

**SOPRONI EGYETEM
ERDŐMÉRNÖKI KAR
TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI KONFERENCIÁRA**

Az Által-ér szennyezettségének vizsgálata

TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI KONFERENCIA

Juhász Tamás

okleveles erdőmérnök-hallgató

Témavezető:

Dr. Horváth Adrienn egyetemi adjunktus

Prof. Bidló András egyetemi tanár

Sopron 2021

NYILATKOZAT

Alulírott Juhász Tamás jelen nyilatkozat aláírásával kijelentem, hogy az Által-ér szennyezettségének vizsgálata című Tudományos Diákköri Kutatás önálló munkám, az értekezés készítése során betartottam a szerzői jogról szóló 1999. évi LXXVI. törvény szabályait, valamint a Környezet- és Földtudományi Intézet által előírt, a kutatás készítésére vonatkozó szabályokat, különösen a hivatkozások és idézések tekintetében¹.

Kijelentem továbbá, hogy a dolgozat készítése során az önálló munka kitétel tekintetében a konzulenseket, illetve a feladatot kiadó oktatókat nem tévesztettem meg.

Jelen nyilatkozat aláírásával tudomásul veszem, hogy amennyiben bizonyítható, hogy a dolgozatot nem magam készítettem, vagy a dolgozattal kapcsolatban szerzői jogsértés ténye merül fel, a Soproni Egyetem megtagadja a Tudományos Diákköri Kutatás befogadását, és ellenem fegyelmi eljárást indíthat. A dolgozat befogadásának megtagadása és a fegyelmi eljárás indítása nem érinti a szerzői jogsértés miatti egyéb (polgári jogi, szabálysértési jogi, büntetőjogi) jogkövetkezményeket.

Sopron, 2021. október 30.

.....

Juhász Tamás IV. oemh

¹ 1999. évi LXXVI. tv. 34. § (1) A mű részletét - az átvevő mű jellege és célja által indokolt terjedelemben és az eredetihez híven - a forrás, valamint az ott megjelölt szerző megnevezésével bárki idézheti.

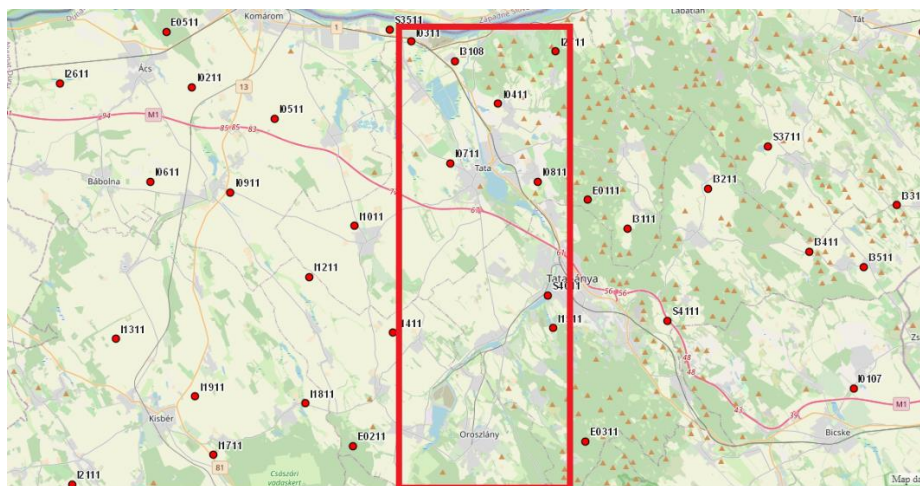
Tartalom

NYILATKOZAT	2
1. Bevezetés.....	4
2. Az Által-ér-völgy általános jellemzése és területen zajló emberi tevékenység háttere	5
2.1 Földrajzi fekvés	6
2.2 Éghajlat	6
2.3 Földtani viszonyok	7
2.4 Vízrajz	7
2.5 A térség természeti kincseire épülő ipari tevékenység.....	8
2.6 Bányászati tevékenységből eredő nehézfémek és élettani hatásuk... 	8
3. Vizsgálati terület jellemzése	11
4. Mintavételi módszer	14
5. Talajlaboratóriumi vizsgálatok.....	16
5.1 Mintaelőkészítés	16
5.2 Vázsázalék meghatározás	16
5.3 Talajkémiai tulajdonságok meghatározása	17
5.4 Talajfrakciók meghatározása	17
5.5 Talajok összes toxikus elemtartalom vizsgálata.....	18
6. Vizsgálati eredmények	21
6.1 Kémhatás.....	21
6.2 Fizikai féleség.....	23
6.3 Potenciális toxikus elem tartalom	26
7. Eredmények kiértékelése	28
7.1 Mintavételi pontonkénti kiértékelés	28
7.2 A TIM pontrendszerre vonatkozó adatkiegészítés	37
Felhasznált irodalom	40

1. Bevezetés

A huszonegyedik században az élettelen és élő környezetünk védelme egyre sürgetőbb feladattá vált. Ahhoz, hogy ezt megfelelő módon tudjuk folytatni, ismernünk kell a védendő biom múltját és jelenét, hogy a jövőben hozzá illően tudjunk megtervezni a szükséges beavatkozásokat. Az Európai Unióban és Magyarországon is visszaszorulóban van a fosszilis energiahordozók felhasználása, azon belül is a barna és feketekőszén energetikai hasznosítása. Az előző évszázadban viszont meghatározó gazdasági jelentősége volt a szénbányászatnak és a hőerőműveknek. A több tíz éves kitermelések alatt nem minden esetben történt arról felmérés, illetve vizsgálat, hogy miként hatnak a bányászati és ipari tevékenységek a környezetünkre. Az Által-ér völgyében nem volt még példa a mélyművelésű bányák és a hőerőművek leállítása után történt alaposabb talaj és élővíz vizsgálatokra, ezért elhatároztam, hogy készítek egy hiánypótló kutatást erről a területről. Miután Bánhidai Erőmű termelése (2004) és Márkushegy (2014) bányászata leállításra került, a környezetnek volt némi ideje a regenerálódásra. A Bokodi Hőerőművet a dolgozat során külön fogom említeni. Számomra különösen fontos ez a vizsgálat, mert már születésem óta Kecskéden lakom és úgy érzem a kötődésem és érdeklődésem okán olyan hely- és területismereten alapuló munkát tudok készíteni az Által-ér vizsgált szakaszáról, ami valamennyiünk számára hasznos lehet.

A TDK dolgozatom fő célja az Által-ér potenciális toxikus elemakkumulációjának vizsgálata és általános talajtani jellemzése az ér partjából vett talajminták, illetve az érből vett üledék minták alapján a Bokodi Hőerőműtől a Dunáig terjedő szakaszon, majd ezen keresztiszelvény pontok összességének a vizsgálata. Ezen kívül célom a TIM, azaz a Talajvédelmi Információs és Monitoring Rendszer Által-ér völgyi területére vonatkozó adatok hiányának pótlása, melyet az alábbi négyzetben is jelöltem.



forrás: http://airterkep.nebih.gov.hu/gis_portal/tim/tim_kereso.htm

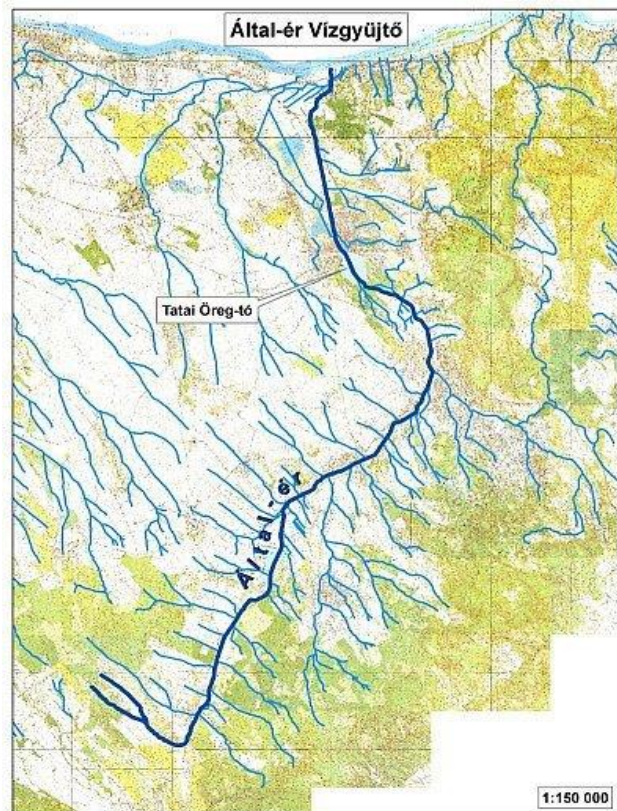
2. Az Által-ér-völgy általános jellemzése és területen zajló emberi tevékenység háttere

Ahhoz, hogy megértsük a terület kiemelkedő igénybevételének jelentőségét, szükséges bemutatni az Által-ér völgy természeti adottságait és az erre épülő bányászati tevékenységet, területhasznosítást. A természeti kincsekben gazdag, hegyláncokkal, patakokkal szabdaltsága miatt ideális lakóhely volt a paleolitikum óta az ember számára (pl. Vértesszőlősi előember). A múlt század bányászati tevékenysége pedig jelentősen átformálta a tájat és kisebb a települések megerősödésével, egyesülésével tovább növelte a változások hatását.

Az ásványkincsek jelenléte együtt jár a talajban és az üledékben található nehézfémek alapközetekből történő kémiai kimosódásával, kiporzásával, melynek hatásai a lefolyás és a patakokból, vízgyűjtőkről történő vízelvezetés, valamint az ipari és a városi szennyvizek kibocsátásának eredményeként jelentkeznek. Az üledékek vizsgálatát széles körben alkalmazzák a szennyező források felkutatására és a szennyezők nyomon követésére patakok esetében (SOARES et al. 1999, MÜLLER et al. 1994). A vízfolyásokban jelen lévő nehézfémek különböző formákban vagy kötésekben jelennek meg (RAURET 1998, PICKERING 1986). Az üledékekre jellemző, hogy idővel felhalmozzák az akkumulációra hajlamos elemeket elsősorban a kis sodrású vízfolyóvizekben. Így a nehézfémek jelenléte az üledékekben lehetővé teszi a fémek meghatározását akkor is, ha a víz szintje rendkívül alacsony (SOARES et al. 1999, HOROWITZ 1985). A talajban és az üledékekben található nehézfémek potenciálisan káros hatással lehetnek az ökoszisztémára, mivel a szállítódással könnyebben eljutnak a biótárhoz (HORVÁTH et al. 2016). SZEGEDI (2011) szerint a bányászat és az ércfeldolgozás során a kitermelt fémek közül geokémiai és toxicitási sajátosságaik alapján a jelentősebb környezeti kockázatot a Cu, Pb és a Zn jelent, de a kisebb mennyiségben bányászott As és Cd tekinthető a legveszélyesebbnek az élő szervezetek számára. SIMON (2005) szerint a bányászat, kohászat, fémelőállítás következtében fellépő légköri kiülepedés okozhat nagymértékű rézfelhalmozódást. A hőerőművekben környezetében az elégetett szénből keletkezett hamu 14-2800 mg Cu/kg-t is tartalmazhat.

2.1 Földrajzi fekvés

Az Által-ér-völgy a Dunántúli-középhegység Vértes-Velencei-hegyvidék középtájához tartozik (PÉCSI 1989). A völgy délnyugat északkeleti irányú, északnyugat felé a Kisalföld peremén ellaposodó dombok határolnak, keleti szomszédságában a Vértes azon belül is a Vértesalja és a Tatai-árok található. Nyugati irányból Vértesalji-dombság, délnyugtról pedig a Móri-árok határolja (1. ábra). A völgy legmagasabb pontja 241 méter (ér eredési pontja), legmélyebb 109 méter (Duna torkolat), tengerszint feletti magassága átlagosan 190 m és 140 m között változik (RIEZING 1998).



