

DIPLOMADOLGOZAT

Bódis Bálint
Környezetmérnök Msc.

Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem
2023



**Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem
Szent István Campus
Környezetmérnöki Szak**

Arzén koncentrációk vizsgálata a Tápió vízgyűjtőterületén

Belső konzulens:	Kruppiné Dr. Fekete Ilona Krisztina egyetemi adjunktus
Külső konzulens:	Papp Monika minőségirányítási megbízott, műszeres analitikus Környezetvédelmi Mérőközpont
Készítette:	Bódis Bálint Tamás OJJGML tagozat: levelező
Intézet/Tanszék:	Környezettudományi Intézet Környezetanalitika és Környezettechnológiai Tanszék

**Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem
2023**

Tartalom

Tartalom	2
1. Bevezetés és célkitűzések.....	4
2. Szakirodalmi áttekintés.....	6
2.1. Jogszabályok és határértékek.....	6
2.2. Az arzén	6
2.2.1. Arzén előfordulása kőzetekben, ásványokban.....	7
2.2.2. Arzén a természetes vizekben.....	8
2.2.3. Bioakkumuláció.....	10
2.2.4. Antropogén eredetű szennyezés	10
2.2.5. Az arzén toxicitása.....	11
2.2.6. Arzén felhasználása	11
2.2.7. Az arzén Magyarországon	12
2.3. A Tápíó	14
2.3.1. Elhelyezkedés	14
2.3.2. Geokémia.....	15
2.3.3. Talajok.....	16
2.3.4. Éghajlat.....	16
2.3.5. Felszín alatti vizek	16
2.3.6. Felszíni vizek.....	17
2.3.7. Terület felosztása	18
2.3.8. Felszíni vízkivételek	19
2.3.9. Kommunális szennyvíztisztító telepek	20
2.3.10. Bevezetések a patakokba	20
2.3.11. Víztestek állapota.....	20
2.3.12. Tápíószelei kármentesítés alatt álló terület	22
2.4. Mintavétel módszerei.....	23
2.5. Elemek meghatározása	24
2.5.1. Spektrofotometriás meghatározás	24
2.5.2. Atomspektroszkópiás elemanalitikai módszerek.....	25
2.5.3. Az induktív csatolású plazma sugárforrás	25
2.5.4. ICP-OES	26
2.5.5. ICP-MS.....	26
3. A vizsgálatok módszerei.....	31
3.1. Mintavétel	31
3.2. Mintavételek tapasztalatai.....	32

3.3.	Üledék mintavétele	36
3.4.	Mintaelőkészítés	38
3.4.1.	Feltárás királyvízzel.....	39
3.4.2.	Mikrohullámú előkészítés (roncsolás).....	39
3.5.	Mederüledék elemtartalmának vizsgálata ICP-OES készülékkel.....	39
3.6.	Felszíni vizek vizsgálata ICP-MS készülékkel	41
3.7.	Arzén mérés felszíni vízből ICP-MS-sel	43
3.7.1.	Ütközési cella és KED mód alkalmazása	44
3.8.	Üledékminták összes szerves széntartalmának (TOC) meghatározása	46
3.8.1.	A vizsgálat elméleti háttere:	46
3.8.2.	Mérés kivitelezése:	46
4.	Eredmények és értékelésük	48
4.1.	Mintavételek 2022 július és december között.....	48
4.2.	Összes arzén - oldott arzén kapcsolata.....	51
4.3.	Egyesült-Tápió, 2022.11.01-i mintavétel	53
4.4.	Üledék vizsgálatok.....	55
4.4.1.	Eredmények korlátai.....	58
4.4.2.	Összehasonlítás a határértékkel és a geokémiai nagytáj jellemző értékeivel.....	58
4.4.3.	Minták összetétele	59
4.5.	Korábbi adatok - Egyesült-Tápió Tápiógyörgye	61
4.5.1.	2020-2022-es koncentráció adatok.....	63
4.6.	Összefüggés a vízhozammal	64
4.7.	Összefüggés az oldott-oxigénnel	66
4.8.	Összefüggés az összes foszforral, összes nitrogénnel, szulfáttal, pH-val.....	69
5.	Következtetések és javaslatok	71
6.	Összefoglalás	73
7.	Köszönetnyilvánítás	75
8.	Hivatkozások	78

1. Bevezetés és célkitűzések

Számos vízfolyásunk vízminősége nem éri el a jó állapotot. Ennek az oka lehet a szerves anyagok és növényi tápanyagok túlzott jelenléte, magas oldott sótartalom, toxikus elemek vagy szerves mikroszennyezők jelenléte. Magyarországon a Víz Keretirányelv (VKI) előírásai a hazai vízgazdálkodási, vízvédelmi szabályozásnak részét képezik. (OVF, 2022) Az arzén úgynevezett PBT (perzisztens, bioakkumulatív és mérgező) elem, amely a szigorú határértékek miatt számos felszíni víz esetében jelent problémát. Magyarország vízgyűjtő-gazdálkodási tervének második felülvizsgálata (röviden: VGT3) szerint a vizsgált 886 felszíni vízfolyás közül 220 az arzén miatt nem megfelelő állapotú.

A Víz Keretirányelv, vagyis a vízvédelmi politika terén a közösségi fellépés kereteinek meghatározásáról szóló, 2000. október 23-i 2000/60/EK európai parlamenti és tanácsi irányelv általános célja a felszíni és felszín alatti vizek jó állapotának elérése. A VKI előírt feladatainak végrehajtása a tagállamok számára kötelező. Magyarországon a VKI előírásai a hazai vízgazdálkodási, vízvédelmi szabályozásnak részét képezik. (OVF, 2022)

Egyesült-Tápió Tápiógyörgyénél a VKI monitoring programban szereplő mintavételi hely. A víztest a VGT3 specifikus szennyezőanyagok szerinti minősítése alapján a víztest állapota nem megfelelő, mert az oldott-arzén koncentráció túllépi a megállapított éves átlag (AA-EQS) és év közben a maximális (MAC-EQS) értékeket.

A Tápió vízgyűjtőn a VKI mintavételeket és a minták laboratóriumi elemzését a Pest Megyei Kormányhivatal, Környezetvédelmi, Természetvédelmi és Hulladékgazdálkodási Főosztály, Környezetvédelmi Mérőközpont (PMKH KTHF KM) végzi. Az utóbbi három év során a havonta történő mintavételeknél megfigyeltük, hogy minden évben a nyári hónapokban magas az oldott arzén koncentrációja, míg a téli és tavaszi hónapokban átlagosnak mondható 2-3 µg/l. A további 6 víztestet magába foglaló Tápió vízgyűjtőterületén az utóbbi évek VKI programjaiban nem szerepeltek olyan mintavételek, amelyeknél fémek és félfémek vizsgálata előírt lett volna, így azok esetében legfeljebb korábbi eredmények állhatnak rendelkezésre.

Dolgozatom központjában a Tápió vízgyűjtőjének felszíni vizei állnak, amiket havi rendszerességgel történő mintavételekkel toxikus fémekre vizsgáltam 2022. július és december között. Ezek mellett korábbi évek adataira is támaszkodom az elemzések során. A dolgozat célja a Tápió mintaterület felszíni víz arzén koncentrációjának mérése és értékelése, az arzén eredetére való lehetséges magyarázatokkal, valamint javaslatokkal a további vizsgálatokra.

A munkám készítése során a következő méréseket és elemzéseket végeztem:

- Felszíni víz és üledék mintavételek 2022. július és december között.
- Felszíni vízből oldott toxikus elemi szennyezők mérése ICP-MS készüléssel.
- Üledékminták fém- és félfémtartalmának meghatározása királyvizes feltárásból ICP-OES készüléssel.
- Összes szén (TC), szerves szén (TIC) és szerves szén (TOC) meghatározása szárazhamvasztást követő infravörös detektálással.
- Korábbi felszíni víz mérési eredmények értékelése.

A laboratóriumi elemzések a PMKH KTHF Környezetvédelmi Mérőközpontban történtek.

2. Szakirodalmi áttekintés

2.1. Jogsabályok és határértékek

Magyarországon az arzén a felszín alatti vizekben, elsősorban a Dél-Alföldön okoz problémát. Az ivóvíznyerésre használt rétegvizekben az arzén a határérték többszörösét is meghaladhatja.

Az ivóvízben korábban 50 µg/l volt a határérték, amely a WHO 1971-es ajánlásában is szerepelt. Később ezt az ajánlást 1993-ban 10 µg/l-re csökkentették. Magyarországon az ivóvízben a 201/2001 (X. 25.) Kormányrendelet alapján 10 µg/l lett a határérték, amelyet az azt hatályon kívül helyező, jelenleg hatályos 5/2023 (I. 12.) Kormányrendelet is tartalmazza.

A határérték 50 µg/l-ről 10 µg/l-re történő csökkentésére az Európai Unióhoz való csatlakozás miatt volt szükség, az ivóvízkitermelésnél a magasabb arzéntartalmú felszín alatti vizekből nyert ivóvíz esetén arzéneltávolítás szükséges.

A 10/2010 (VIII. 18.) VM rendelet tartalmazza a felszíni vizekre vonatkozó környezetminőségi és vízminőségi (együtt vízszennyezettségi) határértékeket. A rendelet és 3. mellékletében a felszíni víz ökológiai állapotát befolyásoló vízminőségi határértékek, köztük az oldott cink, réz, króm és oldott arzénre vonatkozó vízminőségi határérték kerül meghatározásra. Ezen elemek egyéb iránt az ún. vízgyűjtő specifikus elemek, melyek a Duna Védelmi egyezményvel összhangban kerültek meghatározásra. A vízminőségi határérték éves átlagértékként meghatározott szennyezettségre utal. A meghatározott vízminőségi határérték arzén esetében 20 µg/l, 90%-os tartóssági értékek alapján, de ha az oxigénháztartás és tápanyagforgalom a célértékektől lényegesen eltér (tápanyag meghaladja a határérték kétszeresét, illetve az oxigén nem éri el a felét) a mért értékek szerint lesznek minősítve.

A 6/2009. (IV. 14.) KvVM-EüM-FVM együttes rendelet határozza meg a földtani közeg és felszín alatti víz szennyezettségi határértékeit. Az alkalmazandó (B) szennyezettségi határértékeket a földtani közegre az 1. melléklet és a 3. melléklet (A) része, felszín alatti vizekre vonatkozókat a 2. melléklete és a 3. melléklet (B) része tartalmazza. Arzén esetében a földtani közegre meghatározott határérték 15 mg/kilogramm szárazanyag, a felszín alatti vizekre 10 µg/l.

2.2. Az arzén

Az arzén a periódusos rendszer V. A főcsoportjának eleme, rendszáma 33, a félfémek közé soroljuk. Egyetlen természetben előforduló izotópja a ⁷⁵As. Négyféle oxidációs állapotban fordul elő, -3, 0, +3 és +5. Az arzén minden környezeti elembe előfordul, megtalálható a

kőzetekben, a talajokban, felszín alatti és felszíni vizekben, az élőlényekben, az eróziós folyamatok, égetés, tüzek, vulkáni tevékenység révén atmoszférában egyaránt. A növények és állatok számára nem esszenciális elem. (Ferguson & Gavis, 1972)

2.2.1. Arzén előfordulása kőzetekben, ásványokban

Az átlagos koncentrációja a földkéregben 1,5 és 2 mg/kg között van, ezzel a 20. leggyakoribb elem (Reimann & Caritat, 1998), legalább 245 ásványfajában megtalálható. Általában más elemekkel vegyületeket alkotva található meg, de kis mennyiségben előfordulhat elemi formában is. A magmás kőzetek arzén tartalma 1 - 2,5 ppm között változik. Előfordul kvarcban, földpátokban, egyéb alumínium-szilikátokban és vasércben. A szilikátrácsban lévő Fe^{3+} vagy Al^{3+} -at is helyettesítheti. (Onishi & Sandell, 1955) (De Vos, et al., 2006) Ezekben az arzéntartalom nem korrelál egyetlen főalkotóval sem. A palákban általában 5 – 15 ppm tartományban van, homokkőben és mészkőben ennél jóval kisebb mennyiségben fordul elő. Az üledékes kőzetekben általában magasabb az arzén mennyisége, mint a magmás kőzetekben. Ez a dúsulás nem magyarázható teljes egészében a kőzetek mállásával, nagy szerepet játszhat benne a vulkanikus exhaláció és a hidrotermális folyamatok, melyek során az arzén illékony, vagy vízoldható vegyületek formájában távozik a kéreganyagból. (Onishi & Sandell, 1955) Az arzén kalkofil elem, erős az affinitása a kénhez, ezért szulfid telepeken nagy mennyiségben van jelen. Itt arzenidekként, szulfidokként, szulfosókként, és oxidokként, arzenitekként és arzenátokként fordul elő. (Levander, et al., 1977, p. 16) Legfőbb szulfid ásványai a realgár (As_4S_4), auripigment (As_2S_3) és arzenopirit ($FeAsS$). (De Vos, et al., 2006) További szulfid ásványokban is előfordulhat szennyezőként jelentős mennyiségben, amelyek közül a legjelentősebb a pirit, amelyben átlagosan 0,02-05%-ban van jelen. (Levander, et al., 1977) Arzén-trioxid formában is előfordul, melynek két allotróp módosulata van, a köbös arzenolit és a monoklin klaudetit, melyek másodlagos ásványként találhatóak meg az arzénban gazdag ércek oxidációs zónáiban. Ezek mellett amorf formában is előfordulhat. Az arzenolit As_2O_3 molekulákból áll. A -3 oxidációs állapotában fémes arzenidekben fordul elő, mint a kobalt-arzenid, nikkeldiarzenid, nikkelarzenid, kobalt-arzenid-szulfid, rézarzenid-szulfid vagy a vas-diarzenid. Arzenitekben az arzén +3 oxidációs számmal alumínium, bárium, bizmut, kalcium, kobalt, réz, vas, ólom, magnézium, mangán, uránium és cink elemekkel alkotott ásványokban fordul elő. (National Research Council, 1977) +5 oxidációs számmal az arzenátokban van jelen. Az arzenátok a foszfát ásványosztály alosztálya, melynek alapegysége az $[AsO_4]^{3-}$, tetraéder. Ilyen például a vas arzenát vagy szkolodrit $FeAsO_4 \cdot 2H_2O$. (Wiertz, et al., 2006) (Hudson-Edwards, 2005) Foszfát ásványokban - például apatitban - nagyobb

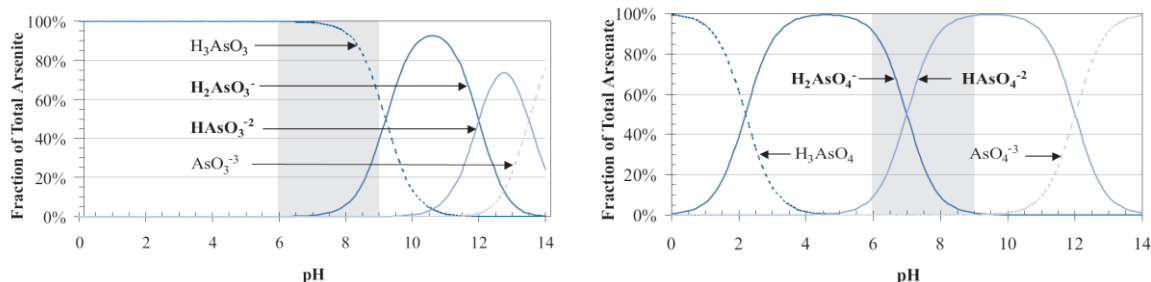
mértékben fordul elő (Tremearne & Jacob, 1941), mivel képes izomorf szubsztitúcióval az öt vegyértékű foszfort helyettesíteni a PO_4^{3-} és az AsO_4^{3-} csoportok hasonlósága miatt. (Hudson-Edwards, 2005) Emiatt a foszfát műtrágyákba is bekerül. (Tremearne & Jacob, 1941)

2.2.2. Arzén a természetes vizekben

A felszíni vizekben ritkán van jelen nagy koncentrációban, míg a felszín alatti vizekben bizonyos körülmények között előfordulhatnak magas, mg/l feletti arzén koncentrációk. Ennek oka a nagy arzéntartalmú kőzetek és a redukáló környezet, amely kedvez az arzén kioldódásának.

Környezetben jelenlévő arzén mobilitását és biológiai hozzáférhetőségét a kémiai formája határozza meg. Az olyan folyamatok, mint az redukció-oxidáció, az adszorpció-deszorpció, a kicsapódás-oldódás és a mikroorganizmusok által végzett további átalakítások meghatározzák, hogy az arzén milyen fázisban van jelen a környezeti elemekben. (Ferguson & Gavis, 1972)

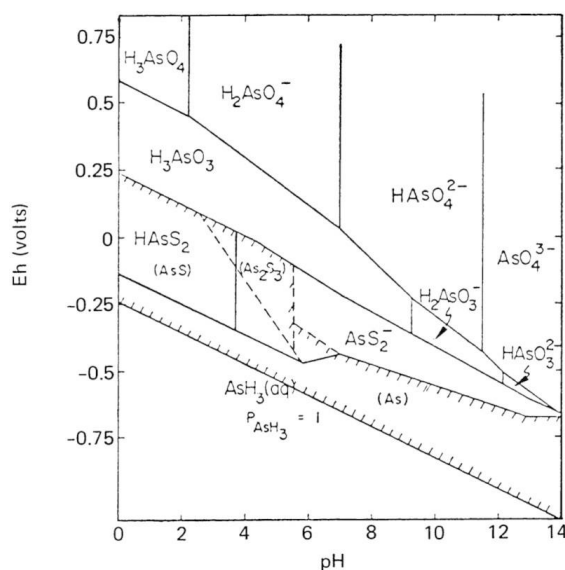
A természetes vizekben általában a trivalens As(III) és pentavalens As(V) formában van jelen. 6 és 9 közötti pH tartományban az As(III) disszociálatlan arzénessav (arsenous acid, H_3AsO_3) formája stabil, az As(V)-nek az arzénsav (arsenic acid, H_3AsO_4) egyszeres vagy kétszeres töltésű anionjai (H_2AsO_4^- és HAsO_4^{2-}) vannak jelen az oldatban. (Öllös, 1998) Az arzénessav pK_a értékei: 9,23, 12,13, 13,40, az arzénsav pK_a értékei: 2,20, 6,97 és 11,53. (National Research Council, 1977) Az 1. és 2. ábrán az arzenit és arzenát pH egyensúlyi diagramja látható. forrás: (Eames, et al., 2014)



1. ábra: Arzenitek és a pH összefüggése (Eames, et al., 2014) 2. ábra: Arzenátok és a pH összefüggése forrás: (Eames, et al., 2014)

Oxidatív környezetben az arzenát, míg redukáló környezetben az arzenit forma a domináns. Levegőztetett vizekben a kedvező termodinamikai feltételek mellett is arzenit arzenáttá való oxidációja igen lassú folyamat, napokat, heteket vesz igénybe és ritkán tud végbe menni teljesen. Az arzénformák egymásba alakulása bakteriális közvetítéssel vagy fizikokémiai folyamatként történhet. Az arzenit - arzenát transzformációját számos baktérium képes

végrehajtani. A trivalens formában az arzén sokkal toxikusabb, mint a pentavalens formában. (Ferguson & Gavis, 1972) Az 3. ábrán az a szervesetlen arzénfajták egyensúlyi ábrája látható.



