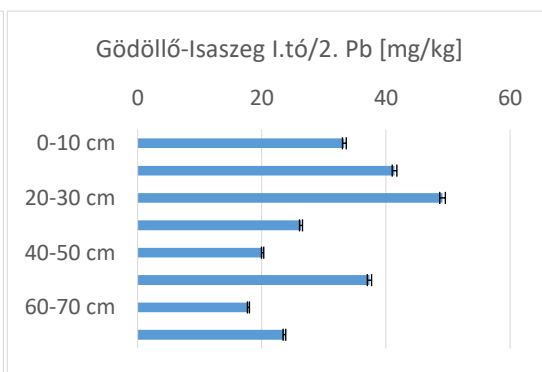
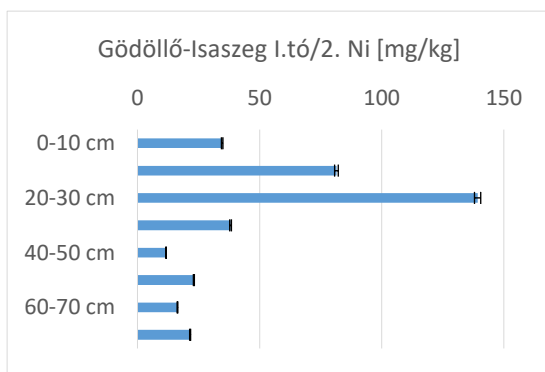
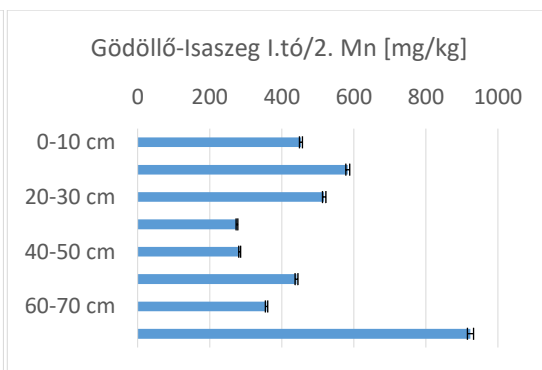
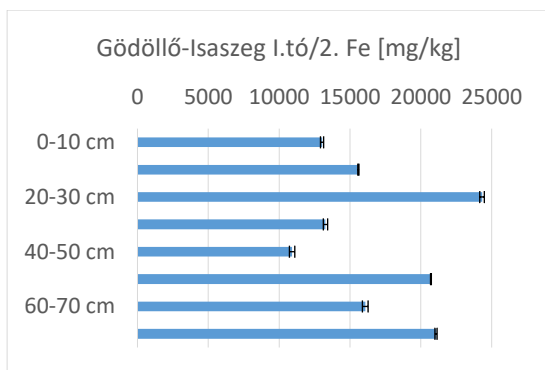
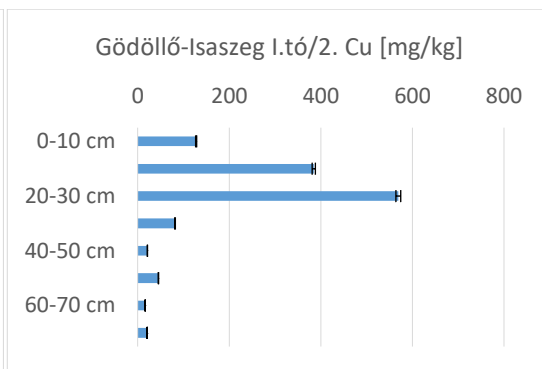
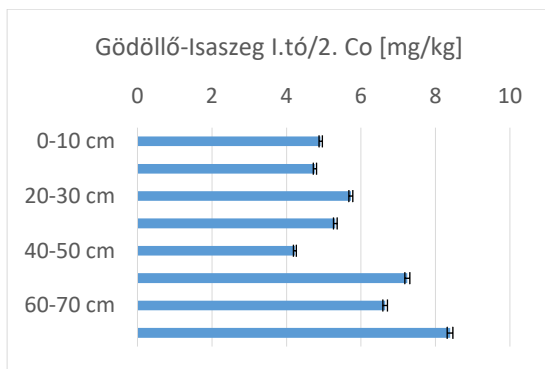
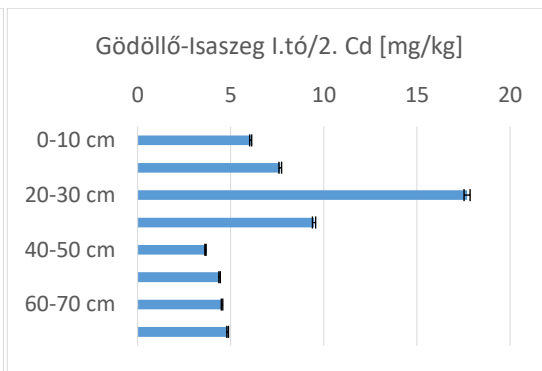
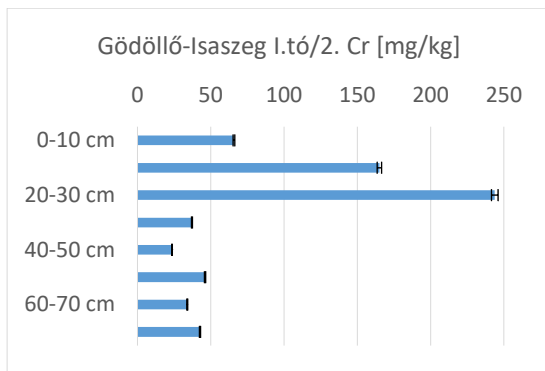
	Szelvények	Mn	Ni	Pb	V	Zn	S
	[cm]						
I/1	0-10	474,1 ± 0,9	128,9 ± 1,2	55,73 ± 0,51	37,55 ± 0,35	434,0 ± 4,0	2973 ± 8
	10-20	848,9 ± 7,8	37,42 ± 0,34	35,53 ± 0,33	30,43 ± 0,28	160,3 ± 1,5	1177 ± 1
	20-30	224,1 ± 0,1	13,30 ± 0,12	9,93 ± 0,09	14,24 ± 0,13	37,13 ± 0,34	193,0 ± 0,1
	30-40	196,7 ± 1,8	12,40 ± 0,11	6,69 ± 0,06	11,08 ± 0,10	27,12 ± 0,25	7,28 ± 0,00
	40-50	519,2 ± 4,8	14,92 ± 0,14	9,54 ± 0,09	11,78 ± 0,11	33,38 ± 0,31	127,5 ± 0,1
	50-60	183,6 ± 1,7	13,17 ± 0,12	6,55 ± 0,06	7,81 ± 0,07	28,32 ± 0,26	n.a
	60-70	135,0 ± 1,2	12,95 ± 0,12	5,98 ± 0,05	12,16 ± 0,11	22,43 ± 0,21	n.a
I/2	0-10	453,3 ± 4,2	34,67 ± 0,32	33,30 ± 0,31	14,33 ± 0,13	291,6 ± 2,7	6377 ± 13
	10-20	583,4 ± 5,4	81,45 ± 0,75	41,38 ± 0,38	10,38 ± 0,10	633,1 ± 5,8	8317 ± 4
	20-30	517,8 ± 4,8	139,3 ± 1,3	49,12 ± 0,45	19,51 ± 0,18	787,3 ± 7,2	14580 ± 184
	30-40	275,6 ± 2,5	38,11 ± 0,35	26,32 ± 0,24	17,87 ± 0,16	159,9 ± 0,9	994,7 ± 0,5
	40-50	283,2 ± 2,6	11,70 ± 0,11	20,13 ± 0,19	11,28 ± 0,10	80,93 ± 0,74	609,4 ± 0,3
	50-60	440,9 ± 4,1	23,08 ± 0,21	37,34 ± 0,34	24,64 ± 0,23	168,3 ± 1,5	1218 ± 1
	60-70	357,8 ± 3,3	16,37 ± 0,15	17,85 ± 0,16	18,47 ± 0,17	57,30 ± 0,53	571,7 ± 0,3
I/3	0-10	923,9 ± 8,5	21,55 ± 0,20	23,64 ± 0,22	22,85 ± 0,21	59,31 ± 0,55	538,9 ± 0,3
	0-10	442,2 ± 6,6	73,99 ± 0,68	23,96 ± 0,22	12,96 ± 0,12	344,2 ± 3,2	6278 ± 13
	10-20	324,9 ± 3,0	47,70 ± 0,44	13,90 ± 0,13	13,02 ± 0,12	110,9 ± 1,0	2726 ± 12
	20-30	1190 ± 11	10,90 ± 0,10	9,85 ± 0,09	14,55 ± 0,13	25,31 ± 0,23	1889 ± 7
	30-40	910,2 ± 20,8	10,57 ± 0,10	8,28 ± 0,08	14,67 ± 0,13	20,77 ± 0,19	1560 ± 27
VII/9	0-10	173,0 ± 0,7	11,80 ± 0,11	9,84 ± 0,09	20,61 ± 0,19	24,42 ± 0,22	951,4 ± 0,5
	0-10	210,6 ± 1,9	38,54 ± 0,35	60,83 ± 0,56	11,05 ± 0,10	318,4 ± 2,9	2139 ± 8
	10-20	207,2 ± 1,9	66,94 ± 0,62	110,6 ± 1,0	10,45 ± 0,10	657,1 ± 6,0	5161 ± 6
	20-30	213,7 ± 2,0	133,9 ± 1,2	153,9 ± 1,4	28,35 ± 0,26	675,5 ± 6,2	30530 ± 116
	30-40	264,5 ± 2,4	42,07 ± 0,39	28,17 ± 0,26	24,66 ± 0,23	54,13 ± 0,50	17320 ± 3
	40-50	202,1 ± 1,9	16,74 ± 0,15	16,12 ± 0,15	12,89 ± 0,12	25,41 ± 0,23	12453 ± 5
	50-60	150,9 ± 1,4	11,70 ± 0,11	13,03 ± 0,12	15,99 ± 0,15	18,02 ± 0,17	11228 ± 20
	60-70	117,6 ± 1,1	8,17 ± 0,08	17,84 ± 0,16	8,86 ± 0,08	10,80 ± 0,10	11282 ± 30
	70-80	88,51 ± 0,81	11,01 ± 0,10	15,81 ± 0,15	14,08 ± 0,13	12,61 ± 0,12	11321 ± 17
VII/10	80-90	73,54 ± 0,68	9,84 ± 0,09	10,27 ± 0,09	18,75 ± 0,17	17,58 ± 0,16	8507 ± 22
	0-10	302,3 ± 2,8	91,46 ± 0,84	211,2 ± 1,9	17,69 ± 0,16	868,6 ± 8,0	13203 ± 55
	10-20	320,7 ± 3,0	30,54 ± 0,28	26,80 ± 0,25	16,32 ± 0,15	88,63 ± 0,38	5740 ± 13
	20-30	246,5 ± 2,3	13,40 ± 0,12	11,21 ± 0,10	8,12 ± 0,07	31,67 ± 0,29	1333 ± 1
	30-40	279,8 ± 2,6	22,65 ± 0,21	16,68 ± 0,15	21,47 ± 0,20	43,94 ± 0,40	2620 ± 7
	40-50	436,5 ± 4,0	14,65 ± 0,13	13,30 ± 0,12	10,82 ± 0,10	24,12 ± 0,22	3258 ± 9
	50-60	675,5 ± 6,2	7,52 ± 0,07	15,65 ± 0,14	6,46 ± 0,06	12,24 ± 0,11	4003 ± 34
VII/11	60-70	563,8 ± 5,2	8,49 ± 0,08	10,39 ± 0,10	5,92 ± 0,05	13,41 ± 0,12	4739 ± 21
	0-10	303,7 ± 2,8	118,0 ± 1,1	379,2 ± 3,5	23,47 ± 0,22	1636 ± 15	8730 ± 31
	10-20	260,6 ± 2,4	128,5 ± 1,2	146,3 ± 1,3	24,24 ± 0,22	1146 ± 0	10211 ± 36
	20-30	172,2 ± 1,6	17,66 ± 0,16	26,99 ± 0,25	11,65 ± 0,11	56,54 ± 0,34	5535 ± 46
	30-40	246,2 ± 2,3	16,36 ± 0,15	16,37 ± 0,15	17,61 ± 0,16	34,90 ± 0,32	4639 ± 44
	40-50	548,3 ± 5,0	23,96 ± 0,22	18,74 ± 0,17	25,91 ± 0,24	50,44 ± 0,46	4818 ± 19
50-60	217,3 ± 2,0	28,18 ± 0,26	19,00 ± 0,17	18,27 ± 0,17	44,55 ± 0,41	5393 ± 43	

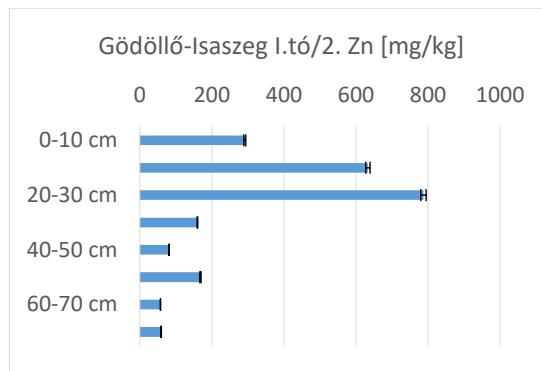
	60-70	222,0 ± 2,0	26,74 ± 0,25	35,38 ± 0,33	12,74 ± 0,12	95,82 ± 0,88	6883 ± 3
VII/12	0-10	243,8 ± 2,2	30,82 ± 0,28	33,76 ± 0,31	10,70 ± 0,10	128,2 ± 1,2	16493 ± 15
	10-20	193,5 ± 1,8	5,19 ± 0,05	10,64 ± 0,10	n.a.	21,24 ± 0,20	7897 ± 24
	20-30	102,7 ± 0,9	6,80 ± 0,06	9,49 ± 0,09	0,78 ± 0,01	14,04 ± 0,13	6888 ± 35
	30-40	106,6 ± 1,0	5,59 ± 0,05	8,68 ± 0,08	n.a.	12,94 ± 0,12	5612 ± 24
	40-50	112,9 ± 1,0	4,20 ± 0,04	9,01 ± 0,08	n.a.	7,23 ± 0,07	5704 ± 46
	50-60	93,99 ± 0,86	3,11 ± 0,03	7,74 ± 0,07	n.a.	3,91 ± 0,04	5427 ± 6
	60-70	32,41 ± 0,30	8,33 ± 0,08	10,59 ± 0,10	24,30 ± 4,79	6,31 ± 0,06	7676 ± 38
	70-80	46,65 ± 0,43	16,12 ± 0,15	8,28 ± 0,08	31,36 ± 0,29	9,90 ± 0,09	7269 ± 63
	80-90	61,30 ± 0,56	10,19 ± 0,09	4,84 ± 0,04	33,23 ± 0,31	9,68 ± 0,09	6119 ± 10

Melléklet, 3.táblázat: A 2013-as mintavétel pszeudototál elemtartalma (min-max értékekkel, pirossal dőlten kiemelve a határérték túllépésekkel)