1. ábra: Az Által-ér vízgyűjtő területe (ÉDUVIZIG)

2.2 Éghajlat

Az Által-ér-völgy mérsékelten meleg, mérsékelten száraz klimatikus viszonyokkal rendelkezik. Az éghajlat kontinentális jellegű, mely északkeleti irányban (Környe felé) erősödik. Az évi átlagos csapadék (1971-1989 közötti időszak) 556 mm és 581 mm között változik a különböző állomásokon (RIEZING 1998). Az Által-ér területén az éghajlatban kettős hatás figyelhető meg, dombvidéki részen hűvösebb a nyár és közepesen csapadékos, az északi részen gyakoribbak a szárazságok. Az éves csapadék mennyisége május-augusztus közötti hónapokban hullik le nagyrészt. A vízgyűjtőn nyolc meteorológiai állomás működik. A területre jellemző napfénytartam 1950-2000 óra körül alakul éves szinten (VKKI & ÉDUKÖVIZIG 2009).

2.3 Földtani viszonyok

Az Által-ér-völgy eróziós völgyrendszer. Fiatal hegységperemi süllyedékek felfűzésével és eróziós 'kitakarításával' a negyedidőszak során fokozatosan nyerte el mai formáját. Triász mészkőből és merev dolomitból felépülő Vértes és Gerecse határán található. Kavicstakarós aszimmetrikus hordalékkúp-maradványok és teraszok alakultak ki a Földtörténet során. Az ér mentén réti öntéstalajok, a dombokon barnaföld (rozsdabarna altípus) és agyagbemosódásos barna erdőtalajok alakultak ki, a homok jelenléte egészen a Vértes hegységig felhúzódik. (PÉCSI 1987, 1989)

2.4 Vízrajz

Az Által-ér közepes vízhozamú patak, hossza 49,8 km, vízgyűjtő terület nagysága 521 km² (Észak-dunántúli Vízügyi Igazgatóság, Németh József 2015). Pusztavámtól északnyugatra ered körülbelül 140 méteres magasságban és Dunaalmásnál a Dunába torkollik. Fontosabb megemlítendő tavak az ér szakaszán, a Bokodi-hűtőtó, Környei-tó, Bánhidai-Erőműi-tó, Tatai Öreg-tó, Naszályi halastavak. Az Által-érbe torkolló jelentősebb patakok: a Galla-patak, Farkasvölgyi-patak, Oroszlány-Kecskédi-vízfolyás és a Szép-víz-ér. A területnek mérsékelt vízfeleslege van, ennek oka, hogy jelentősebb rétegvízkészlet van a tájban. A bányászati tevékenység idején ennek a szintje leapadt, a bányászat felhagyása után a területen regenerálódás tapasztalható vízügyi szempontból (CZIROK & SZOLNYIK 2019).

A vízgyűjtő területen létesült szennyvíztisztítók nem megfelelő működése környezeti kockázatot hordoz. A szennyvíztisztítók nem közvetlenül az ér mellett helyezkednek el a vizsgált szakaszon, hanem vízfolyásokkal kapcsolódnak hozzá, ilyenek Kömlőd-Dadi-határárok és Kecskéd-Oroszlány vízfolyás ahonnan kerülhet be az érbe túlzott szervesanyag vagy egyéb más szennyezés. A Kömlőd-Dad szennyvíztisztítója éves szinten max. 110 ezer m³/év kommunális szennyvizet engedhet a Kömlőd-Dadi-határárokba. Az Oroszlány-Kecskédi szakaszon jelentősebb mennyiségű vízbevezetés történik. Az Oroszlányi Szolgáltató Rt. max. 1825 ezer m³/év kommunális szennyvizet engedhet a vízfolyásba. Jelentős hatással van még az Által-ér ökológiai állapotára a már több 10 éve zajló halgazdálkodási tevékenységnek (horgászat), mely hozzájárulhat a vízminőség romlásához. A 2012-es évben az Által-ér teljes, az ÉDUVIZIG vagyonkezelésében álló szakaszán rehabilitációs munkák történtek, amik magukba foglalták a mederkotrást és a műtárgyak körüli karbantartási munkálatokat (VKKI & ÉDUKÖVIZIG 2009).

2.5 A térség természeti kincseire épülő ipari tevékenység

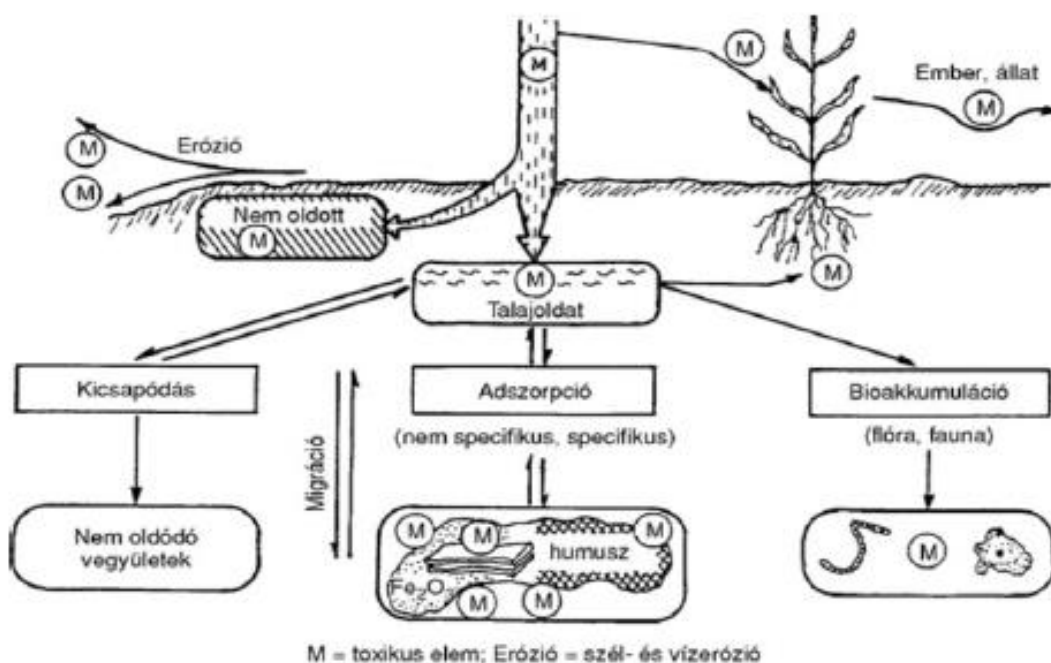
Az Által-ér-völgyében már a korai újkortól kezdődően voltak gazdasági szempontok miatt meder, illetve területrendezési koncepciók. Az első feljegyzett mederrendezés a 18. században történt, Mikoviny Sámuel irányításával, aki kor neves polihisztor volt. Ekkor elsődleges cél volt az ér mentén lévő mocsarak és lápok lecsapolása majd a lecsapolt területekből termőföld, kaszálók és legelők létesítése.

A XX. században indult a környezet jelentős átalakítása az ér mentén. Az ipar fellendülésével megjelentek a környéken a szénbányák és hőerőművek. Az Eocén program beindulásával az ér mentén kettő erőmű létesült és egy bányauzem (BERKI et al. 2019). Bokod és Oroszlány települések között a Oroszlányi Erőmű (1960) valamint Tatabánya akkori jogelőd településén Bánhidán (1930). Az erőművekhez szükséges hűtés biztosítása érdekében mesterséges tavakat hoztak létre az Által-ér felduzzasztásával. A kor törvényi szabályozásai miatt ekkor kerülhetett jelentős mennyiségű szennyező anyag a levegőbe és a patakba egyaránt. A Bánhidai Erőmű 2004 óta nem üzemel így nincs közvetlen vízhasználata már a hűtőtóból. Az Oroszlányi Erőmű 2015 december 31-óta nem termel villamosenergiát így ennek az erőműnek „csak” lecsökkent a vízhasználata, mivel jelenleg távhőt szolgáltat gázturbinával Oroszlány és Bokod településekre. Az oroszlányi szénmedencében 1937-ben kezdődött el a széntermelés és 1976-ban teljesedett ki az eocén program keretein belül. A Márkushegyi Bányauzem Pusztavámtól északra, közvetlenül a falu mellett kezdte meg a működését és egészen 2014-ig termelt. A bánya bezárásig folyamatos volt az eocén rétegvíznek a kitermelése a zavartalan barnaköszén fejtése miatt. A bánya bezárása után a rétegvíz visszatérése folyamatos. 2020-ra az élővíz befogadók szempontjából a Tatabányai fémipari üzemek, továbbá a környei élelmiszeripar és takarmánygyár emelhető ki (VKKI & ÉDUKÖVIZIG 2009). Az ásványkincsek jelenléte együtt jár a talajban és az üledékben található nehézfémek alapkőzetekből történő kémiai kimosódásával, kiporzásával, melynek hatásai a lefolyás és a patakokból, vízgyűjtőkről történő vízelvezetés, valamint az ipari és a városi szennyvizek kibocsátásának eredményeként jelentkeznek.

2.6 Bányászati tevékenységből eredő nehézfémek és élettani hatásuk

Az ipari és bányászati tevékenységből kifolyólag következtethetünk arra, hogy a területen nehézfémek kerülhetnek a talajba és a hordalékokba a kőzetek kémiai kioldódásának

következtében, leszivárgással és akár kommunális szennyvizek kibocsátásával is. Az üledékeket széles körben alkalmazzák környezeti indikátorokként a szennyező források feltárására vagy monitoring mérések során (SOARES et al. 1999, MÜLLER et al. 1994). Már említésre került, hogy jelentőségük abban keresendő, hogy az üledékek jelentős mennyiségű toxikus anyagot képesek felhalmozni, ezáltal a nehézfémek akkumulálódnak és jelenlétük alacsony vízállás esetén is kimutatható (LUOMA & DAVIS 1983, HOROWITZ 1985). A szennyezett talajból a növények is képesek felvenni a nehézfémeket, amelyek felhalmozódnak a növény szerveiben és szöveteiben. Az ilyen területen élő és megtermelt növények akár emberi szervezetbe is kerülhetnek, ezzel egészségügyi kockázatot okozhatnak (STEFANOVITS 1992, SZEGEDI 2011). SZEGEDI (2011) szerint a bányászat és az ércfeldolgozás során a kitermelt fémek közül geokémiai és toxicitási sajátosságaik alapján a jelentősebb környezeti kockázatot a Cu, Pb és a Zn jelent, de a kisebb mennyiségben bányászott As és Cd tekinthető a legveszélyesebbnek az élő szervezetek számára. SIMON (2005, 2014) szerint a bányászat, kohászat, fémelőállítás következtében fellépő légköri kiülepedés okozhat nagymértékű rézfelhalmozódást. A hőerőművekben környezetében az elégetett szénből keletkezett hamu 14-2800 mg Cu/kg-t is tartalmazhat. A következőkben a fontosabb nehéz fémek élettani hatását jellemezném röviden (2. ábra).



**2. ábra: A toxikus nehézfémek megoszlása a talajban és a környezetben
(STEFANOVITS 1992)**

Ólom (Pb)

Az ólom nem alkotója az emberi szervezetnek. Előfordulhat az élelmiszerekben, főként, zöldségekben, így az állatok szervezetébe is képes jutni, ezáltal az emberi szervezetebe is bekerülhet. Lerakódhat a májban, a vesében és a csontokban. Nagyon lassan képes kiürülni a szervezetből, akkumulálódhat. A felhalmozódás során kialakult ólommérgezés izom- és csontfájdalmakat, emésztőrendszeri zavarokat, hasfájást, gyengeséget, étvágytalanságot, májpanaszokat, vérszegénységet, idegrendszeri panaszokat okoz. 1977-ben betiltották az ólomtartalmú festékeket, és a legtöbb üzemanyag sem tartalmazhat már ólmot, ami vezető ólomszennyezési forrás volt (FILEP 1988).

Arzén (As)

Az arzén nem esszenciális, legmérgezőbb ismert fém. A környezetbe kerülve az arzén nem bomlik le. Az arzén a táplálékkal és az ivóvízzel kerülhet be a szervezetbe. Szerves vegyületei kevésbé toxikusak, mint a szervetlenek. Az arzén már kis koncentrációban mélyrehatóan befolyásolja a szervezet számos enzimrendszerét. Az arzénmérgezés tünetei heves hasi fájdalom és hányás, hasmenés, és görcsök, veseelégtelenség, bőr és nyálkahártya elváltozások is kialakulnak, akár bőrrák is kialakulhat (CSATHÓ 1994). Régebben preparáláshoz tartósítás céljából használtak arzént, napjainkban már kerülnek.