3. ábra Gyakori arzénformák E_H -pH diagramja forrás: (Ferguson & Gavis, 1972)

Magas E_H értékeken oxigéndús vízben az arzénsav specieszek (H_3AsO_4 , $H_2AsO_4^-$, $HAsO_4^{2-}$ és AsO_4^{3-} , míg közepesen redukáló körülmények között az azénessav specieszek (H_3AsO_3 , $H_2AsO_3^-$, $HAsO_3^{2-}$) válnak stabilá. 5,5 alatti pH-n és 0 körüli E_H -n az alacsony oldhatóságú -szulfid ionokkal alkotott vegyületek alakulnak ki. (Ferguson & Gavis, 1972)

Természetes vizekben vas és mangán oxi-hidroxidok az oldott-arzén koncentrációját erősen befolyásolja, a szervesetlen arzénformák adszorpciója a kolloid részecskék felületén és az együttes kicsapódás, kiülepedés révén. A vas és mangán oxi-hidroxidokon, valamint a szerves anyagon és agyagon történő szorpció különös jelentőséggel bír az arzén geokémiai ciklusában. (Ma, et al., 2015) A szorpció révén az üledékekben az arzén felhalmozódik, ugyanakkor redukzív körülmények között képes újra mobilizálódni. A vizekben a kolloid méretű vas(III) oxi-hidroxid ásványok mint a ferrihidrit, geotit nagy mennyiségű arzént képesek megkötni. Ezen ásványok redukáló környezetben történő átalakulásával a felületükön kötésben lévő arzén föl tud szabadulni. Ehhez olyan viszonyok kellenek, hogy Fe(III)/Fe(II) redukciója megtörténjen, aminek eredményeként arzenit-ion $[AsO_3]^{3-}$ keletkezik és Fe(II) vegyület (pl. ankerit, sziderit). Az arzén felszabadulásának kedvező redox potenciál alsó határa, ahol a szulfid anionok képződnek a rendszerben, melyekkel arzén-szulfid vegyületek képződnek. (Csalagovits, 1994) szulfidok jelenlétében az arzéntrisulfid, realgár vagy arzenopirit képződnek, melyek gyenge vízoldhatóságuk miatt kicsapódnak, és az üledékben akkumulálódnak. (Öllős, 1998) (National Research Council, 1977) Levegőztetett vízben az

arzén (V) versenyben lehet az ortofoszfát ionokkal a vas- és mangán-oxid szemcséken az adszorpciós helyekért, így az nagy foszfátkoncentráció mellett oldatban maradhat. (Öllös, 1998)

Vas és mangán oxi-hidroxidok felületi töltése befolyásolja az arzén megkötését. A felületi töltés függ a pH-tól. A fő arzénmegkötő Fe(III) oxi-hidroxidok pH 3,0-7,0 tartományban döntően pozitív töltésűek, míg pH 8,0 - 10 tartományban negatív töltésűek, így a pH növelésével drasztikusan csökken az arzén megkötése a szemcsék felületén. A természetes vizek pH tartományában a töltéssel rendelkező H_2AsO_4^- és HAsO_4^{2-} ionokként jelen lévő arzén(V) könnyebben adszorbeálódik, mint a töltéssel nem rendelkező, H_3AsO_3 , így az utóbbi nehezebben halmozódik fel könnyebben mobilizálódik (Ma, et al., 2015).

A talajokban a nehéz ásványi frakcióban is jelen van, ugyanakkor az arzéntartalom túlnyomó részét az agyagfrakcióban a szemcsék felületén, a humuszon, és a Fe-Mn oxi-hidroxidokon kötött arzén adja. Magasabb koncentrációban fordulhat elő az alluviális talajokban az üledékekben való felhalmozódása miatt. (Wiertz, et al., 2006) A feltalajokban inkább az arzén(V) dúsul fel. (Szoboszlai & Kriszt, 2014, p. 42) Savas talajokban főként alumínium- és vas-arsenát (AlAsO_4 és FeAsO_4), míg lúgos és meszes talajban $\text{Ca}_3(\text{AsO}_4)_2$ formában van jelen. Az alumíniummal és vassal kötésben lévő arzén felszabadulása talajpotenciál csökkenésével, hidrolízis útján történhet. Redukáló körülmények között és a pH növekedésével a - többi toxikus fémmel ellentétben - az As mobilitása megnő. (Ma, et al., 2015)

2.2.3. Bioakkumuláció

A bioakkumuláció révén a tengeri élőlényekben jelentős mennyiségű arzén halmozódik fel. Míg a tengervízben az átlagos koncentrációja 0,05-5 $\mu\text{g/l}$, a tengeri növényekben 1-12 mg/kg, a tengeri állatokban 0,1-50 mg/kg koncentrációban van jelen. Az édesvízi élőlényekben sokkal kisebb mértékben halmozódik fel. (Ferguson & Gavis, 1972)

2.2.4. Antropogén eredetű szennyezés

Fő antropogén szennyezőforrás a szulfidércék pörkölése. Az arzént tartalmazó ércek feldolgozása az arzén lokális feldúsulását eredményezheti. A legtöbb arzén a réz, ólom, arany és ezüst ércekből történő kivonása során keletkezik melléktermékként. (Szoboszlai & Kriszt, 2014) Antropogén források a kohászat, tüzelés, a felhagyott bányák savas bányavizei, bányameddők, a hígtrágya, foszfát műtrágyák, növényvédő szerek, melyekből az arzén kimosódhat. Az így környezetbe jutó arzén mennyisége jóval meghaladhatja a természetes háttérkoncentrációt. (National Research Council , 1977) Az antropogén eredetű légköri

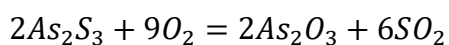
kibocsátás különösen az ipari területek környezetében növeli az arzén légköri koncentrációit. Számítások szerint 10 nap a tartózkodási ideje az atmoszférában, mielőtt porként kiülepedik, vagy esővízzel kihull az atmoszférából. (Cullen & Reimer, 1989)

2.2.5. Az arzén toxicitása

Az arzén híres arról, hogy vegyületei erősen mérgezőek. Toxicitása függ attól, hogy milyen formában van jelen. Az arzén(III) reagál az -SH csoportokkal az enzimek fehérjékben és így képes azok gátlására, míg az arzén(V) nem, így az előbbi sokszorosan mérgezőbb. (Ferguson & Gavis, 1972) A szerves arzénra krónikus szájon át történő expozíció esetén a referencia dózis: RfDo = $3 \cdot 10^{-4}$ mg/tt kg. Ez az érték élethosszig való kitettség esetén valószínűsíthetően nem okoz populációban számottevő kockázatot. A krónikus kitettség megjelenése az *arsenicosis*, első szembetűnő tünetei a bőrelváltozások, a melanózis, a tenyér és talpak hiperkeratózisa. (Das & Sengupta, 2008) (Tapio & Grosche, 2006) (US EPA, 1995) Az arzént rákkeltő anyagokként tartjuk számon. A rákkeltő hatásra jellemző CSF érték orális expozíció esetén 1,5 (mg/kg)/nap. (Szoboszlai & Kriszt, 2014) A hosszútávú kitettség összefüggésbe hozható bőrrák, hólyagrak, tüdőrák, veserák és májrák kialakulásával. Az expozíció fő forrása a szerves arzénal szennyezett felszín alatti vízből származó ivóvíz. (Tapio & Grosche, 2006)

2.2.6. Arzén felhasználása

Arzén termékek előállításának alapanyaga az arzén-trioxid (As_2O_3). 97%-ban az arzén-trioxidot (white arsenic) használnak fel további ipari termékek gyártására. A maradék 3% a fém arzén, melyet ötvözőanyagként használnak. (Levander, et al., 1977) Az arzén trioxidot iparban arzéntartalmú ércekből állítják elő oxidációval. Ilyen például az auripigment pörkölése:



A szulfidos ércek pörkölésével arzén-trioxid gőz keletkezik, amely lekondenzál, megszilárdul és fehér színű szilárd porszerű anyag keletkezik. Az arzén-trioxid vízben történő hidrolízisével arzénessav jön létre, tiszta formában még nem izolálták. Az arzénessavban ($H_3AsO_3 = As(OH)_3$, trihidroxo-arzén) a foszforossavval (H_3PO_3) ellentétben a hidrogénatomok mind oxigénatomhoz kötődnek. Vízben kevésbé oldódik, oldhatósága 100g vízben 1,2g 0 °C-on, 2,1g 25°C-on és 5,6g 75°C-on. A vegyiparban szerves és szervesetlen származékokat is készítenek belőle. (National Research Council, 1977) Kalcium és ólom arsenátokat és szerves arzénvegyületeket széles körben használtak a mezőgazdaságban peszticidként (herbicidek, inszekticidek, rodenticidek) (Ferguson & Gavis, 1972) Ezek használatát

mára világszerte korlátozzák. A korábbi használatuk miatt a talajokba, folyók, tavak üledékeibe jelentős mennyiségű arzén kerülhetett be a növényvédőszerből. (Szoboszlai & Kriszt, 2014) Használták zöld festékpigmentekben mint a Scheele-zöld. (Isaac, 2018) Fa tartósításra használtak CCA (króm-réz-arzén) típusú vegyületeket, melyeket főleg ipari berendezésekben (hidak, vasúti talpfa, villanyoszlop) használtak fakonzerválásra. (G.K., 2003., p. 317) Gyógyászatban a promyelocytás leukaemia (APL) kezelésére használnak arzén-trioxidot tartalmazó készítményt (Trisenox). (ASHP, 2022)

2.2.7. Az arzén Magyarországon

Az arzén a Magyarországon leginkább a felszín alatti vizekben van jelen természetes szennyezőként. A Dél-Alföldön a kutak vizei sokszorosan meghaladják az emberi egészségre veszélyes koncentrációkat. A probléma felismerése a 20. század 40-es 50-es éveire tehető, mikor ezeken a területeken előforduló krónikus arzénmérgezéses tünetek kapcsán felfedezték az ivóvíznyerésre használt kutak szennyezettségét. (Csalagovits, 1994) Hámori részletesen leírja, hogy mit tapasztalt a helyi arzénmérgezéses esetek kapcsán. (Hámori, 1941) Az Alföldi rétegvíz eredetű közüzemi ivóvizek arzéntartalmára a 80-as évek elején derült fény. (Csalagovits, 1994)

Hazai kutatások megállapították, hogy a magyarországi magas arzéntartalmú rétegvizei a földtörténeti negyedidőszaki folyóvízi/ártéri/mocsári üledékek korai diagenetikus átalakulási folyamati révén keletkeztek. Az üledékben felhalmozódott vas-oxihidroxid kolloidok felületén adszorbeálódott arzén remobilizációja történt meg bakteriális-redukciós folyamatok révén. (Csalagovits, 1994)

Magyarországon az ivóvíz felhasználás több mint 93%-a származik felszín alatti vízből, és az összes kivett felszín alatti víz 75%-a az ivóvízellátásban hasznosul (ebbe beleértjük a parti szűrésű kutakat is) (OVF, 2022). Az arzén jelenléte a felszín alatti vizekben bizonyos térségekben megoldandó feladatot jelent az ivóvíz kezelése során.

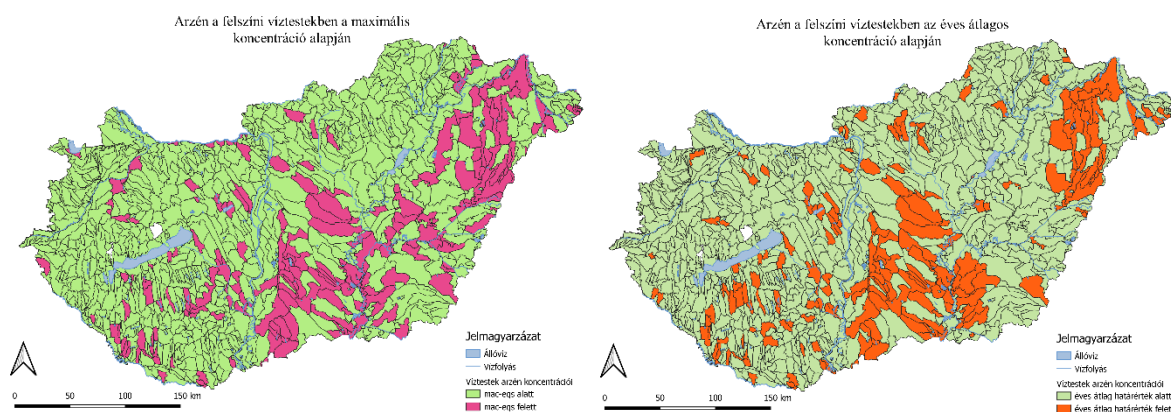
Mivel az arzén a leginkább problémát okozó természetes geokémiai eredetű szennyező Magyarországon, ezért előfordulása széles körben vizsgált. Földtani közegben a „B” szennyezettségi határértékét a 15 mg/kg-ban határozták meg (6/2009), azonban ez Fügedi és munkatársai (2015) szerint túlságosan alacsony érték, mivel a felszín közeli üledékekben a Kárpát-medencében folyamatosan halmozódik az arzén, és az országos geokémiai felmérés kétezer feletti mintaszámában 10% haladja meg ezt az értéket. Az elemzett minták koncentráció-eloszlás vizsgálatakor megállapították, hogy 60 mg/kg-nál jelentkezik a feltűnő

anomáliaküszöb. Anomáliás területek az Északi-középhegységben, illetve déli országhatár közelében találhatóak, és természetes eredetűek. (Fügedi, et al., 2015)

A felszíni vizek esetében a VGT3 specifikus szennyezőanyagok (As, Zn, Cr, Cu és biocidek) szerint végzett értékelése alapján az arzén 220 felszíni víztest esetén szerepel a nem megfelelő állapot okaként (165 víztesten átlagos koncentráció 155 víztesten maximális koncentráció). (OVF, 2022) Az összes vizsgált víztest 886 darab, tehát a víztestek 24%-a!

Az értékelés környezetminőségi határértékek alapján történik, melynek két fajtája az élővilág krónikus kitétségére utaló éves átlagos (AA-EQS) és az akut terhelésre vonatkozó maximális (MAC-EQS) környezetminőségi határérték. Ezeket az értékeket ökotoxikológiai adatok alapján állapítják meg, üledékre, vízfázisra és biótóra. (OVF, 2022)

Ezen az alacsony határértékek tükrében a Kárpát-medencében, - ahol a negyedidőszaki üledékeknek köszönhetően eleve nagyon magas az arzén geokémiai hátere – számos helyen „nem megfelelő” a víz minősége. A 4. és 5. ábrán a maximális éves, illetve az átlag éves koncentráció alapján VGT3-ban értékelt víztestek láthatók.



4. ábra Az arzén MAC-EQS értékek alapján nem megfelelőnek értékelt víztestek (forrás: VGT3 8.7-es mellékelete alapján saját szerkesztés)

5. ábra Az arzén AA-EQS értékek alapján nem megfelelőnek értékelt víztestek (forrás: VGT3 8.7-es mellékelete alapján saját szerkesztés)

A Vízyűjtő-gazdálkodási Terv – 2021 3-2. háttéranyaga szerint a Duna, Tisza és Dráva részvízgyűjtőn, a folyókon a fő kilépő és belépő szelvényeken mért számított anyagáram különbsége egyaránt pozitív, több távozik az országból, mint érkezik, azaz a terhelés mértéke meghaladja a lekötődési folyamatok révén az oldott fázisból kilépő arzén mértékét. Jelentős diffúzforrással kell számolni és diffúzforrásként a felszínalatti vizek természetes hozzájárulását említi. (OVF, 2022)

2.3. A Tápió

2.3.1. Elhelyezkedés

A Tápió vízgyűjtőterülete döntő többsége Pest megyében helyezkedik el, Budapesthez legközelebbi jelentős települése Mende, a legkeletebbi település a Jász-Nagykun-Szolnok megyében található Újszász, ahol a patak a Zagyvába torkollik. A Tápió Északnyugat-Délkelet irányban folyik. 6 kistájat érint a terület. Központi része a Tápió-vidék kistáj, amelyet teljesen magába foglal, valamint érinti a Hatvani-sík, Gödöllői-dombság, Monor-Irsai-dombság, Gerje-Perje-sík és Jászság kistájakat. (Marosi & Somogyi, 1990) Jelentősebb települések a területen Süllyás, Nagykáta, Tápiógyörgye, Tápiószele. A terület köztudatban élő elnevezései, mint Tápió-vidék vagy Tápió-mente a vízfolyás által bejárt területet jelölik. (Szabó, 2003)

A terület átmenetet képez, amely az Északi-Középhegység (Gödöllői-dombság, Monor-Irsai-dombság) és az Alföld nagytájak határán. A vízfolyás zömében Alföld nagytájon, az Észak-alföldi-hordalékkúpsíkság középtájon helyezkedik el. A hordalékkúp-síkságot az Északi-középhegységből az Alföldre érkező folyók építették melyek a gyakori folyásirány változtatások következtében változatos szemcseösszetételű folyóvízi üledéket raktak le a területeken. A hordalékkúpok épülése a pleisztocén végéig tartott. (Lóki, 1997) Az Észak-Alföldi hordalékkúpsíkság nyugati részét a Tápió, a Galga és a Zagyva építette. (Dövényi, 2016) Az ezer méternél is vastagabb pannóniai rétegekre ötven méter vastag folyóvízi üledék rakódott, a felszín lösszel és löszös homokkal fedett.