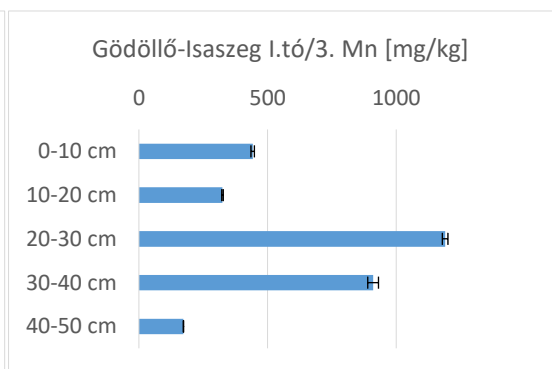
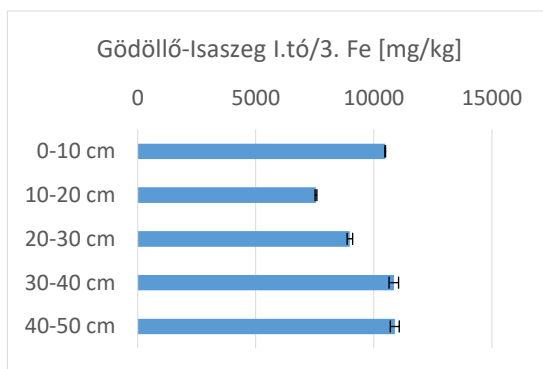
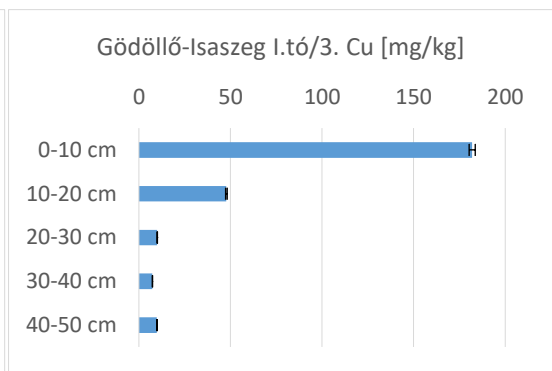
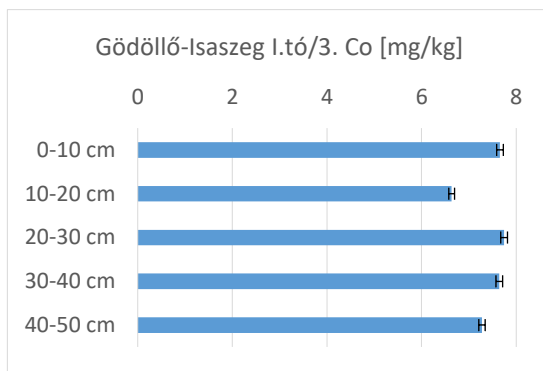
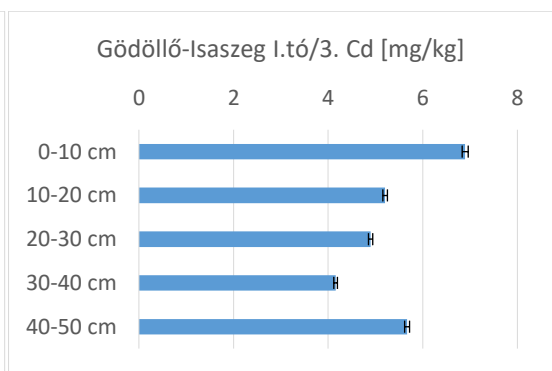
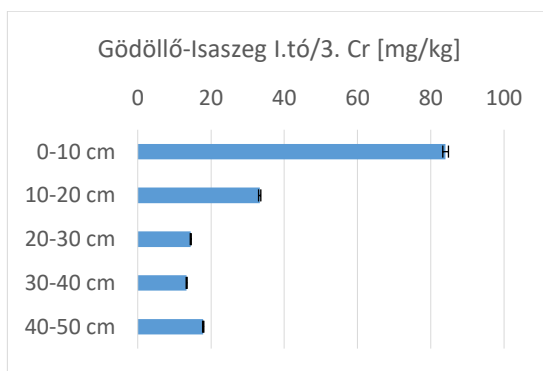
	Szelvények	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	V	Zn	Fe	S
	[cm]	[mg/kg]										
I/1	0-10	24,51	10,24	82,97	222,3	474,1	128,9	55,73	37,55	434,0	26074	2972,8
I/1	10-20	7,16	9,85	51,11	46,16	848,9	37,42	35,53	30,43	160,3	23789	1176,6
I/1	20-30	4,20	4,86	27,38	10,93	224,1	13,30	9,93	14,24	37,13	12410	193,0
I/1	30-40	3,58	4,83	24,95	7,65	196,7	12,40	6,69	11,08	27,12	11445	7,28
I/1	40-50	4,50	7,49	27,34	9,18	519,2	14,92	9,54	11,78	33,38	16993	127,5
I/1	50-60	3,23	4,83	24,95	7,97	183,6	13,17	6,55	7,81	28,32	11369	
I/1	60-70	2,96	3,76	29,67	6,54	135,0	12,95	5,98	12,16	22,43	8919	
MIN		2,96	3,76	24,95	6,54	135,0	12,40	5,98	7,81	22,43	8919	7,28
MAX		24,51	10,24	82,97	222,3	848,9	128,9	55,73	37,55	434,0	26074	2973
I/2	0-10	6,07	4,92	65,82	127,7	453,3	34,67	33,30	14,33	291,6	13027	6377
I/2	10-20	7,66	4,76	165,1	384,5	583,4	81,45	41,38	10,38	633,1	15592	8317
I/2	20-30	17,69	5,73	243,8	569,3	517,8	139,3	49,12	19,51	787,3	24321	14580
I/2	30-40	9,47	5,31	37,18	81,58	275,6	38,11	26,32	17,87	159,9	13270	994,7
I/2	40-50	3,64	4,23	23,57	21,31	283,2	11,70	20,13	11,28	80,93	10914	609,4
I/2	50-60	4,40	7,25	46,11	45,36	440,9	23,08	37,34	24,64	168,3	20713	1218
I/2	60-70	4,53	6,65	33,97	16,41	357,8	16,37	17,85	18,47	57,30	16075	571,7
I/2	70-80	4,83	8,39	42,65	20,61	923,9	21,55	23,64	22,85	59,31	21070	538,9
MIN		3,64	4,23	23,57	16,41	275,6	11,70	17,85	10,38	57,30	10914	538,9
MAX		17,69	8,39	243,8	569,3	923,9	139,3	49,12	24,64	787,3	24321	14580
I/3	0-10	6,90	7,66	84,05	181,9	442,2	73,99	23,96	12,96	344,2	10483	6278
I/3	10-20	5,20	6,64	33,29	47,76	324,9	47,70	13,90	13,02	110,9	7549	2726
I/3	20-30	4,90	7,74	14,47	10,02	1190	10,90	9,85	14,55	25,31	8984	1889
I/3	30-40	4,16	7,64	13,35	7,40	910,2	10,57	8,28	14,67	20,77	10844	1560
I/3	40-50	5,67	7,28	17,87	9,85	173,0	11,80	9,84	20,61	24,42	10885	951,4
MIN		4,16	6,64	13,35	7,40	173,0	10,57	8,28	12,96	20,77	7549	951,4
MAX		6,90	7,74	84,05	181,9	1190	73,99	23,96	20,61	344,2	10885	6278
VII/9	0-10	11,44	8,40	245,4	41,84	210,6	38,54	60,83	11,05	318,4	11092	2139
VII/9	10-20	23,18	11,48	637,1	83,23	207,2	66,94	110,6	10,45	657,1	12637	5161
VII/9	20-30	17,65	32,29	532,4	131,2	213,7	133,9	153,9	28,35	675,5	27638	30530
VII/9	30-40	9,39	12,21	53,07	24,68	264,5	42,07	28,17	24,66	54,13	16224	17320
VII/9	40-50	4,42	5,25	29,43	12,15	202,1	16,74	16,12	12,89	25,41	9542	12453

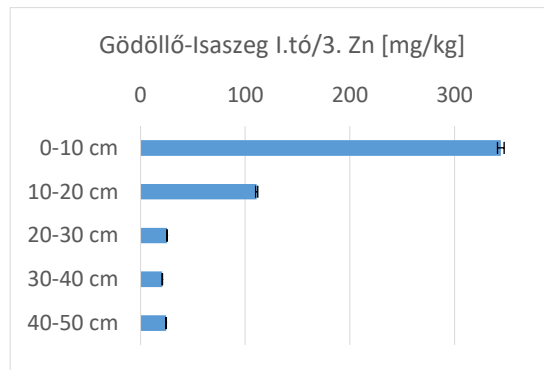
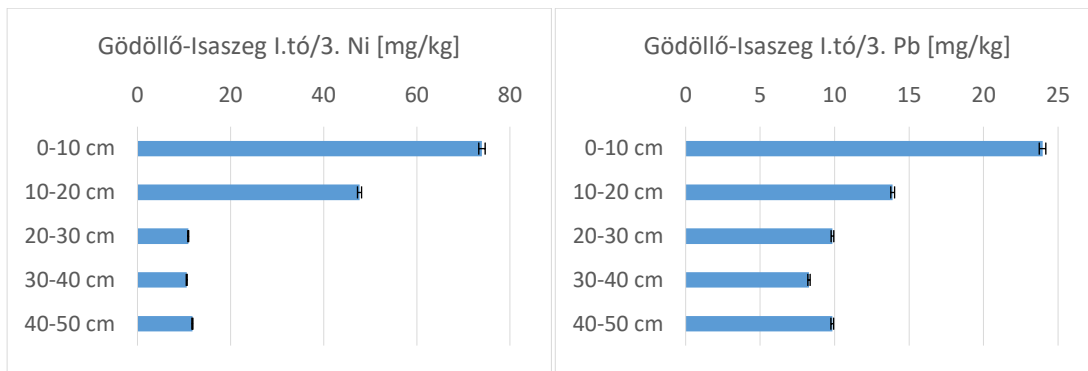
	Szelvények	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	V	Zn	Fe	S
	[cm]	[mg/kg]										
VII/9	50-60	0,48	2,38	25,68	9,38	150,9	11,70	13,03	15,99	18,02	7352	11228
VII/9	60-70	0,30	2,77	14,69	7,46	117,6	8,17	17,84	8,86	10,80	5373	11282
VII/9	70-80	0,33	3,20	19,13	8,25	88,51	11,01	15,81	14,08	12,61	5834	11321
VII/9	80-90	0,34	2,72	21,21	8,67	73,54	9,84	10,27	18,75	17,58	5827	8507
MIN		0,30	2,38	14,69	7,46	73,54	8,17	10,27	8,86	10,80	5373	2139
MAX		23,18	32,29	637,1	131,2	264,5	133,9	153,9	28,35	675,51	27638	30530
VII/10	0-10	17,78	8,13	736,6	119,9	302,3	91,46	211,2	17,69	868,62	20584	13203
VII/10	10-20	2,07	5,75	53,22	29,48	320,7	30,54	26,80	16,32	88,63	14226	5740
VII/10	20-30	0,52	5,36	27,88	9,71	246,5	13,40	11,21	8,12	31,67	12176	1333
VII/10	30-40	0,86	7,61	43,16	14,67	279,8	22,65	16,68	21,47	43,94	17731	2620
VII/10	40-50	0,42	3,41	29,38	9,84	436,5	14,65	13,30	10,82	24,12	12886	3258
VII/10	50-60	0,53	2,25	12,73	6,87	675,5	7,52	15,65	6,46	12,24	12005	4003
VII/10	60-70	0,46	1,96	15,73	7,44	563,8	8,49	10,39	5,92	13,41	10601	4739
MIN		0,42	1,96	12,73	6,87	246,5	7,52	10,39	5,92	12,24	10601	1333
MAX		17,78	8,13	736,6	119,9	675,5	91,46	211,2	21,47	868,6	20584	13203
VII/11	0-10	40,39	9,98	1970	230,2	303,7	118,0	379,2	23,47	1636	28149	8730
VII/11	10-20	18,59	13,57	1462	120,1	260,6	128,5	146,3	24,24	1146	28321	10211
VII/11	20-30	0,84	4,27	43,03	18,27	172,2	17,66	26,99	11,65	56,54	12317	5535
VII/11	30-40	0,60	5,48	32,57	13,66	246,2	16,36	16,37	17,61	34,90	17425	4639
VII/11	40-50	0,54	7,55	49,72	18,20	548,3	23,96	18,74	25,91	50,44	23749	4818
VII/11	50-60	0,58	9,04	60,08	15,12	217,3	28,18	19,00	18,27	44,55	18762	5393
VII/11	60-70	2,43	4,93	139,7	20,90	222,0	26,74	35,38	12,74	95,82	13962	6883
MIN		0,54	4,27	32,57	13,66	172,2	16,36	16,37	11,65	34,90	12317	4639
MAX		40,39	13,57	1970	230,2	548,3	128,5	379,2	25,91	1636	28321	10211
VII/12	0-10	1,77	5,09	145,8	30,32	243,8	30,82	33,76	10,70	128,2	12178	16493
VII/12	10-20	0,33	1,69	16,80	7,79	193,5	5,19	10,64	n.d	21,24	4587	7897
VII/12	20-30	0,26	2,47	13,75	5,06	102,7	6,80	9,49	0,78	14,04	4659	6888
VII/12	30-40	0,15	1,72	11,27	4,62	106,6	5,59	8,68	n.d	12,94	3984	5612
VII/12	40-50	0,12	1,62	7,41	3,55	112,9	4,20	9,01	n.d	7,23	2603	5704
VII/12	50-60	0,10	1,84	3,64	2,76	93,99	3,11	7,74	n.d	3,91	1761	5427
VII/12	60-70	0,21	2,34	11,74	6,38	32,41	8,33	10,59	24,30	6,31	2705	7676
VII/12	70-80	0,50	2,21	75,69	10,39	46,65	16,12	8,28	31,36	9,90	3569	7269
VII/12	80-90	0,33	2,13	105,6	6,30	61,30	10,19	4,84	33,23	9,68	3352	6119
MIN		0,10	1,62	3,64	2,76	32,41	3,11	4,84	0,78	3,91	1761	5427
MAX		1,77	5,09	145,8	30,32	243,8	30,82	33,76	33,23	128,2	12178	16493



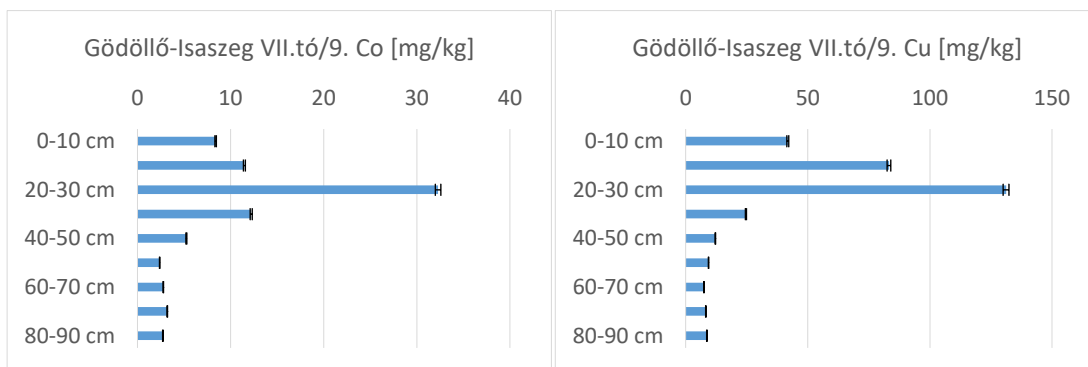
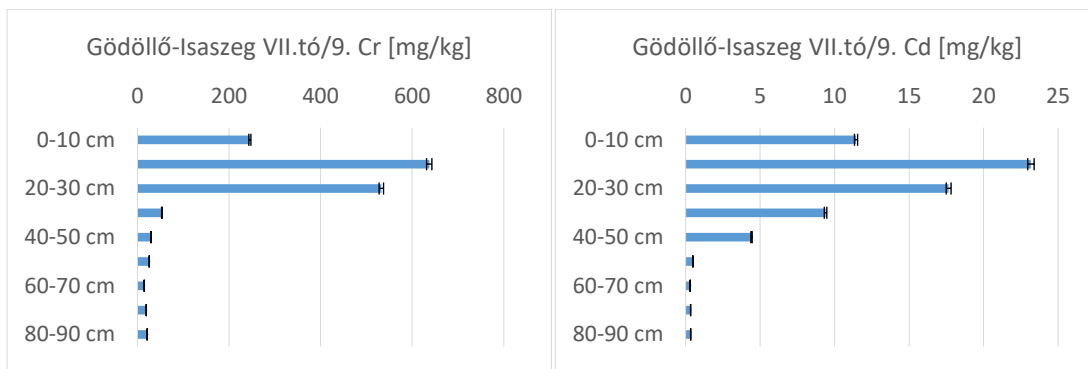


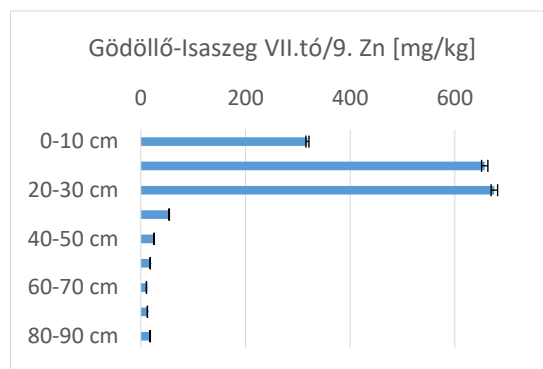
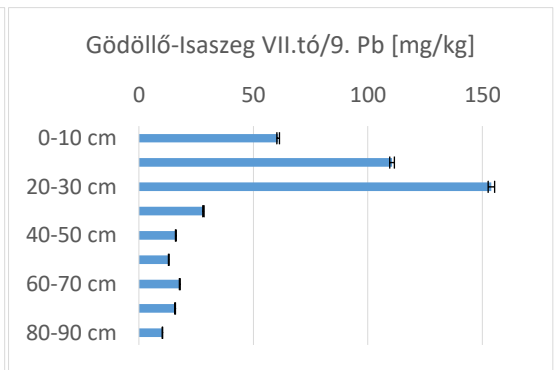
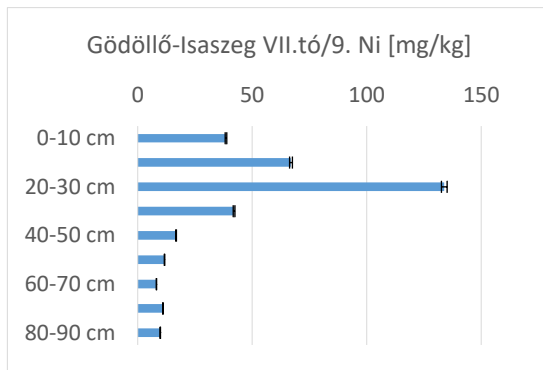
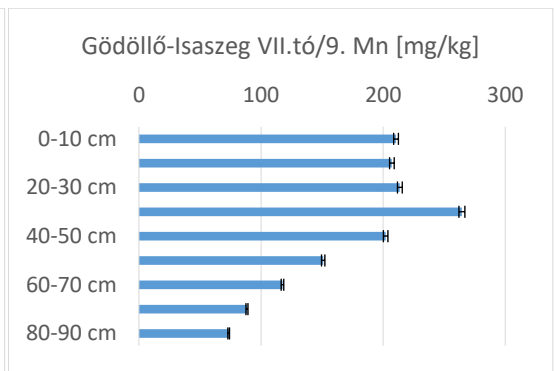
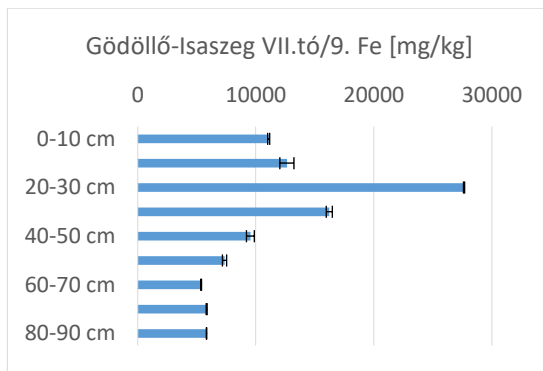
Melléklet, 1. a-i. ábrák: A Gödöllő-Isaszeg I.tó/2. szelvényének PTE-tartalma 2013-as mintavételt követően [mg/kg] \pm SD