Réz (Cu)

A réz jelentős szerepet játszik a vérképzésben, valamint a szabályozási folyamatokban. A rézmérgezés, hányást és hasmenést, hasgörcsöt okozhat. A máj, a vese és a központi idegrendszerben is okozhat rendellenességet. Szervezetbe bekerülhet bőrön át, pl. réztartalmú permetszerek használatakor (MUCZA 2015, KÖNIGNÉ 2014).

Kobalt (Co)

Az emberi szervezetben a kobalt kicsi, 1-2 mg-nyi található. Jelenléte a B12-vitamin szintéziséhez szükséges, fontos szerepe van a vérképzésben. Ha kobalthiány esetén B12-vitamin hiány is fellép, ami vérszegénységet okoz. Mivel kis mennyiségre van szüksége a szervezetnek e fémre ezért pótlása külön nem szükséges, napi elfogyasztott táplálékunkkal bekerül a szervezetbe. Túladagolása a pajzsmirigy zavarát okozza, ezzel golyva kialakulásához vezethet (CSATHÓ 1994).

Cink (Zn)

A cink olyan ásványi mikroelem, amelyre napi rendszerességgel, de csak nagyon kis mennyiségben (legfeljebb 40 mg) van szükség az étrendben. A cink az anyagcsere sebességét szintén befolyásolja: ha a szervezetben csökken a cink mennyisége, az anyagcsere lelassul. Túladagolás esetén a következő tünetek jelentkezhetnek: fémes és keserű szájíz, gyomorfájdalom, hányinger, hányás, görcsök és véres hasmenés (CSATHÓ 1994).

3. Vizsgálati terület jellemzése

A vizsgálati terület hossza közel 25 km hosszú. A vizsgált részt további 3 részre osztottam jellemzés szempontjából. A pontonkénti jellemzést a dolgozatom későbbi részében fejtem ki.

I. Szakasz - Az első szakasz a Bokodi Öreg – tó befolyó részétől folyásiránnyal szemben kb. 250 méterre az 1-es mérési ponttal kezdődik és a Bánhidai Erőműi-tóig tart. Ezen szakaszon található a kettő már nem működő hőerőmű. Az érbe 13 befolyó található a vizsgálati területen, egy tavon folyik át (Környei-tó), 2,1 kilométeren meddőhányó mellett, 4,1 kilométeren mezőgazdasági területek mellett, 2 kilométer hosszan erdőben folyik el. Bicikli út 3 kilométer hosszan megy el az ér közvetlen partján. Kecskéd és Környe között külszíni homokbánya található, közvetlen be- és kifolyási kapcsolat nincs az érrel. Négy darab közúti híd szeli át, belterületen nem folyik el, urbanizációs kapcsolata csak részben van az érnek bánhidai hobbikerteknél. Fontosabb pontok voltak a Bokodi-tó kifolyója, a mellette lévő meddőhányóból kiszivattyúzott víz érbefolyója, a Bánhidai Erőműhöz közeli meddőhányó, ami ugyan csak az ér közelében található (3-4. ábra).

II. Szakasz - A második szakasz a Bánhidai Erőműi-tó kifolyójától a Tatai Öreg-tó befolyójáig tart. Ezen szakaszon az ér 4,5 km hosszan folyik át Tatabánya városán. A városban belül még az érbe csatlakozik Dózsakert és Bánhida városrész között a Galla-patak. Az ér 5 híd szeli át, amik közül egy az M1-es autópálya. Az ér mellett 6,5 kilométer hosszan bicikli út, 3,37 kilométer hosszan mezőgazdasági területek, 1 kilométer hosszan erdő, és 0,8 kilométer hosszan 2 tó található. Mielőtt az ér a Tatai Öreg-tóba torkolna, előtte a Derítő-tóba folyik és utána egy rövid összekötő csatorna után torkollik az Öreg-tóba.

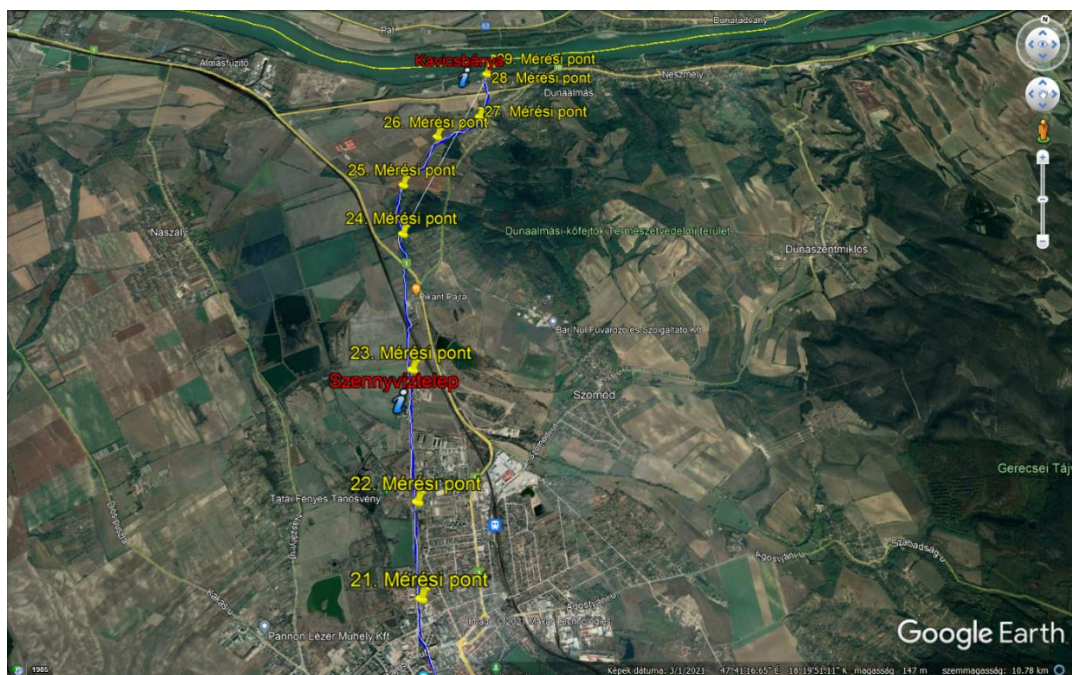
III. Szakasz - A harmadik szakasz a Tatai Öreg-tó kifolyójától a Dunáig tart. Az ér ezen szakaszán 5 kilométeres hosszon van urbanizációs kapcsolata. 8 kilométer hosszán követi bicikli út az ér nyomvonalát. Az ér mellett 800 méter hosszán erdő, 7 kilométer hosszán, pedig mezőgazdasági területek találhatók. Nagymértékű aktív ipari tevékenység ezen a szakaszon nincs, 1 szennyvíztelep és 1 kavicsbánya található az ér mellett közvetlenül.



3. ábra: I. szakasz – A bokodi erőmű és a tatabányai erőmű között



4. ábra: II. szakasz – A tatabányai erőmű és a tatai Öreg-tó között



5. ábra: III. szakasz – A tatabányai erőmű és a tatái Öreg-tó között



6. ábra: Domborzati profil

Összefoglalva, több tíz éves nyersanyag-kitermelés alatt nem minden esetben történt felmérés, illetve vizsgálat, hogy miként hatnak a bányászati és ipari tevékenységek a környezetünkre. Az Által-ér völgyében nem volt még példa a mélyművelésű bányák és a hőerőművek leállítását követően történt alaposabb talaj és élővíz vizsgálatokra, ezért hiánypótló kutatásként a vízfolyás Bokod és Dunaalmás közti teljes szakaszán végzett vizsgálataim eredményeit szeretném jelen munkában bemutatni és a Talajvédelmi Információs és Monitoring Rendszer Által-ér völgyi területére vonatkozó hiányzó adatainak pótlását.

4. Mintavételi módszer

A mintavételi pontokat egyenletesen osztottam el körülbelül 500 méterenként a vizsgálati területen ügyelve arra, hogy fontosabb befolyókhoz, kifolyókhoz és műtárgyakhoz legyen igazítva a hitelesség érdekében. Ahol sejteni lehetett bármiféle szennyezés jelenlétét, szempont volt a mintavételezés helyválasztásához. Huszonkilenc pontról vételeztem összesen 87 mintát. A mintavételezés 2020 augusztusában és 2021 októberében történt. Tizenkettő helyszínen sodorvonal, holt-tér és talajminta lett gyűjtve, hogy megfelelően tanulmányozhassam az adott keresztaszelvénnyel tulajdonságait. A talajmintát hagyományosan 2 méter mélységig szükséges nyitni. Az én esetemben a vizsgálatok a talajnak a felső 20 cm-re korlátozódtak a patakmeder rézsűjén, ezért úgy ítélt meg elegendő, hogy a vizsgálatához a közvetlenül az ér partján lévő érintett talajrétegből mintát venni (7. ábra). A sodorvonal minták vételezésekor törekedtem arra, hogy a vízfolyás geometriai közepéről tudjak gyűjteni (8. ábra). Megjegyzés: A 12. helyszínen nem volt lehetőség sodormintát venni a mélység miatt. A holt-tér mintavételezése is a szakszerűség sérelme nélkül történt (9. ábra). Ezeken kívül még három darab sodorvonal mintát vételeztem 2020 júliusában, egyet az érnek a felsőbb szakaszából a Márkushegyi Bányaüzemtől 150 méterre (10. ábra), kettő darabot, pedig a vizsgálati szakaszból (9-10. ábra).



7. ábra: Talajmintavétel



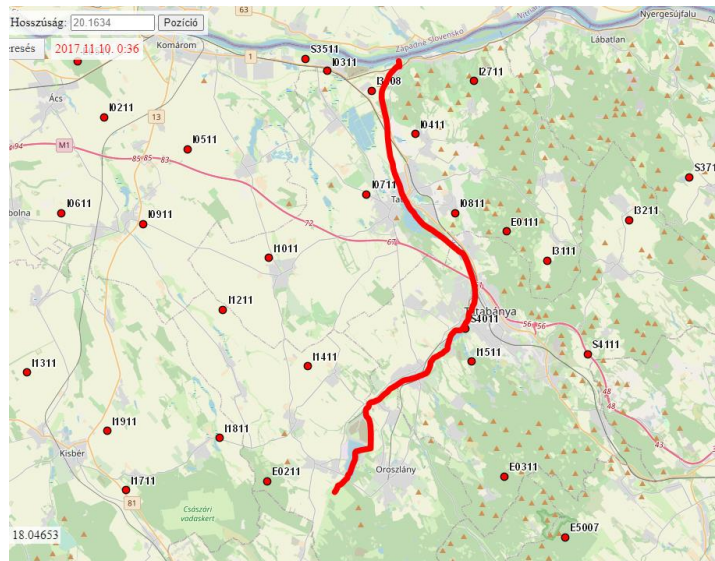
8. ábra: Mintavétel a sodorvonalból



9. ábra: Mintavétel a holtteréből



A mintavételezés helyszínei változatosak voltak, melyről tapasztalataimat a kiértékelés részben fejtettem ki. A kijelölt pontok megközelítése nehéz volt, sok kerülőt kellett beiktatni. A mintavételezést nehezítette még az ér partjának sűrűn benőtt növényzete. A vizsgálati terület mentén az urbanizációhoz közeli területeken tapasztalható volt az illegális hulladék lerakás (Bokodi-tó kifolyó része, Bánhidai-tó befolyó része). Az érnek a többi részén nem volt tapasztalható ez a tevékenység. A mintaterület kiválasztásának egy másik szempontja volt, hogy ezen a területen nincs, felvételi pont és egyéb monitoring program a szennyező anyagokról, ezt a TIM térkép is jelöli (13. ábra). A piros pontok a TIM pontokat jelzi, ezek erdészeti, mezőgazdasági és speciális pontok. Piros vonallal jelöltem az általam vizsgált szakaszt.