A területen számos szénhidrogénkutató fúrás történt és működő szénhidrogén bányatelkek vannak Nagykáta, Gomba, Tóalmás, Vácszentlászló, Farnos településeken. (Zilhai-Sebess & Gyuricza, 2012)

A térség nyugati részén a völgyekkel szabdalta dombvidék jellemző, amely a Gödöllői dombvidék és a Monor-Irsai-dombság kistájhoz tartoznak. Itt a felszínt a löszvölgyek és löszhátak határozzák meg, amely karakter miatt a területet löszdombság vidékének nevezik. (A Tápió-vidék Természeti Értékeiért Közalapítvány, 2018) Az északnyugat-délkelet irányú völgyek képét az erre merőleges Gombai-patak völgye és a kávai Hosszú völgy töri meg. A löszhátakat javarészt szántóföldként hasznosítják, a természetes vegetáció maradványai a völgytalpakon találhatóak meg. Legmagasabb pontja a 239 m magas Zsellér-hegy, mely Mende határában található. Tápiószecsőtől keletre az Alföldre jellemző sík és homokbuckás tájrészletek a jellemzőek. (Boromisza, et al., 2021) Itt az Alsó- és Felső-Tápió árterületéből kiemelkedő két párhuzamos homokvonulat húzódik. Itt a Jégkorszak idején Ős-Tápió folyóvízi üledéket rakott le több tíz méter vastagságban, amelybe később bevágódott. A szárazzá vált

felszíneken megindult a futóhomokmozgás, amelynek eredményeként alakultak ki a 10-15 méter magas garmadabuckáknak nevezett homokdombok. (A Tápió-vidék Természeti Értékeiért Közalapítvány, 2018)

2.3.2. Geokémia

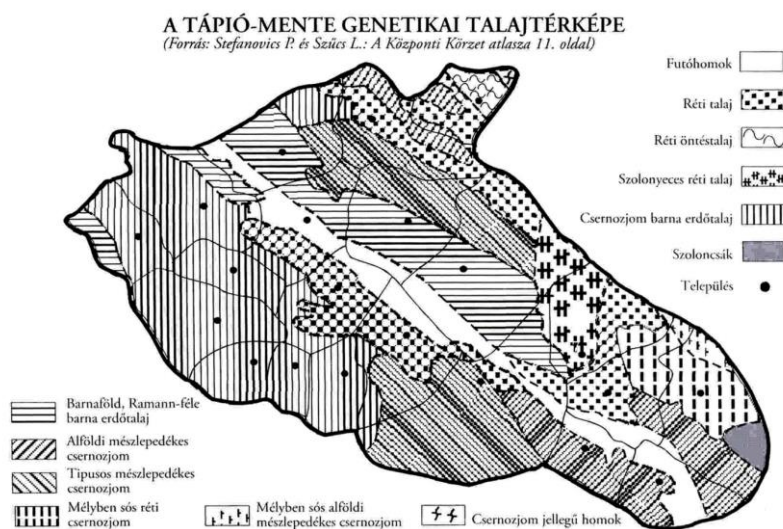
A Tápió vidéke része a második vagy középső geokémiai nagytájnak, mely főként Magyarország középső részén terül el. Erre a geokémiai nagytájra jellemző az erőteljes meszesedés, és a tápelemek kisebb mennyiségben vannak jelen, mint a többi nagytájon. Ez onnan eredeztethető, hogy hidrogeológiai folyamatok révén a mészkőhegységekben a mészkő és dolomit por állagúvá vált, és a karbonátpor jégkorszakban a fagyás-olvadás hatására felszínre került, ahol ki volt téve a szél hatásának. A szél dél-délkelet irányban terítette szét a karbonátport, amely meszes területeket hozott létre az ország középső területein. A karbonátok a csapadékvíz hatására bemosódtak és a talajvízszint fölött mészszipaként kiváltak, és kiszorították a korábbi póruskitöltéseket. Ennek eredményeként kialakult talajok erősen tápelemhiányosak. (Fügedi, 2016) A Duna-Tisza-közi hátságban a buckák az uralkodó szélirány felé, legyezőszerűen sorakoznak. A Tápió hordalékkúpjának Felső-Tápiótól északra eső felszínét behálózó garmadabuckák és a folyó- és patak völgyek a Gödöllői-dombságig a jégkorszakban kialakult szélbarázdákat követik. (Fügedi, 2016) A 6. ábrán a Tápió-vízgyűjtő felszíni földtani térképe látható.



6. ábra Felszíni földtan a Tápió vízgyűjtőjén. Magyarország felszíni földtana 1:500 000 (Gyalog, 2013) alapján saját szerkesztés (<https://map.mbfisz.gov.hu/#oqc>)

2.3.3. Talajok

A területen jellemző talajok a barna erdőtalajok, a folyó völgyekben homokos és vályogos réti talajok. A keleti síksági részen öntés-, vályogos mezőségi talajok találhatóak. Beékelődve előfordulhatnak homokos és szikes foltok is. (Szabó, 2003) A 7. ábrán a talajok térképe látható.



7. ábra Tápió-Mente genetikai talajtérképe térkép forrása: Stefanovics P. és Szűcs L: A körponti Körzet atlasza 11. oldal)

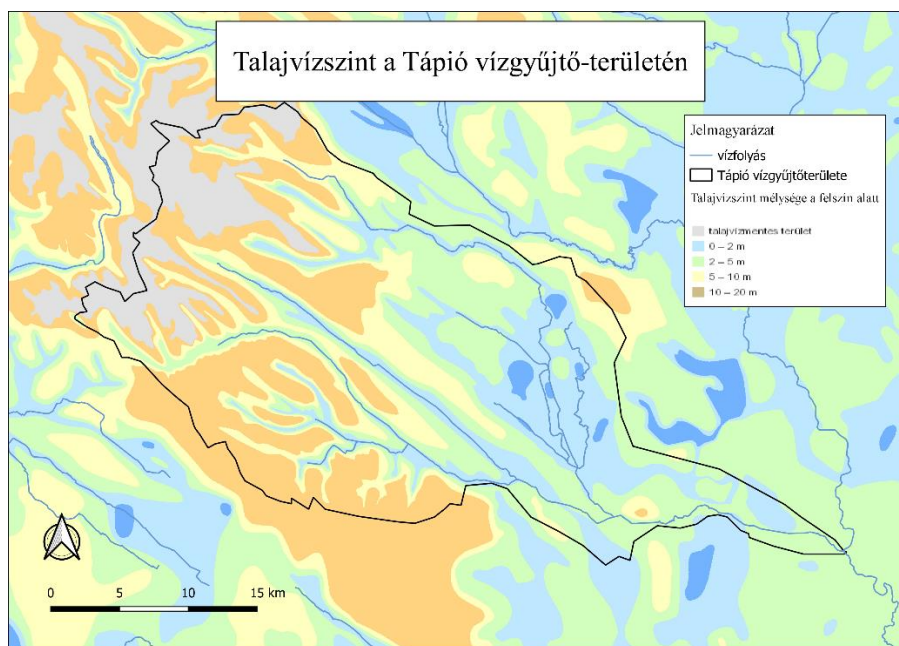
2.3.4. Éghajlat

A terület éghajlata mérsékelten meleg és mérsékelten száraz. A területen gyakori a nyári vízhiány. Az évi napsütéses órák száma átlagosan 2000 óra körül alakul, az éves átlaghőmérséklet 10 °C, a csapadékmennyiség 560-600 mm. Északnyugati az uralkodó szélirány. Csapadék eloszlása az év során egyenetlen. Általában áprilistól júniusig tartó időszak csapadékosabb, míg a legszárazabbak a január és február hónapok. (Szabó, 2003)

2.3.5. Felszín alatti vizek

A felső pannóniai Újfalui és Zagyvai Formációk homokrétegei a térség legjelentősebb hévíz- és ivóvízadó képződményei. (Zilhai-Sebess & Gyuricza, 2012) Az ivóvízellátás kapcsán problémát jelent a felszín alatti vizek réteg eredetű szennyezettsége, melyet a Fe, Mn, NH₄⁺, CH₄ és As okoz. Farmos településen az ivóvízellátás céljából a 200 m mély kutakból termelt vízben a vas és arzén meghaladja a 201/2001 (X.25.) kormányrendeletben előírt határértéket, ezért vas- és arzéneltávolítás szükséges. (NFP, 2020) A területen több hévízkút van. Ezek a felső-pannóniai rétegekből származó termálvizek kinyerése céljából létesültek. Termálvizes fürdők létesültek Nagykátán, Tápiószentmártonban és Tápiószecsőn is. (MBFSZ, 2018) A

használt termálvizek felszíni vízbe való bevezetése terheli a befogadót. (KÖTIVIZIG, 2020) A 8. ábra a talajvízszinteket mutatja.



8. ábra Talajvízszint a Tápió vízgyűjtőjén. MBFSZ adattár Magyarország talajvíz térképei (Kuti et al., 2002) és (Scharek P. et al, 2005) alapján saját szerkesztés (<https://map.mbfz.gov.hu/#oqc>)

A 8. ábrán látszik, hogy a talajvíz szintek a talajfelszín alatt a domborzati tagoltság miatt változatosságot mutatnak, a patak völgyekben közel vannak a felszínhez.

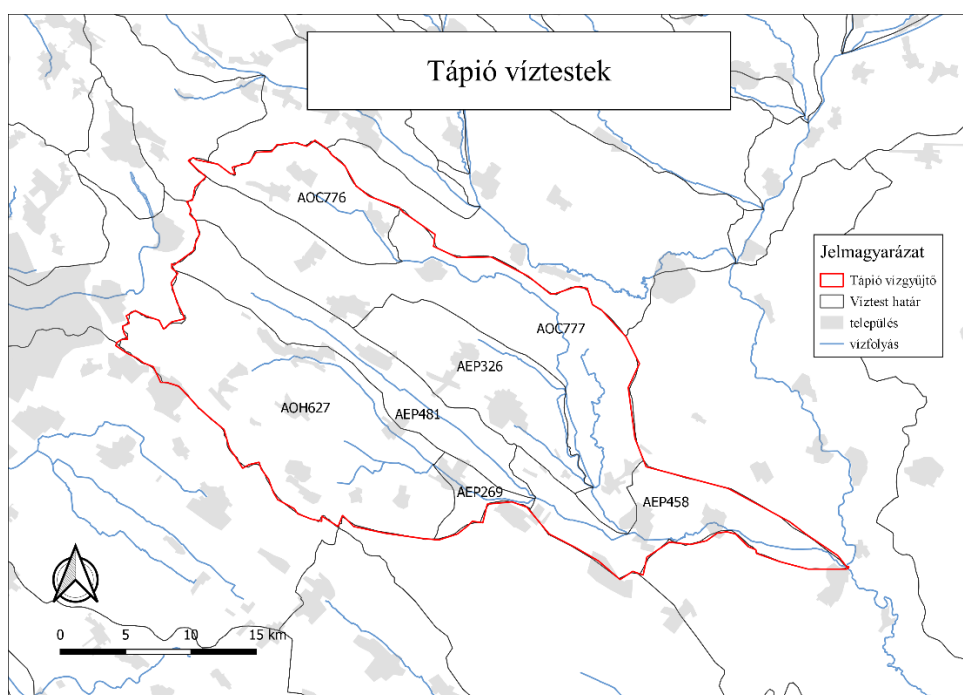
2.3.6. Felszíni vizek

A terület a Tisza vízgyűjtő területébe tartozik, amely európai léptékben a Duna vízgyűjtőkerület része. Az Egyesült-Tápió Zagyva jobb oldali mellékvize, a folyó 26,680 fkm szelvényébe torkollik. Vízgyűjtőterülete 891 km². (VKKI, 2010) A Felső-Tápió forrása Isaszeg határában található, az Alsó-Tápió Pécel határában ered. A vízgyűjtő nyugati részén található Gombai-patak gyűjti össze a Monor-Irsai dombság kisvizeit, amely Tápióbicskénél torkollik az Alsó-Tápióba. Az Alsó-és Felső Tápió Tápiószentmártonnál egyesül. Innentől nevezzük Egyesült-Tápiónak. A Hajta patak Tápiószelénél torkollik bele az Egyesült-Tápióba. Az Egyesült-Tápió széles, lapos völgyben folyik, legnagyobb mellékvize az Ilike-ér, a patak Újszásznál torkollik a Zagyvába. A vízfolyás több szabályozáson esett át, a nagyrészt mesterségesen kialakított mederben folyik. (Fecske, 1938) (KÖTIVIZIG, 2020) A terület középső, északi részén Farnos térsége a Hatvani-sík déli részét képezi. Itt folyik a Gödöllői-dombságban eredő Hajta-patak, melynek mentén mocsaras, nádas területek helyezkednek el. A Hajta számos vízfolyás vizét gyűjti össze (pl. Kerektői-árok, Bíbicfészeki-ág), és szállítja Tápiószelénél az Egyesült-Tápióba. A Hajta-patak vízgyűjtő területe 381 km². (Boromisza, et

al., 2021) A Hajta mentén az utóbbi években a Duna-Ipoly Nemzeti Park Igazgatóság élőhelyrekonstrukciós beavatkozást végzett. A cél a vízvisszatartás, melyet a patak visszaduzzasztásával érik el, mellyel a mocsarak kiszáradását kívánják megakadályozni. (KÖTIVIZIG, 2020) (Duna-Ipoly Nemzeti Park, 2023) A területen előfordul néhány mesterséges állóvíz, leginkább halastavak, melyeket völgyzáró gáttal hoztak létre, vagy felhagyott bányagödröket töltöttek fel. A legnagyobb halastó rendszer a Szecsői-halastavak. A tavak miatt a vízvisszatartás jelentős, amely negatívan befolyásolja a folyásirány szerint lejjebb fekvő területek vízellátottságát. (A Tápió-vidék Természeti Értékeiért Közalapítvány, 2018, p. 23)

2.3.7. Terület felosztása

Az 9. ábrán lévő térépen a Tápió víztesteit ábrázolja a Vízyűjtőgazdálkodási-terv alapján. A Tápió vízgyűjtője 7 víztestet foglal magába: Alsó-Tápió alsó (AEP269), Bíbicfészeki-ág és Kerektói-árok (AEP326), Hajta-patak és Öreg-Hajta (AOC777), Egyesült-Tápió (AEP458), Hajta-patak felső (AOC776), Felső-Tápió-patak (AEP481), Alsó-Tápió felső, Gombai- és Úri-patakok (AOH627). A terület vízfolyás-víztesteinek adatait az 1. táblázat foglalja össze.



9. ábra Tápió vízgyűjtő vízteste (saját szerkesztés)

1. táblázat: A víztestek főbb adatai (forrás: VGT3, 1-1-es melléklet).

Víztest neve	Víztest kód	Morfológiai Típus kódja	Vízfolyás hossza [km]	Víztest közvetlen vízgyűjtő- méret [km ²]	Teljes vízgyűjtő- méret [km ²]	Leggyakoribb vízhozam a teljes vízgyűjtőn (1981- 2010) [m ³ /s]
Alsó-Tápió alsó	AEP269	3M	9,0	18,8	255,0	0,083
Bíbicfészeki-ág és Kerektói-árok	AEP326	6S	24,6	100,7	100,7	0,033
Egyesült-Tápió	AEP458	6M	27,5	96,1	844,3	0,455
Felső-Tápió-patak	AEP481	3S	27,5	98,6	98,6	0,144
Hajta-patak és Öreg-Hajta	AOC777	6M	49,5	224,7	394,6	0,197
Alsó-Tápió felső, Gombai- és Úri- patakok	AOH627	3S	30,7	236,2	236,2	0,078
Hajta-patak felső	AOC776	3S	9,3	69,1	69,1	0,080

Az 1. táblázatban meghatározott morfológiai típusok jellemzői:

- 3S: dombvidéki – közepes esésű – meszes – durva és közepes-finom mederanyagú – kicsi vízgyűjtőjű
- 6S: síkvidéki – kis esésű – meszes – közepes-finom mederanyagú – kicsi vízgyűjtőjű
- 6M: síkvidéki – kis esésű – meszes – közepes-finom mederanyagú – közepes vízgyűjtőjű

2.3.8. Felszíni vízkivételek

A VGT3 3-7. melléklete szerint két jelentősebb felszíni vízkivétel van a vízgyűjtőn. Öntözési célú vízkivétel az Egyesült-Tápió 17,25 folyamkilométernél balparton (Tápiószele), körülbelül 5600 m³/év és halastavi vízkivétel a Felső-Tápió patakból 15,385 folyamkilométernél balparton (Tápiószeleső) a 1 535 000 m³/év.

2.3.9. Kommunális szennyvíztisztító telepek

A terület csatornázása és szennyvízkezelése a 2010-es években megvalósult „Tápió menti régió szennyvíz elvezetése és szennyvíz tisztítása” projekt keretében épült ki. A projekt megvalósításával 20 településen épült ki a csatornahálózat, létesült 4 új szennyvíztisztító telep (Sülysáp, Szentlőrincváta, Tápiószele, Tápiószentmárton) és bővült a Nagykátai szennyvíztisztító telep. (Enwiworld, 2014) Ugyanakkor a telepek közül Sülysápi és Nagykátai szennyvíztisztító telepek tisztított szennyvizei jutnak közvetlenül a Tápióba. (KÖTIVIZIG, 2020)

2.3.10. Bevezetések a patakokba

Alsó-Tápióba 23,335 folyamkilométernél, bal parton (Sülysáp), 1 200 850 m³/év engedélyezett felszín alatti eredetű kommunális szennyvíz bevezetés. Egyesült-Tápióba 28,2 folyamkilométernél, bal parton (Tápiószentmárton) 667 950 m³/év engedélyezett felszín alatti eredetű kommunális szennyvíz bevezetés. Hajta-Patak 41,299 folyamkilométernél balparti (Vácszentlászló) 109 500 m³/év felszíni eredetű kommunális szennyvíz bevezetés. Bibicfészeki-ág 0,84 fkm, jobbparti (Farmos) 82 125 m³/év engedélyezett felszíni eredetű kommunális szennyvízbevezetés. Kerektói-árokba 7,622 fkm, jobbparti (Nagykáta) 216 435 m³/év engedélyezett felszín alatti eredetű vegyes, kommunális és ipari szennyvíz bevezetés. Illetve a Felső-Tápió-patakba 15,345 fkm, balparti bevezetés halastó lecsapolásból származó víz. (3.7 melléklet)

2.3.11. Víztestek állapota

A 2. táblázat bemutatja a víztestek integrált állapotát a VGT3 6-1 háttéranyagának értékelése szerint.