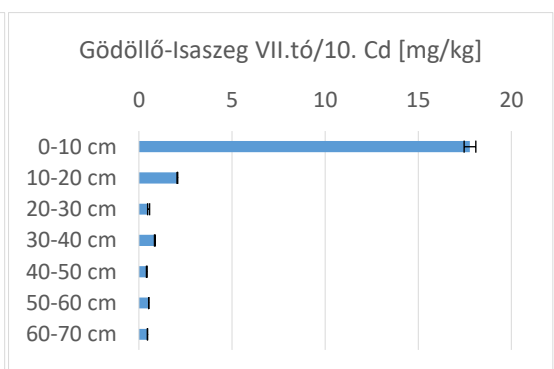
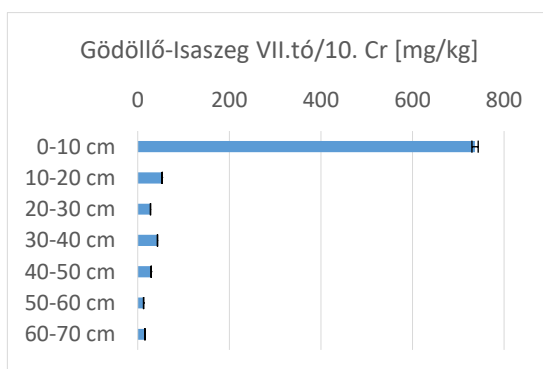


Melléklet, 2. a-i. ábrák: A Gödöllő-Isaszeg I.tó/3. szelvényének PTE-tartalma 2013-as mintavételt követően [mg/kg] \pm SD



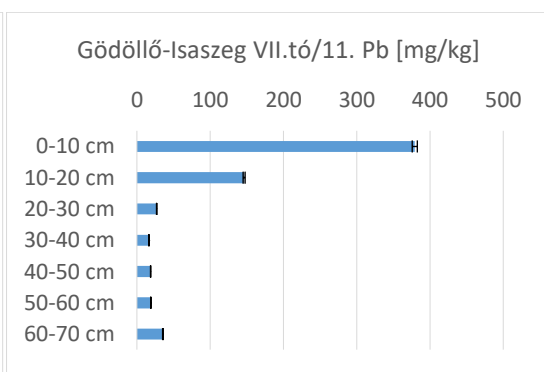
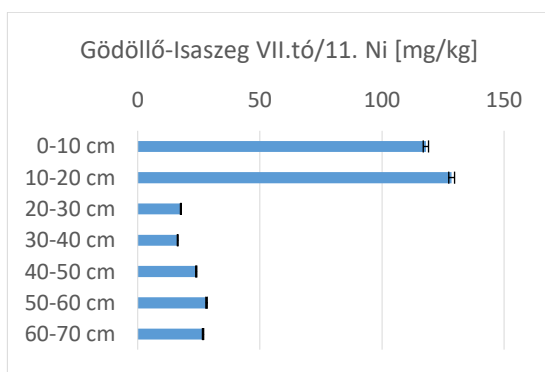
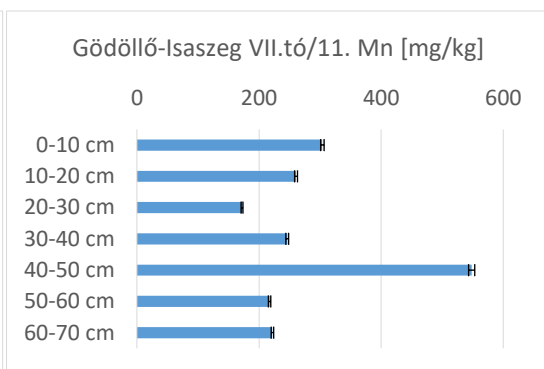
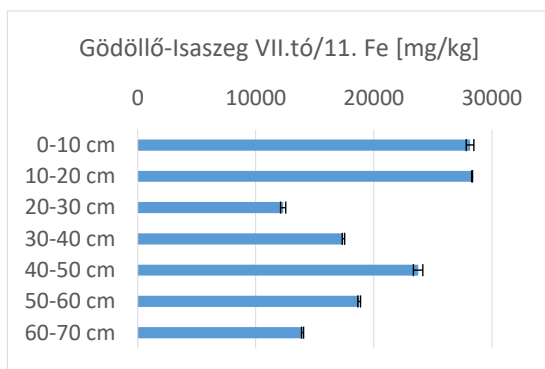
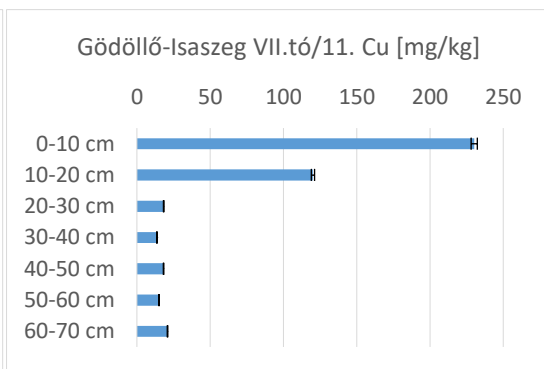
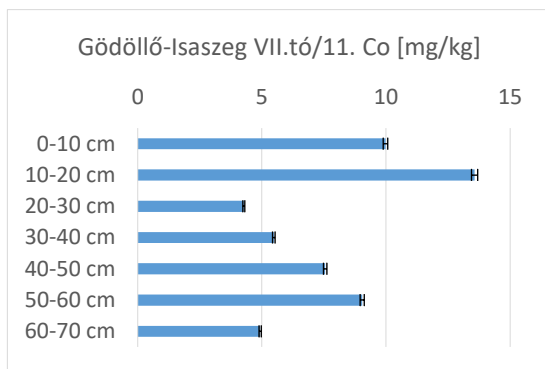
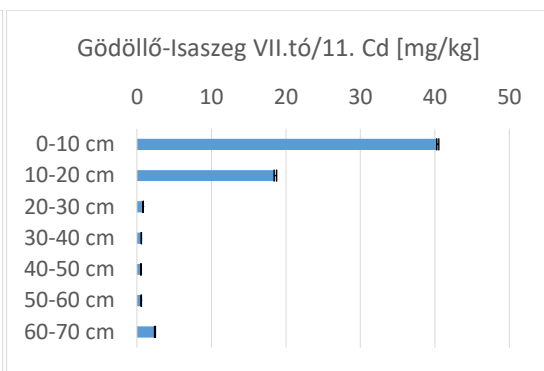
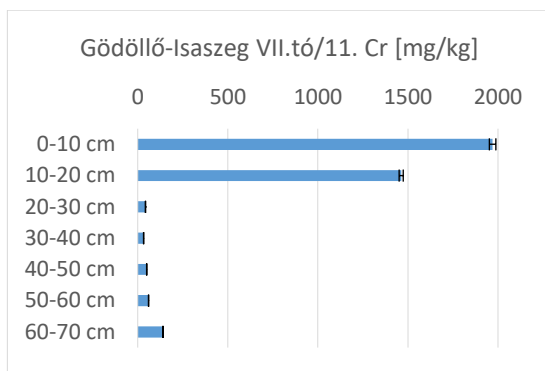


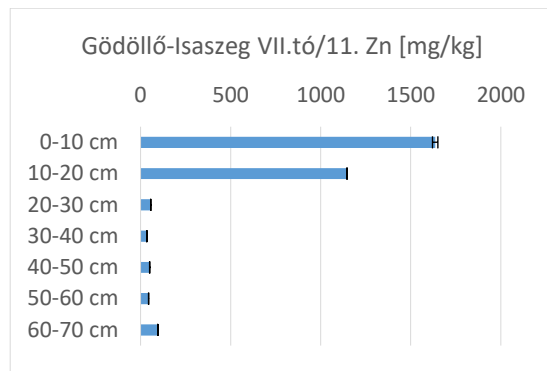
Melléklet, 3. a-i. ábrák: A Gödöllő-Isaszeg VII.tó/9. szelvényének PTE-tartalma
2013-as mintavételt követően [mg/kg] ± SD



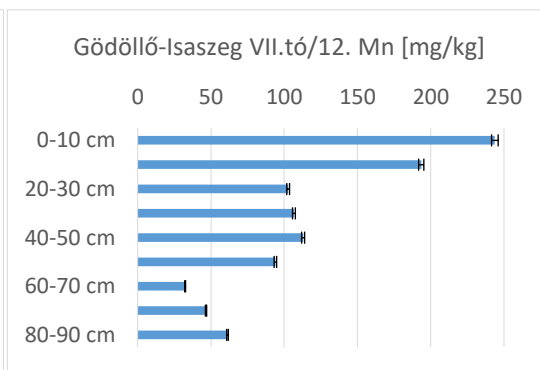
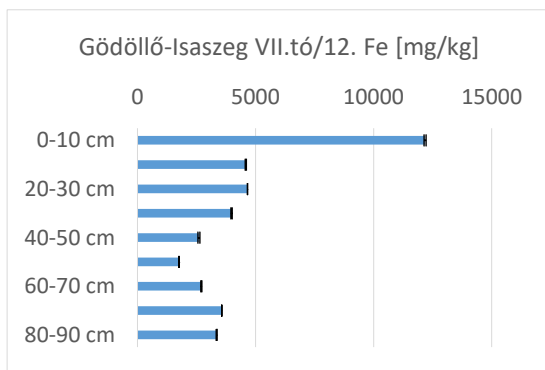
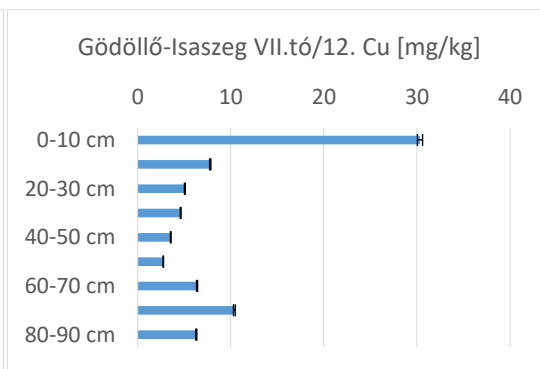
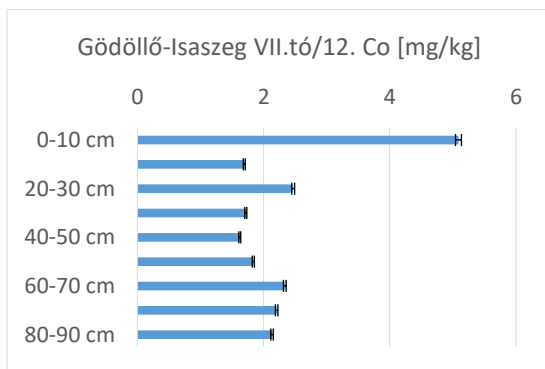
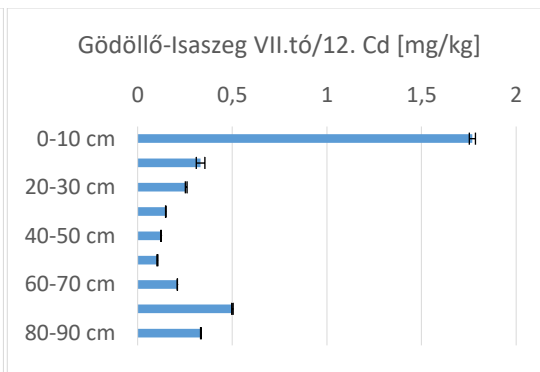
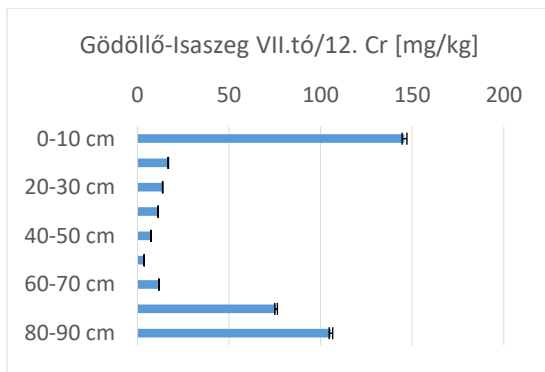


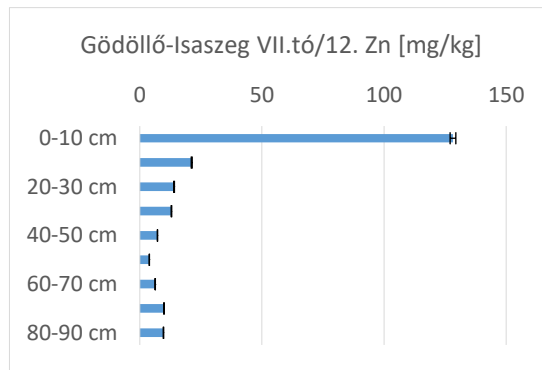
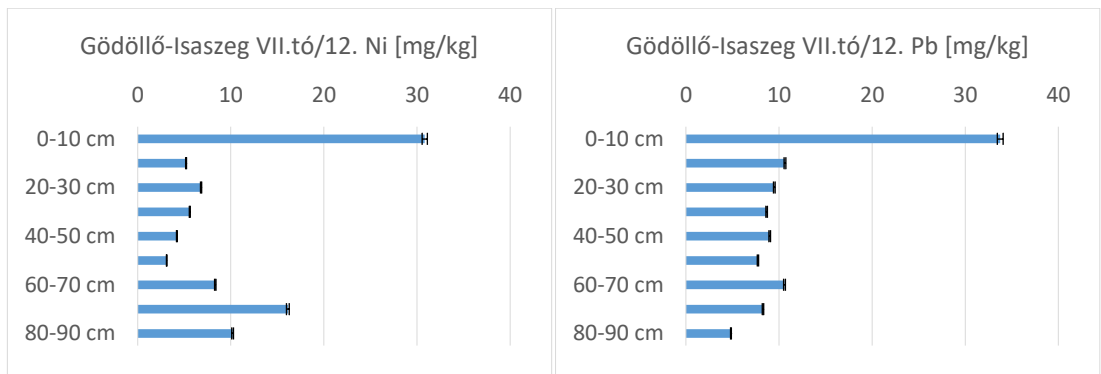
Melléklet, 4. a-i. ábrák: A Gödöllő-Isaszeg VII.tó/10. szelvényének PTE-tartalma 2013-as mintavételt követően [mg/kg] ± SD





Melléklet, 5. a-i. ábrák: A Gödöllő-Isaszeg VII.tó/11. szelvényének PTE-tartalma
2013-as mintavételt követően [mg/kg] \pm SD





Melléklet, 6. a-i. ábrák: A Gödöllő-Isaszeg VII.tó/12. szelvényének PTE-tartalma
2013-as mintavételt követően [mg/kg] \pm SD

Melléklet, 4.a. táblázat: Az 1998-as és a 2013-as mintaévek pszeidototál elemtartalmának összefoglaló táblázata (az RSD értéke kisebb, mint 3%)