13. ábra: A vizsgált terület a TIM pontokkal

5. Talajlaboratóriumi vizsgálatok

A talajlaboratóriumi vizsgálatokat a Soproni Egyetem Környezet- és Földtudományi Intézet Termőhelyismerettani Intézeti Tanszékének laboratóriumában végeztem el. A laboratóriumban pH (potenciometriás, H₂O és KCl, arány 1:2,5), CaCO₃ (Scheibler-kalciméter), váztartalom százalék és talaj frakcióinak meghatározása (Malvern Mastersizer 3000 lézerdiffrakciós készülékkel) történt. Ezen kívül pedig meghatároztam a minták összes toxikus elemtartalmát is (Niton XL2 XRF spektrométerrel). A következőkben a vizsgálatok pontos leírását és menetét fogom ismertetni, melyeket STEFAOVITS (1992) és BELLÉR (1997) alapján alkalmaztam.

5.1 Mintaelőkészítés

A talajminták begyűjtése után a mintákat 1 napon belül a laboratóriumba szállítottuk. Legelőször a sodorvonalból és a holttérből vett mintákat kellett kezelni. Mivel a mintavételezés során a gyűjtő téglékbe víz került, ezért elsőnek azokat kellett leönteni anélkül, hogy a víz leöntése közben minta tömegvesztés ne történjen. A víz leöntése után Petri csészékbe lettek helyezve az üledék minták és huzatmentes, jól szellőzött helyre lettek elhelyezve. A talajminták műanyag tálcára lettek kiterítve 1-2 cm-es vastagságban, ezek is jól szellőzött huzatmentes helyen. A talaj és üledékminták a szárítás ideje alatt rendszeresen keverve voltak az egyenletes szárítás érdekében. A talajnak a légszáraz állapotát, akkor tudjuk meghatározni, ha a nagyobb talajrögöket szétörve a rög belső felének a színe megegyezik a külső színével.

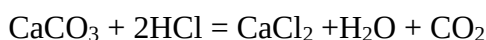
5.2 Vázszázalék meghatározás

A megszáradt talajmintákat papírzacskóba porciózzuk majd táramérlegen megmérjük. A mért eredmény a talaj összes tömege. A kötött közettörmelék nem tartalmazó talajt őrlőberendezéssel ledaráltam. A daráló berendezésbe 2 mm átmérőjű szitát helyeztem, amin az áthulló talajmintát dobozba helyeztem. Azokat a talajmintákat, amiket nem kellett ledarálni, sodrófával gumilapon aprítottam össze. Az összeaprítás után szintén 2 mm átmérőjű szitán szitáltam át. A szitán fennmaradt gyökérdarabokat és egyéb szennyeződésekeltávolítottam, a kavicsdarabokat és kőzetdarabokat összegyűjtöttem, rajta lévő talajszemcséket letisztítottam róla majd táramérlegen lemértem. Az így lemerített tömeg a talaj váza. Az értékét százalékban adjuk meg. A szitán átkerülő talajt jól zárható műanyag dobozban tároltam. A 2 mm-nél kisebb talajfrakciót finomföldnek vagy előkészített talajnak szokás nevezni. Ez a finomföld a laboratóriumi vizsgálatom alapja.

5.3 Talajkémiai tulajdonságok meghatározása

A talajkémiai vizsgálatok közül elsőként a vizes ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$) és a kálium-kloridos (pH_{KCl}) kémhatást határoztam meg, melynek jellemzésére a hidrogénion koncentrációt használtam. A laboratóriumi vizsgálat során a talajmintákból 10-10 g-ot mértem két 50 ml-es főzőpohárba. Az egyikhez 25 ml kiforralt desztillált vizet, a másikhoz 25 ml 1 mol/l-es KCl-oldatot adtam. A mintákat üvegbottal alaposan felkevertem és savgőzőktől mentes helyen 24 óráig állni hagytam (BELLÉR 1997). A mérést elektromos pH-mérővel végeztem, amelyet a gyári előírások szerint készítettem elő. Végül a pH-kategóriáknak megfelelően osztályoztam a talajmintákat.

A talaj szénsavas mésztartalmának, a kalcium-karbonát jelenléte vagy hiánya, kilúgása vagy felhalmozódása, mennyisége és eloszlása a talajban fontos ismertetője a talajtípusnak. A talajok szénsavas mésztartalmának meghatározása azon alapul, hogy erős savak hatására a kalcium-karbonátból szén-dioxid szabadul fel:



A fejlődő CO_2 mennyiségét kalciméterben határozzuk meg, és a gáz térfogatából kiszámítjuk a CaCO_3 mennyiségét. A talajok kalcium-karbonát tartalmát Scheibler-féle kalciméterrel határoztam meg. A kalcium-karbonátot 10%-os sósavval elbontottam és a fejlődő CO_2 gáz térfogatát mértem. Ezt normálállapotra átszámítva számítottam ki a talaj összes karbonát tartalmát, amit CaCO_3 %-ban adtam meg. A százalékos érték megadja a talaj mésztartalmának minősítését (BELLÉR 1997).

5.4 Talajfrakciók meghatározása

A talajminták fizikai féleségének meghatározása esetén jelen esetben nem a megszokott MSZ:08-0205-1978-as szabvány szerint végeztem a meghatározást a pipettás módszerrel, hanem műszeres mérést alkalmaztam. A lézerdiffrakciós részecskeanalízis során a Malvern Mastersizer 3000 típusú lézerdiffrakciós spektrométer került használatra (12. ábra). Maga a készülék egy lézeres fényforrásból, fényfeldolgozó optikából, egy cellából, egy lencséből és egy többelemes detektorból épül fel. A többelemes detektor szolgáltatja a diffrakciós képet. Szükség van még egy adatfeldolgozó egységre, mely diffrakciós adatok dekonvolúciójához szükséges, illetve a térfogati szemcseméret eloszlás, a kapcsolódó adatfeldolgozás és a jelentés céljából is. A gép a Mie-elméletet alkalmazza, amely teljes mértékben feloldja a fény és az anyag közti kölcsönhatásokat. A Mie-elmélet feltételezi, hogy a részecskék gömb alakúak (Malvern, 2013). A mintáimon nem alkalmaztam roncsolást, hanem szitálás után egy desztillált

vizet tartalmazó 1000 ml-es főzőpohárban oszlattam el a Hydro EV diszperziós keverő egység segítségével a kívánt 5%-nyi mintám. Ultrahanggal segítettem a minták diszpergálását. A gép 3 párhuzamos mérést végzett egy mintából, melyeket átlagoltam, majd a kapott táblázatban kiszámoltam a részecskék méretéből adódó agyag (A%), iszap (I%), finom homok (FH%) és durva homok (DH%) frakciók %-os megoszlását, melyhez az Atterberg-féle nemzetközi szemcsefrakció beosztást alkalmaztam (STEFANOVITS et al. 1999).



14. ábra Talajminták frakcióinak meghatározása Malvern Mastersizer 3000 lézerdiffrakciós készülékkel

5.5 Talajok összes toxikus elemtartalom vizsgálata

A röntgen fluoreszcens spektroszkópia széles körben használatos az elemanalízis terén, különösen a fémek, geokémiai anyagok azonosítására (archeológia, bányászat). Ha az adott mintánkon valamely sugárzást bocsátunk át, akkor a minta összetételtől függően sokféleképpen viselkedhet. Ha a vizsgált talajmintán röntgen (gamma) sugarat vezetünk át, akkor karakterisztikus (fluoreszcencia) sugárzást tapasztalunk a detektoron a sugárzást követően. A röntgen-fluoreszcencia módszer során valamely kis energiájú röntgen-, vagy gamma-sugárzás gerjeszti a minta atomjainak egy mélyebb elektronenergia szinten levő elektronját úgy, hogy az magasabb energiájú állapotba jut, mint az atom alapállapota esetében a legmagasabb energia

szinten levő „legkülső” elektronja. A gerjesztő sugárzás energiája nagyobb kell, hogy legyen, mint ezen átmenti állapothoz szükséges energia, de kisebb, hogy ne ionizálja az atomot. A gerjesztést követően az atom ebből a magasabb energiájú állapotból az alacsonyabb energiájú állapotba megy át, amelyből az elektront a röntgen sugárzás gerjesztette, eközben pedig az atom ezen két szélsőérték közti energia különbségnek megfelelő energiájú karakterisztikus röntgensugárzást bocsát ki (NÉMETH 2010). Ezt a folyamatot hívjuk röntgen-fluoreszcenciának, melyet a Thermo Scientific Niton XL2 XRF készülékkel végeztünk és így képesek vagyunk roncsolás és kezelés nélkül meghatározni a talajminták összes nehézfémtartalmát. A korábban említett 29 talaj- és 57 mederanyagminta szárítás utáni ledarált és átszitált formájában készítettem elő a méréshez (15. ábra) a képen is látható műanyag mérőtégelyekben.



15. ábra Talajminták összes nehézfémtartalom mérése kézi XRF készülékkel

A mérés célja volt tehát kimutatni, hogy az összegyűjtött mintákban milyen és mekkora koncentrációkban fordulnak elő potenciálisan toxikus nehézfémek, illetve az Által-ér partjának talajfelszínére kiüledő szennyezések mennyire mosódnak bele a mederágyban, felhalmozódtak-e a holtter és a sodorvonal üledékeiben. A kapott eredmények összehasonlítási alapul szolgálnak talajmintákat illetően a Talajinformációs és Monitoring Rendszer Által-ér völgy környéki mintavételi pontjaihoz. A mederanyagok toxikus elemtartalma pedig összehasonlítható korábban az egyetemen végzett üledékvizsgálatok eredményeivel is (HORVÁTH et al. 2016, SZITA et al. 2019).

A statisztikai adatok kiértékelését Microsoft Office Excel 2003 és PAST version 2.17c program segítségével készítettem el. A legtöbb statisztikai elemzés feltétele az adatsorok normál eloszlása, ezért első lépésként eloszlás vizsgálatokat végeztem és a mintákban jelenlévő toxikus nehézfémek közötti kapcsolat feltárására korrelációs számítást végeztem, miután a vizsgálatot befolyásoló hiányzó és kimutatási határ alatti elemeket, értékeket kizártam az elemzésekből.

6. Vizsgálati eredmények

6.1 Kémhatás

A talajokban (1. táblázat) vizsgált váz összetétele tükrözi a geológiai adottságait a területnek. A 29 vizsgált talajmintából a helyi adottságoknak megfelelően a desztillált vizes pH is a várt eredményeket hozta, az átlagos pH érték 7,9 volt. 7,5-ös pH felett elemeztem a minták szénsavas mésztartalmát az üledékes, kavicsos összetétel miatt, ez esetben 29 mintánál kellett. Az átlaguk 14,9% lett. A kálium-kloridos pH mérések átlaga 7,6, így megállapítható, hogy talajsavanyodásra való hajlamot nem mutattak a minták.