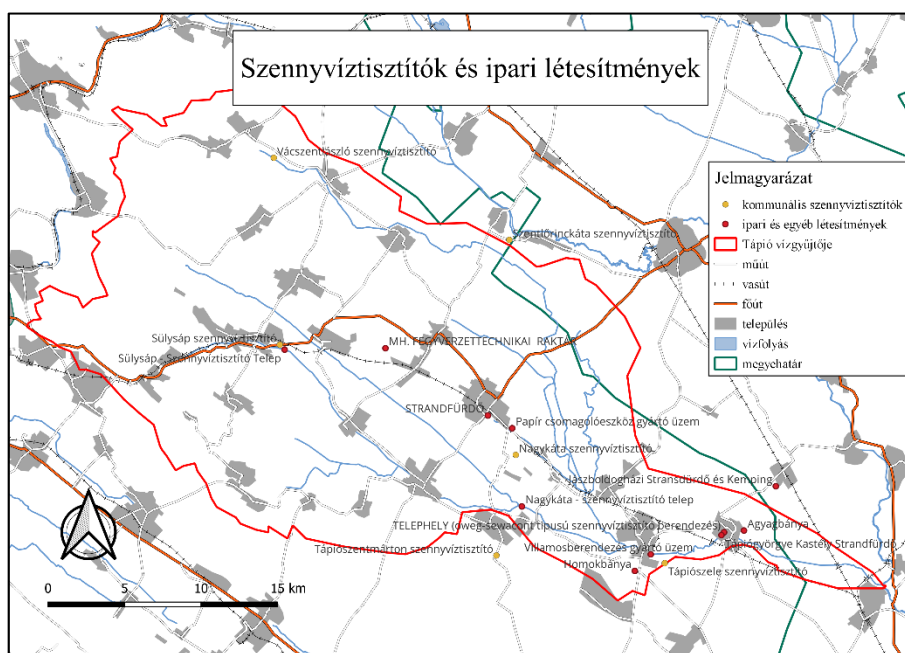
2. táblázat: Víztestek minősítése

víztest VOR	Víztest név	Integrált állapot	értékelés megbízhatósága
AEP269	Alsó-Tápió alsó	gyenge	magas
AEP326	Bibicfészeki-ág és Kerektói-árok	rossz	magas
AEP458	Egyesült-Tápió	mérsékelt	közepes
AEP481	Felső-Tápió-patak	rossz	magas
AOC776	Hajta-patak-felső	mérsékelt	alacsony
AOC777	Hajta-patak és Öreg-Hajta	gyenge	magas
AOH627	Alsó-Tápió felső, Gombai- és Uri-patakok	gyenge	magas

Az integrált állapot magába foglalja az felszíni víztestek ökológiai (biológiai, fizikai-kémiai, specifikus szennyezők és hidromorfológiai minőségi elemek kombinációja) és kémiai állapotát.

A VGT3 6-1 melléklete szerint a 7 víztestből 4 állapota nem megfelelő a specifikus szennyezők közül az arzén miatt: Alsó-Tápió alsó (AEP269), Egyesült-Tápió (AEP458), Hajtá-patak felső (AOC776), Alsó-Tápió felső, Gombai- és Úri-patakok (AOH627).

A Tápió vízgyűjtőn egyes víztestek nem megfelelő kémiai állapota és specifikus szennyezők jelenléte miatt (arzén, higany, PFOS) a potenciálisan szennyezőanyagokat kibocsátó tevékenységeket végzőkre a VGT3-ban javasolt intézkedések 6 db ipari kibocsátót és 2 kommunális szennyvíztisztítót érintenek (8.7 melléklet) A 10. ábra a kibocsátó tevékenységeket végző létesítmények elhelyezkedését mutatja. A 3. táblázat a potenciálisan szennyezőanyagot kibocsátók adatait tartalmazza.



10. ábra Szennyvíztisztítók és ipari létesítmények a területen (saját szerkesztés)

3. táblázat Kibocsátó létesítmények

Víztest név	Település megnevezése	Objektumnév	Szennyvíz jellege	Kibocsátott szennyvíz (ezer m ³ /év)
Bíbicfészeki-ág és Kerektói-árok	Nagykátá	Strandfűrdő	Hulladékkezelés	196,808
Bíbicfészeki-ág és Kerektói-árok	Nagykátá	Papír csomagolóeszköz gyártó üzem	Egyéb feldolgozóipar	n. a.
Bíbicfészeki-ág és Kerektói-árok	Tápiószecső	MH. FEGYVERZETTECHNIKAI RAKTÁR	Szolgáltatóipar	32,189

Víztest név	Település megnevezése	Objektumnév	Szennyvíz jellege	Kibocsátott szennyvíz (ezer m ³ /év)
Egyesült-Tápió	Tápiószele	Villamosberendezés gyártó üzem	Egyéb feldolgozóipar	13,476
Egyesült-Tápió	Tápiógyörgye	TELEPHELY (oweg-sewacont típusú szennyvíztisztító berendezés)	Szolgáltatóipar	7,03
Egyesült-Tápió	Tápiógyörgye	Tápiógyörgye Kastély Strandfürdő	Termálvíz, fürdővíz	0,738
Egyesült-Tápió	Nagykátá	Nagykátá - szennyvíztisztító telep	Egyesült-Tápió	577,151
Alsó-Tápió felső, Gombai- és Úri-patakok	Sülysáp	Sülysáp - Szennyvíztisztító Telep	Alsó-Tápió	868,49

Az arzén vonatkozásában szükséges intézkedés a tevékenységük relevanciája alapján 8-7. melléklet (c) és (d) szakaszában van meghatározva. A 14.2 intézkedés monitoring rendszerek fejlesztését és működtetését jelenti. A 15.1 intézkedés magába foglalja az ipari technológia fejlesztését az önellenőrzési tervek végrehajtását és az elsőbbségi anyagokat tartalmazó termálvizek kezelését is. A 15.2 a lakossági eredetű elsőbbségi anyagok kibocsátásának szabályozására vonatkozik. (8-7.melléklet) A fenti tevékenységekből származó kibocsátott szennyvizek elsőbbségi anyag (és arzén) tartalmáról nem áll rendelkezésre információ.

2.3.12. Tápiószelei kármentesítés alatt álló terület

Korábban Tápiószele 1953 óta működő ipari létesítmény területén arzén és TPH (összes ásványolaj szénhidrogén) szennyezést tártak fel a talajban és a talajvízben. Korábban a terület feltöltésére használt salakot jelölték meg az arzén szennyezés forrásának.

Jelenleg ez az OKIR adatai alapján a 102176286 KTJ számú „Kármentesítés alatt álló terület” Tápiószele, Györgyei út 14–22. szám alatt a mai Ganz Transzformátor- és Villamos Forgógépgyártó Kft. telephelyén.

A talajvíz szennyezés feltárása során az a megállapítás született, hogy vertikális irányban 20 m mélységig két vízadó réteget (sekély talajvíz zóna 6-9m mély talajvíz zóna (12m-nél mélyebb, köztük vízzáró réteg) érint. A horizontális kiterjedése a vízadó felső zónájában a gyártól északkeletre, az alsó zónából a gyártól északkeletre és délre. A gyár környezetében északnyugat-délkelet irányú a talajvíz áramlás (0,0015-0,0021 m/m) A szennyezés területén vertikális leáramlást állapítottak meg. Az arzén koncentráció a figyelőkutakban általában az alsó vízadóban magasabb, kivéve a TPH-val szennyezett pontokon lévő kutaknál, ahol 1800 µg/l-es koncentrációban van jelen a felső vízadóban. 2011-13 között tartó monitoring időszak

alatt megállapították, hogy a felső vízadóban a stabil, enyhén csökkenő, az alsó vízadóban súlyosabb mértékű, stabil az arzén jelenléte.

Regionális vízföldtani modell alapján a telephely alatt legalább 45 m mélységig lehet felszíni beszivárgásból eredő talaj és rétegvíz, a beszivárgási terület a talajvízmozgásnak megfelelően a telephelytől nyugatra és északra kb. 1 km sugarú kör. A leáramlás egy lokális áramlási rendszer része, amelynek kialakul egy sekély felfelé irányuló komponense a Tápó irányába 15-45 m mélységintervallumban. Mélyebb eredetű rétegvizek felszín közelébe jutására kicsi az esély. (Jakab, et al., 2016)

2.4. Mintavétel módszerei

A természetes vizek többkomponensű rendszerek, a bennük található anyagok különböző fázisokban fordulhatnak elő. A felszíni vizek tartalmaznak oldott sókat, oldott gázokat, szuszpendált anyagokat. (Pátzay, et al., 2011, p. 162)

A vizek összetételét, a bennük megtalálható anyagok mennyiségét számos dolog befolyásolja. A hidrogeológiai környezet, az éghajlati, hőmérséklet és csapadékviszonyok, a mikrobiális tevékenység, mikroszkopikus és makroszkopikus élőlények, az emberi tevékenységek egyaránt hatnak a vizekre.

A vízfolyásokban az inputok fluktuációja, a keveredés, a meteorológiai tényezők miatt - főleg kis vízfolyásokban - a vízminőség rövid időn belül megváltozhat. A napszaknak megfelelő változások, például az oldott oxigén változása a biológiai ciklusoknak, a nappal éjszaka váltakozásának köszönhető. Napszaknak megfelelő változások előfordulhatnak antropogén eredetű vízterhelések esetén is, például egy helyi szennyvíztisztító üzemrendjének megfelelően. Rendszeresen időközönként mezőgazdasági vagy ipari forrásokból származó szennyezők jelentkezhetnek, mint például műtrágyák vagy peszticidek lemosódása mezőgazdasági területekről. Évszakos változások lehetnek biológiai és hidrogeológiai ciklusokkal összhangban. Továbbá éves trendek is megfigyelhetők, például az emberi hatások felerősödésével. (Bartram, et al., 1996, p. 30)

A vizsgálatok eredményeinek helyessége szempontjából az egyik legfontosabb tényező, hogy a mintavétel megfelelő legyen. A mintavételnél általában a két fontos szempontot kell szem előtt tartanunk. Az egyik, hogy a minta jellemző legyen a területre (reprezentatív). Mintavételeknél körültekintően kell eljárni. A mintavételi eszközöknek, a minta tárolására szolgáló edényeknek megfelelően tisztának kell lennie és meg kell előzni, hogy a mintát a mintavétel során elszennyezzük. A másik, hogy megfeleljen a mintavétel céljának, ami az

esetünkben általános vízkémiai paraméterek meghatározása, valamint toxikus elemek vizsgálata.

Szervetlen toxikus elemszennyezők vizsgálatához általában kerülni kell az üveg mintatároló edények használatát. A tartósításhoz használt vegyszereknek megfelelően tisztának kell lenniük, nem tartalmazhatják a meghatározni kívánt komponenseket. A terepmunka során el kell kerülni a mintavételi eszközök és a minta egyéb eredetű szennyezését. Az oldott elemtartalom meghatározásához a mintát 0,45 µm pórusméretű szűrővel szűrjük. Mintavétel merítéssel történik. Ez történhet vödör segítségével, illetve csőrös műanyag (PE) mintavételi edénnyel (mericskével), megfelelő toldattal.

El kell kerülni, hogy szükségtelenül felkavarjuk az üledéket. A mintavétel előtt a mintavevő eszközt és edényt a mintázandó vízzel átöblítjük. Ha az edénybe előzőleg tartósítószeret tettünk, azt átöblíteni nem szabad. Mintát a sodorvonalból veszünk. A helyszíneken, ha a vízállás megfelelően magas, hidakról vödörrel tudunk mintát venni. Ha ehhez nem adottak a körülmények, akkor megpróbáljuk a vízpartról végezni. Figyeljünk, hogy vizsgálatokhoz szükséges teljes mintamennyiséget lehetőleg egyszerre tudjuk megvenni. A mintákat a laborba történő beérkezésükig hűtve kell tárolni. A mintavételt megfelelően dokumentálni kell.

Üledék mintavételénél fontos mintázott réteg vastagságának ismerete. A felső 4 cm-ből veszünk mintát, ha rövid idejű változásokat akarjuk vizsgálni. Tájékoztató vizsgálatokhoz az üledék felső - nem meghatározott vastagságú - rétegéből veszünk mintát. (MSZ, 1978)

2.5. Elemek meghatározása

Arzén meghatározásának a gyakorlatban alkalmazott módszerei közül jelentős az ezüst-dietilditiokarbamátos spektrofotometriás módszer (ISO 6595:1982), illetve atomspektroszkópiás és tömegspektrometriás módszerek, mint a grafitkemencés-AAS és hidrid-AAS és az ICP-MS. Az arzén specieszek analízisére HPLC-ICP-MS kapcsolt technika alkalmazható. (WHO, 2022)

2.5.1. Spektrofotometriás meghatározás

Az összes arzéntartalom meghatározását vízmintából spektrofotometriás módszerrel az ISO-6595:1982 szabvány írja le. (WHO, 2022) Az első lépés a minta szervesanyag-tartalmának oxidálása, ezt követi az arzén (V) redukálása arzén (III)-má. Az arzén (III)-at ezt követően naszcens hidrogén segítségével savas környezetben arzén-trihidrid (arzin) gázzá alakítunk, amit ezüst-dietilditiokarbammáttal kloroformos vagy piridines oldatban abszorbeálunk. Az így keletkezett komplexet 510 vagy 525 nm hullámhosszon mérjük. (ISO, 1982)

2.5.2. Atomspektroszkópiás elemanalitikai módszerek

Az atomemissziós módszerek (AES) a gerjesztett szabad atomok által kibocsátott fényt, az atomabszorpciós (AAS) módszerek a fénysugárral besugárzott atomok által elnyelt fényt (intenzitásváltozást), az atomfluoreszcens módszerek (AFS) a besugárzott atomok által kibocsátott fluoreszcens fényt használják ki. Ezen technikákban közös, hogy a minta alkotóit atomos állapotba kell hozni. Az analitikai laboratóriumokban a legelterjedtebb atom- és sugárforrások a különböző lángtechnikák (F-AAS, F-AES), a grafitkemencés elektrotermikus atomizálók és hidridtechnikájú atomizálók (ETA-AAS, Hydride-AAS), valamint az induktív csatolású plazma források (ICP-OES, ICP-MS).

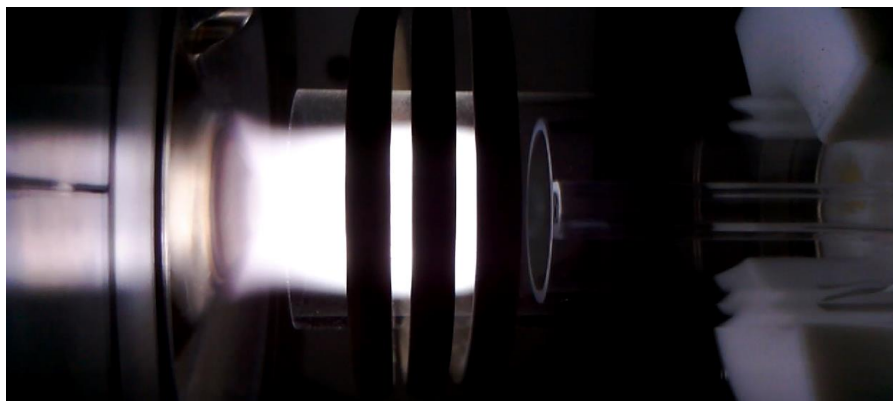
2.5.3. Az induktív csatolású plazma sugárforrás

Az induktív csatolású plazma (ICP) ma a legfontosabb elemanalitikai sugárforrás. A minta beporkasztása argon plazmába történik, amely beszárad, elpárolog, atomizálódik és ionizálódik. Az ICP-OES technika esetében a gerjesztett szabadatomok által kibocsátott fotonok, míg ICP-MS esetében maguk a plazmában létrejött ionok szolgáltatják az analitikai információt. Az ICP sugárforrás részei a kvarcból készült plazmaégő (más néven fáklya vagy torch), az indukciós tekercs és az RF generátor. (Pokol, et al., 2011)

A plazmaégő három kvarccsőből áll, amelyen három elkülönített gázáram érkezik a plazmába. A külső csőben körkörösén 10-16 l/s térfogati sebességgel áramló gáz táplálja a plazmát és a kvarccső falától eltolja azt, megóvva a kvarcot a megolvadástól. A közbülső csőben áramló gáz (1-2 l/s) feladata, hogy az injektorcsőtől távol tartsa plazmát, illetve egyéb segédgázok is juttathatók rajta a plazmába, például O₂, amely nagy szervesanyagtartalmú mintákhoz alkalmazható. A legbelső cső a központi- vagy injektorcső, ezen keresztül érkezik argon áramban a porlasztott minta 0,4-1 l/s sebességgel.

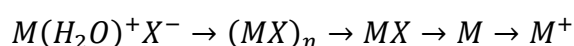
Az RF tekercs ICP-MS készülékek esetében földelt, annak érdekében, hogy a plazma és az interfész között ne alakuljon ki másodlagos kisülés. A tekercs 2-4 menetből áll és körbeveszi a plazmaégőt. Működés közben a tekercsre az RF-generátor által keltett 27,12 vagy 40,68 MHz-es frekvenciájú és 600-2000 W teljesítményű váltakozó áram van kapcsolva, amely elektromágneses teret hoz létre a tekercs körül. A mai RF-generátorok szilárdtest-generátorok, amelyek két típusa a kristályvezérelt- és a szabadonfutó generátorok. A plazmába történő energiabevitelnél fontos, hogy az RF generátor kimenő impedanciája és a plazmaegység impedanciája azonos legyen. A minta mátrixösszetevői vagy az oldószer által okozott gyors impedanciaelérések kompenzálására csatoló egységek szükségesek. A kristályvezérelt generátorok általában kevésbé alkalmasak a gyors impedanciaeltérések kompenzálására, mint

a szabadonfutó (más néven szabad oszcillációs) generátorok. (ISO, 2007; Thomas, 2001) A 1. kép a plazma képét ábrázolja.