Minta	Réteg [cm]	Cd		Co		Cr		Cu		Fe	
		1998	2013	1998	2013	1998	2013	1998	2013	1998	2013
I/1	0–10	4,99		9,54	10,20	156,0	83,00	323,0	222,0	29000	26100
	10–20	7,44	7,16	10,40	9,85	172,0	51,10	367,0	46,20	32000	23800
	20–30	6,06	4,20	5,98	4,86	40,90	27,40	121,0	10,90	13600	12400
	30–40	1,04	3,58	5,18	4,83	17,80	25,00	38,60	7,65	11800	11400
	40–50	0,28	4,50	6,21	7,49	19,20	27,30	33,00	9,18	13800	17000
	50–60	0,26	3,23	6,55	4,83	20,90	24,90	32,90	7,97	15800	11400
	60–70	0,41	2,96	10,30	3,76	32,20	29,70	50,50	6,54	28000	8900
I/2	0–10	8,08	6,07	7,03	4,92	125,0	65,80	176,0	128,0	22300	13000
	10–20	11,00	7,66	9,56	4,76	65,00	165,0	129,0	385,0	32700	15600
	20–30	0,98	17,70	12,90	5,73	38,90	244,0	69,00	569,0	33100	24300
	30–40	23,90	9,47	10,80	5,31	57,40	37,20	148,0	81,60	44800	13300
	40–50	0,38	3,64	8,59	4,23	30,30	23,60	18,00	21,30	21100	10900
	50–60		4,40		7,25		46,10		45,40		20700
	60–70		4,53		6,65		34,00		16,40		16100
I/3	0–10	7,42	6,90	11,70	7,66	37,10	84,00	104,0	182,0	29100	10500
	10–20		5,20	2,86	6,64	11,60	33,30	14,70	47,80	9800	7500
	20–30	0,23	4,90	6,40	7,74	22,30	14,50	33,30	10,00	17700	9000
	30–40	0,31	4,16	8,09	7,64	30,70	13,30	42,30	7,40	21900	10800
	40–50		5,67	8,18	7,28	29,70	17,90	14,50	9,85	19200	10900
	50–60		0,48		2,38		25,70		9,38		7400
	60–70		0,30		2,77		14,70		7,46		5400
VII/9	0–10	22,50	11,40	28,50	8,40	1080	245,0	155,00	41,80	74800	11100
	10–20	1,78	23,20	5,90	11,50	85,00	637,0	24,50	83,20	18900	12600
	20–30		17,70		32,30		532,0		131,0		27600
	30–40		9,39		12,20		53,10		24,70		16200
	40–50		4,42		5,25		29,40		12,20		9500
	50–60		0,48		2,38		25,70		9,38		7400
	60–70		0,30		2,77		14,70		7,46		5400
	70–80		0,33		3,20		19,10		8,25		5800
VII/10	0–10	28,30	17,80	11,50	8,13	917	737,0	126,0	120,0	30700	20600
	10–20	34,60	2,07	11,20	5,75	1020	53,20	131,0	29,50	26900	14200
	20–30	19,40	0,52	7,80	5,36	571	27,90	74,80	9,71	18400	12200
	30–40	15,70	0,86	5,73	7,61	526	43,20	64,90	14,70	13600	17700
	40–50	1,78	0,42	4,73	3,41	193	29,40	38,70	9,84	7800	12900
	50–60	4,28	0,53	9,39	2,25	332	12,70	81,10	6,87	17400	12000
	60–70	0,52	0,46	4,32	1,96	31,20	15,70	10,70	7,44	12600	10600
	70–80	0,54		4,72		34,00		12,80		12800	
VII/11	0–10	0,81	40,40	2,78	9,98	22,10	1970	10,20	230,0	11500	28100
	10–20	0,55	18,60	5,90	13,60	22,10	1460	14,50	120,0	20000	28300
	20–30	0,47	0,84	8,42	4,27	30,40	43,00	17,30	18,30	23100	12300
	30–40	6,90	0,60	7,97	5,48	26,50	32,60	16,30	13,70	21000	17400
	40–50	1,71	0,54	7,16	7,55	55,70	49,70	29,60	18,20	18500	23700
	50–60		0,58		9,04		60,10		15,10		18800
	60–70		2,43		4,93		140,0		20,90		14000
VII/12	0–10	8,04	1,77	7,89	5,09	401,0	146,0	46,70	30,30	31800	12200
	10–20		0,33		1,69		16,80		7,79		4600
	20–30		0,26		2,47		13,80		5,06		4700

Minta	Réteg [cm]	Cd		Co		Cr		Cu		Fe	
		1998	2013	1998	2013	1998	2013	1998	2013	1998	2013
	30–40		0,15		1,72		11,30		4,62		4000
	40–50		0,12		1,62		7,41		3,55		2600
	50–60		0,10		1,84		3,64		2,76		1800
	60–70		0,21		2,34		11,70		6,38		2700
	70–80		0,50		2,21		75,70		10,40		3600
	80–90		0,33		2,13		106,0		6,30		3400

Melléklet, 4.b. táblázat: Az 1998-as és a 2013-as mintaévek pszeidototál elemtartalmának összefoglaló táblázata (az RSD értéke kisebb, mint 3%)

Minta	Réteg [cm]	Mn		Ni		Pb		V		Zn	
		1998	2013	1998	2013	1998	2013	1998	2013	1998	2013
I/1	0–10	658,0	474,0	138,0	129,0	88,80	55,70	29,50	37,60	535,0	434,0
	10–20	632,0	849,0	157,0	37,40	86,00	35,50	31,00	30,40	587,0	160,0
	20–30	376,0	224,0	54,10	13,30	34,30	9,93	20,00	14,20	247,0	37,10
	30–40	370,0	197,0	18,80	12,40	25,40	6,69	19,70	11,10	130,0	27,10
	40–50	383,0	519,0	15,20	14,90	28,80	9,54	21,30	11,80	123,0	33,40
	50–60	360,0	184,0	16,80	13,20	30,90	6,55	22,00	7,81	133,0	28,30
	60–70	644,0	135,0	28,10	13,00	50,00	5,98	29,30	12,20	239,0	22,40
I/2	0–10	1140	453,0	165,0	34,70	53,20	33,30	6,66	14,30	28,40	292,0
	10–20	1010	583,0	106,0	81,50	50,40	41,40	10,40	10,40	49,50	633,0
	20–30	794,0	518,0	40,50	139,0	53,40	49,10	11,30	19,50	51,20	787,0
	30–40	1750	276,0	128,0	38,10	50,80	26,30	11,70	17,90	50,00	160,0
	40–50	235,0	283,0	29,50	11,70	18,40	20,10	9,04	11,30	42,20	80,90
	50–60		441,0		23,10		37,30		24,60		168,0
	60–70		358,0		16,40		17,80		18,50		57,30
	70–80		924,0		21,50		23,60		22,80		59,30
I/3	0–10	1500	442,0	66,50	74,00	54,00	24,00	10,70	13,00	51,70	344,0
	10–20	198,0	325,0	10,00	47,70	15,30	13,90	3,58	13,00	16,20	111,0
	20–30	292,0	1190	23,10	10,90	54,20	9,85	6,87	14,60	48,40	25,30
	30–40	504,0	910,0	40,80	10,60	43,50	8,28	8,03	14,70	41,00	20,80
	40–50	410,0	173,0	51,90	11,80	20,50	9,84	7,59	20,60	36,60	24,40
VII/9	0–10	321,0	211,0	317,0	38,50	197,00	60,80	12,00	11,10	101,0	318,0
	10–20	158,0	207,0	63,50	66,90	18,70	111,00	4,49	10,50	44,40	657,0
	20–30		214,0		134,0		154,00		28,30		676,0
	30–40		265,0		42,10		28,20		24,70		54,10
	40–50		202,0		16,70		16,10		12,90		25,40
	50–60		151,0		11,70		13,00		16,00		18,00
	60–70		118,0		8,17		17,80		8,86		10,80
	70–80		88,50		11,00		15,80		14,10		12,60
	80–90		73,50		9,84		10,30		18,80		17,60
VII/10	0–10	316,0	302,0	92,00	91,50	183,00	211,00	34,10	17,70	1280	869,0
	10–20	311,0	321,0	85,80	30,50	192,00	26,80	37,10	16,30	1300	88,60
	20–30	211,0	246,0	54,40	13,40	118,00	11,20	28,90	8,12	707,0	31,70
	30–40	173,0	280,0	45,40	22,60	109,00	16,70	22,50	21,50	641,0	43,90
	40–50	103,0	437,0	20,50	14,60	38,80	13,30	16,90	10,80	195,0	24,10
	50–60	184,0	676,0	47,10	7,52	88,20	15,60	24,90	6,46	347,0	12,20
	60–70	165,0	564,0	17,50	8,49	15,40	10,40	21,90	5,92	68,70	13,40
	70–80	143,0		13,50		11,70		24,20		45,20	
	80–90	164,0		19,40		15,10		28,20		69,10	

Minta	Réteg [cm]	Mn		Ni		Pb		V		Zn	
		1998	2013	1998	2013	1998	2013	1998	2013	1998	2013
VII/11	0–10	316,0	304,0	14,20	118,0	22,20	379,00	3,53	23,50	15,00	1640
	10–20	619,0	261,0	20,80	129,0	19,20	146,00	7,37	24,20	35,00	1150
	20–30	384,0	172,0	27,20	17,70	20,30	27,00	9,98	11,60	47,00	56,50
	30–40	635,0	246,0	21,60	16,40	20,50	16,40	8,19	17,60	39,60	34,90
	40–50	779,0	548,0	44,20	24,00	34,20	18,70	9,35	25,90	42,70	50,40
	50–60		217,0		28,20		19,00		18,30		44,50
	60–70		222,0		26,70		35,40		12,70		95,80
VII/12	0–10	284,0	244,0	102,0	30,80	76,20	33,80	7,39	10,70	72,40	128,0
	10–20		194,0		5,19		10,60				21,20
	20–30		103,0		6,80		9,49		0,78		14,00
	30–40		107,0		5,59		8,68				12,90
	40–50		113,0		4,20		9,01				7,23
	50–60		94,00		3,11		7,74				3,91
	60–70		32,40		8,33		10,60		24,30		6,31
	70–80		46,70		16,10		8,28		31,40		9,90
80–90		61,30		10,20		4,84		33,20		9,68	

Szekvens extrakció BCR protokoll alapján

Melléklet, 5. táblázat: A BCR CRM 701-is üledék referencia minta BCR protokoll szerinti mérési eredményei

	BCR protocol	BCR CRM 701		
	Elemek	Mért [mg/kg]	Certifikált [mg/kg]	Visszenyert érték, %
1. lépés	Cd	6,96 ± 0,09	7,3 ± 0,4	95,34
	Cr	2,68 ± 0,02	2,26 ± 0,16*	118,58
	Cu	46,8 ± 0,1	49,3 ± 1,7*	94,93
	Ni	15,8 ± 1,6	15,4 ± 0,9	102,60
	Pb	3,55 ± 0,22	3,18 ± 0,21	111,64
	Zn	192 ± 2	205 ± 6	93,66
2. lépés	Cd	3,66 ± 0,55	3,77 ± 0,28	97,08
	Cr	46,6 ± 6	45,7 ± 2,0	101,97
	Cu	112 ± 2	124 ± 3	90,32
	Ni	29 ± 4,7	26,6 ± 1,3	109,02
	Pb	116 ± 3	126 ± 3	92,06
	Zn	117 ± 15	114 ± 5	102,63
3. lépés	Cd	0,09 ± 0,05	0,27 ± 0,06	33,33
	Cr	118 ± 9	143 ± 7	96,55
	Cu	53,1 ± 1,2	55 ± 4	96,55
	Ni	14,9 ± 4,2	15,3 ± 0,9	94,77
	Pb	9,2 ± 0,8	9,3 ± 2,0	98,93
	Zn	42,4 ± 2,5	46 ± 4	92,17
(+1.) lépés	Cd	1,68 ± 0,03		
	Cr	131 ± 1		
	Cu	37,8 ± 1,3		
	Ni	59,6 ± 1,8		
	Pb	15,2 ± 0,58		
	Zn	139 ± 2		
Pseudototal	Cd	9,52 ± 0,53		
	Cr	235 ± 12		
	Cu	210 ± 17		
	Ni	72 ± 5		
	Pb	112 ± 10		
	Zn	347 ± 18		

* szignifikancia szint: p= 1%

Kinetikai vizsgálatok

Melléklet, 6. táblázat: Ca²⁺ (mg) kioldódása a nagyhöresöki talajmintából

Idő (perc)	Régi Oszlop	Módosított oszlop
10	0,42	1,25
20	1,98	3,12
30	2,80	4,10
40	3,44	4,88
50	3,82	5,33
60	4,13	5,71
70	4,36	5,98
80	4,51	6,16
90	4,62	6,29
100	4,70	6,39
110	4,77	6,46
120	4,82	6,53

Melléklet, 7. táblázat: Ca²⁺ (mg) kioldódása a kecskeméti talajmintából

Idő (perc)	Régi oszlop	Módosított oszlop
5		1,48
10	2,84	2,70
15		3,67
20	4,46	4,37
25		4,92
30	5,52	5,37
35		5,71
40	6,16	5,98
45		6,20
50	6,57	6,38
55		6,50
60	6,81	6,60
65		6,69
70	6,96	6,76
75		6,81
80	7,07	6,85
85		6,89
90	7,07	6,92
95		6,94
100	7,07	6,96
105		6,97
110	7,07	6,99
115		7,00
120	7,07	7,01

Melléklet, 8. táblázat: Ca²⁺ (mg) kioldódása a mosonmagyaróvári talajmintából

Idő (perc)	Régi Oszlop	Módosított oszlop
5		
10	0,00	1,15
15		3,21
20	3,45	5,22
25		7,13
30	5,88	8,59
35		9,93
40	8,07	11,25
45		12,46
50	9,79	13,49
55		14,45
60	11,29	15,35
65		16,17
70	12,56	16,93
75		17,62
80	13,65	18,28
85		18,91
90	14,65	19,50
95		20,10
100	15,59	20,66
105		21,17
110	16,44	21,68
115		22,17
120	17,17	22,61
125		23,01
130	17,82	23,40
135		23,77
140	18,43	24,14
145		24,48
150	19	24,83
155		25,17
160	19,48	25,46
165		25,73
170	19,93	26,00
175		26,25
180	20,26	26,45

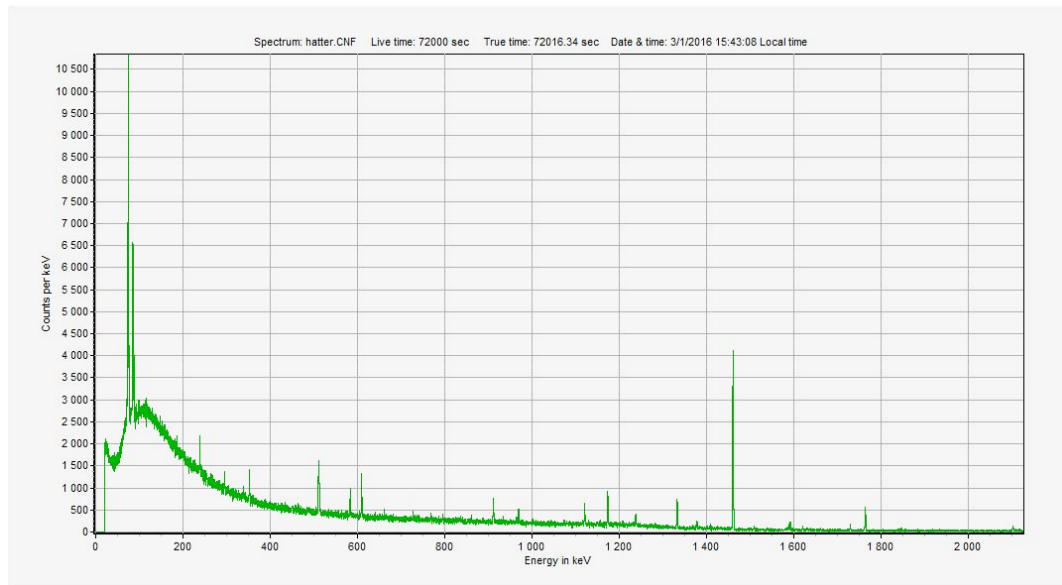
Melléklet, 9. táblázat: Ca²⁺ (mg) kioldódása a kiskunhalasi (KKH), imrehegyi (IH) és a budakalászi (BK) mintákból

	KKH	IH	BK
Idő (perc)	Kiskunhalas	Imrehegy	Budakalász
5	1,82	1,27	2,98
10	3,46	1,56	5,76
15	4,88	1,75	8,47
20	6,10	1,88	11,03
25	7,14	1,97	13,65
30	7,90	2,05	15,56
35	8,50	2,09	17,19
40	8,96	2,13	18,33
45	9,33	2,16	18,98
50	9,59	2,19	19,41
55	9,81	2,21	19,76
60	9,97	2,22	20,06
65	10,10	2,24	20,24
70	10,20	2,25	20,37
75	10,29	2,26	20,48
80	10,36	2,27	20,57
85	10,41	2,27	20,65
90	10,45	2,28	20,71
95	10,49	2,28	20,77
100	10,51	2,29	20,82
105	10,53	2,29	20,86
110	10,55	2,30	20,89
115	10,57	2,30	20,93
120	10,58	2,30	20,96
125	10,59	2,30	20,99
130	10,60	2,31	21,02
135	10,61	2,31	21,04
140	10,61	2,31	21,06
145	10,62	2,31	21,08
150	10,62	2,31	21,10
155	10,63	2,32	21,11
160	10,63	2,32	21,13
165	10,63	2,32	21,15
170	10,63	2,32	21,16
175	10,64	2,32	21,18
180	10,64	2,32	21,19
185	10,64	2,33	21,21
190	10,64	2,33	21,22
195	10,64	2,33	21,23
200	10,65	2,33	21,24
205	10,65	2,33	21,25
210	10,65	2,33	21,26
215	10,65	2,33	21,27
220	10,65	2,33	21,28
225	10,65	2,34	21,29