	H ₂ O	KCl	CaCO ₃ %
T1	8,2	7,8	11,7
T2	7,8	7,6	5,2
T3	7,7	7,5	12,0
T4	7,9	7,7	20,1
T5	7,9	7,7	12,9
T6	7,9	7,5	15,3
T7	7,8	7,5	10,0
T8	7,8	7,6	8,0
T9	7,8	7,6	13,0
T10	7,9	7,7	11,0
T11	7,8	7,6	10,0
T12	7,7	7,5	7,0
T13	8,2	7,9	28,9
T14	7,9	7,6	16
T15	7,8	7,6	11
T16	7,9	7,6	11
T17	8,4	7,5	19
T18	8,1	7,7	14
T19	7,4	7,2	6
T20	8,3	7,8	24
T21	8,1	8,0	12
T22	8,1	7,9	21
T23	8,2	8,1	20
T24	8,1	8,0	24
T25	7,7	7,4	15
T26	8,0	7,8	17
T27	8,2	7,8	18
T28	8,0	7,9	19
T29	8,0	7,7	20

1. táblázat: Talajminta adatok

	H ₂ O	CaCO ₃ (%)
H1	7,9	15
S1	7,8	19
H2	7,3	0,0
S2	7,1	0,0
H3	7,3	0,0
S3	8,0	5,0
H4	7,6	1,0
S4	7,5	7,0
H5	7,8	13,0
S5	7,8	6,0
H6	7,5	23,0
S6	7,8	6,0
H7	7,7	11,0
S7	7,7	10,0
H8	7,6	11,0
S8	7,6	6,0
H9	7,6	12,0
S9	7,6	12,0
H10	7,6	15,0
S10	7,7	5,0
H11	7,7	7,0
S11	7,8	4,0
H12	7,8	8,0
S12	8,0	6,0
H13	7,4	0,0
S13	8,1	10,4
H14	7,8	25,8
S14	8,1	18,2
H15	7,6	21,1
S15	8,0	12,7
H16	8,1	14,6
S16	8,1	11,3
H17	8,0	18,2
S17	8,2	14,4
H18	8,5	15,0
S18	8,3	14,9
H19	7,6	10,0
S19	7,7	16,0
H20	8,3	12,6
S20		
H21	6,9	25,1
S21	7,3	27,2
H22	7,7	23,3
S22	7,5	26,0
H23	7,6	26,4
S23	8,2	15,0
H24	7,8	19,3
S24	8,1	14,0
H25	7,6	21,4
S25	7,9	14,3
H26	7,7	17,0
S26	7,8	21,6
H27	7,8	15,5
S27	8,2	15,6
H28	8,0	10,9
S28	8,1	12,2
H29	8,1	18,2
S29	8,3	15,7

2. táblázat: Üledékminta adatok

Az üledékek (2. táblázat) mintavételezés során az érnek a sodorvonalából (S) és holtteréből (H) vettem mintát. Összesen 28 sodorvonali minta lett vételezve, ezen kívül 29 darab holttér minta lett még vételezve. A vizsgált váz összetétele tükrözi a geológiai adottságait a területnek. Már említésre kerültek a mintavétel során fellépő nehézségek. A vízfolyás adottságai okán nem minden esetben sikerült elegendő mintát gyűjteni, így az üledék vizsgálatok során pH_{KCL} vizsgálatot hátra soroltuk, mivel a talajmintáknál nem tapasztaltunk talajsavanyodást. Ezen okok miatt úgy ítélt meg, hogy megengedhető egy kisebb adathiány a magas augusztusi vízállásnak köszönhetően és 9 darab kálium-kloridos pH mérésére már nem kerítettem sort, így ezen értékeket nem is közlöm. A helyi adottságoknak megfelelően a desztillált vizes pH is a várt eredményeket hozta, átlagos pH érték 7,8 volt. 7,5-ös pH felett mértem kalcium-klorid tartalmat, ez esetben mind a 57 mintánál volt szükséges (átlag =13,7%).

6.2 Fizikai féleség

A mért talaj fizikai féleség szemcseeloszlása jól tükrözi a tájformáló geológiai folyamatokat. A terület talajaira általánosan jellemző a vályog fizikai féleség. A települések közelében az emberi tevékenység miatt a homok jelenléte is jellemző, mivel úttöltőanyagként használják, és mert a települések melletti homokbányák kiporzó hatása is érvényesül. A sodorvonalban a mederanyag összetétele finomabbnak mutatkozott a koptató hatások miatt, mint a holttérben. Ennek oka a víztömeg folyamatos mozgása, ami lassan csiszolja egyre finomabbra a szemcséket. A holttérben inkább az iszapszemcsék ülepedése volt jellemző (4. táblázat).

	A%	I%	FH%	DH%	I+A
T1	4,9	27,3	57,3	10,4	32,0
T2	2,8	16,5	62,9	17,8	19,3
T3	6,2	37,7	52,9	3,2	43,9
T4	7,8	39,4	47,5	5,3	47,2
T5	6,7	41,6	49,0	2,7	48,3
T6	7,3	40,1	49,2	3,5	47,4
T7	6,3	37,1	53,0	3,6	43,4
T8	5,3	32,8	59,9	2,0	38,1
T9	6,0	38,6	54,8	0,6	44,6
T10	2,8	17,6	66,6	12,9	20,5
T11	5,0	31,9	57,5	5,6	36,9
T12	3,7	22,9	62,9	10,6	26,6
T13	6,8	32,3	53,4	7,6	39,0
T14	3	17	71	10	19
T15	3	16	64	17	19
T16	4	27	65	4	31
T17	11	47	41	2	58
T18	6	33	58	3	39
T19	4	22	66	7	26
T20	8	35	53	5	43
T21	3	17	68	12	20
T22	5	25	59	11	30
T23	4	19	70	8	23
T24	2	15	72	11	17
T25	2	14	72	12	17
T26	2	15	70	13	17
T27	4	20	64	12	24
T28	2	15	74	9	17
T29	3	20	73	5	22

3. táblázat: Talajszemcse frakciók megoszlása

	A%	I%	FH%	DH%	I+A
H1	12	58	31	0	69
S1	6	41	52	0	48
H2	3,5	31,1	64,2	1,1	34,7
S2	2,7	24,8	69,0	3,5	27,6
H3	2,7	13,1	48,2	36,0	15,8
S3	4,2	29,3	60,1	6,4	33,5
H4	1,4	9,8	31,4	57,4	11,2
S4	3,9	22,9	40,1	33,0	26,8
H5	4,7	27,5	60,9	6,9	32,2
S5	5,1	28,9	55,8	10,3	33,9
H6	6,1	41,8	52,1	0,0	47,9
S6	1,9	10,9	40,2	47,0	12,8
H7	6,5	42,0	51,5	0,0	48,5
S7	4,1	24,9	39,9	31,2	28,9
H8	5,5	30,2	48,6	15,8	35,7
S8	2,1	11,7	45,8	40,4	13,8
H9	5,9	35,2	50,9	8,1	41,0
S9	6,5	33,8	53,6	6,1	40,3
H10	2,6	14,3	45,8	37,2	16,9
S10	1,8	9,3	31,9	57,0	11,1
H11	8,2	40,1	42,5	9,2	48,3
S11	1,2	6,9	19,2	72,7	8,1
H12	3,0	17,7	41,7	37,6	20,8
S12	2,2	12,4	16,6	68,8	14,6
H13	5,0	24,0	63,7	7,2	29,0
S13	2,7	14,6	61,2	21,6	17,3
H14	4,0	24,4	64,0	7,6	28,4
S14	5,6	35,2	56,1	3,1	40,9
H15	4,7	27,6	62,1	5,5	32,3
S15	2,3	14,8	68,2	14,7	17,1
H16	1,6	9,6	74,4	14,4	11,2
S16	0,9	7,0	63,4	28,7	7,9
H17	2,9	19,5	70,5	7,2	22,4
S17	5,2	31,8	57,8	5,2	37,1
H18	3,2	18,7	61,6	16,6	21,9
S18	5,8	32,7	57,8	3,7	38,6
H19	1,0	8,5	74,2	16,3	9,5
S19	2,1	15,1	65,0	17,9	17,1
H20	4,9	26,4	63,6	5,0	31,4
S20					
H21	2,1	15,5	73,6	8,8	17,6
S21	2,7	20,6	69,6	7,2	23,3
H22	3,5	20,7	65,4	10,3	24,2
S22	3,1	23,1	67,0	6,8	26,2
H23	3,4	22,7	68,4	5,5	26,1
S23	0,9	6,9	61,1	31,1	7,9
H24	1,3	9,9	78,0	10,8	11,2
S24	0,5	6,2	56,6	36,7	6,7
H25	5,1	26,7	61,0	7,2	31,7
S25	0,5	5,1	42,7	51,7	5,7
H26	1,5	10,2	72,2	16,1	11,7
S26	1,6	12,7	74,8	10,9	14,3
H27	1,3	9,4	67,9	21,4	10,7
S27	1,0	7,2	57,5	34,3	8,3
H28	1,1	8,9	78,6	11,3	10,0
S28	1,1	8,2	78,4	12,3	9,3
H29	2,0	11,1	73,1	13,8	13,1
S29	3,3	22,3	74,4	0,0	25,6

4. táblázat: Üledék szemcsefrakciók megoszlása

6.3 Potenciális toxikus elem tartalom

A talajokban (5. táblázat) 9 toxikus elem vizsgálatát végeztem el ezek a kadmium, arzén, ólom, cink, réz, nikkel, kobalt, és higany voltak. A toxikus elem tartalom 4 esetben volt „B” szennyezettségi határérték fölött a rézsűrűl származó talajmintákban. Mind a 4 esetben az arzén jelenléte volt tapasztalható. Az arzén esetében 15 mg/kg a szennyezettségi határérték a 6/2009. (IV. 14.) KvVM-EüM-FVM együttes rendelet alapján, mely a földtani közeg és a felszín alatti vízszennyezéssel szembeni védelméhez szükséges határértékekről és a szennyezések méréséről nyújt tájékoztatást.

	Cd	As	Se	Pb	Zn	Cu	Ni	Co	Hg
T1	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	23,81	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
T2	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	34,85	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
T3	<LOD	<LOD	<LOD	34,65	77,47	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
T4	<LOD	21,57	<LOD	<LOD	61,92	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
T5	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	57,12	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
T6	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	59,6	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
T7	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	78,03	53,86	<LOD	<LOD	<LOD
T8	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	79,5	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
T9	<LOD	16,62	<LOD	<LOD	81,69	58,07	<LOD	<LOD	<LOD
T10	<LOD	19,58	<LOD	<LOD	75,45	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
T11	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	67,8	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
T12	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	86,41	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
T13	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	56,55	54,37	<LOD	<LOD	<LOD
T14	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	48,01	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
T15	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	73,82	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
T16	<LOD	<LOD	<LOD	37,09	134,5	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
T17	<LOD	24,99	<LOD	<LOD	63,74	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
T18	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	65,91	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
T19	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	65,91	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
T20	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	43	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
T21	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	33,24	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
T22	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	24,65	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
T23	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	26,83	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
T24	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	24,01	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
T25	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	30,33	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
T26	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	39,47	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
T27	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	24,26	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
T28	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	41,81	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
T29	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	25,17	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
B szennyezettségi határérték	1	15	1	100	200	75	40	30	0,5
Minimum	0,0	16,6	0,0	34,7	24,0	53,9	0,0	0,0	0,0
Maximum	0,0	25,0	0,0	37,1	134,5	58,1	0,0	0,0	0,0
Átlag	0,0	20,7	0,0	35,9	55,3	55,4	40,0	30,0	0,5

5. táblázat: Összes toxikus elemtartalmak a talajmintákban (<LOD – Limit Of Detection – kimutatási határ = 10 mg/kg)

	Cd	As	SE	Pb	Zn	Cu	Ni	Co	Hg
H1	<LOD	<LOD	<LOD	20,56	115,75	115,75	<LOD	<LOD	<LOD
S1	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	94,73	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
H2	<LOD	<LOD	<LOD	20,04	129,21	184,57	<LOD	<LOD	<LOD
S2	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	75,68	131,18	<LOD	<LOD	<LOD
H3	<LOD	33,4	<LOD	<LOD	36,2	54,97	<LOD	<LOD	<LOD
S3	<LOD	<LOD	<LOD	24,84	81,17	82,85	<LOD	<LOD	<LOD
H4	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	27,92	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
S4	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	66,39	50,86	<LOD	<LOD	<LOD
H5	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	27,34	<LOD	<LOD	219,89	<LOD
S5	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	55,08	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
H6	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	41,96	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
S6	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	36,48	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
H7	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	62,9	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
S7	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	47,25	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
H8	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	44,89	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
S8	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	39,02	51,23	<LOD	<LOD	<LOD
H9	<LOD	<LOD	<LOD	19,79	83,54	<LOD	<LOD	312,42	<LOD
S9	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	43,49	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
H10	<LOD	<LOD	<LOD	27,19	128,87	67,45	<LOD	<LOD	<LOD
S10	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
H11	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	89,09	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
S11	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	41,85	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
H12	<LOD	<LOD	<LOD	21,2	82,87	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
S12	<LOD	19,64	<LOD	<LOD	45,15	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
H13	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	81,62	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
S13	<LOD	14,55	<LOD	<LOD	<LOD	31,33	<LOD	<LOD	<LOD
H14	<LOD	<LOD	<LOD	507,66	82,96	77,71	<LOD	<LOD	<LOD
S14	<LOD	<LOD	<LOD	47,29	98,6	<LOD	81,97	<LOD	<LOD
H15	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	172,41	103,11	<LOD	<LOD	<LOD
S15	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	63,1	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
H16	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	96,56	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
S16	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	84,64	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
H17	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	106,82	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
S17	<LOD	<LOD	<LOD	19,86	76,99	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
H18	26,56	<LOD	<LOD	<LOD	25,82	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
S18	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	51,03	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
H19	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	21,46	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
S19	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	33,25	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
H20	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	38,13	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
S20									
H21	<LOD	<LOD	<LOD	24,11	58,53	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
S21	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	77,44	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
H22	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	55,67	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
S22	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	99,24	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
H23	<LOD	<LOD	9,3	<LOD	80,84	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
S23	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
H24	<LOD	<LOD	<LOD	24,11	58,53	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
S24	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
H25	<LOD	<LOD	<LOD	37,62	121,19	121,19	<LOD	<LOD	<LOD
S25	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
H26	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
S26	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	27,43	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
H27	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	41,43	58,45	<LOD	<LOD	<LOD
S27	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
H28	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	32,23	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
S28	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
H29	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	37,09	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
S29	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	47,76	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
B szennyezettségi határérték	1	15	1	100	200	75	40	30	0,5
Minimum	26,56	14,55	9,30	19,79	21,46	31,33	81,97	219,89	0,00
Maximum	26,56	33,40	9,30	507,66	172,41	184,57	81,97	312,42	0,00
Átlag	26,56	22,53	9,30	70,34	65,05	84,58	81,97	266,16	0,00