1. kép Thermo ICAP Q plazmaégője (saját kép)

A plazma létrehozásához egy nagyfeszültségű szikra segítségével ionizáljuk az argon gázt. Plazma állapotban az ionizált gázcseppkékről leszakadt elektronok kölcsönhatásba lépnek az indukciós tekercs által létrehozott elektromágneses térrel, amely a plazmában örvényáramot hoz létre. Az áramló töltött részecskék ütköznek a semleges részecskékkel, melynek következtében újabb ionok és elektronok keletkeznek. A plazmát becsatolt elektromágneses energia tartja fent. Az örvényáramzónában a hőmérséklet körülbelül 10 000 K. Az injektorcsőből kilépő porlasztógáz a plazma közepén egy csatornát hoz létre, ahol a belépő minta aeroszol egy sor fizikai átalakuláson megy keresztül. Az oldatcsepp deszolvatálódik, részecskék gázhalmazállapotba alakulnak és szabad atomok keletkeznek. A szabad atomokból ütközések révén ionok keletkeznek. (Pokol, et al., 2011)



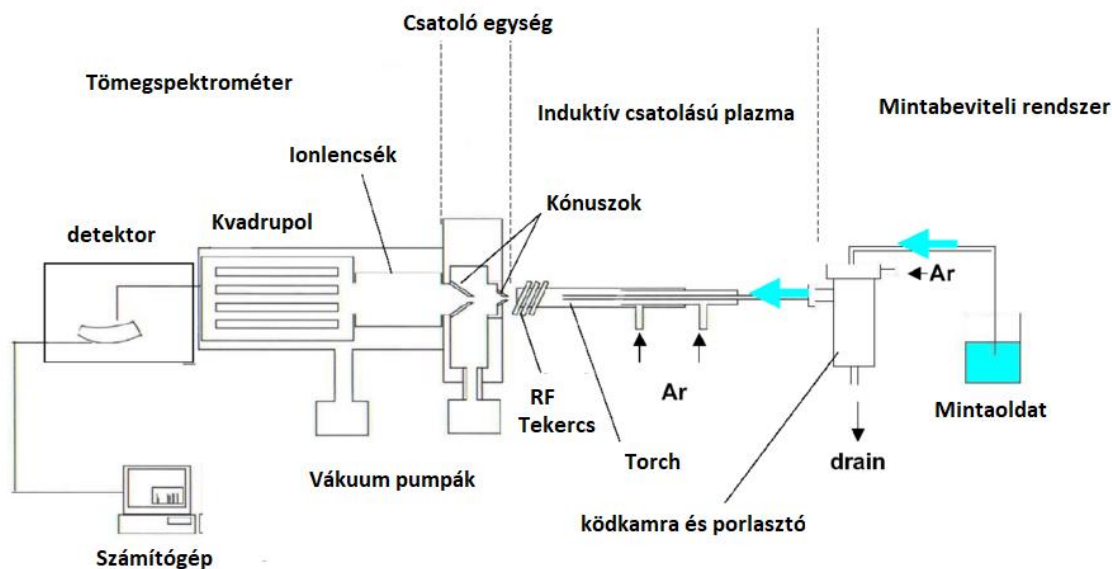
2.5.4. ICP-OES

Az induktív csatolású plazma-optikai emissziós spektrométer az ICP-ben keletkezett atomok és ionok elektrongerjesztése által az elektronátmenetek közti fotonemissziót használja ki. A keletkezett fotonokat egy rácstra fókuszálja, amely felbontja a spektrumot. A szabad atomok színképvonalait hullámhossz szerint elkülönülve detektálja. Az atomok színképvonalainak hullámhosszai az elektronszerkezetükre visszavezethetőek.

2.5.5. ICP-MS

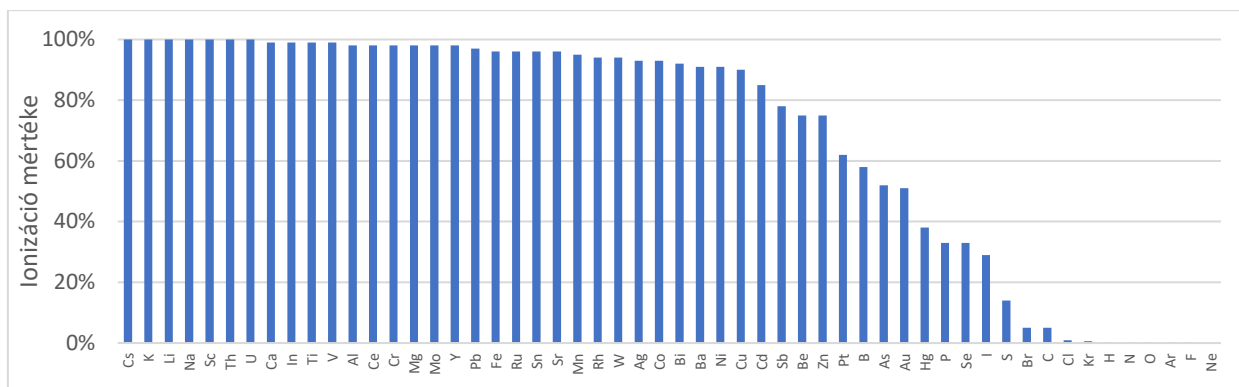
Az ICP az ionforrásként egy tömegspektrométerhez van kapcsolva. Az ionforrásban keletkező ionokat továbbítani kell a tömeganalizátor felé úgy, hogy elkerüljük azok ütközését.

Erre szolgál a nagyvákuumrendszer, amely 10^{-6} - 10^{-8} mbar nyomást állít elő. Szükség van csatoló egységre, amelyen a minta bejutása történik atmoszférikus nyomásról a nagyvákuum térbe, és fókuszáló lencsékre az ionnyaláb létrehozásához. A 11. ábra egy ICP-MS készülék felépítését ábrázolja.



11. ábra Az ICP-MS sematikus ábrája (Gilstrap, 2009) alapján, a mai készülékeken a kvadrupol tömegszűrő előtt egy multipol elrendezésű reakciócella/ütközési cella foglal helyet.

Az induktív csatolású plazma tömegspektrométer ionforrása, melynek feladata, hogy a plazmában minta atomjainak lehetőleg minél nagyobb részéből egyszeres töltésű ionok keletkezzenek. Ugyanakkor a kétszeres töltésű ionok keletkezését lehetőség minimalisra kell csökkenteni, melyet a plazmakörülmények optimalizálásával lehet elérni. A kettőstöltésű ionok keletkezésének vizsgálatára általában a $^{137}\text{Ba}^{++}$ ($m/z=68,5$) / $^{137}\text{Ba}^+$ ($m/z=137$) ($IP_1=5,21$ eV, $IP_2=10,00$ eV) arányt használjuk. Az a kívánatos, ha ez az érték kisebb, mint 0,03%. A legtöbb elem esetében az ionizáció hatásfoka 80 - 99%, ugyanakkor a 9 eV-nál nagyobb ez első ionizációs potenciálú elemek esetében az ionizáció mértéke erősen csökken. Néhány ilyen elem első ionizációs potenciálja és ionizációs foka a következő: As (9,79eV; 52%), Se (9,75eV, 33%), P (10,49eV; 33%), Hg (10,44eV; 38%). Ezeknél az elemkénél érzékenység általában alacsonyabb. A 12. ábra mutatja néhány elem első ionizációs fokát az induktív csatolású plazmában. (Houk & Joseph, 1988)



12. ábra Elemek ionizációs foka Induktív csatolású plazmában (Záray & Mihutz, 2019) alapján

A csatoló egység vagy interfész feladata az atmoszférikus nyomáson a plazmában keletkezett ionizált részecskéket a nagyvákuum alatt lévő tömegspektrométerbe továbbítani. Ez az egység kúpokból -kónuszokból- áll, amelyek csúcsán lyuk található, közöttük lévő térben az alakul ki az első vákuum lépcső (interfész vákuum) amely körülbelül néhány mbar. A külső kónusz a mintázó kónusz (sample cone) a belső a skimmer kónusz, anyaguk általában nikkell, de alkalmaznak platina kónuszokat is. A kónuszokon a vákuum egy plazmarészletet átszív, létrejön az ionnyaláb, amely a skimmer kónusz mögött található lencserendszeren fókuszálódik.

Ionoptika ionfókuszáló lencséből áll, amelyekre feszültség van kapcsolva. Az optimális ionátvitel érdekében a feszültségek szabályozhatók. Szükséges az ionnyaláb eltérítése (deflection), hogy az egyenes pályán mozgó fotonok ne érjék el a detektort. (Záray & Mihutz, 2019)

A skimmer kónusz mögött a nagyvákuum térben a nagyobb mozgékonyaságú elektronok eltávolodnak a tengelytől, míg a tengely mentén a pozitív ionok foglalnak helyet. Nagy ionsűrűség esetén a pozitív ionok Debeye-terei átfednek, és pozitív tértöltés alakul ki. A pozitív részecskék taszítják egymást és az ionnyaláb defókuszálódik. A könnyű elemek ionjai (pl. Li, Be) a nehéz elemek ionjai (pl. Pb, U) mellett jobban defókuszálódnak. A nagy tömegű elemeket a tértöltés erőtere kevésbé befolyásolja, és azok a kisebb kinetikus energiájú, könnyebb elemeket eltaszítják a tengelytől, ezzel rontva az ionátvitel hatékonyságát és csökkentve az érzékenységet az alacsony tömegtartományban. Így tömegfüggő mátrixhatás léphet fel különösen olyan mintákban, ahol nehéz mátrixelemek jelenlétében könnyű elemeket akarunk meghatározni. (Záray & Mihutz, 2019) (Wolf, 2022)

A készülék érzékeny a minták mátrixösszetevőinek változására (mátrixhatás), továbbá a mérés során a kónuszokon keletkezett lerakódás okozhat jelsökkenést a mérés során (drift). Ennek a hatásnak a korrigálására a mintákhoz ismert mennyiségű referenciaelemeket tartalmazó belső standard oldatot adagolunk. A leggyakrabban használt belső standard elemek Li, Be, Sc, Co, Ge, Y, Rh, In, Cs, Pr, Tb, Ho, Tm, Lu, Re, Bi és Th. (Záray & Mihutz, 2019) Fontos követelmény a belső standarddal szemben, hogy ne legyen jelen a mintában, a belső standardon ne legyen izobár zavarás, illetve a belső standard ne okozzon izobár zavarást. A belső standard elem tömege lehetőleg legyen közel a meghatározandó ionéhoz, illetve, ha lehetséges, az első ionizációs potenciálja is legyen közel hozzá. Ez utóbbi feltétel nem minden esetben megvalósítható.

A belső standard adagolása történhet a mintaelőkészítés során, illetve megoldható online módon is. Fontos, hogy minden oldathoz, a vakoldatokhoz és a kalibrálóstandardokhoz is ugyan olyan mennyiségű belső standardot adagoljunk.

Az ICP-MS viszonyító módszer, azaz a spektrum intenzitásokat egy ismert koncentrációjú oldatok válaszjeleihez viszonyítva kaphatunk kvantitatív értékeket a minta tömegkoncentrációjáról, azaz kalibrációt kell végeznünk a minták mérését megelőzően. A jel intenzitása arányos a jelet létrehozó komponens koncentrációjával. A vakoldat és különböző koncentrációjú standardminták jeleire illesztett mérőgörbével az ismeretlen minta koncentrációja.

A kalibrációt kalibráló oldatokkal végezzük. A helyes kalibráció feltétele, hogy az kalibráló oldatokat pontosan készítsük el, az oldatokat a stabilitási intervallumukon belül használjuk.

Az ICP-MS méréseknél a kalibrációs egyenes 5 nagyságrendben lineáris, amely kettős detektorkalibrációval (keresztkalibrációval) tovább kiterjeszhető. Ez azt jelenti, hogy a detektor ionszámláló és analóg üzemmódja közötti faktor (Pulse/Analog faktor) megállapításával a készülék korrigálja az analóg módban mért jelet, így a kalibráció 6-8 nagyságrendre kiterjeszhető. (Záray & Mihutz, 2019)

A zavaróhatások spektrális vagy nem spektrális eredetűek lehetnek. Spektrális zavarás vagy interferencia azt jelenti, hogy a vizsgálandó komponens analitikai jeléhez hozzáadódik a zavaró komponens jele. Ez kvadrupol készülékek esetében gyakorlatban azt jelenti, hogy a meghatározandó elemével azonos névleges m/z aránnyal rendelkező iont a módszer nem képes elválasztani. Az ilyen típusú zavarást a plazmában keletkező többatomos ionok, illetve az azonos tömegszámú egyszeresen pozitív ún. elem-izobárok és a kettős töltésű ionok spektrális zavarást okozhatnak.

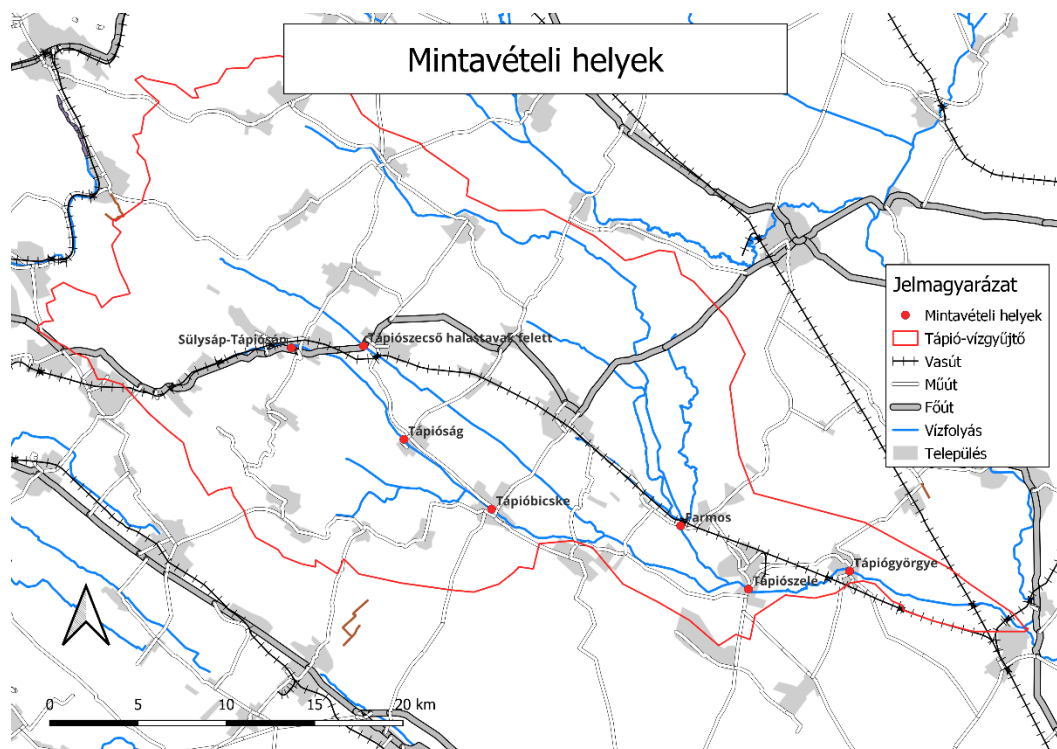
A plazmában keletkező molekulaionok által okozott spektrális zavarás az ICP-MS technika alkalmazását megnehezíti, ugyanis nem megfelelő felbontás esetén az tömegcsúcsok egymásba csúsznak. Amennyiben lehetséges zavarásmentes izotópot érdemes választani. Plazmában keletkező molekulaionok által okozott interferenciára példa a 75As^+ meghatározását zavaró $40\text{Ar}35\text{Cl}^+$. Az ilyen típusú zavarásra az ütközési cella használata jelenhet megoldást, de jelkorrekciós egyenleteket is lehet alkalmazni a kiértékelésnél.

Elem izobárokra, azaz különböző elemek azonos tömegszámú izotópjaira példa a 58Ni - 58Fe izotópok, amelyeket a kis felbontású kvadrupol készülékek nem képesek elválasztani. Ilyenkor matematikai módszerekkel kell korrigálni, a zavaró elem másik izotópjának jelével, az természetes izotóparányokkal. Kettős töltésű ionokat ugyancsak nem tudja a kvadrupol elválasztani. Például a 75As^+ - 150Sm^{++} m/z aránya 75. Fontos, hogy a készülék hangolásánál a kettős töltésű ionok keletkezése minimális legyen (<2%).

3. A vizsgálatok módszerei

3.1. Mintavétel

A mintavételek a 2022-es VKI monitoring program mintavételi helyei, amelyek a Tápió-vízgyűjtő területén találhatóak. A mintavételek a 2022-es VKI programmal közösen történnek, így négy helyszínen az általános vízkémiai komponensek és klorofill (Nitrát-monitoring) mellett oldott fémtartalomra is vettünk mintát. A mintavételek könnyen megközelíthető helyeken, a patakokat keresztező utak hídjairól, vagy a partról végrehajthatóak voltak. Az ötödik mintavételi ponton Tápiógyörgyén a VKI programnak megfelelően az oldott fémszennyezőkre és higanyra vett minta mellett szerves mikroszennyezők mintavétele is történt. Hatodik pontként az Egyesült-Tápióból Tápiószelénél, a transzformátor és villamosforgógép gyártó üzem (Ganz) fölött, 311-es útnál vettünk mintát a Nitrát-monitoring komponenseire és oldott fémekre. A mintavételek helyszínén vízhőmérsékletet, pH-t és fajlagos vezetőképességet mértünk. A mintavételeket júliustól decemberig havonta egyszer végeztük az előre meghatározott VKI mintavételekhez illesztve. 13. ábra a tervezett mintavételi helyeket tünteti fel.



13. ábra Mintavételi helyek (saját szerkesztésű térkép)

A 4. táblázat tartalmazza a mintavételi helyek EOV koordinátái és KTJ kódjait.

4. táblázat A mintavételi helyek

Mintavétel helye	Település	EOV X	EOV Y	KTJ
Alsó-Tápió, felső	Sülysáp-Tápióság	233953	686794	102089012
Felső-Tápió-patak	Tápiószecső halastavak felett	234061	690886	102087292
Alsó-Tápió	Tápióság	228776	693172	101846788
Alsó-Tápió	Tápióbicske	224820	698132	101846799
Egyesült-Tápió	Tápiószele	220296	712682	-
Egyesült-Tápió	Tápiógyörgye	221309	718409	101846814

Az általános paraméterekhez a mintát 2,5 l-es műanyag kannába vettük. A fémvizsgálatokhoz a mintát 0,45 µm pórusátmérőjű szűrővel szűrtük és 125 ml-es HDPE palackban tároljuk. A mintához 100 ml-enként 0,5 ml 65%-os nagy tisztaságú salétromsavat (Merck Supelco) adtunk. Mintavételeket a helyszínen dokumentáltuk, a mintavételi adatlapra feljegyezzük az időjárást, a levegő hőmérsékletét, a jégfedettséget, a minta színét és szagát, valamint a helyszínen mért paramétereket: hőmérséklet, pH, fajlagos vezetőképesség. A jegyzőkönyvben feljegyezzük a mintavétel célját, a minták csomagolását, az elvégzendő vizsgálatokat. Az alkalmazott mintavételi szabvány: MSZ 12750/2-71 FELSZÍNI VIZEK VIZSGÁLATA -Mintavétel és mintatartósítás.