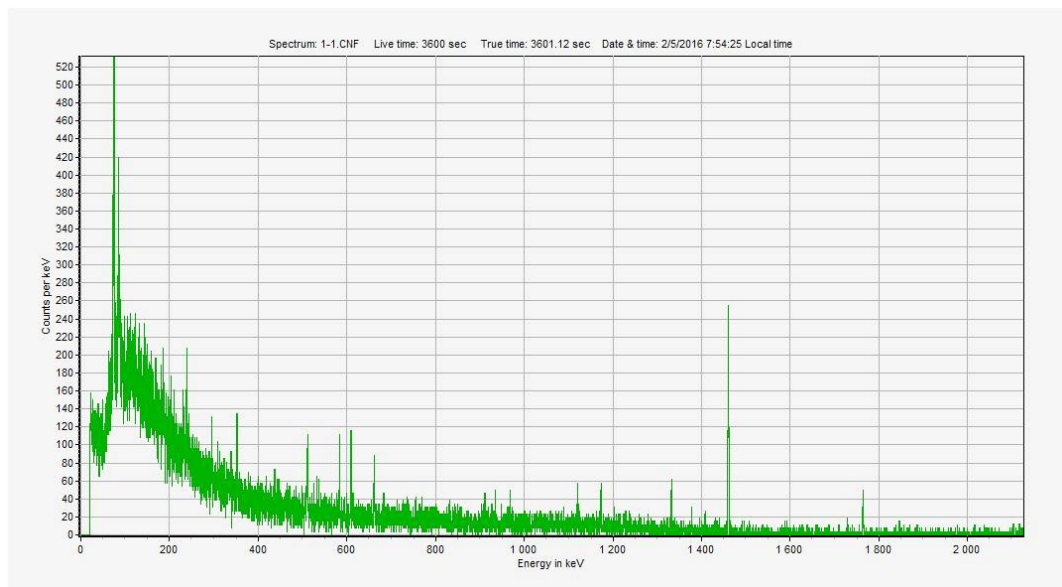
230	10,65	2,34	21,29
235	10,65	2,34	21,30
240	10,65	2,34	21,31