6. táblázat: Összes toxikus elemtartalmak az üledékmintákban (<LOD – Limit Of Detection – kimutatási határ = 10 mg/kg)

7. Eredmények kiértékelése

A toxikus elemek a meder jellemzőitől függően tudnak lerakódni és akkumulálódnak. A vályog fizikai féleség kedvező feltétel a toxikus elemek számára és a vízmozgás is nagyban befolyásolja a lerakódási esélyét az egyes elemeknek. A következőkben minden olyan mintavételi pontot röviden kiértékelek, ahol határérték túllépés történt.

7.1 Mintavételi pontonkénti kiértékelés

1. mintavételi pont – Az első mintavételi pont a Bokodi-tó befolyójától 200 méterre az ér mentél lett kijelölve. A környezet ezen ponton természetes jellegű volt, szennyezésre utaló jel nem volt. Az ér ezen szakaszán főleg mezőgazdasági területek találhatók. A holttérben a réz szennyezettségi határérték felett volt kimutatható. A réz határérték feletti jelenlétére következtethetünk az intenzív mezőgazdasági tevékenységre amivel párosul a réz alapú peszticidek használata is.

2. mintavételi pont - Az második helyszín a Bokodi-tó kifolyó nyílásától körülbelül 50 méterre található. A patakpart rézsűje erősen meredek, dőlése meghaladta a 40°-ot. A talajfelszín alacsony növényborítottsága miatt a csapadék okozta erózió nyomait figyeltük meg, mely nagymértékben befolyásolhatja az üledékminták toxikus elemtartalmát. Továbbá ez lehet az oka, hogy a meredek rézsűről származó talajmintában nem mutatkozott határérték túllépés toxikus elemekre nézve. A szabad talajfelszínű rézsű meredek lejtése miatt a csapadék folyamatosan a holttérbe mossa a felszínre ülepedő szennyeződések az eredmények alapján. Az Által-ér folyása ezen a szakaszon lassú, a holttér náddal és gyékénnyel sűrűn fedett (16. ábra). A holttérből származó üledékmintában a toxikus anyagok közül a réz ($H_2 = 184,6 \text{ mg Cu/kg}$) haladta meg a szennyezettségi határértéket ($B_{Cu}=75 \text{ mg Cu/kg}$). A réz koncentráció a sodorvonalban is megjelent a határértéket túllépően ($S_2 = 131,1 \text{ mg Cu/kg}$). A kiugró értékek arra utalnak, hogy szennyezés forrása a mintavételi helyszín közelében lévő kiskertes területekről származik, ahol valószínűleg réztartalmú peszticidet alkalmaznak. Erre utal többek között az itt tapasztalt savanyúbb kémhatás is, mely a többi a pontnál nem volt jellemző.

Továbbá a cink és az ólom jelenléte volt még kimutatható, de a határértéket meg nem haladó koncentrációban. Az ólomtartalom annak ellenére sem volt magas, hogy a túlhorgászás által ólom kerülhet az élővízbe, ami a mederben felhalmozódhat.



16. ábra: A második mintavételi pont környezete

3. mintavételi pont - A második mintavételi helyszínt ~50 méterrel egy olyan csatorna beömlési pont után jelöltük ki, ahol kiszivattyúzott víz érkezik a pernyehányóból az Által-érbe. A vizsgálat kezdetekor itt feltételeztünk leginkább szennyezést, mely igazolódott. A talajmintára (T3) csak a természetes határérték közeli ólom és cink koncentráció volt jellemző az eróziós hatások miatt. Azonban a patak holtteréből származó üledékmintában extrém mennyiségű arzént ($H3 = 33,4 \text{ mg As/kg}$), míg a sodorvonalból származó mintában szennyezettségi határérték feletti réz koncentrációt ($S3 = 82,4 \text{ mg Cu/kg}$) azonosítottunk.



17. ábra: A második mintavételi pont környezete

A kőszén arzéntartalma 5-45 g/t is lehet, az elégetéséből származó korom és pernye arzén koncentrációja pedig a 440 g/t-t is meghaladhatja (BARTHA, 1998). A holttérben akkumulálódó arzén megjelenése a mintában azzal magyarázható, hogy a szivattyúzott vízmennyiség és a Bokodi-tó vízszabályozása miatt gyakori a vízszintingadozás és bár a vizsgált szakasz viszonylag gyors folyású, de a holttér kevésbé bolygatott. A sodorvonalban csak a réznek volt kiugró értéke, ezen kívül még az ólmot említhetjük, mint nem természetes eredetű toxikus elemet, mely az emberi tevékenység által kerülhetett be a sodorvonalba (15. ábra).

4. mintavételi pont – Erre a mérési pontra is jellemző volt a nagyobb sodrás. Ezen a mérési ponton nem volt kimutatható a mederanyagból jelentősebb szennyezés, de az ér rézsűjéből vett talajmintában az arzén ($T_4 = 21,57 \text{ mg As/kg}$), határérték feletti volt ($B_{As}=15 \text{ mg As/kg}$). A talajmintában lévő arzén jelenléte utal a pernyehányóról való kiporzásra, ami a talajfelszínre ülepedve feldúsult, viszont a dúsabb növényzet miatt még nem tudott bemosódni a patakmederbe.

5. mintavételi pont – A mintavételi ponton csak a kobalt mutatott kiugró értéket a holttérben ($H_5 = 219,9 \text{ mg Co/kg}$). Mivel a kobalt geogén eredetű elem, ezért az ilyen mennyiségben való felhalmozódása nem megszokott. A kobalt természetes előfordulása a talajban átlagosan 18 mg Co/kg , kis mennyiségben esszenciális (CSATHÓ, 1994). Mobilis elem, de a 7,9-es pH nem megfelelő, hogy a talaj mélyebb rétegeibe mosódjon. Döntően természetes forrásból (pl. az alapkőzetből) származik, így valószínűsíthetően antropogén tevékenységből (pl. égetésből) ered a mennyiségnövekedés, melyet tovább fokoz a bolygatás hiánya a holttérben. A meder ezen szakaszán – akárcsak a korábbiakon – nem történt kotrás vagy medertisztás az utóbbi időben. Valószínűleg ez az egyik részleges oka az előző pontokon történt felhalmozódásoknak is.

6. – 7. – 8. mintavételi pont – Ezeken a mintavételi helyszíneken 2012-ben mederkotrás történt, így nem volt tapasztalható toxikus elemek megjelenése. A vízáramlása lassú volt, így a jövőben várható a szennyezések kiülepedése a holttérben (17. ábra).



18. ábra: Az ötödik és hatodik mintavételi pont környezete

9. mintavételi pont - A keresztshelvény kijelölése ~50 méterrel az Oroszlány-Kecskéd-vízfolrás betorkolása után történt. A talajmintában kiugró értéket mutatott az arzén ($T9=16,62$ mg As/kg). A sodorvonal ezen a helyszínen nem volt alkalmas elemakkumulációra, mivel a becsatlakozó vízfolyás miatt nagyobb víztömeg érkezik az érbe. A megtelepedés nem alkalmas sem a nád és sem egyéb vízi növények számára, így a víz könnyebben áramlik a Környei-tó felé. A begyűjtött talajminta kifejezetten tömörödött volt a taposás hatására, mivel ezen a szakaszon az ér partját rendszeresen kaszálják. A tömörödés hatására nem tudott belemosódni a talajmintában mért arzéntartalom a mederágyba. A holtteréből származó üledékben kiugró kobalt koncentrációt mértünk ($H9 = 312,4$ mg Co/kg), melyre a közelben lévő töltés anyagának kiporzása adhat magyarázatot.



19. ábra: A tizedik mintavételi pont környezete

10. mintavételi pont - A mérési pont ~ 50 méterre a Környei-tó kifolyója után lett kijelölve. A kifolyót keresztezi egy forgalmas főút, valamint kerékpárutat is létesítettek, mely hosszú kilométereken át követi a vízfolyás medervonalát. A talajban szennyezettségi határérték feletti volt az összes arzéntartalom ($T_{10} = 19,58 \text{ mg As/kg}$). A második keresztmetszethez hasonlóan (Bokodi-tó), itt is megtalálható volt a holttér üledékében az ólom, a cink illetve a réz, de határérték alatti mennyiségben ($H_{10} = 27,2 \text{ mg Pb/kg}$, $128,8 \text{ mg Zn/kg}$, $67,5 \text{ mg Cu/kg}$). A réz esetén meg kell említeni, hogy bár a mért érték a B szennyezettségi határértéket ($B_{Cu} = 75 \text{ mg Cu/kg}$) csak közelíti és a mérő helyszín közelében elterülő szőlős terület miatt a jövőben várhatóan túllépi majd. A három elem együttes előfordulása aktív horgászati tevékenységre is utal.

11. mintavételi pont - Az Által-ér szélessége 4 méter, a vízhozama nagyobb és az átlaghoz képest gyorsabb volt ezen a szakaszon. Így arra következtettem, hogy a korábban már említett mederkotrás (2012) és az erősebb sodrás következtében a toxikus elemek nem tudnak kiüledni, illetve a szervesanyag vagy agyagszemcsékhez kötődni.



20. ábra: A tizenegyedik mintavételi pont környezete

12. mintavételi pont - A meder itt már 5 méterre szélesedik, több kisebb ér és vízfolyás csatlakozik be az Által-érbe jelentősen megnövelve a vízhozamot. A mérési pont környezete városiasnak mondható, mivel itt kezdődnek bányahidai a hétvégi kertek. Ezen kertek felett a már részben rekultivált, de nagyrészt még be nem fedett erőműi pernyehányó helyezkedik el. A város közelségét jelzik a talajtulajdonságok is, a peremterületekre jellemző gyengén lúgos kémhatás, meszes, vázas, törmelékkel átkevert, homokos-vályog textúra. A holttérből származó üledékmintában természetes határérték alatti ólom ($A_{Pb} = 25 \text{ mg Pb/kg}$) és cink ($A_{Zn} = 100 \text{ mg Zn/kg}$) koncentrációt tudunk kimutatni a mérések során. A sodorvonalból gyűjtött üledék

mintában B határértéket túllépő arzénértéket ($S_{12} = 19,6 \text{ mg As/kg}$) mértünk, ami a pernyehányó közelségének tulajdonítható.

13. mintavételi pont – Ez a mérési pont a Bánhidai-tó előtti befolyó részen található. Ahogy a tizenkettes pontnál említésre került, onnantól kezdve ez a szakasz folyamatosan szélesedik és mélyül. Itt már magas a vízállás. A talajmintában réz volt kimutatható határérték alatt, a réz ez esetben a környező kiskerti réztartalmú permetezőszer használatára utalhat. Ugyanakkor a sodorvonal üledék mintájában újfent B határértéket túllépő arzén értéket ($S_{12} = 14,6 \text{ mg As/kg}$) mértünk az előző ponthoz hasonlóan.