3.2. Mintavételek tapasztalatai

Januárjától július végéig terjedő időszakban a Duna-vízgyűjtőn az éghajlati átlaghoz képest 25%-os, míg a Tiszán 31%-os csapadékhiány alakult ki. Mindkét területen a március volt a legszárazabb, amikor a csapadék 79-89%-a hiányzott. Az év közepére az országban a 12 Vízügyi Igazgatóságából 10 területén volt érvényben vízhiány elleni készütség. (Vízügyi Főigazgatóság, 2022)

Számos vízfolyás kiszáradt. A Közép-Duna-völgyi Vízügyi Igazgatóság 2022. július 29-i közleménye szerint a Zagyva Nemtínél július 13-án kiszáradt. Az igazgatóság kezelésében lévő vízfolyások közül a Kemence patak Bernecebaráti alatti szakaszon, Lókos-patak Bánk alatti szakaszon, Fekete-víz-patak Patvarc alatti szakaszon, Szentlélek-patak Szécsény alatt, a Ménes-patak Benczúrfalva alatti szakaszon, Zagyva-patak Nempti feletti szakaszon, Kis-Zagyva-patak Sámsonháza alatti szakaszon, a Kövicses-patak Hasznosi-tározó alatt és felett is, Szuha-patak a teljes szakaszon, Tarna-patak az igazgatóság területére eső szakaszon, Bükkös-patak Lajos-forrás feletti szakaszon, Dera-patak Pilisszentkereszt, szurdok alatti teljes szakaszon és a Szilas-patak a Naplás-tó feletti szakaszon teljesen kiszáradt. A Hajta patak is

kiszáradt. A Hajta patak önmagában nem képes vízzel ellátni az Ős-Zagyva medrében kialakult több száz hektáros mocsárrendszert. 2022-ben a vízviszonyok nem engedték meg a vízbeengedést a Hajtáról. (Duna-Ipoly Nemzeti Park, 2023) Augusztusban Tápió medre Jászboldogháza közigazgatási területén a Bábosik hídnál száraz volt, amelyre még nem volt példa. (Illés , 2022)

A száraz időszakok és aszály hozzátartoznak Magyarország éghajlatához, ugyanakkor az utóbbi évtizedekben melegebbé váló nyarak, a megnövekedő gyakoriságú és intenzitású hőhullámok nagyban hozzájárulnak aszály kialakulásának feltételeihez, ezáltal növelik az aszálykockázatot az országban. (Erdődiné Molnár & Kovács, 2023) A 2022-es évet az Országos Meteorológiai Szolgálat történelmi aszály éveként említi. Ehhez hasonló aszályos időjárás régen sújtotta a Kárpát medencét. Augusztusra csaknem 50%-os csapadékhiány halmozódott fel az országban. Az Országos Meteorológiai szolgálat adatai alapján 2022 első hét hónapja 1901 óta a legszárazabb 7 hónap Magyarországon. A Dunától keletre általában a 200 mm-t sem érte el januártól június végéig csapadék, az Alföld középső és tiszántúli részén nagyobb területen 120 mm alatt maradt. (Szentés, 2022) Az országban májustól augusztus közepéig az szinte csak záporos csapadék hullott, főként a Dunántúlon, az Alföldet nyár elejétől súlyos aszály sújtotta, melyet több hőhullám tetézett. A nyári csapadékösszeg az Alföldön mindössze 50-100 mm között alakult, ami fele, harmada az szokásosnak, a keleti országrészben 2-3 fokkal volt melegebb, mint a sokéves átlag. Augusztus végére és szeptemberre megérkezett a csapadék, így szeptember végrére megszűnt a mezőgazdasági aszály. Októberre azonban visszatért a száraz idő, majd november ismét csapadékosabb volt, és decemberben már kifejezetten sok eső esett. (Erdődiné Molnár & Kovács, 2023)

A mintavételeket megnehezítette, bizonyos helyeken megakadályozta az aszályos időjárás. További mintavételi pontként a Hajta-patakból Farnosnál a 311-es útnál is terveztünk mintavételeket, de júliustól novemberig egyetlen alkalommal sem volt víz a mederben. Az első mintavételi ponton, Alsó-Tápió Süllysáp-Tápiósáp mintavételi ponton, 31105-ös út hídjánál egy alkalommal sem találtunk vízfolyást. A meder minden alkalommal száraz volt, nyár végére már a nád is elkezdett száradni. Az 5. táblázat összefoglalja, hogy mely alkalmakon nem volt lehetséges a mintavétel (N) és mikor igen (I).



2. kép Alsó-Tápió a 31105-ös útnál 2022.09.08-án (saját kép)

A Felső-Tápió Tápiószecső mintavételi pontnál júniustól-októberig nem folyt víz. Júliusban még a meder nedves, pangó vizek előfordulnak, de későbbi alkalmakor nyoma sem volt víznek. Novemberben és decemberben már lehetett mintát venni.



3. kép Felső-Tápió patak medre 2022.07.14-én (saját kép)

Augusztus 15-én Alsó-Tápió Tápióbicskénél nem volt vízfolyás, a patakmeder az azt borító növényzet alatt még nedves volt.



4. kép Alsó-Tápió Tápióbicske 2022.08.15-én (saját kép)

Augusztus 15-én Alsó-Tápión Tápióságnál mindössze egy vékony ér folyt, nagyjából 1 l/perc sebességgel, ugyanezen a helyen szeptemberben viszont nem volt vízfolyás.



5. kép Alsó-Tápió Tápióság 2022.08.15-én (saját kép)

Tápiószelén a 311-es út hídjánál és Tápiógyörgyén a vízmércénél minden alkalommal tudtunk mintát venni, bár a vízállás minden alkalommal nagyon alacsony volt.



6. kép Egyesült-Tápió Tápiószelénél 2022.11.17-én (saját kép)



7. kép Egyesült-Tápió Tápiógyörgyénél 2022.09.08-én (saját kép)

5. táblázat Mintavételek

	Sülysáp - Alsó- Tápió	Tápiószecső - Felső- Tápió-patak	Tápióság - Alsó- Tápió	Tápióticske - Alsó- Tápió	Tápiószele - Egyesült- Tápió	Tápiógyörgye - Egyesült- Tápió
2022.07.14	N	N	I	I	I	I
2022.08.15	N	N	I	N	I	I
2022.09.08	N	N	N	I	I	I
2022.10.19	N	N	I	I	I	I
2022.11.17	N	I	I	I	I	I
2022.12.06	N	I	I	I	I	I

2022.11.01-én tettem egy bejárást a Tápió alsó szakaszán a Zagyvától az Alsó és Felső-Tápió összefolyásáig visszafelé, és a következőket tapasztaltam: A Tápión a Zagyvával való összefolyásánál vízfolyás nem volt, csak addig volt víz ameddig a Zagyva visszafolyt. Újszásznál a vasúti híd közelében a mederben lévő vizet egy hódgát tartotta vissza. Onnan felfelé több helyen észre lehet venni a hódok nyomait. Tápiógyörgye és Újszász vízfolyás a terep lejtéséből adódóan néhol gyorsabb, néhol alig észlelhető. Az Alsó- és Felső-Tápió összefolyása alatt szintén egy hódgát állta el a víz útját. A Felső-Tápió medre Nagykáta és Tápióbicske között száraz volt. 6 mintát vettem, az alábbi térképen bejelöltem a mintavételek helyeit. A minta 2 és minta 3 Tápiógyörgye és Tápiószele, a szokásos helyen, minta 1 Újszász külterületén egy felhagyott szivattyúzó műtárgynál, a minta 4 Tápiószentmárton Üdülőterület alatt. Minta 5 Tápiószentmárton a Göbolyjárás utcánál, minta 6 pedig az Alsó és Felső-Tápió összefolyásánál, a hódgát felett. A 14. ábra mutatja a mintavételi helyeket.



14. ábra 2022.11.01-i bejárás során vett minták (saját szerkesztésű térkép)

3.3. Üledék mintavétele

Két alkalommal vettünk üledékmintát, 2022. augusztus 15. illetve 2022. november 17. A mintavételek helyszínei a vízfolyás azon szakaszaira esik, ahol korábban emelkedett arzén koncentrációt mértünk. Tápiószelénél a Hajta-patak alatt és felett vettünk mintát, illetve Tápiógyörgye település felett. Az első mintavétel alkalmával tőzeg mintavevőt (peat sampler) használtunk, amely másodikon nem állt rendelkezésünkre, ezért ásót használtunk. Az ide vonatkozó mintavételi szabvány: MSZ 12739/2-78 Felszíni vizek üledékének vizsgálata: Mintavétel és a minta előkészítése. A 15. ábrán az üledék mintavételi helyeket mutatja.



15. ábra Üledék mintavételi helyek (saját szerkesztésű térkép)

A mintát a *peat sampler* (tőzeg mintavevő) segítségével vettük az üledék felső 20 cm-es rétegéből. Ezzel az eszközzel félbolygatott mintát lehet venni nedves és puha talajokból, tőzegekből, vízfelszín alatti üledékekből. Anyaga rozsdamentes acél. A mintavevő kónuszos alakú, egyik oldalán éllel, mintatartó része egy függőleges irányban félbevágott henger alakú félcső, melyet egy a mintavevő hossz tengelye körül félig elforgatható, záródó fémlap fed. A mintavevő eszközt az üledékbe nyomjuk a kívánt mélységig, majd a nyél óramutató járásával megegyező 180°-os elforgatásával a mintát a félcsőbe zárjuk. A mintavevő eszköz hasznos hossza 50 cm.



8. kép Mintavétel "Peat" mintavevő eszközzel 2022.08.15-én, 9034 Tápiószéle, Hajta alatt (saját kép)

Augusztus 15-én az Egyesült-Tápióból Tápiószelénél a Hajta-patak torkolata felett üledékmintát vettünk. Itt a patak náddal borított, növényzettel sűrűn benőtt. A mintavételi pont

felett hódgát duzzasztotta fel a patak vizét. Tápiószelénél a Hajta-patak torkolata alatt szintén vettünk üledékmintát, illetve felszíni víz mintát.

Tápiógyörgyénél a településen kívül a patak a vasúti híd felett, ahol a patak a természetes medrében folyik. Itt az üledék felső 15 cm-e alatt kemény, szürke színű agyagos rétegbe ütköztünk.

A második mintavétel (2022.11.17) célja az első ellenőrzése volt. Itt két mintát vettünk a Hajta-patak torkolata felett és alatt.

3.4. Mintaelőkészítés

Vízminták esetében a szűrés és salétromsavas tartósítás mellett általában nem szükséges további mintaelőkészítési lépés. Olyan mintáknál, amelyek nagy koncentrációban tartalmazzák a meghatározni kívánt anyagot, vagy a minta többi komponense miatt mátrixhatás léphet fel, a minta hígítása szükséges. ICP-MS alkalmazása esetén figyelembe kell venni, hogy a minták összes oldott anyag tartalma ne haladja meg a 0,5%-ot (5000 ppm).

Üledékminták esetén a mérni kívánt elemeket a szilárd fázisból oldott fázisba kell hozni. Ehhez a vizsgálat céljának megfelelő oldószert kell használni. A meghatározásoknál „összes elemtartalmat” (pseudototal) vizsgáltunk, ami a királyvízzel oldható elemtartalmat jelöli.

Az oldatos módszerek mellett szilárd mintás analízist alkalmaztunk összes szén, szerves szén, összes nitrogén, összes kén meghatározására.

Az üledékmintáknak előkészítésénél meghatározzuk a szárazanyagtartalmát. Az ide vonatkozó szabvány: MSZ 21470-2:1981.

A mintából eltávolítjuk az idegen anyagokat, 1 mm lyukátmérőjű szitán átszitáljuk. A mintát légszárazra szárítjuk, majd a mintát porcelán dörzsmozsárban elporítjuk.



9. kép Mintaelőkészítés (saját kép)

A porított mintából 0,3-0,5 g-ot (pontos tömeget jegyezzük) bemérünk a feltároló edényekbe.

Zárt mikrohullámú feltárást alkalmazunk. Minden mintasorozat mellé vakmintát is készítünk. Kétféle feltárást szoktunk alkalmazni. Salétromsav-hidrogénperoxidos feltárást vagy királyvizes feltárást. A minták feltáráásánál fontos a megfelelő tisztaságú reagensek használata.

3.4.1. Feltáráás királyvízzel

Szárított mintákból 0,5g-ot mértem be, a tömegeket mg pontossággal feljegyeztem. Mintánként három párhuzamos bemérést készítettem teflon feltáráóedényekbe. A mintákhoz 4,5 ml 38%-os HCl-t és 1,5 ml 65%-os salétromsavat adtam. A mintákhoz vakoldatot készítettem. 2-4 óra elteltével a bombákat lezártam és a mikrohullámú roncsolóba tettem. Az alkalmazott program mikrohullámú teljesítmény- és hőmérsékletbeállításait a 6. táblázat tartalmazza:

3.4.2. Mikrohullámú előkészítés (roncsolás)

A mintákat Milestone Ethos ONE (gysz: 15110773) mikrohullámú mintaelőkészítővel tártuk fel. A teflon feltáráóedényeket (bombákat), SK10 high pressure rotort a használtunk, hőmérséklet kontrollal (referencia bomba).

2-4 óra elteltével a bombákat lezártam és a mikrohullámú roncsolóba tettem. Az alkalmazott program mikrohullámú teljesítmény- és hőmérsékletbeállításait a 6. táblázat tartalmazza:

6. Táblázat Roncsolóprogram

	idő	teljesítmény (W)	hőmérséklet (°C)
1.	00:10:00	1200	120
2.	00:02:00	0	120
3.	00:05:00	1400	150
4.	00:03:00	1600	170
5.	0:01:00	1600	180
6.	00:30:00	1600	200

A roncsolt mintákat 50 ml-es mérőlombikokba szűrtem, és tisztított vízzel jelre töltöttem.

3.5. Mederüledék elemtartalmának vizsgálata ICP-OES készülékkel

Alkalmazott szabványok:

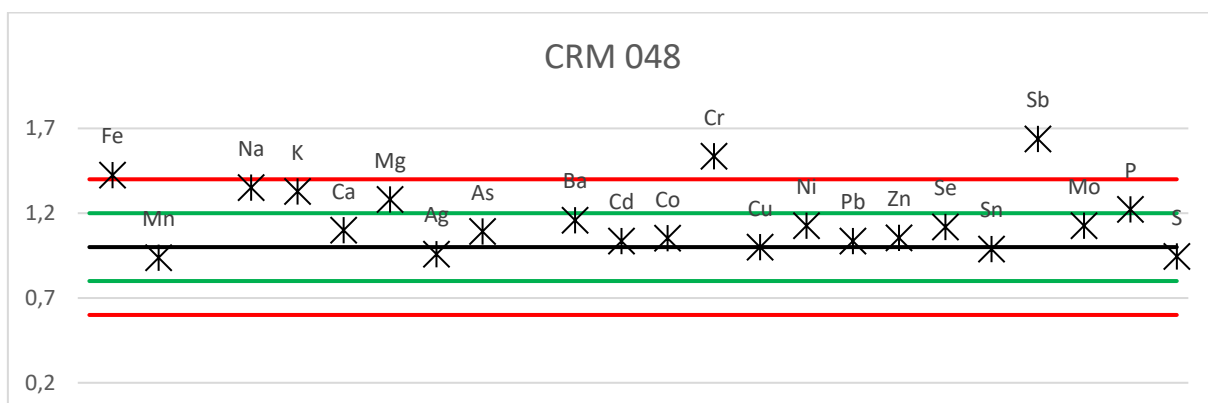
- MSZ 21470-50:2006 4.1 szakasz Cd, Ba, Co, Cr, Cu, Ni, As, Sn, Mo, Zn
- EPA 6010C:2007 Ag, Se, Sb, Fe, Mn, Al, B, P, Ca, Mg, Na, K

A mederüledék elemtartalmának vizsgálatát a feltárt mintákból ICP-OES készüléssel végeztem. Készülék típusa: Thermo ICAP 7600 Duo View (gysz: IC76DC141409). Az alkalmazott módszerparamétereket a 7. táblázat tartalmazza:

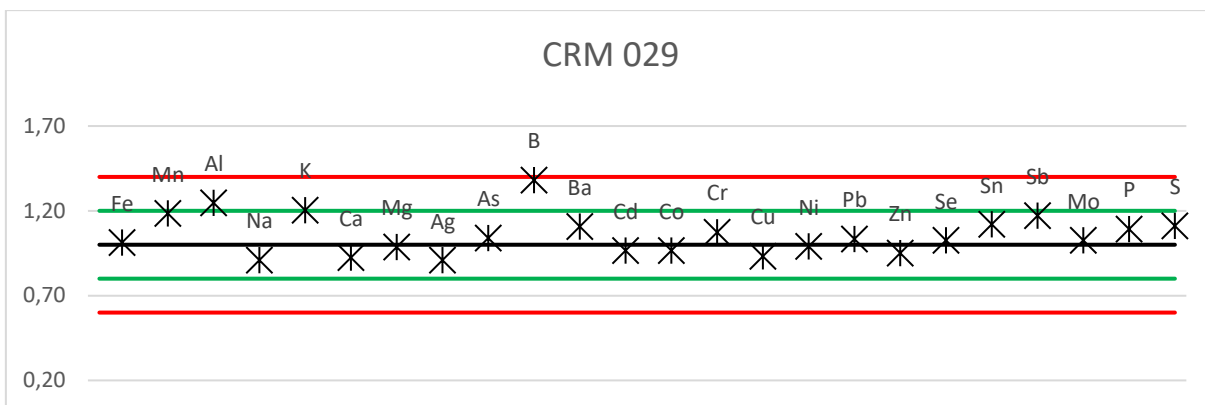
7. táblázat – ICP-OES Módszerparaméterek

	Radial		Axial	
	UV	Visible	UV	Visible
Exposure Time (s)	15	5	10	5
RF Power (W)	1150	1150	1150	1150
Nebulizer Gas Flow (l/min)	0,50	0,50	0,50	0,50
Coolant Gas Flow (l/min)	12			
Auxiliary Gas Flow (l/min)	0,5			
Additional Gas Flow (ml/min)	0			

A kalibráló oldatok készítéséhez WWR 28 elemes (LOT: 796380) multielemes standardoldattal készítettem, nagy tisztaságú (Merck Millipore Type 1) vízzel, 65%-os salétromsav hozzáadásával készítettem. Az kalibráció ellenőrzéséhez a WWR ICP Quality Control Standard #1 (lot:221015144) referenciaanyagát használtam. A királyvizes feltárás ellenőrzéséhez CRM048-50G (lot: LRAB8407) Trace Metals – Sand 1, illetve a CRM029-50G Trace Metals – Sewage Sludge 2 (lot: LRAB4367) referenciaanyagokat használtam. A visszanyeréseket az 16. és 17. ábrák foglalják össze.