Melléklet, 7. a-p ábrák: γ -spektroszkópia spektrumok

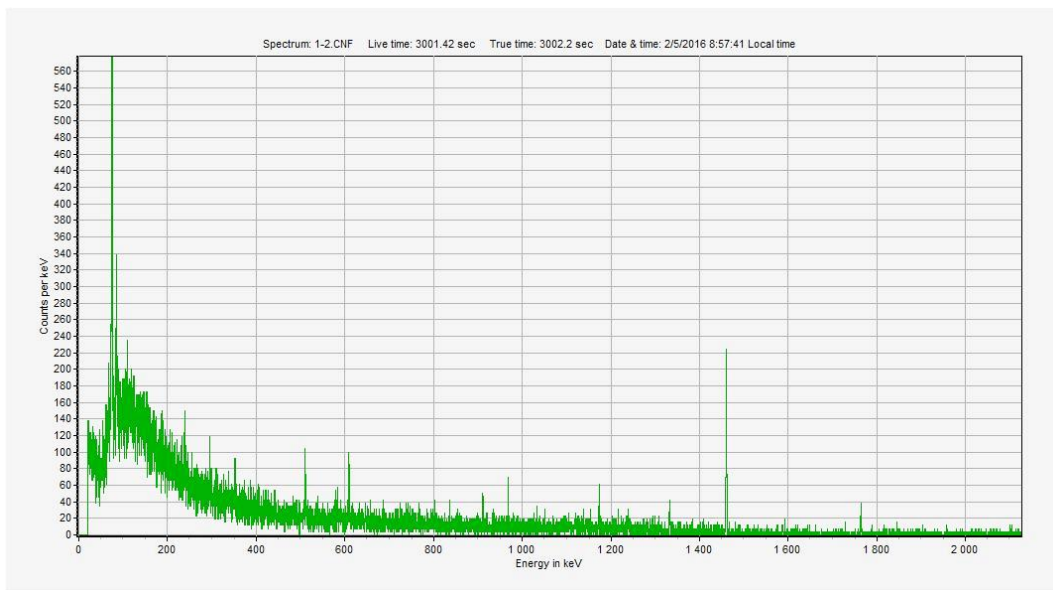
a) I. tó/1. háttér



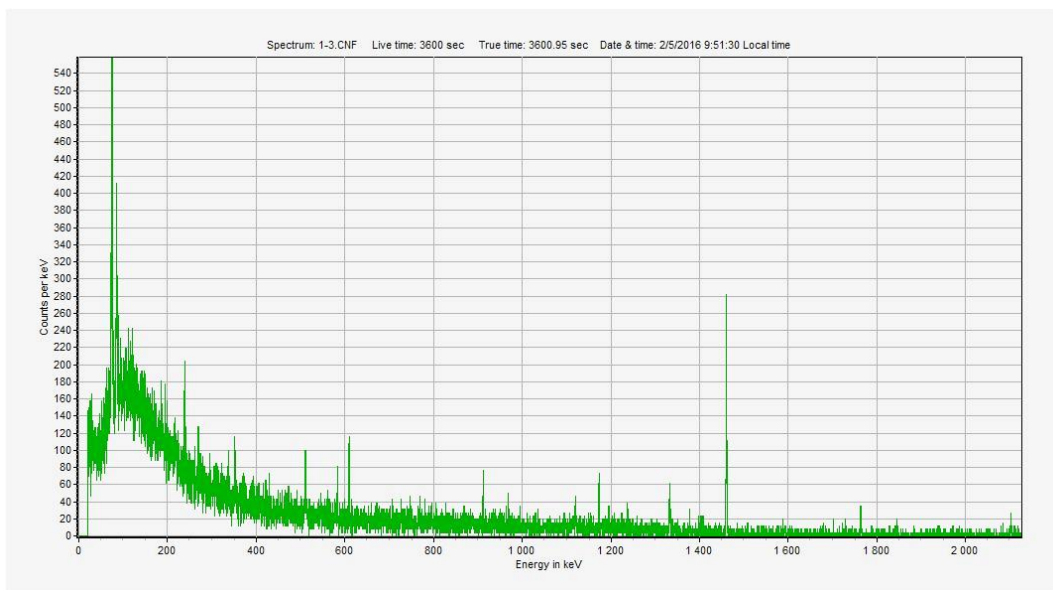
b) I. tó/1. minta



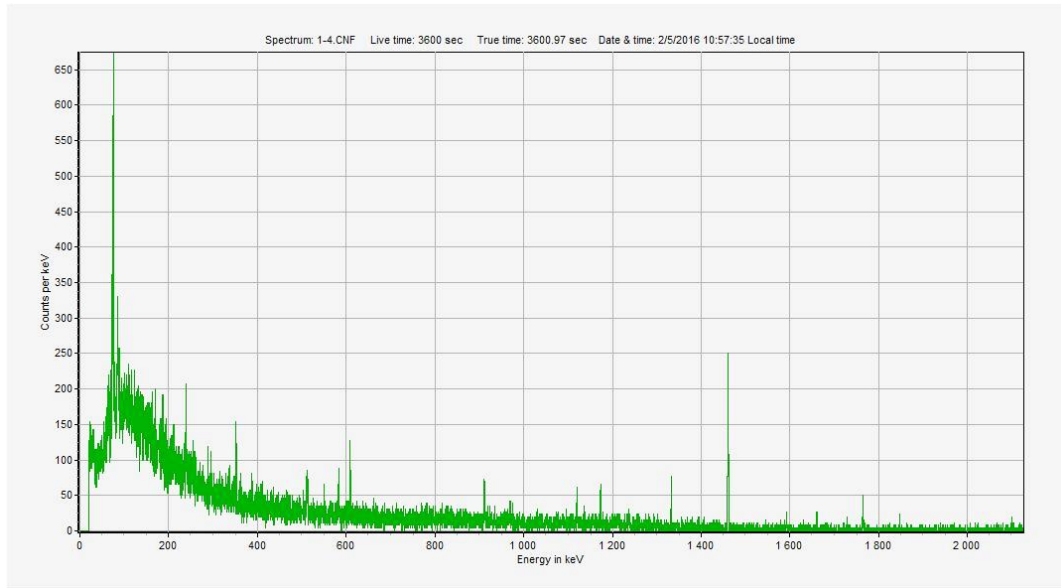
c) I. tó/2. minta



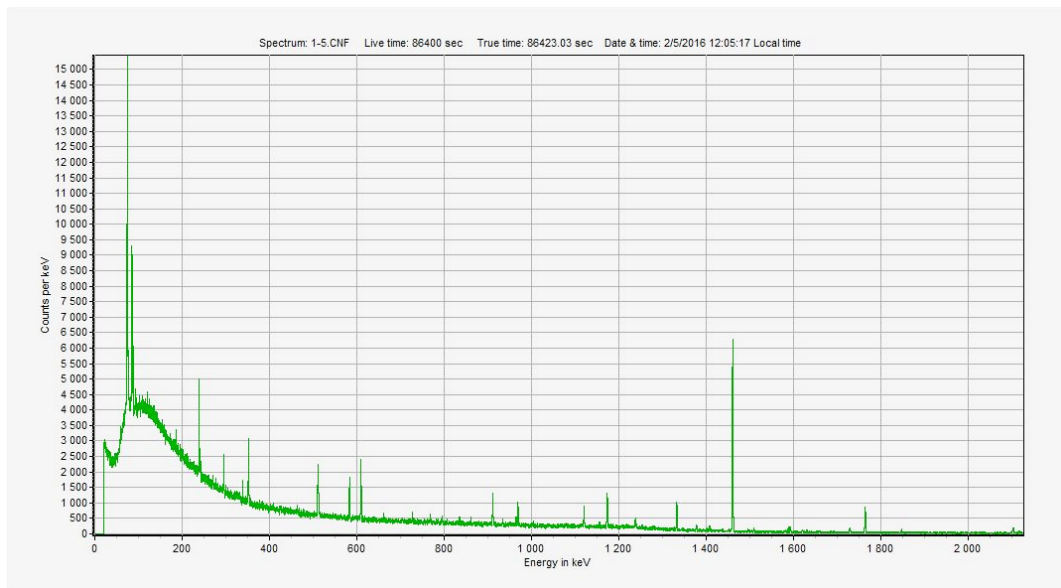
d) I. tó/3. minta



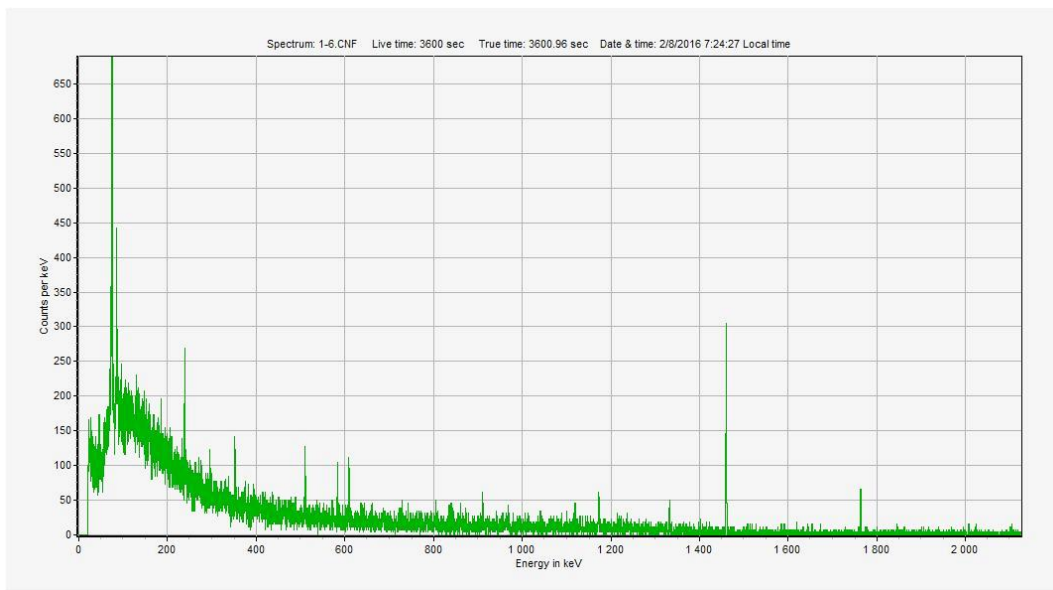
e) I. tó/4. minta



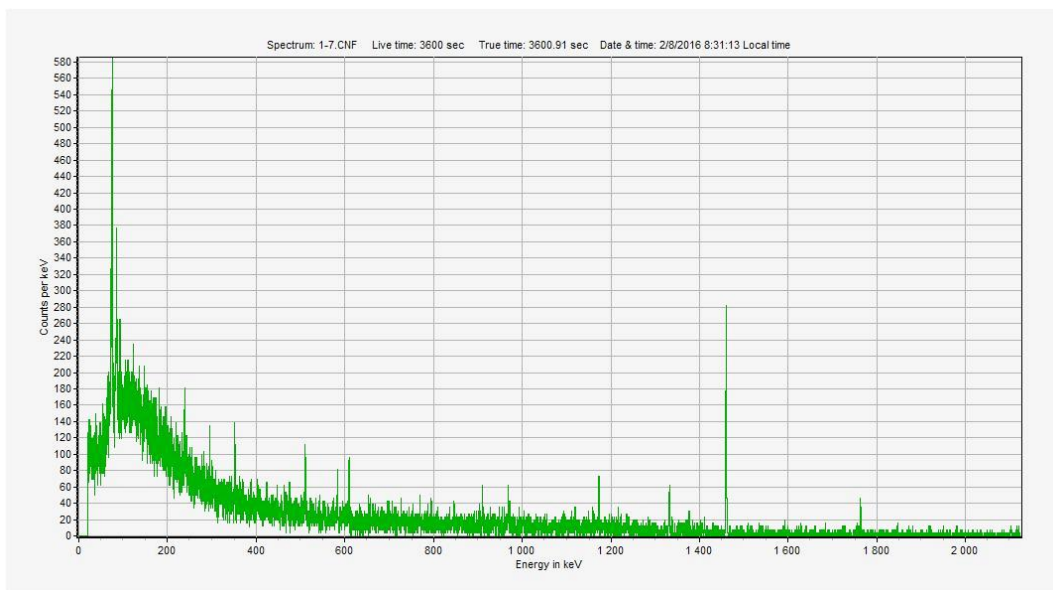
f) I. tó/5. minta



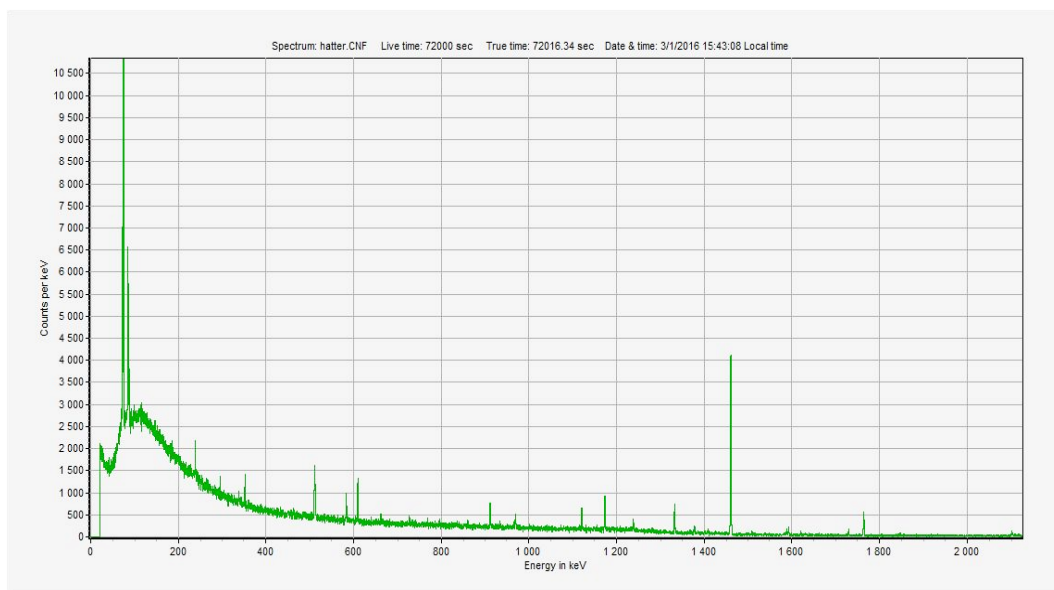
g) I. tó/6. minta



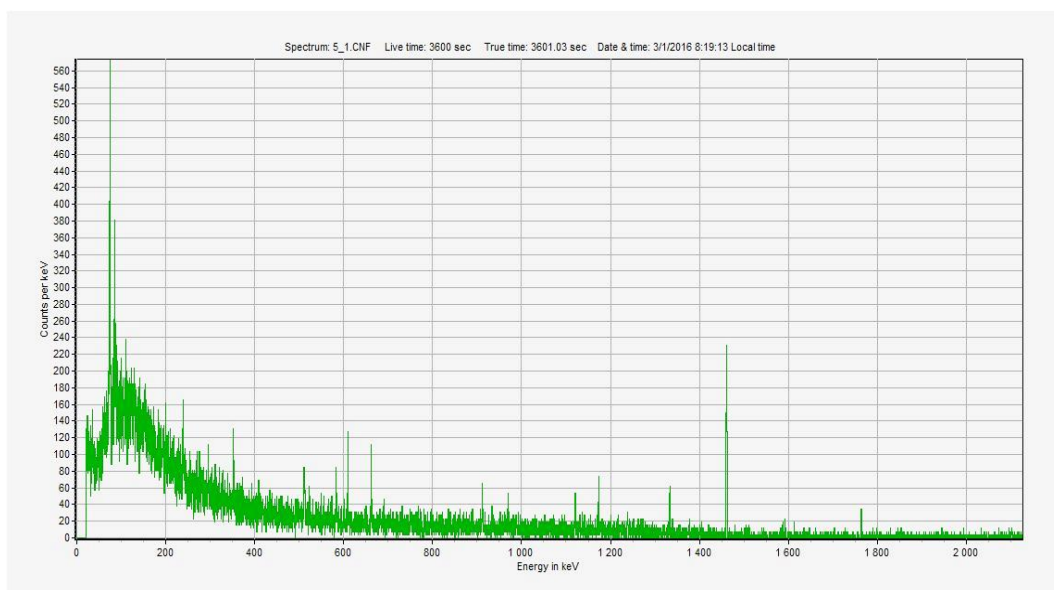
h) I. tó/7. minta



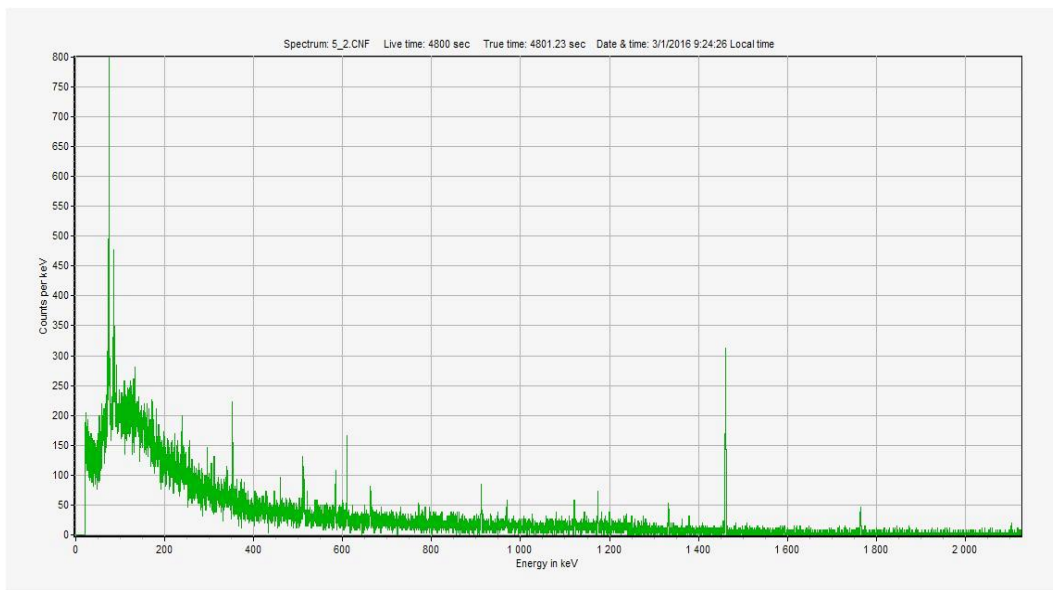
i) VII. tó/háttér



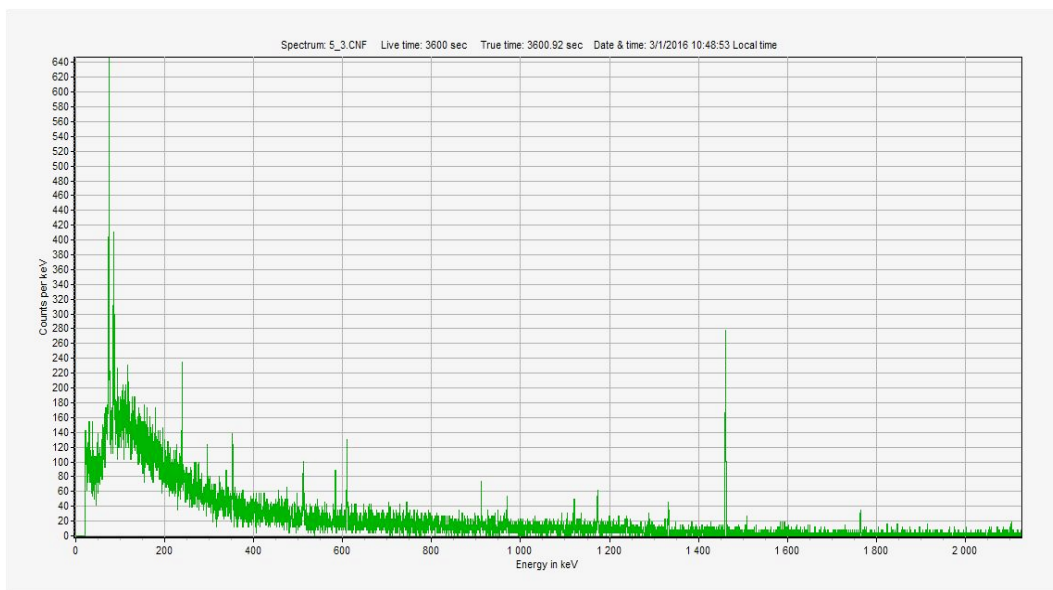
j) VII/1. minta



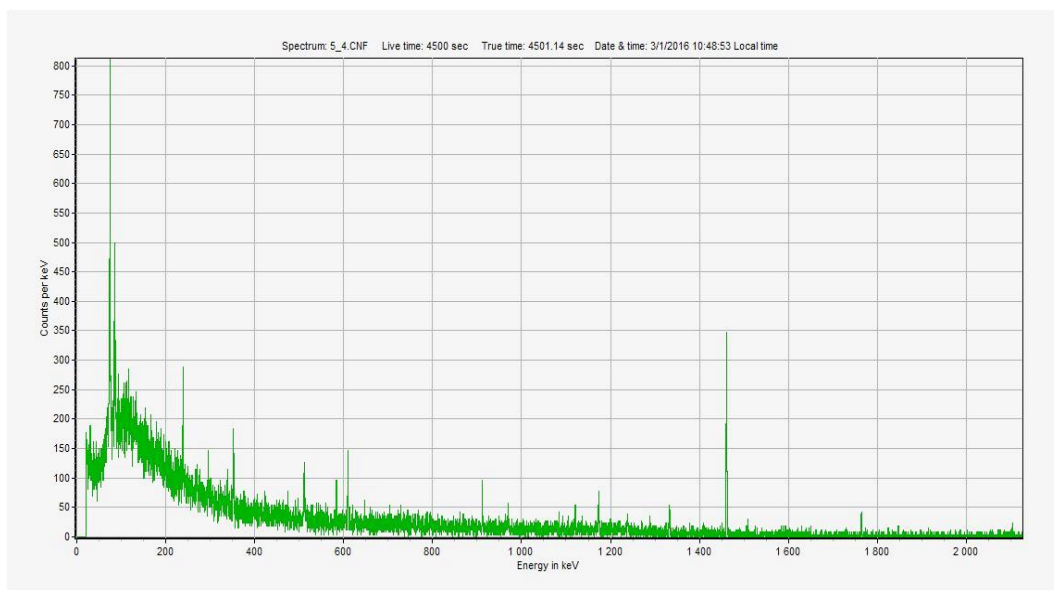
k) VII.tó/ 2. minta



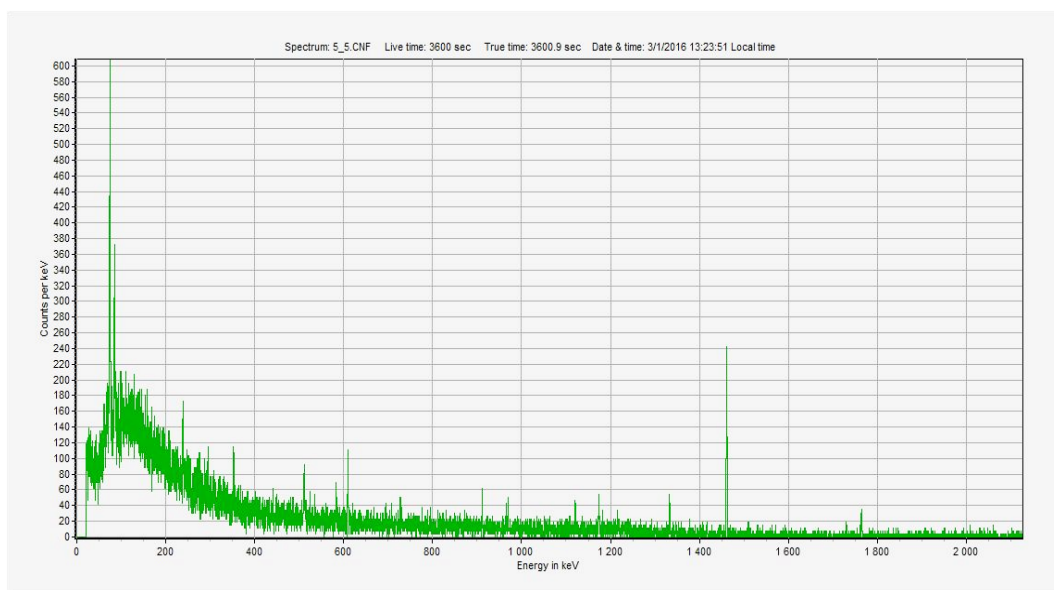
l) VII.tó/ 3. minta



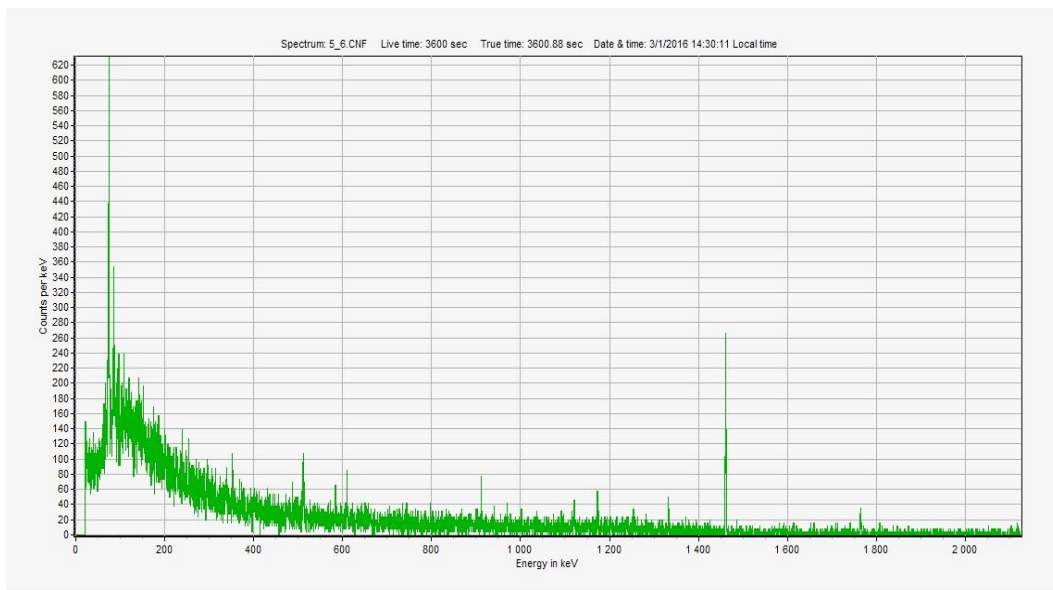
m) VII.tó/ 4.minta



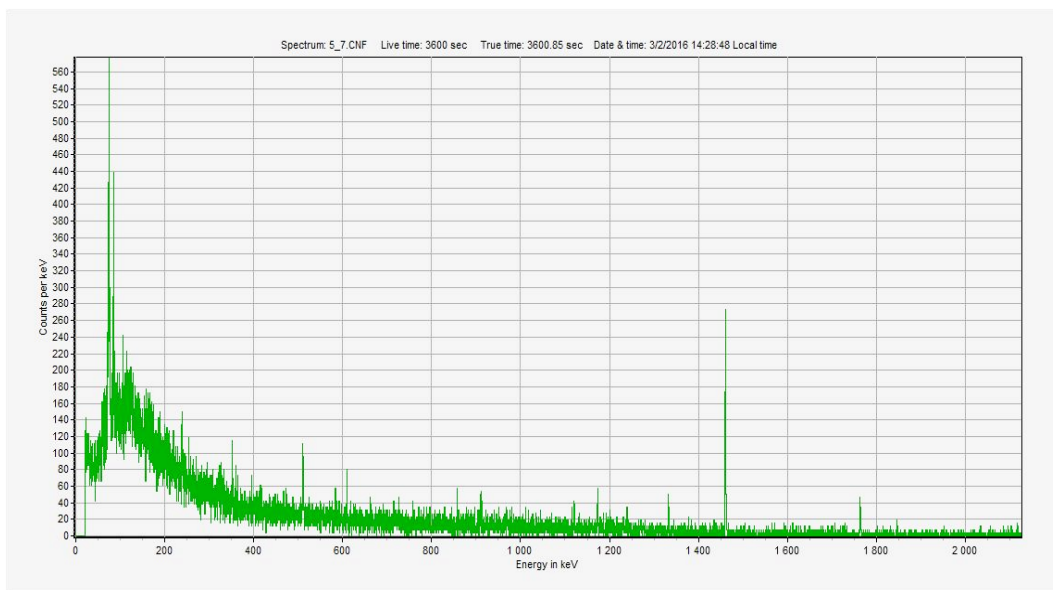
n) VII.tó/ 5. minta



o) VII.tó/ 6. minta



p) VII.tó/ 7. minta



Melléklet, 10. táblázat: ^{137}Cs nuklid aktivitáskoncentrációi a 2013-as mintaévre
(2016-os évre korrigálva)

	Réteg	CANBERRA			MANUAL		
	[cm]	A_m (Bq/kg)	MDA_m (Bq/kg)	DA_m (Bq/kg)	A_m (Bq/kg)	MDA_m (Bq/kg)	DA_m (Bq/kg)
I. tó/ 1.	0-10	31,38	9,82	7,02	33,74	10,26	7,21
	10-20	0,00	9,49	0,00	0,00	11,40	0,00
	20-30	1,26	6,02	2,32	1,96	6,29	3,88
	30-40	0,00	6,03	0,00	5,44	5,87	3,73
	40-50	2,13	1,42	1,09	1,57	1,52	0,93
	50-60	5,16	5,82	3,30	7,21	5,91	3,81
	60-70	0,00	5,42	0,00	0,00	5,84	0,00
I. tó/ 2.	0-10	31,34	6,02	4,87	31,06	6,40	4,14
	10-20	90,86	12,69	11,94	99,95	12,55	10,86
	20-30	195,25	13,32	20,31	179,26	17,43	17,52
	30-40	14,31	6,39	4,26	14,22	6,70	4,50
	40-50	0,00	7,31	0,00	0,00	8,48	0,00
	50-60	0,40	11,57	2,02	0,00	12,57	0,00
	60-70	6,64	6,15	3,61	8,98	6,36	4,15
	70-80	0,00	8,46	0,00	0,00	9,07	0,00
I. tó/ 3.	0-10	53,92	8,89	7,78	55,22	9,28	7,35
	10-20	19,78	5,96	4,35	20,37	6,24	4,43
	20-30	7,27	6,40	3,79	8,93	6,71	4,35
	30-40	0,00	9,04	0,00	0,00	10,45	0,00
	40-50	0,00	7,32	0,00	0,00	8,12	0,00
VII. tó/ 9.	0-10	52,77	5,90	5,94	55,02	6,17	5,20
	10-20	85,22	9,02	9,77	88,11	9,42	8,61
	20-30	48,35	11,41	8,88	49,26	11,93	8,78
	30-40	0,00	17,49	0,00	0,00	18,89	0,00
	40-50	0,00	28,09	0,00	0,00	31,06	0,00
	50-60	0,00	18,26	0,00	0,00	26,27	0,00
	60-70	17,89	11,47	7,20	22,88	11,99	8,04
	70-80	0,00	27,39	0,00	0,00	29,58	0,00
	80-90	0,00	26,41	0,00	0,00	27,47	0,00
VII. tó/ 10.	0-10	56,02	12,03	9,53	56,24	12,62	9,31
	10-20	16,90	9,14	5,79	19,99	9,56	6,31
	20-30	11,86	6,34	4,12	11,81	6,63	4,42
	30-40	10,88	6,94	4,32	11,18	7,26	4,74
	40-50	0,47	9,04	1,89	2,37	9,47	5,83
	50-60	1,95	11,49	4,08	3,29	12,01	7,39
	60-70	19,01	11,58	7,33	20,52	12,12	8,02
VII. tó/ 11.	0-10	145,66	2,84	9,27	148,91	2,97	2,66
	10-20	38,07	13,46	9,30	40,25	14,07	9,63
	20-30	16,94	11,69	7,22	21,72	12,26	8,11
	30-40	4,81	3,88	2,51	7,39	4,06	2,53
	40-50	0,00	8,64	0,00	0,00	9,86	0,00
	50-60	9,11	8,09	4,78	10,49	8,46	5,48
	60-70	10,68	12,10	6,84	13,48	12,66	8,14
	0-10	21,88	13,77	8,58	23,00	14,43	9,36
VII. tó/ 12.	10-20	2,80	16,15	6,11	3,22	16,90	10,39
	20-30	0,00	18,61	0,00	0,00	20,88	0,00
	30-40	0,11	13,37	1,55	0,65	13,95	8,50