14. mintavételi pont - A 14-es mintavételi pont a már nem működő Bánhidai Erőműi hűtőtó kifolyójánál lett kijelölve. A kifolyó környezete erősen szennyezett volt, illegális hulladéklerakással találkoztunk mind a partoldal, mind a meder esetén. A cink jelenléte a talajban és az üledékekben általános volt. Az üledékmintákban a kimutatható volt határérték felett a réz és nikkel, illetve az ólom extrém mennyiségben is ($H_{13} = 507,7 \text{ mg Pb/kg}$; $77,7 \text{ mg/Cu kg}$; $S_{13} = 82 \text{ mg Ni/kg}$). Feltételezhetően még az erőmű működése által kerülhettek a hűtőtóvizéből a patakmederbe a felsorolt toxikus elemek. A csekély sodrás miatt a holtterében a szennyező anyag kibocsátás miatt könnyen akkumulálódhattak. Ezen a mintavételi ponton már egyértelműen nem a bányászati tevékenység, hanem az erőműi hasznosítás során keletkezett a szennyezés.

15-16-17. mintavételi pont - Ezen mintavételi pontok már Tatabányán település területén lettek kijelölve. Az urbanizáció hatása miatt a pontok környezete már nem volt tiszta és rendezett az előző pontokkal ellentétben. A mintavételi pontok környékén általánosan tapasztalható volt az illegális hulladékok jelenléte, valamint a mederben lévő szemét mennyisége sem volt elhanyagolható (műanyag, üveg, vasdarabok). A 15-ös mintavételi pont esetén, körülbelül 200 méterre halad át az Által-ér felett az M1-es autópálya. A pont pH értékei szerint az itt található földtani közeg az átlaghoz képest savanyúbb volt, így toxikus elemek alig tudtunk kimutatni. A talajban és üledékekben egyaránt a cink az alapkőzetre jellemző természetes mennyiségben volt jelen. A 17-es számú talajmintában az arzén a szennyezettségi határértéket túllépte ($T_{17} = 25 \text{ mg As/kg}$).

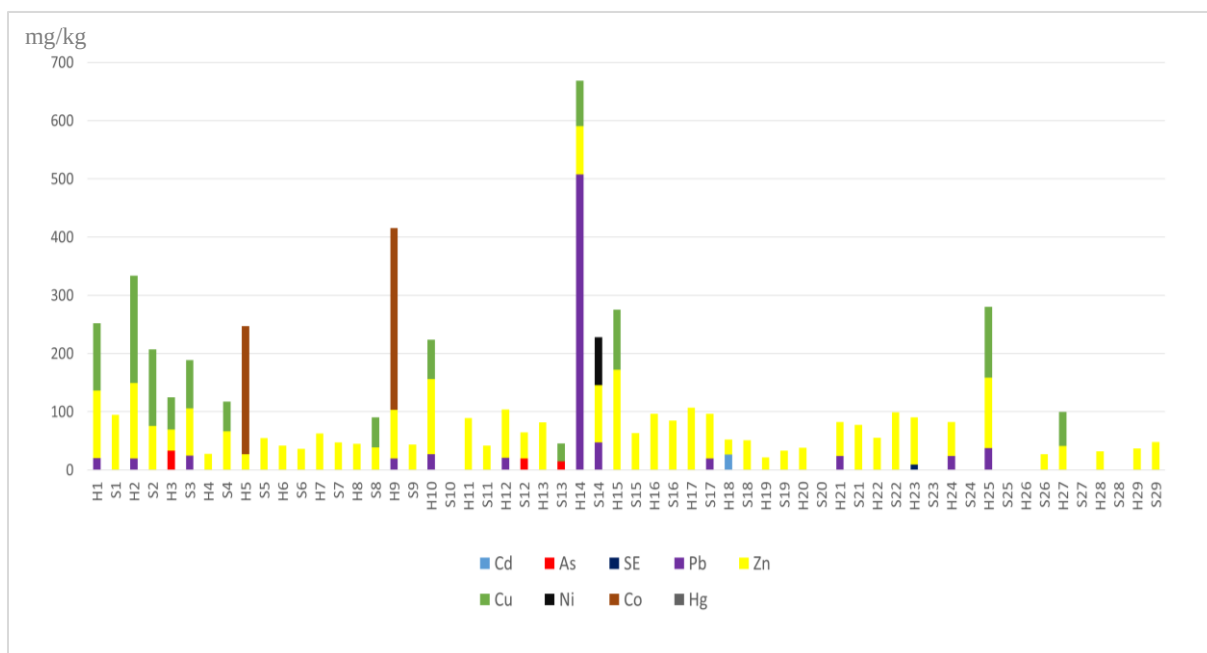
18-19-20. mintavételi pont – Ezen mintavételi pontok tavak ki- és befolyó részeinél lettek kijelölve. A 18-as mintavételi pont a Tatai Öreg-tó befolyójánál volt, ahol több a 10 méter széles mederviszonyok és az erős sodrás miatt nem volt lehetőség a sodorvonal megmintázására. A 19-es mintavételi pont, ami a Derítő-tó kifolyójánál, valamint a 20-as mintavételi pont a Derítő-

tó feletti Kacsás-tavak befolyó részénél került kijelölésre. A pontok környezete természetes jellegű volt, a part oldalak karbantartottak voltak, de az illegális hulladékok jelenléte itt-ott tapasztalható volt. A talaj fizikai féleség leiszapolható része (I+A frakciók összege) százalékosan megoszlásban elenyésző volt, ezáltal a kolloidok felületén a nehézfémek és egyéb toxikus elemek nehezebben akkumulálódhattak. A cink jelenléte a talajban és az üledékekben általános volt. A 19-es mintavételi pontnál a holttérben a kadmium szennyezettségi határérték felett volt kimutatható ($H_{19} = 26,56 \text{ mg Cd/kg}$ – $B_{Cd} = 1 \text{ mg/kg}$). A kadmium 1 mg/kg -os szennyezettségi határértékét tekintve (6/2009. (IV. 14.) KvVM-EüM-FVM együttes rendelet alapján) és uralkodó szélirány ismeretében elmondható, hogy Tata város és mellette elhaladó M1-es autópálya, illetve a hozzá kapcsolódó infrastruktúrából származó szennyező anyagai egyértelműen a város ezen részén ülepednek ki.

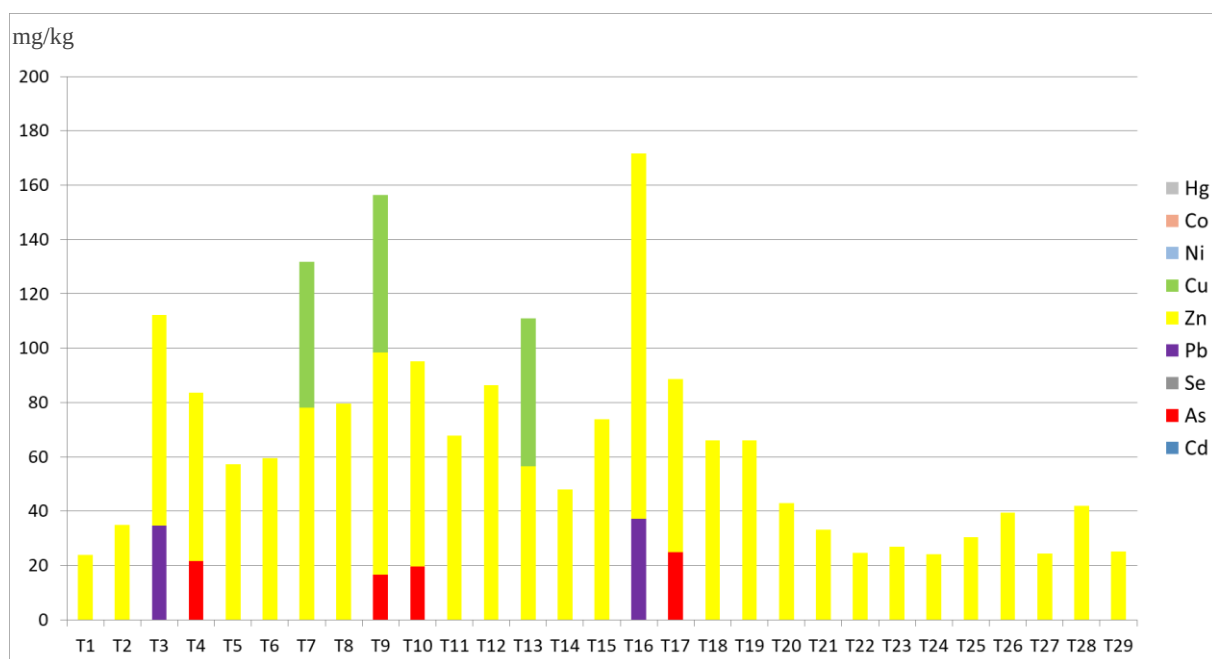
21-22-23-24. mintavételi pont – A III. szakasz mintavételi pontjai Dunaalmás és Tata községhatára, azon belül is az Öreg-tó kifolyó nyílása között találhatóak. A mintavételi pontok környezete egészen Tata város határáig természetes jellegű volt. A part oldalak karbantartottak voltak, az illegális hulladék jelenléte elenyésző volt. Az üledék- és talajminták kémhatása gyengén lúgos volt. Magas durva és finom homok frakciók százalékos megoszlása jellemezte a mintákat, ezáltal a kolloidok felületén a nehézfémek és egyéb toxikus elemek nehezebben akkumulálódnak. A cink jelenléte a talajban és az üledékekben általános volt. Az ólom kimutatható volt a H24-es ($24,11 \text{ mg Pb/kg}$) és H25-ös ($37,62 \text{ mg Pb/kg}$) holttér mintában szennyezettségi határérték alatt. A várostól távolodva, a szennyezettség erősen csökkent, a bányászati és ipari (erőműi) tevékenység hatása már nem volt érzékelhető a III. szakaszon.

25-26-27-28-29. mintavételi pont – Az utolsó mintavételi pont a Dunaalmásnál az Által-ér Duna torkolati pontja volt. Ezen mintavételi pontok környezetében nem volt jelen közvetlen ipari tevékenység. A pontok környezete természetes jellegű volt. Környezetszennyezésre utaló jel nem volt. A part oldalak karbantartottak voltak, az illegális hulladék jelenléte elenyésző volt. Általánosságban elmondható ezen pontokon a cink jelenléte határérték alatt ($\bar{A}t_{Zn} = 37 \text{ mg Zn/kg}$). Az üledék- és talajminták gyengén lúgosak voltak. A 25-ös mintavételi pontnál az ólom volt kimutatható határérték alatt ($37,67 \text{ mg Pb/kg}$) a holttér üledékmintájában. Az ólom esetében 100 mg/kg a szennyezettségi határérték a 6/2009. (IV. 14.) KvVM-EüM-FVM együttes rendelet alapján, mely a földtani közeg és a felszín alatti vízszennyezéssel szembeni védelméhez szükséges határértékekről és a szennyezések méréséről nyújt tájékoztatást. Tehát összességében megállapítható, hogy Tata várost elhagyva a jelentős szennyezés nem mutatkozott az Által-ér mentén a torkolatig.

Összegzőképpen készítettem el a 19-20 ábrát, mely az eddig bemutatott mintavételi helyek potenciálisan toxikus elemtartalmait szemlélteti. Az ábra alapján megállapítható, hogy az 1., 4., 8. és 9. pontok holtterének üledékeiben felhalmozódtak fel leginkább az elemek mennyiségi szempontból. Ha a toxikusságot tartjuk szem előtt, akkor pedig 2. ponton a Bokodi erőműi kifolyónál tapasztaltam jelentős felhalmozódást, ahol mind 3 mintatípusban mutatkozott terhelés. Ugyanakkor 3. 8. 9. és 11. pont is potenciális veszélyforrása a nehézfémeknek.