16. ábra CRM-048 referenciaanyag visszanyerései



17. ábra CRM 029 referencianyag viszanyerései

Megfigyelhető, hogy a CRM048-ból jellemzően 100%-nál nagyobb a számított viszanyert mennyiségek mértéke. Ez rendszeres (szisztematikus) hibára enged következtetni. A 24 vizsgált elemből 15 esetében a viszanyerés $80\% < R < 120\%$, 4 elem a még elfogadható, $120\% < R < 140\%$ sávban van, és 5 elem esetében viszont $R > 140\%$. Az alkálifémek (Na, K) és Mg esetében 120%-ot meghaladó pozitív eltérést tapasztalunk, a vas 142%. Az antimon esetében az elérést okozhatja a mintamátrix összetevőiből eredő spektrális zavarás. Krómnál és alumíniumnál a korábbi tapasztalatok azt mutatják, hogy a referencianyag szennyeződhetett. Bór esetében a mérőlombik és a savak tárolóedényei anyagából történő kioldódás állhat a magas viszanyerés hátterében. A CRM 29-nél a Al, B és a K haladja meg a 120%-ot.

Az előkészített kivonatok elemkoncentrációjából az alábbi képlettel számítható ki a teljes mintára vonatkozó koncentráció:

$$C = \frac{(c_{old} - c_{vak}) \cdot V}{m_b \cdot sza}$$

ahol:

- C: a minta tömegkoncentrációja száraztömegre vonatkoztatva (mg/kg sza.)
- c_{old} : előkészített oldat koncentrációja ($\mu\text{g/l}$)
- V: előkészített oldat térfogata (l)
- m_b : bemérés (g)
- sza: szárazanyag (száraz tömeg/nedves tömeg)

3.6. Felszíni vizek vizsgálata ICP-MS készülékkel

A felszíni víz minták elemtartalmának elemzése Thermo ICAP Q ICP-MS (Gysz: 03643R) ütközési cellás, kvadrupol tömeganalizátorral rendelkező készülékkel történt.

Plazmába csatolt teljesítmény 1550 W, a külső plazmagáz térfogatárama (Cool Flow) 14 l/perc, a kiegészítő (Aux flow) gázé 0,8 l/perc, a porlasztógáz (nebulizer flow) hangolható.

A plazma begyűjtését és a kónuszok kondicionálását követően az optimális működési paramétereket, a plazmaégő helyzetét és a porlasztógáz térfogatáramát hangolással (Tune) kell beállítani. A Tune-hoz ThermoFisher Tune B solution-t használunk. A hangolást STD és KED módok mellett egyaránt el kell végezni. A hangolt jellemzők a porlasztógáz térfogatárama (Nebulizer Flow, l/perc), a fáklya pozíciója (Torch Horizontal Position, Torch Vertical Position, mm), Extraction Lens 2, (V), illetve a CCT Focus Lens (V).

Kalibráló standardnak VWR 28 komponenses standardoldatát használtam (LOT:796380). Belső standardnak 8 komponenses (Bi, Ho, In,⁶Li, Sc, Tb, Y, Rh) CPA Chem CRM oldatot (LOT:771987) használtam. A viszonyításhoz használt elem izotópok: ⁴⁵Sc ⁸⁹Y, ¹¹⁵In. Az 8. táblázat tartalmazza az alkalmazott módszerparamétereket:

8. Táblázat ICP-MS módszerparaméterek

Izotóp	Cellamód	Dwell time [s]	Channels	Spacing [u]
45Sc	KED (He)	0,02	3	0,1
52Cr	KED (He)	0,02	3	0,1
53Cr	KED (He)	0,02	3	0,1
58Ni	KED (He)	0,02	3	0,1
60Ni	KED (He)	0,02	3	0,1
63Cu	KED (He)	0,02	3	0,1
64Zn	KED (He)	0,05	3	0,1
65Cu	KED (He)	0,02	3	0,1
66Zn	KED (He)	0,05	3	0,1
75As	KED (He)	0,1	3	0,1
89Y	KED (He)	0,02	3	0,1
111Cd	KED (He)	0,02	3	0,1
112Cd	KED (He)	0,02	3	0,1
114Cd	KED (He)	0,02	3	0,1
115In	KED (He)	0,02	3	0,1
206Pb	KED (He)	0,02	3	0,1
207Pb	KED (He)	0,02	3	0,1
208Pb	KED (He)	0,02	3	0,1

Automata mintaadagoló (Cetac ASX-520) segítségével a minták adagolása, és a minták közti öblítés automatikus. A belső standard adagolása online módon történik, azt egy Y csatlakozó segítségével vezetjük be a minta ágba. A pneumatikus porlasztást követően a 2,7 °C-ra hűtött ciklon ködkamrából a kis méretű aeroszol részecskék a plazmába jutnak.

Az ellenőrzéshez a Spectapure Standards SPS-SW1 referenciaanyagát, illetve a WWR ICP Quality Control Standard #1 (lot:221015144) referenciaanyagát használtam.

A szűrt és savazott minták közvetlenül mérhetők. Amennyiben erős mátrixhatást tapasztalunk (a belső sztenderd visszanyerése <70%), akkor a minta hígítása szükséges.

Az ólom számításánál figyelembe kell venni, hogy a 206, 207, 208-as tömegszámú izotópok aránya kissé változik a természetben, mivel ezek az három bomlási sor végtermékei. Ezért ezen a három m/z arányon mért intenzitások összegéből számítjuk ki az egyenes együtthatóit és az ólom mennyiségét a mintákban (US EPA, 2014; ISO, 2007).

3.7. Arzén mérés felszíni vízből ICP-MS-sel

A kvadrupol ICP-MS készülékeknél gyakorlatban általában 0,7-1 amu felbontás érhető el (Záray & Mihutz, 2019), ezért az azonos névleges m/z értékkel rendelkező ionokat a rendszer azonos elemként detektálja. Az elemizobárok és a molekulaionok keletkezése interferenciát okoz. Az interferenciát okozó ionok hatásának kompenzálására több stratégia lehetséges. Egyik a matematikai korrekció alkalmazása. A korrekciós tényezőket az izotóparányok alapján tudjuk kiszámítani. (US EPA, 2014)

A mai kvadrupol ICP-MS-ekben ütközési- vagy reakciócellát alkalmaznak a molekulaionok zavarásának csökkentésére. A készülék KED (Kinetic Energy Discrimination) üzemmódjában a fókuszált ionáram multipol elrendezésű rudak között hélium gázzal öblített cellán halad végig, ahol az ionok ütköznek az atomos gázzal, így a kinetikus energiájuk csökken. A nagyobb ütközési keresztmetszettel rendelkező többatomos ionok ütközési valószínűsége nagyobb lesz, mint az elemionoknak, így az előbbiek több ütközést szenvednek el és a kinetikus energiájuk alacsonyabb lesz. A rudak feszültégét úgy szabályozzák, hogy potenciálgátat képezzen a cella kilépésénél, így bizonyos kinetikus energiaszint alatt az ionok nem juthatnak tovább a tömeganalizátorba. (Norilyuki , 2015)

Az egy természetes izotóppal rendelkező arzén mérésél nem szabad figyelmen kívül hagyni, hogy minta kloridtartalmából származó torzítás jelentős lehet, és szisztematikus hibaként jelenhet meg az eredményekben. Ezt az okozza, hogy a klór argonnal képzett molekula ionjainak ($40\text{Ar}^{35}\text{Cl}^+$ $m=74,9312358$) névleges m/z aránya azonos a 75As^+ ($m=74,9215955$) ion m/z arányával.

Ütközési cella használata nélkül matematikai korrekció alkalmazandó.

$$I(75 \text{ As}) = I(m/z 75) - 3.13 \times [I(77 \text{ Se}) - [0.87 \times I(82 \text{ Se})]] \quad (\text{US EPA, 2014})$$

Ahol:

- I: izotóp válaszjele (beütésszám)
- m/z: tömeg/töltés arány

3.7.1. Ütközési cella és KED mód alkalmazása

Kísérletet tettünk, hogy megfigyeljük, mennyire hatékonyan távolítja el a zavaró ionokat az ütközési gáz alkalmazása. Ismert arzén koncentrációjú oldatokat ismert mennyiségű Cl⁻ ionot tartalmazó oldatot készítettünk. Összehasonlítottuk a készülék válaszjeleit vakoldattal és 3 különböző koncentrációjú oldattal NaCl mátrix jelenlétében és anélkül, STD (ütközési gáz nélküli) és KED (He gáz) üzemmódban. A mátrixhatás és a drift korrigálására ⁸⁹Y belső sztenderdet használtunk.

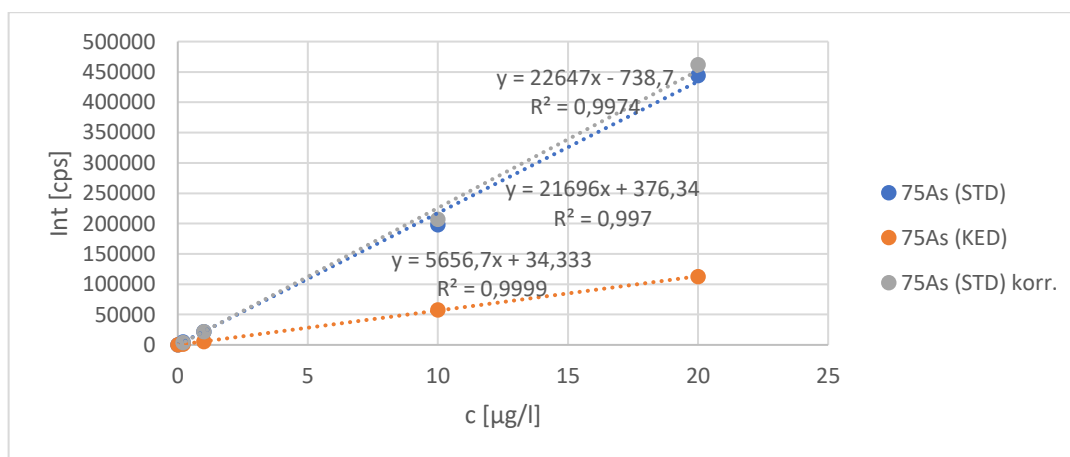
Külső kalibrációhoz alkalmazott standard oldatok: vakoldat; 0,1 µg/l; 0,2 µg/l; 10 µg/l; 20 µg/l As koncentrációval.

5000 mg/l Cl⁻ törzsoldat: 824,3 mg NaCl 100 ml Millipore vízben feloldva.

Ellenőrző oldatok: vakoldat Cl⁻ nélkül; vakoldat+500 mg/l Cl⁻ mátrix; 0,2 µg/l As; 0,2 µg/l As, 500 mg/l Cl⁻ mátrixban; 1,0 µg/l As; 1,0 µg/l As, 500 mg/l Cl⁻ mátrixban; 10 µg/l As; 10 µg/l As, 500 mg/l Cl⁻ mátrixban

A kalibráló standardok és az ellenőrző oldatok 0,5% HNO₃-t tartalmaznak.

A 18. ábrán a kalibrációs egyenesek látszanak. Az R² értékek minden esetben meghaladják az elvárt 0,99 értéket, (KED módban 0,9999).



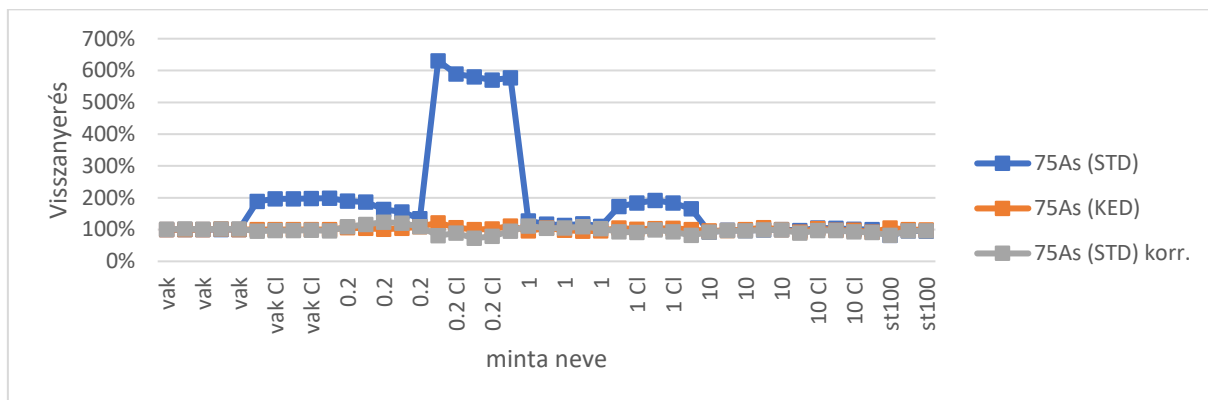
18. ábra Arzén mérőgörbék a STD, KED módban és képlettel korrigált STD mód esetén

Az 9. táblázat tartalmazza az eredményeket. A visszanyeréseket a 19. ábra mutatja.

9. Táblázat STD és KED üzemmódok összehasonlítása

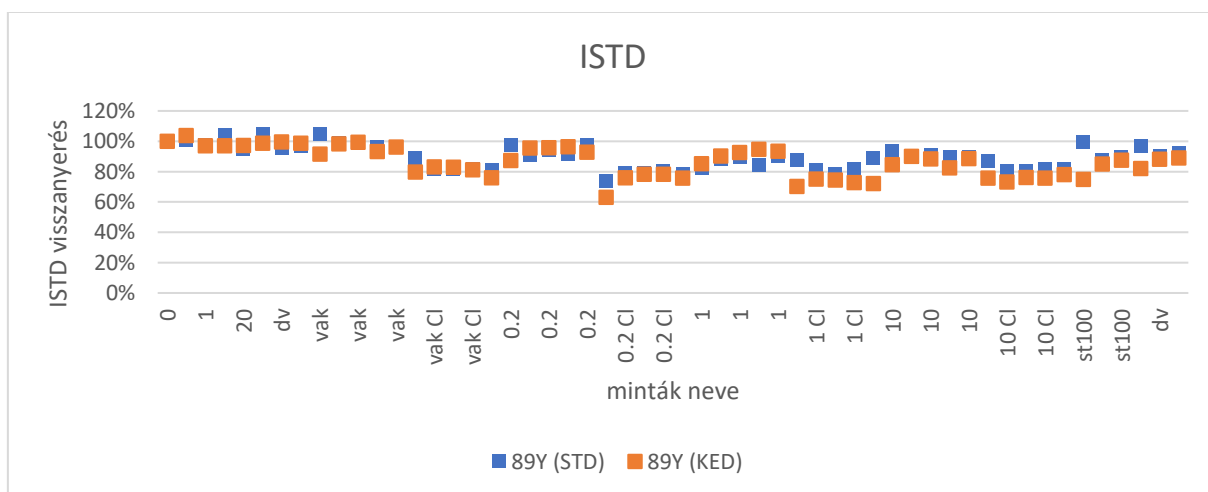
	75As (STD)			75As (KED)			75As (STD) képlet korr.		
	Átlag (µg/l)	szórás (µg/l)	RSD %	Átlag (µg/l)	szórás (µg/l)	RSD%	Átlag (µg/l)	szórás (µg/l)	RSD%
Vak	0,00	0,001	69,7%	0,01	0,001	12%	0,02	0,007	46%
Vak+Cl	0,96	0,043	4,5%	0,00	0,001	55%	-0,03	0,011	-34%

	75As (STD)			75As (KED)			75As (STD) képlet korr.		
0.2	0,33	0,016	4,7%	0,21	0,006	2,8%	0,23	0,013	5,5%
0.2+Cl	0,56	0,021	3,7%	0,22	0,008	3,6%	0,23	0,011	4,9%
1	1,17	0,054	4,6%	0,98	0,039	4,0%	1,06	0,037	3,5%
1+Cl	1,79	0,055	3,1%	1,03	0,022	2,1%	0,92	0,041	4,5%
10	9,72	0,308	3,2%	9,99	0,366	3,7%	9,64	0,294	3,1%
10+Cl	10,15	0,320	3,2%	9,65	0,469	4,9%	9,33	0,326	3,5%



19. ábra A minták arzén visszanyerései (%)

Az 19. ábrán látható, hogy STD módban a klorid jelenléte jelentősen befolyásolja a jelintenzitásokat. Emellett STD-ben a 0,2 µg/l koncentrációjú és 1 µg/l koncentrációjú klorid nélküli kalibráló oldatokat sem sikerült visszamérni megfelelő pontossággal visszamérni. A 20. ábra a belső standard (89Y) visszanyeréseket ábrázolja STD és KED módban.



20. ábra ISTD visszanyerés

A belső standard visszanyeréseken látszik, hogy erős mátrixhatás áll fenn a NaCl tartalmú minták esetében. A hatás nagy valószínűséggel független a gázmódtól, és a mintaporlasztás, illetve a plazmában lejátszódó folyamatok és a kónuszok állapota befolyásolja.

A készülék szoftvere korrigálja a kiválasztott elemet a viszonyítási elemmel, a ^{89}Y -mal. A korrekciós faktor (f_{IS}) az alábbi képlettel számítható:

$$f_{IS} = \frac{I(IS)_{SAMPLE}}{I(IS)_{BLANK}}$$

ahol:

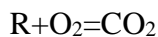
- $I(IS)_{SAMPLE}$: a belső sztenderd jelintenzitása a mintában
- $I(IS)_{BLANK}$: a belső sztenderd jelintenzitása a kalibráló vakoldatban.