Réteg	CANBERRA			MANUAL		
[cm]	A_m (Bq/kg)	MDA_m (Bq/kg)	DA_m (Bq/kg)	A_m (Bq/kg)	MDA_m (Bq/kg)	DA_m (Bq/kg)
40-50	0,00	13,10	0,00	0,00	13,93	0,00
50-60	0,21	3,66	1,62	1,85	3,83	2,34
60-70	35,95	16,30	11,01	40,91	17,09	11,82
70-80	0,00	24,12	0,00	0,00	26,07	0,00
80-90	0,00	26,60	0,00	1,61	28,06	17,09

A_m = sample activity density

MDA_m = minimum detectable activity

ΔA_m = sample activity density deviation

Köszönetnyilvánítás

Az elmúlt évek során mialatt doktori értekezésemen dolgoztam számos embertől kaptam segítséget, akik támogatása nélkül ez a munka nem jöhetett volna létre.

Először is szeretném megköszönni témavezetőimnek, prof. Dr. Heltai Györgynek és Dr. habil. Horváth Márk Kálmánnak. Hálás vagyok a számtalan konzultációért, a dolgozat és a kapcsolódó tanulmányok kéziratának véleményezéséért, a konstruktív kritikákért, a szakmai támogatásért.

Szeretnék köszönetet mondani minden tanáromnak, akiktől annyit tanultam az évek során, és akik különféle módokon járultak hozzá jelen dolgozat létrejöttéhez.

Köszönöm a Környezetanalitika és Környezettechnológia Tanszék (volt Kémia Tanszék) valamennyi munkatársának, így többek között Kruppiné Dr. Fekete Ilona egyetemi adjunktusnak és Dr. Halász Gábor Endre egyetemi docensnek, hogy önzetlen segítségükre és emberségükre mindig számíthattam.

Külön köszönöm a prof. Daood Husseinnek, CSC a folyadékkromatográfiás oszlopokért és a szakmai észrevételekért.

Köszönettel tartozom volt Ph.D hallgató társaimnak, barátaimnak Horváth-Kovács Katalinnak, Sebők Andrásnak, Dr. Dálnoki Boglárkának, Fekete Györgynek és Dr. Grósz Jánosnak.

Köszönöm továbbá az ELKH Ökológiai Kutatóközpontból volt kollegáimnak, többek között Nagyné Bodolai Katalinnak, Vetési Viktóriának és Décsiné Gombos Erzsébetnek és jelenlegi tanszéki kollégáknak Dr. Rétháti Gabriellának, Prokainé Nemes Nagy Ágnesnek, Dr. Dálnoki Boglárkának, Dr. Gulyás Miklósnak, Dr. Czinkota Imrének, Dr. Boros Norbertnek, Dr. Tolner Lászlónak és Sebők Andrásnak, amiért minden támogatást megadtak a dolgozat megírásához.

Végül, de nem utolsó sorban köszönettel tartozom a családomnak, hogy a dolgozat elkészítése alatt is türelemmel és megértéssel voltak irántam.

AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉHEZ TARTOZÓ PUBLIKÁCIÓK

1. Tudományos folyóiratokban megjelent (közlésre elfogadott), lektorált, teljes szövegű tudományos közlemény

1.1. Idegen nyelvű, impakt faktoros folyóiratban (WEB OF SCIENCE szerint):

Heltai, György; Győri, Zoltán; Fekete, Ilona; Halász, Gábor; Kovács, Katalin; Takács, Anita; Khumalo, Lamlile; Horváth, Márk: Application of flexible multi-elemental ICP-OES detection in fractionation of potentially toxic element content of solid environmental samples by a sequential extraction procedure
MICROCHEMICAL JOURNAL 149 Paper: 104029, 7 p. (2019) DOI: 10.1016/j.microc.2019.104029, *IF: 4,821 (2022)* (18 pont)

Heltai, György; Győri, Zoltán; Fekete, Ilona; Halász, Gábor; Kovács, Katalin; Takács, Anita; Boros, Norbert; Horváth, Márk: Longterm study of transformation of potentially toxic element pollution in soil/water/sediment system by means of fractionation with sequential extraction procedures
MICROCHEMICAL JOURNAL 136 pp. 85-93., 9 p. (2018) DOI: 10.1016/j.microc.2017.01.026, *IF: 4,821 (2022)* (18 pont)

Kovács, K; Halász, G; Takács, A; Heltai, Gy ; Széles, É ; Győri, Z ; Horváth, M: Study of ultrasound-assisted sequential extraction procedure for potentially toxic element content of soils and sediments,
MICROCHEMICAL JOURNAL 136 pp. 80-84., 5 p. (2018) DOI: 10.1016/j.microc.2016.10.006, *IF: 4,821 (2022)* (18 pont)

1.2. Idegen nyelvű, nem impakt faktoros folyóiratban

Heltai, Gy; Horváth, M; Fekete, I; Halász, G; Kovács, K; Takács, A; Győri, Z; Horváth, É; Szécsy, O: Heavy metal contamination and environmental risk assessment by means of analytical methods
STUDIA UNIVERSITATIS BABES-BOLYAI STUDIA AMBIENTUM 59: 1-2 pp. 41-56., 16 p. (2014) (7 pont)

1.2.1. Hazai kiadású

Takács, A; Kovács, K; Halász, G; Győri, Z; Fekete, I; Heltai, Gy; Horváth, M: Improvement of the sequential extraction procedure based on supercritical CO₂ and subcritical H₂O solvents for the estimation of the environmentally mobile potentially toxic element fractions of sediments and soils
AGROKÉMIA ÉS TALAJTAN 67: 1 pp. 35-48., 14 p. (2018) DOI: 10.1556/0088.2018.67.1.3, (7 pont)

Győri, Zoltán; Boros, Norbert; Sipos, Péter; Bertáné, Szabó Emese; Kovács, Katalin; Horváth, Márk; Takács, Anita; Heltai, György: Evaluation of the Heavy Metal Content of the Upper Tisza River Floodplain Soils over the last Decade
HUNGARIAN JOURNAL OF INDUSTRY AND CHEMISTRY 43: 1 pp. 19-23., 5 p. (2015) DOI: 10.1515/hjic-2015-0004 (7 pont)

Heltai, György; Fekete, Ilona; Halász, Gábor; Kovács, Katalin; Horváth, Márk; Takács, Anita; Boros, Norbert; Győri, Zoltán: Multi-Elemental Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectroscopic Calibration Problems of the Sequential Extraction Procedure for the Fractionation of the Heavy Metal Content From Aquatic Sediments
HUNGARIAN JOURNAL OF INDUSTRY AND CHEMISTRY 43: 1 pp. 7-13., 7 p.
(2015) DOI: 10.1515/hjic-2015-0002 (7 pont)

1.3. Magyar nyelvű, nem impaktoros hazai folyóiratban

Katalin, Kovács; Márk, Horváth; Gábor, Halász; Anita, Takács; György, Heltai; Norbert, Boros; Péter, Sipos; Zoltán, Győri: Néhány potenciálisan mérgező fém frakciónak meghatározására alkalmazott analitikai módszer értékelése eltérő fizikai talajfésülésű mintákon = Evaluation of analytical methods for the determination of different potentially toxic metal fractions in soils with different physical properties
AGROKÉMIA ÉS TALAJTAN 70: 2 pp. 137-153., 17 p. (2021) DOI: 10.1556/0088.2021.00020, (5 pont)

Heltai, Gy.; Horváth, M.; Fekete, I.; Halász, G.; Kovács, K.; Takács, A.: Potenciálisan toxikus elemek mobilitásának jellemzése a talaj/víz/üledék/légkör rendszerben
MAGYAR KÉMIAI FOLYÓIRAT - KÉMIAI KÖZLEMÉNYEK (1997-) 125:2 pp. 53-58., 6 p. (2019) DOI: 10.24100/MKF.2019.02.53, (5 pont)

Heltai, Gy.; Flórián, K.; Győri, Z.; Fekete, I.; Halász, G.; Kovács, K.; Takács, A.; Horváth, M.: Nehézfém-szennyezés környezeti mobilitásának becslése a talaj/légkör/víz/üledék rendszerben
MAGYAR KÉMIKUSOK LAPJA 71:4 pp. 117-121., 5 p. (2016) ISSN 0025-0163 (nyomtatott), ISSN 1588-1199 (online), (5 pont)

4. Kongresszusi kiadványokban megjelent közlemények (nyomtatott formában v. elektronikus adathordozón – kizárólag az ISBN, ISSN vagy más, hitelesített kiadványaira vonatkozóan)

4.1. Teljes szövegű közlemény, alkalmi (nem periodika jellegű) kongresszusi kiadványban, idegen nyelven, lektorált formában megjelentetve:

Gy., Heltai; Z., Győri; I., Fekete; G., Halász; K., Kovács; A., Takács; L., Khumalo; M., Horváth: Fractionation of potentially toxic elements in sediment/soil/water system by a sequential extraction procedure applying flexible multielemental spectrochemical detection in remediation of contaminated areas
In: Mihucz, Viktor Gábor (szerk.) XVI Hungarian - Italian Symposium on Spectrochemistry: technological innovation for water science and sustainable aquatic biodiversity & 61th Hungarian Spectrochemical Conference: October 3-6, 2018, Budapest: programme & book of abstracts
Budapest, Magyarország: MKE, (2018) p. 49 Paper: KL04, ISBN 978-963-9970-92-2, (5 pont)

Győri, Z.; Kovács, K.; Horváth, M.; Takács, A.; Heltai, Gy.; Boros, N.: Investigation of the long-term effects of metal pollution in Tisza River by sequential extraction

In: Mihucz, VG (szerk.) European Symposium on Atomic Spectrometry: ESAS 2016 & 59th Hungarian Spectrochemical Conference: book of abstracts
Budapest, Magyarország: Hungarian Chemical Society, (2016) pp. 144-144., 1 p.
ISBN 987-963-9970-65-6, (5 pont)

Heltai, Gy.; Gyori, Z.; Fekete, I.; Halasz, G.; Kovacs, K.; Takacs, A.; Boros, N.; Horvath, M.: Potentially toxic elements in the soil-water-sediment system by sequential extraction
In: Paola, Bottoni; Sergio, Caroli; Roger, Fuoco; Viktor, Gabor Mihucz; Gyula, Zaray (szerk.) XV. Italian-Hungarian Symposium on Spectrochemistry: Pharmacological Research and Analytical Approaches
Pisa, Olaszország: PLUS-Pisa University Press, (2016) pp. 87-88., 2 p., ISBN 978-963-9970-77-9, (5 pont)

Heltai, Gy.; Győri, Z.; Fekete, I.; Halász, G.; Kovács, K.; Takács, A.; Boros, N.; Horváth, M.: Estimation of environmental mobility of potentially toxic elements in the soil/water/sediment system using spectrochemical element detection
In: Mihucz, VG (szerk.) European Symposium on Atomic Spectrometry: ESAS 2016 & 59th Hungarian Spectrochemical Conference: book of abstracts
Budapest, Magyarország: Hungarian Chemical Society, (2016) pp. 85-85., 1 p., ISBN 978-963-9970-65-6, (5 pont)

Kovacs, K.; Takacs, A.; Horvath, M.; Halasz, G.; Heltai, Gy.; Gyori, Z.: Kinetics study of ultrasound-assisted extraction of BCR sequential extraction procedures for potentially toxic element content of soil and sediment
In: Paola, Bottoni; Sergio, Caroli; Roger, Fuoco; Viktor, Gabor Mihucz; Gyula, Zaray (szerk.) XV. Italian-Hungarian Symposium on Spectrochemistry: Pharmacological Research and Analytical Approaches
Pisa, Olaszország: PLUS-Pisa University Press, (2016) pp. 179-180., 2 p., ISBN 978-963-9970-77-9, (5 pont)

Kovács, K.; Takács, A.; Horváth, M.; Halász, G.; Heltai, Gy.; Győri, Z.: Acceleration of sequential extraction procedures of potentially toxic element (pte) content of soils and sediments by sonication
In: Mihucz, VG (szerk.) European Symposium on Atomic Spectrometry: ESAS 2016 & 59th Hungarian Spectrochemical Conference: book of abstracts
Budapest, Magyarország: Hungarian Chemical Society, (2016) pp. 86-86., 1 p., ISBN 978-963-9970-65-6, (5 pont)

Kovács, K.; Horváth, M.; Halász, G.; Takács, A.; Heltai, Gy.; Győri, Z.: Comparative study of extraction methods applied for estimation of biologically available fractions of potentially toxic element (pte) content of soils and sediments
In: Mihucz, VG (szerk.) European Symposium on Atomic Spectrometry : ESAS 2016 & 59th Hungarian Spectrochemical Conference : book of abstracts
Budapest, Magyarország: Hungarian Chemical Society, (2016) pp. 150-150., 1 p., ISBN 978-963-9970-65-6, (5 pont)

Heltai, Gy; Fekete, I; Halász, G; Kovács, K; Horváth, M; Takács, A; Boros, N; Győri, Z: ICP-OES multielemental calibration of BCR sequential extraction method for various environmental solid samples
In: V, Kanicky (szerk.) European Symposium on Atomic Spectrometry (ESAS 2014): Book of Abstracts

Prága, Csehország: Masaryk University, (2014) pp. 96-96., 1 p., ISBN 978-809-0570-41-2, (5 pont)

Heltai, Gy; Aleksza, L; Horváth, M; Kovács, K; Takács, A: Estimation of biologically available heavy metal content of composts by various extraction methods and ICP-OES multielemental detection

In: ORBIT 2014 Scientific Conference: 9th Conference on Organic Resources and Biological Treatment (2014) pp. 47-47., 1 p. (5 pont)

Horváth, M; Kovács, K; Halász, G; Takács, A; Heltai, Gy; Fekete, I: Longterm evaluation of heavy metal contamination mobility in lake sediments

In: V, Kanicky (szerk.) European Symposium on Atomic Spectrometry (ESAS 2014): Book of Abstracts

Prága, Csehország: Masaryk University, (2014) pp. 169-169., 1 p., ISBN 978-809-0570-41-2, (5 pont)

Kovács, K; Győri, Z; Boros, N; Sipos, P; Horváth, M; Takács, A; Heltai, Gy: Change of heavy metal environmental mobility of the 2000's contamination at upper Tisza river floodplain

In: V, Kanicky (szerk.) European Symposium on Atomic Spectrometry (ESAS 2014): Book of Abstracts

Prága, Csehország: Masaryk University, (2014) pp. 185-185., 1 p., ISBN 978-809-0570-41-2, (5 pont)

4.2. Teljes szövegű közlemény, alkalmi (nem periodika jellegű) kongresszusi kiadványban, magyar nyelven, lektorált formában megjelentetve

Takacs, A.; Halasz, G.; Heltai, Gy.; Horvath, M.: Szuperkritikus folyadék extrakció optimalizálása a potenciálisan toxikus elemtartalom meghatározásra: Optimization of supercritical fluid extraction for potentially toxic element content

In: MAJDIK, Kornélia (szerk.) XXIII. Nemzetközi Vegyészkonferencia: 23rd International Conference on Chemistry

Kolozsvár, Románia: Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság (EMT), (2017) pp. 45-45., 1 p. (3 pont) ISSN 1843-6293, (3 pont)

Fekete, I.; Heltai, Gy.; Takács, A.; Halász, G.; Horváth, M.: A BCR szekvens extrakció multielemes kalibrálásának optimalizálása