21. ábra: Mintavételi pontok toxikus elem megoszlása az üledékmintákban



22. ábra: Mintavételi pontok toxikus elem megoszlása a talajmintákban

Az alábbi táblázatokban láthatók a statisztikai összefüggések az egyes vizsgált paraméterek között.

Holttér (H)	pH H ₂ O	CaCO ₃ %	A%	I%	FH%	DH%	Cd	As	SE	Pb	Zn	Cu	Co
pH H ₂ O			0,83	0,76	0,70	0,96	0,70		0,70	0,76	0,67	0,62	
CaCO ₃ %			0,83	0,92			0,91						0,76
A%							0,76	0,76	0,76	0,84			
I%			0,96				0,77		0,97	0,83			
FH%							0,88			0,84			0,60
DH%							0,80			0,68			
Cd								0,85	0,85	0,80			0,80
As									0,85	0,81			0,79
SE										0,82	0,76		0,77
Pb													0,85
Zn													0,78
Cu											0,64		
Co													

7. táblázat: Korrelációs összefüggések $p=0,05$ szignifikancia szinten a holttér minták és a vizsgált talajtulajdonságok között (n=29)

Sodorvonal (S)	pH H ₂ O	CaCO ₃ %	A%	I%	FH%	DH%	As	Pb	Zn	Cu	Ni
pH H ₂ O		0,79	0,96				0,70	0,65			0,79
CaCO ₃ %			0,64					0,75			
A%					0,82		0,70			0,73	
I%			0,96								
FH%								0,78		0,62	0,94
DH%				(-0,71)	(-0,81)						
As								0,66		0,97	0,79
Pb											
Zn				0,70							
Cu											0,69
Ni								0,82			

8. táblázat: Korrelációs összefüggések $p=0,05$ szignifikancia szinten a sodorvonal minták és a vizsgált talajtulajdonságok között (n=28)

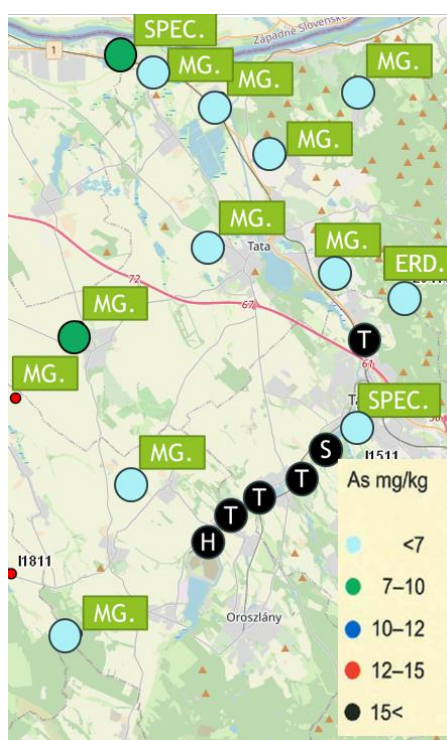
Talaj (T)	pH H ₂ O	pH KCl	CaCO ₃ %	A%	I%	FH%	DH%	As	Pb	Zn	Cu
pH H ₂ O							0,92				0,86
pH KCl	0,71										0,88
CaCO ₃ %	0,70	0,61				0,84	0,68	0,64			
A%									0,84		
I%				0,94							
FH%				(-0,94)	(-0,94)				0,77		
DH%				(-0,69)	(-0,82)						
As											
Pb											0,63
Zn											
Cu											

9. táblázat: Korrelációs összefüggések $p=0,05$ szignifikancia szinten a talajminták és a vizsgált talajtulajdonságok között ($n=29$)

A minták eredményeit normalitás vizsgálatnak vettem alá, de csak nagyon kevés változó mutatott normális eloszlást. A korrigált adatsorok a transzformáció és a Kolmogorov-Smirnov teszt elvégzése után sem mutattak normális eloszlást, így a továbbiakban kizáródott a PCA, valamint paraméteres és nem paraméteres statisztikai próbák (t-próbák, variancia-analízis (ANOVA)) elvégzésének lehetősége. Tehát a rendkívül változatos meder morfológia és üledékek eredményei nem mutattak normális eloszlást. A vizsgált minták és a vizsgált elemek közötti kapcsolatok kimutatására korrelációs számítást végeztem. A 7. és 8. korrelációs táblázatból jól látszik, hogy a sodorvonalból és a holttérből származó üledékminták hasonlóan viselkednek. Sodorvonalban több a 2 mm-nél nagyobb átmérőjű talajszemcse (pl. kavics) található, ezért a mész és a pH között szignifikáns a kapcsolat. A talaj frakció közül az iszap és az agyag frakciók mutattak szignifikáns összefüggést a pH és a mésztartalommal. A holttérben, ahol a szemcsék könnyebben leülepedhetnek és sokkal több a finomszemcse is található, melyhez a toxikus fémek ($R^2_{A\%-Cd} = 0,76$; $R^2_{A\%-As} = 0,76$; $R^2_{A\%-Se} = 0,76$; $R^2_{A\%-Pb} = 0,84$) kötődhetnek a bolygatatlan környezetben. A legerősebb korrelációt a szelén és I% között találtam a holttérben ($R^2_{I\%-Se} = 0,97$), mely szoros kapcsolatról már Kádár (1995) is írt, mint kiemelten veszélyes szennyező, ami növényben, állatban, emberben mérgező mennyiségben felhalmozódhat és toxikus formában való vertikális mozgása miatt a talajvizet is veszélyezteti. A sodorvonal mintákban a legerősebb korrelációt a réz és arzén mutatta ($R^2_{Cu-As} = 0,97$), melyek az agyag frakciókhoz kötődtek. A talajminták esetén az általános talajtulajdonságok a szokásos összefüggéseket mutatták. A réz szignifikáns összefüggést mutatott a pH értékekkel, melyet a 2. mintavételi pont esetén már említettem.

7.3 A TIM pontrendszerre vonatkozó adatkiegészítés

A kapott eredmények közül az arzén jelenléte volt kimutatható leginkább az Által-ér mentén, így a dolgozat elején közölt térképet kiegészítettem az eredményeimmel. Ez alapján jól látható, hogy bár a környék TIM talaj adatai nem mutattak határérték túllépést, de az eddig hiányzó Által-ér völgy erős As szennyezettséget mutat.



23. ábra TIM pontrendszer térkép adatkiegészítése
(http://airterkep.nebih.gov.hu/gis_portal/tim/tim_kereso.htm)

MG.: Mezőgazdasági TIM-pont

SPEC.: Speciális TIM-pont

H: Holttér minta

S.: Sodorréteg minta

T.: Talajminta

Az eredményekkel kapcsolatban megjegyzendő, hogy a TIM pont rendszer ICP-s összes elem meghatározásra és a 6/2009-es földtani közrege vonatkozó rendelet határértékeire támaszkodik a kiértékelésnél. A kapott kézi XRF-el mért eredményeim kevésbé megbízhatók a műszer érzékenysége miatt, azonban a terület arzén szennyezettsége még egy ilyen kevésbé pontos műszerrel is kimutatható, tehát vizsgálataimat a minták ICP-s mérésével fogom folytatni az összehasonlíthatóság érdekében. Továbbá a Bokodi erőmű újraindításának lehetősége tovább növeli a területen a környezeti kockázatokat. A dolgozat eredményeit továbbítottam az érintett

települések vezetőségei felé, valamint a vizsgálatokra engedélyt kiadó Észak-dunántúli Vízügyi Igazgatóság részére további használatra.

Összegzőképpen megállapítható, hogy sikerült felmérni a területet és teljesíteni a dolgozatom elején megfogalmazott célokat. Az Által-ér völgyben hiánypótló eredményeket sikerült felmutatni, mellyel a TIM-pont rendszer a későbbiekben kiegészíthető lesz.

Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretném megköszönni témavezetőmnek, Dr. Horváth Adrienn adjunktus asszonynak a témakidolgozás során nyújtott segítségét és útmutatását. Prof. Dr. Bidló Andrásnak az elméleti kérdések megoldásában nyújtott értékes tanácsokat, és a laboratóriumi munkatársaknak a vizsgálatok elvégzésében nyújtott türelmét és szakmai segítségét.

Felhasznált irodalom

- BARTHA A. (1998) Geokémia-Geoanalitika: Ritka elemek, víz és környezetgeokémia. Magyar Állami Földtani Intézet Laboratóriumi Főosztály. Budapest. p 97-114,
- BELLÉR P. (1997) Talajvizsgálati módszerek. Egyetemi jegyzet, Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Termőhelyismerettani Tanszék, Sopron. p. 118.
- CZIROK I., SZOLNYIK CS. (2019) Földrajzi lehatárolás, tájtipológia, tájszerkezet. In: FÜHRER E. (szerk.): Magyarország erdészeti tájai III. dunántúli-középhegység erdészeti tájcsoport. Agrárminisztérium Nemzeti Földügyi Központ, Budapest. pp. 361-363.
- CSATHÓ P. (1994) A környezet nehézfém szennyezettsége és az agrártermelés, Tematikus szakirodalmi szemle, MTA-TAKI, Akaprint, Budapest. p. 176,
- BERKI I., BIDLÓ A., BÖLÖNDI J., VIG P. (2019) Természetföldrajzi jellemzés, In FÜHRER E. (szerk.): Magyarország erdészeti tájai III. dunántúli-középhegység erdészeti tájcsoport. Agrárminisztérium Nemzeti Földügyi Központ, Budapest, pp. 364-381.
- FILEP GY. (1988) Talajkémia, Akadémiai Kiadó, Budapest, p. 292.
- HORVÁTH A. (2016) Városi és város környéki talajok vizsgálata Sopron és Szombathely területén, Sopron, p. 150.

- KÁDÁR I. (1995) A talaj-növény-állat-ember tápláléklánc szennyeződése kémiai elemekkel Magyarországon. Környezet- és természetvédelmi kutatások. KTM; MTA TAKI, Budapest. p. 359.
- MÜLLER H.W., SCHWAIGHOFER B., KALMAN W. (1994) Heavy metal contents in river sediments, *Water Soil Air Pollut* 72:191–203.
- NÉMETH J. (2015) Által-ér vízgyűjtő-gazdálkodási tervezési alegység, Győr, p. 2-12.
- PICKERING WF (1986) Metal ion speciation-soils and sediments (a review), *Ore Geol Rev* 1:83–146.
- RAURET G. (1998) Extraction procedures for the determination of heavy metals in contained soil and sediment, *Talanta* 46:449-455.
- RIEZING N. (2005) Adatok az Által-ér-völgy flórájához. p.128
- SIMON L. (2005) Toxikus elemek akkumulációja, fitoindikációja és fitoremediációja a talaj-növény rendszerben, MTA Doktori értekezés, p. 205.
- SOARES H.M.V.M., BOAVENTURA R.A.R., MACHADO A.A.S.C., ESTEVES DA SILVA J.C.G. (1999) Sediments as monitors of heavy metal contamination in the Ave river basin (Portugal): multivariate analysis of data, *Environ Pollut.* 105:311-323.
- STEFANOVITS P., FÜLEKY GY., FILEP GY. (2010) *Talajtan.* p. 32, 305. 15.2. ábra.
- STEFANOVITS, P., FILEP, GY., FÜLEKY, GY. (1999): *Talajtan.* Mezőgazda Kiadó, Budapest. p. 470.
- SZEGEDI L. (2011) Toxikus nehézfém-szennyezés utóhatásának vizsgálata barna erdőtalajokon, Doktori értekezés, SZIE, Gödöllő, p. 155.
- TÓTH O. (2019) A nehézfém-szennyezés vizsgálata a nagymuzsalyi aranybánya egyik meddőjének környezetében. p. 34.
- VKKI & ÉDUKÖVIZIG (2009): KÖVIZIG-ek Konzorciuma és az ÖKO Zrt. vezette vállalkozói Konzorcium 2009. május, p 4-18, meddőjének környezetében, Beregszász, 2019. p. 11.

Internetes források:

http://airterkep.nebih.gov.hu/gis_portal/tim/tim_kereso.htm

<http://www.vert.hu/markushegy.aspx>

<https://www.google.com/intl/hu/earth/>