In: Mihucz, V (szerk.) 60. Magyar Spektrokémiai Vándorgyűlés és XIII. Környezetvédelmi Analitikai és Technológiai Konferencia

Budapest, Magyarország: Magyar Kémikusok Egyesülete (MKE), (2017) pp. 97-98., 2 p., ISBN 978-963-9970-77-9, (3 pont)

Horváth, M.; Takács, A.; Heltai, Gy.: Hidridképző elemek vizsgálati módszereinek (CMA)-ICP-OES és MIP-OES összehasonlítása és elemzési paramétereinek optimalizálása

In: Mihucz, V (szerk.) 60. Magyar Spektrokémiai Vándorgyűlés és XIII. Környezetvédelmi Analitikai és Technológiai Konferencia

Budapest, Magyarország: Magyar Kémikusok Egyesülete (MKE), (2017) pp. 95-96., 2 p., ISBN 978-963-9970-77-9, (3 pont)

Takács, A.; Halász, G.; Heltai, Gy.; Horváth, M.: Új típusú folyamatos áramlású rendszer teljesítőképességének értékelése könnyen mobilizálható elemfrakció kioldására

In: Mihucz, V (szerk.) 60. Magyar Spektrokémiai Vándorgyűlés és XIII. Környezetvédelmi Analitikai és Technológiai Konferencia
Budapest, Magyarország: Magyar Kémikusok Egyesülete (MKE), (2017) pp. 99-101., 3 p., ISBN 978-963-9970-77-9, (3 pont)

Heltai, Gy.; Kovács, K.; Takács, A.; Horváth, M.: ICP-OES multielemes kalibráció problémái összetett mátrixú minták esetében

In: Adányiné, Kisbocskói Nóra; Demeter, Ádám; Farkas, Etelka; Kardos, Zsuzsanna; Nyitrai, László; Simonné, Sarkadi Livia; Wölfling, János (szerk.) MKE 2. Nemzeti Konferencia program és előadás összefoglalók
Budapest, Magyarország: Magyar Kémikusok Egyesülete (MKE), (2015) pp. 195-195. Paper: A-P-2, 1 p., ISBN 978-963-9970-57-1, (3 pont)

Heltai, Gy.; Flórián, K.; Győri, Z.; Fekete, I.; Halász, G.; Kovács, K.; Takács, A.; Horváth, M.: Nehézfém szennyezés környezeti mobilitásának becslése a talaj/légkör/víz/üledék rendszerben

In: Adányiné, Kisbocskói Nóra; Demeter, Ádám; Farkas, Etelka; Kardos, Zsuzsanna; Nyitrai, László; Simonné, Sarkadi Livia; Wölfling, János (szerk.) MKE 2. Nemzeti Konferencia program és előadás összefoglalók
Budapest, Magyarország: Magyar Kémikusok Egyesülete (MKE), (2015) pp. 98-98. Paper: A-0-20, 1 p., ISBN 978-963-9970-57-1, (3 pont)

Kovács, K.; Horváth, M.; Takács, A.; Heltai, Gy.; Győri, Z.: Hagyományos és ultrahangos talaj-extrakciós folyamatok hatékonyságának összehasonlítása

In: Adányiné, Kisbocskói Nóra; Demeter, Ádám; Farkas, Etelka; Kardos, Zsuzsanna; Nyitrai, László; Simonné, Sarkadi Livia; Wölfling, János (szerk.) MKE 2. Nemzeti Konferencia program és előadás összefoglalók
Budapest, Magyarország: Magyar Kémikusok Egyesülete (MKE), (2015) pp. 104-104. Paper: A-0-26, 1 p., ISBN 978-963-9970-57-1, (3 pont)

Takács, A.; Kovács, K.; Horváth, M.; Halász, G.; Heltai, Gy.: Módszerfejlesztés talaj- és üledék minták könnyen mobilizálható elemtartalmának meghatározására

In: Adányiné, Kisbocskói Nóra; Demeter, Ádám; Farkas, Etelka; Kardos, Zsuzsanna; Nyitrai, László; Simonné, Sarkadi Livia; Wölfling, János (szerk.) MKE 2. Nemzeti Konferencia program és előadás összefoglalók
Budapest, Magyarország: Magyar Kémikusok Egyesülete (MKE), (2015) pp. 103-103. Paper: A-0-25, 1 p., ISBN 978-963-9970-57-1, (3 pont)

Győri, Z.; Boros, N.; Sipos, P; Bertáné, Szabó E; Kovács, K; Horváth, M; Takács, A.; Heltai, Gy: Nehézfémek környezeti mobilitásának változása a felső-Tisza árterületén a 2000-ben történt árvízi szennyezés óta

In: Kristóf, János; Somogyi, Viola; Zsirka, Balázs (szerk.) I. Vízkémiai és Technológiai Konferencia és 57. Magyar Spektrokémiai Vándorgyűlés
Veszprém, Magyarország: Pannon Egyetem, (2014) pp. 187-194., 8 p., ISBN 978-963-3960-11-0, (3 pont)

Heltai, Gy; Fekete, I; Halász, G; Kovács, K; Horváth, M; Takács, A.; Boros, N; Győri, Z: Vízi üledékek ICP-OES multielemes kalibrációjának problémái az elemtartalom BCR ajánlás szerinti frakcionálás alkalmazása esetén

In: Kristóf, János; Somogyi, Viola; Zsirka, Balázs (szerk.) I. Vízkémiai és Technológiai Konferencia és 57. Magyar Spektrokémiai Vándorgyűlés Veszprém, Magyarország: Pannon Egyetem, (2014) pp. 169-181., 13 p., ISBN 978-963-3960-11-0, (3 pont)

Horváth, M; Kovács, K; Halász, G; Takács, A; Heltai, Gy; Fekete, I: Nehézfém szennyezés környezeti mobilitásának hosszútávú értékelése tavi üledékekben
In: Kristóf, János; Somogyi, Viola; Zsirka, Balázs (szerk.) I. Vízkémiai és Technológiai Konferencia és 57. Magyar Spektrokémiai Vándorgyűlés Veszprém, Magyarország: Pannon Egyetem, (2014) pp. 182-186., 5 p., ISBN 978-963-3960-11-0, (3 pont)

Kovács, K; Jónás, M; Takács, A; Horváth, M; Győri, Z; Heltai, Gy: Komplexképzők extrakciós képességének értékelése eltérő fizikai talajféleségű TIM minták vizsgálata alapján
In: XX. Nemzetközi Vegyészkonferencia Kolozsvár, Románia: Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság (EMT), (2014) pp. 22-22., 1 p. (3 pont)

4.3. Megtartott előadás vagy bemutatott poszter alapján készített egy oldalas idegen vagy magyar nyelvű összefoglaló, szerkesztett tudományos folyóiratban, vagy annak különszámában

Takács, A; Halász, G; Heltai, Gy; Horváth, M: Könnyen mobilizálható elemtartalom meghatározása eltérő karbonát-tartalmú minták szuperkritikus extraktorban nyert oldataiból
In: [s n,] (szerk.) 6. Környezetkémiai Szimpózium: Program és előadáskivonatok Bakonybél, Magyarország (2017) p. 32. (1 pont)

Takács, A; Kovács, K; Halász, G; Győri, Z; Heltai, Gy; Horváth, M: Szuperkritikus folyadék extrakció (SFE) továbbfejlesztése potenciálisan toxikus nehézfémekkel terhelt környezeti minták vizsgálatára
In: MTA, Analitikai és Környezeti Kémiai Tudományos Bizottság Környezeti Kémiai Munkabizottsága (szerk.) Ötödik Környezetkémiai Szimpózium (2016) pp. 25-25., 1 p. (1 pont)

Takács, A; Kovács, K; Horváth, M; Halász, G; Győri, Z; Heltai, Gy: A könnyen mobilizálható elemtartalom meghatározását leíró technikák kiegészítésére szolgáló SFE módszer fejlesztése
In: 4. Környezetkémiai Szimpózium (2015) pp. 28-28., 1 p. (1 pont)

Heltai, Gy; Kovács, K; Halász, G; Takács, A; Horváth, M: Kivonószer mátrix-hatások értékelése üledékek nyomelem tartalmának BCR-szekvens extrakcióval történő frakcionálása során ICP-OES-es multielemes kalibráció esetén
In: Harmadik Környezetkémiai Szimpózium (2014) pp. 35-35., 1 p. (1 pont)

Kovács, K; Horváth, M; Halász, G; Takács, A; Fekete, I; Jónás, M; Heltai, Gy; Győri, Z: Különböző nehézfém frakciók meghatározására alkalmas extrakciós módszerek összehasonlítása eltérő fizikai talajféleségű TIM minták vizsgálata alapján
In: Harmadik Környezetkémiai Szimpózium (2014) pp. 36-36., 1 p. (1 pont)

Az értekezés témájához közvetlenül nem kapcsolódó egyéb közlemények

1. Tudományos folyóiratokban megjelent (közlésre elfogadott), lektorált, teljes szövegű tudományos közlemény

1.1. Idegen nyelvű, impakt faktoros folyóiratban (WEB OF SCIENCE szerint):

Almeshal, Wael ; Takács, Anita ; Aradi, László ; Sandil, Sirat ; Dobosy, Péter ; Záray, Gyula

Comparison of Freshwater Mussels *Unio tumidus* and *Unio crassus* as Biomonitors of Microplastic Contamination of Tisza River (Hungary), ENVIRONMENTS 9: 10 Paper: 122 (2022) (18 pont)

Boros, Emil; Takács, Anita; Dobosy, Péter; Vörös, Lajos: Extreme eutrophication by phosphorus in contradiction with the productivity of alkaline soda pan ecosystems SCIENCE OF THE TOTAL ENVIRONMENT 793 Paper: 148300 (2021) (18 pont)

Sandil Sirat, Óvári Mihály, Dobosy Péter, Vetési Viktória, Endrédi Anett, Takács Anita, Füzy Anna, Záray Gyula: Effect of arsenic-contaminated irrigation water on growth and elemental composition of tomato and cabbage cultivated in three different soils, and related health risk assessment

ENVIRONMENTAL RESEARCH 197 Paper: 111098 (2021) (18 pont)

Trábert, Zsuzsa; Duleba, Mónika; Bíró, Tibor; Dobosy, Péter; Földi, Angéla; Hidas, András; Kiss, Keve Tihamér; Óvári, Mihály; Takács, Anita; Várbíró, Gábor; Záray, Gyula, Ács, Éva: Effect of Land Use on the Benthic Diatom Community of the Danube River in the Region of Budapest

WATER 12:2 Paper: 479 (2020) (18 pont)

1.1.1. Hazai kiadású

• cikk

Sebők A, Razane A, Takács A: Kalcium hatása a talaj üledékképződésére – mérési módszer. Journal of Central European Green Innovation, Vol. 10, Suppl. 1. pp 44-54. ISSN: 2064-3004 (2022) (5 pont)

4.1. Teljes szövegű közlemény, alkalmi (nem periodika jellegű) kongresszusi kiadványban, idegen nyelven, lektorált formában megjelentetve:

Anita, Takács ; Wael, Almeshal ; Gyula, Záray: MICROPLASTICS IN AQUATIC ENVIRONMENT In: Istituto di Ricerca sulle Acque del Consiglio Nazionale delle Ricerche, (IRSA-CNR) (szerk.)

XVII Italian-Hungarian Symposium on Spectrochemistry - Current approaches in health and environmental protection - Book of abstract Torino, Olaszország: Istituto di Ricerca sulle Acque del Consiglio Nazionale delle Ricerche (2021) pp. 54-55., 2 p. (5 pont)

Wael Almeshal, Anita Takács, Kristóf Málnás, László Előd Aradi, Gyula Záray
BIOMONITORING OF MICROPLASTICS POLLUTION BY MUSSELS IN THE TISZA RIVER, HUNGARY

In: Istituto di Ricerca sulle Acque del Consiglio Nazionale delle Ricerche, (IRSA-CNR) (szerk.) XVII Italian-Hungarian Symposium on Spectrochemistry - Current approaches in health and environmental protection - Book of abstract
Torino, Olaszország: Istituto di Ricerca sulle Acque del Consiglio Nazionale delle Ricerche (2021) pp. 56-57., 2 p. (5 pont)

Takács, A; Almeshal, W ; Záray, G: Microplastics in aquatic environment
In: Mihucz, Viktor Gábor (szerk.) XVI Hungarian - Italian Symposium on Spectrochemistry: technological innovation for water science and sustainable aquatic biodiversity & 61th Hungarian Spectrochemical Conference : October 3-6, 2018, Budapest: programme & book of abstracts
Budapest, Magyarország: MKE, (2018) p. 39 Paper: OL05 (5 pont)

4.2. Teljes szövegű közlemény, alkalmi (nem periodika jellegű) kongresszusi kiadványban, magyar nyelven, lektorált formában megjelentetve

Kovács Zsófia, Cserfalvi Tamás, Balogh Sándor, Kovács-Bokor Éva, Duleba Mónika, Dobosy Péter, Takács Anita, Ács Éva, Tamás Enikő, Domokos Endre
A fejlesztett mozgó hordalék mintavevő alkalmazása különböző tipológiájú víztesteken
In: Galambos, Ildikó (szerk.) 7th Soós Ernő International Scientific Conference Water and wastewater treatment in the industry 2021 VII. Soós Ernő Nemzetközi Tudományos Konferencia Víz-és szennyvízkezelés az iparban 2021
Nagykanizsa, Magyarország: Soós Ernő Víztechnológiai Kutató-Fejlesztő Központ (2021) 62 p. p. 42 , 1 p. (3 pont)

Trábert Zsuzsa, Duleba Mónika, Bíró Tibor, Buczkó Krisztina, Dobosy Péter, Földi Angéla, Hidas András, Kiss Keve Tihamér, Óvári Mihály, Takács Anita, Várbíró Gábor, Záray Gyula, Ács Éva: A tájhasználat hatása a Duna bentonikus kovaalga közösségére Budapest térségében
In: Cseresznyés, D; Király, Cs (szerk.) XVI. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia = 16th Carpathian Basin Conference for Environmental Sciences : absztrakt kötet = abstract book
Budapest, Magyarország: ELTE Természettudományi Kar (2021) 239 p. pp. 76-76., 1 p. (3 pont)

Duleba, Mónika; Balogh, Sándor; Buczkó, Krisztina; Cserfalvi, Tamás; Dobosy, Péter; Földi, Angéla; Kiss, Keve Tihamér; Kovács, Zsófia; Takács, Anita; Tamás, Enikő Anna et al. A Duna és a Marcal mozgó hordalékfázisának fizikai, kémiai és biológiai jellemzése In: Cseresznyés, D; Király, Cs (szerk.) XVI. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia = 16th Carpathian Basin Conference for Environmental Sciences : absztrakt kötet = abstract book Budapest, Magyarország : ELTE Természettudományi Kar (2021) 239 p. pp. 78-78. 1 p. (3 pont)

Takács, Anita; Wael, Almeshal; Barta, Barbara; Schmera, Dénes; Aradi, László Előd; Záray, Gyula: Mikroműanyag-szennyezők kimutatása Chironomidae-, Gammaridea-, Sphaerium- és Dreissena-fajokban
In: Darvas, Béla; Pirger, Zsolt; Székács, András (szerk.) IX. Ökotoxikológiai Konferencia előadás és poszter kötete
Budapest, Magyarország: Magyar Ökotoxikológiai Társaság, (2019) p. 27 ISBN 978-615-81449-0-2 (3 pont)

Takács, Anita; Dobosy, Péter; Óvári, Mihály; Zárny, Gyula: Vízfolyások hordalékát jellemző szemcseméret eloszlási vizsgálatok

In: XIV. Környezetvédelmi Analitikai és Technológiai Konferencia & 62. Magyar Spektrokémiai Vándorgyűlés (2019) Paper: OL37 ISBN 978-615-6018-02-1 (3 pont)

Takács, Anita; Almeshal, Wael; Zárny, Gyula: Felszíni vizek mikroműanyag szennyezése

In: Darvas, Béla VIII. Ökotoxikológiai Konferencia előadás és poszter kötete

Budapest, Magyarország: Magyar Ökotoxikológiai Társaság, (2018) pp. 37-38., 2 p. ISBN 978-963-89452-9-7 (3 pont)

4.3. Megtartott előadás vagy bemutatott poszter alapján készített egy oldalas idegen vagy magyar nyelvű összefoglaló, szerkesztett tudományos folyóiratban, vagy annak különszámában

Almeshal, W; Takács, A; Zárny, G: Occurrence and concentration level of microplastic in sediment of Danube River, Hungary

In: Katsoyiannis, I (szerk.) Conference proceedings: 17th International Conference on Chemistry and the Environment (2019) Paper: 461 (2 pont)

„Az élet egyikünk számára sem könnyű, de nincs semmi baj, ha az embernek van kitartása, s főleg önbizalma. Hinnünk kell, hogy tehetségesek vagyunk valamiben, és azt a valamit bármi áron is el kell érünk.” (Marie Curie)