3.8. Üledékminták összes szerves széntartalmának (TOC) meghatározása

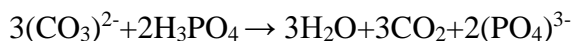
Az összes szervesszén meghatározás ANALITIK JENA MultiEA 4000 TC/TOC analizátorral történt, Az MSZ EN13137:2003 szabvány alapján. Szilárd mintás technika, nem igényel előzetes feltárást.

3.8.1. A vizsgálat elméleti háttere:

Az összes szén (total carbon: TC) meghatározása a szilárd minta minta 1150 °C-on történő termikus oxidációja során keletkező CO_2 infravörös detektálásával (NDIR, nem-diszperzív infravörös abszorpciós detektor) történik.



Az összes szerveszén (total inorganic carbon: TIC) meghatározása során a minta karbonátban kötött széntartalmának meghatározása történik savas feltárással. Megjegyzendő, hogy ezzel a módszerrel csak a karbonátok és hidrogén-karbonátok meghatározása történik, a szénszemcsékben, a karbidokban, cianidokban, cianátokban, izocianátokban, tiocianátokban lévő szén nem szabadul föl CO_2 -ként, így azok szerves szénként kerülnek meghatározásra. (MSZ, 2003)



A TOC (total organic carbon) az összes szén és az összes szerveszén különbségként kerül meghatározásra. Ezt közvetett eljárásnak nevezik (szabvány). Fontos még megjegyezni, hogy a mintaelőkészítés során az illékony szerves anyagok származó széntartalma veszteségként jelentkezik.

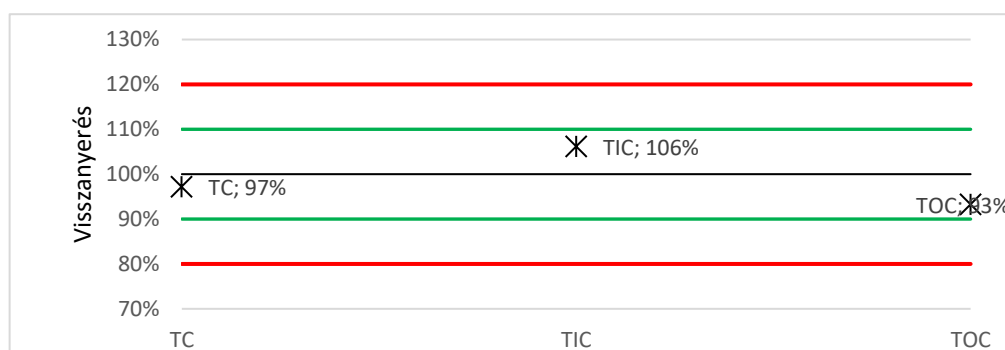
3.8.2. Mérés kivitelezése:

A készülékkel TIC és TC programok által mért elemtartalmak különbségével számítható a TOC. A szoftverben módszer alapján egy meghatározáshoz két kerámiacsónakba kell a

mintából bemérni milligramm pontossággal. A mintát az FPG 48 automata mintaadagoló rendszer juttatja a TIC reaktorba, vagy az égetőcsőbe. Az első bemérő-csónakból egy a TIC meghatározása történik. A TIC reaktorban termikus oxidáció nem történik. A foszforsav adagolását automata adagoló végzi. 50 mg mintához 400 µl 40%-os H₃PO₄-at adagolása szükséges. A mérőgáz a TIC modulon lévő gázszáritón és halogéncsapdán keresztül halad és jut a detektorba.

Ezt követi a TC meghatározás, amely a hőálló kerámia (HTH) égetőcsőben 1150 °C-on való termikus oxidációval. A meghatározás külön kerámia-csónakba mért mintarészletből történik. Lehetséges lenne ugyan savazott mintából közvetlenül TOC-t mérni, de az a kemence és a töltetek gyors elhasználásához vezetne.

A készülék ellenőrzését CaCO₃-tal végezzük, a mérőgörbe ellenőrzéséhez és a minták közti ellenőrzéshez előre elkészített keverékeket használunk, amelyeket az MSZ EN 13137:2003 szabvány 7.8 és 7.9 pontja alapján készítettünk el. A visszanyerések az alábbi *ábra* tartalmazza. Az ellenőrző minta TC tartalma 33,2 g/kg, TIC tartalma 103,9 g/kg, TOC tartalma 73,6 g/kg.



21. ábra Ellenőrző keverék visszanyerése

A visszanyeréseken látszik, hogy a TC-t aláméri, és a TIC-t fölé, így a különbségként számított TOC is kisebb lesz, de így is a 10%-os határon belül van.

4. Eredmények és értékelésük

4.1. Mintavételek 2022. július és december között

2022 júliusától 2022 decemberéig az következő helyeken vettem mintát a folyóból havi rendszerességgel: Sülysáp-Tápióság, Tápiószecső, Halastavak felett Tápióság Tápióbicske Tápiógyörgye Tápiószele. Összesen 24 db felszíni víz minta, 6 mintavételi pontról. Üledékből összesen 5 db minta. A 10. táblázat tartalmazza a mintavételi helyek EOX koordinátáit és azt, hogy az egyes helyekről hány mintát tudtunk venni.

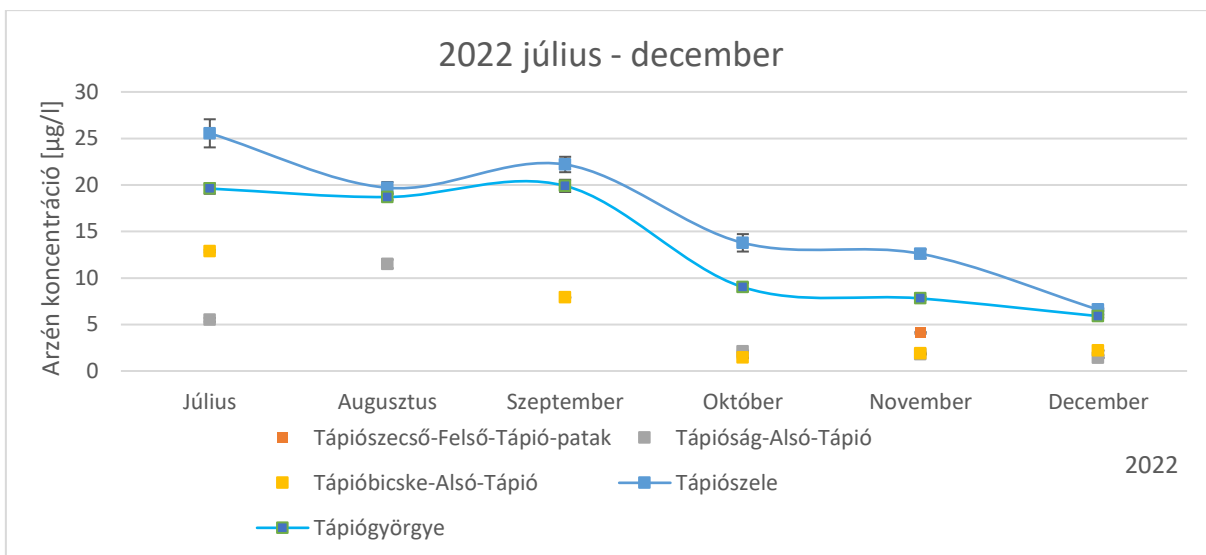
10. táblázat: Mintavételi helyek koordinátái és minták száma

Mintavételi hely	EOX	EOY	Mintaszám
Sülysáp-Tápióság	233953	686794	0
Tápiószecső, Halastavak felett	234061	690886	2
Tápióság	228766	693172	5
Tápióbicske	228820	698132	5
Tápiógyörgye	221309	718409	6
Tápiószele	220297	712671	6

A patakok kiszáradása miatt a nyár folyamán több helyről nem volt lehetséges a mintavétel. Sülysáp-Tápiósápnál egy alkalommal sem tudtunk mintát venni. Az Egyesült-Tápión minden alkalommal volt víz mindkét ponton. A 11. táblázat a mintákban mért oldott-arszen koncentrációkat ($\mu\text{g/l}$) mutatja.

11. táblázat: Arzen koncentrációk ($\mu\text{g/l}$)

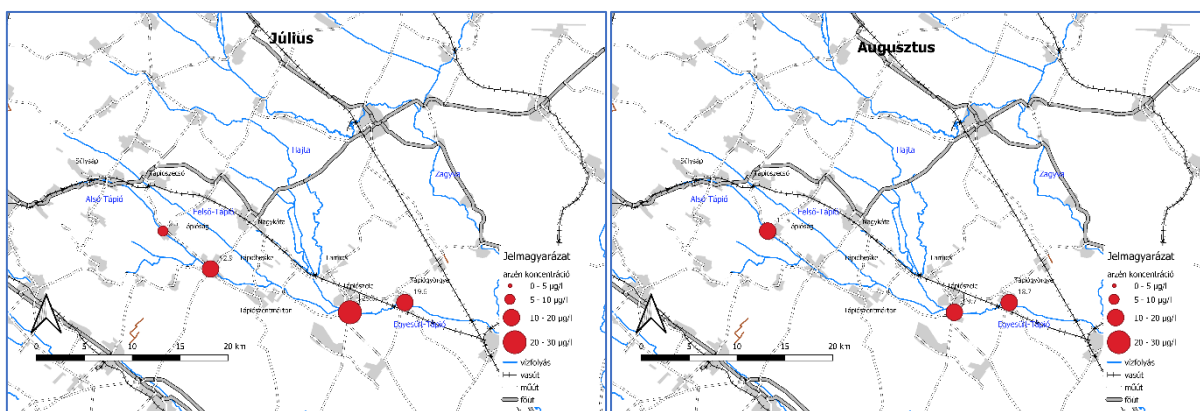
	Július	Augusztus	Szeptember	Október	November	December
Sülysáp Alsó-Tápió	-	-	-	-	-	-
Tápiószecső-Felső-Tápió-patak	-	-	-	-	4,1	1,6
Tápióság-Alsó-Tápió	5,5	11,5	-	2,1	1,8	1,4
Tápióbicske-Alsó-Tápió	12,9	-	7,9	1,4	1,9	2,2
Tápiószele	25,6	19,7	22,2	13,8	12,6	6,6
Tápiógyörgye	19,6	18,7	19,9	9,0	7,8	5,9



22. ábra Arzén koncentrációk 2022 júliustól decemberig

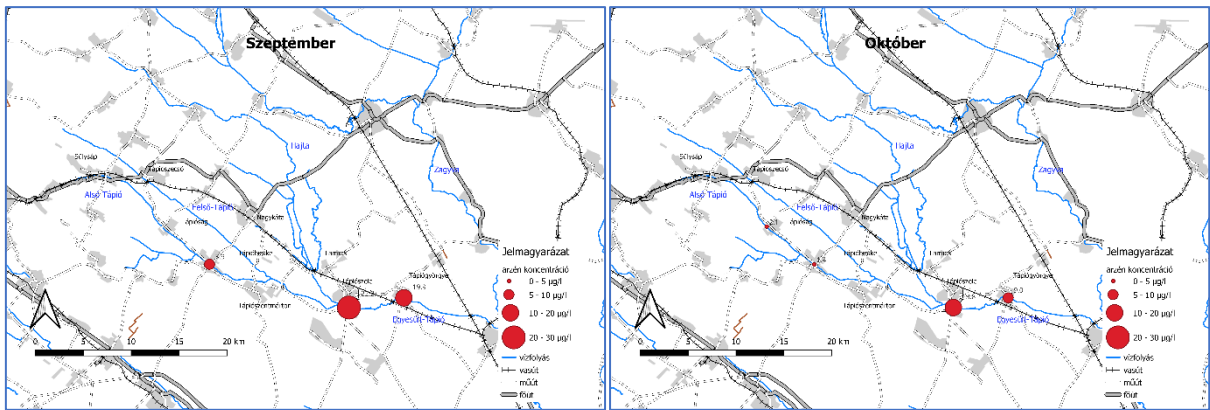
A legmagasabb koncentráció minden hónapban Tápiószele mintavételi ponton volt. Tápiógyörgye mintavételi hely követi, amely folyásiránynak lefelé 6,7 km-re található. A 22. ábrán feltüntetett görbék alapján látszik, a hasonló trend. A másik három mintavételi ponthoz az adathiány miatt trendvonal illesztése nem lehetséges. Az eltérések átlaga 3,3 µg/l, 68% relatív szórás mellett. A Tápiószele – Tápiógyörgye koncentrációk arányának átlaga 1,29, (RSD=18%). A többi mintavételi pont ahogy a 23-28. ábrákon is látszik, a két Tápió összefolyása felett helyezkedik el. Minden alkalommal lényegesen alacsonyabb volt feljebb a koncentráció. A megnövekedett arzén forrása valószínűsíthetően az Egyesült-Tápió Tápiószele felett a fenti mintavételi pontok között helyezkedhet el. A Hajta-patak, Tápiószele felett torkollik a Tápióba, azonban a patak és a Hajta mocsarai is jórészt szárazon voltak a nyár folyamán. A Farnosznál tervezett mintavételeket nem tudtuk végrehajtani.

Az alábbi térképeken feltüntettem az oldott-arzén koncentrációkat:



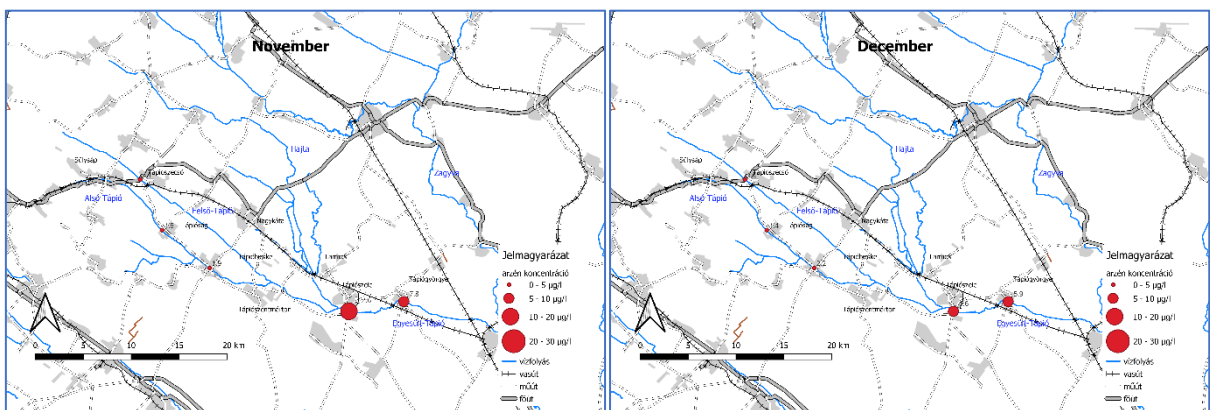
23. ábra Júliusi arzén koncentrációk

24. ábra Augusztusi arzén koncentrációk



25. ábra Szeptemberi arzén koncentrációk

26. ábra Októberi arzén koncentrációk



27. ábra Novemberi arzén koncentrációk

28. ábra Decemberi arzén koncentrációk

A Tápionszelei vízmintavételi pont a 2.3.11. fejezetben tárgyalt transzformátorgyár területén lévő szennyezett talajvízű kármentesítés alatt álló terület felett van. Jakab és munkatársai (2016) munkájukban megállapították a talajvíz Ény-DK áramlási irányát, és a lokális leáramlást, amelyek egy sekély feláramló komponense a Tápíó irányába alakul ki. (Jakab, et al., 2016) A terület a mintavételi ponttól 700 m-re keletre helyezkedik el, a talajvíz ellentétes irányba áramlik. Ugyanakkor a felszín alatti víz hozzáfolyása – főleg a száraz időszakokban – számottevő mértékét adhatja a vízfolyásnak. Ennek figyelembevételéhez szükséges lenne talajvízkutak arzén koncentrációit vizsgálni a patak mentén.

Jakab és munkatársai tanulmányában magas talajvíz arzén koncentrációkat állapítottak meg a Tápionszelei Ganz telephely környezetében. A vízkor meghatározás trícium elemzések alapján kimutatta, hogy 20-40 m mély rétegvíz kutak esetén a felszínről már nem jutott 1952 után víz. Az antropogén eredetű szennyezést kizárták. A tanulmány szerint a telephely környékén kicsi, de nem kizárt a mélyebb eredetű (alsó-pleisztocén vagy pannon) vizek felszín-közelsébe jutásának a valószínűsége. Így arra a megállapításra jutottak, hogy az emelkedett arzéntartalmát

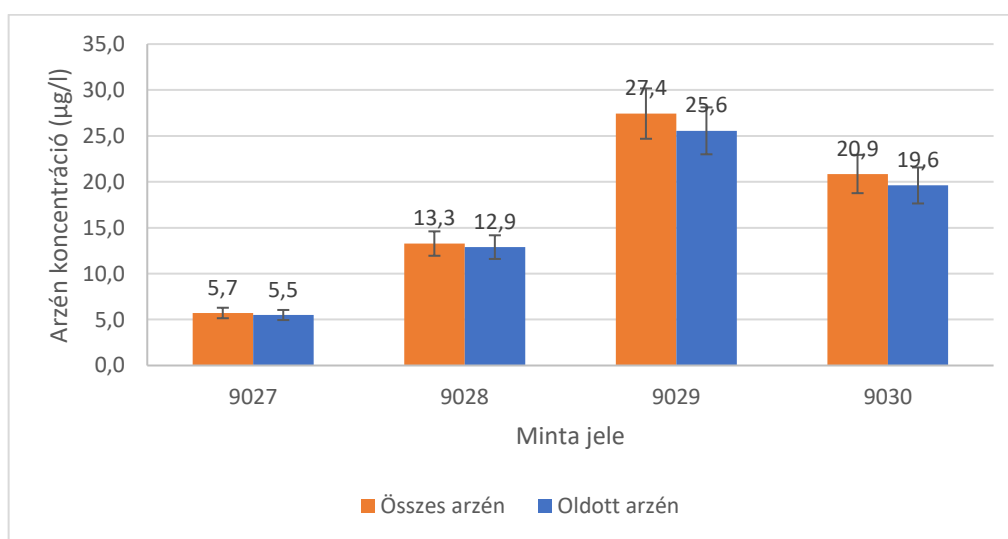
a talajból történő kioldódás okozza. Ehhez a talajban lejátszódó mikrobiológiai tevékenység szükséges. (Jakab, et al., 2016)

4.2. Összes-arzén – oldott-arzén kapcsolata

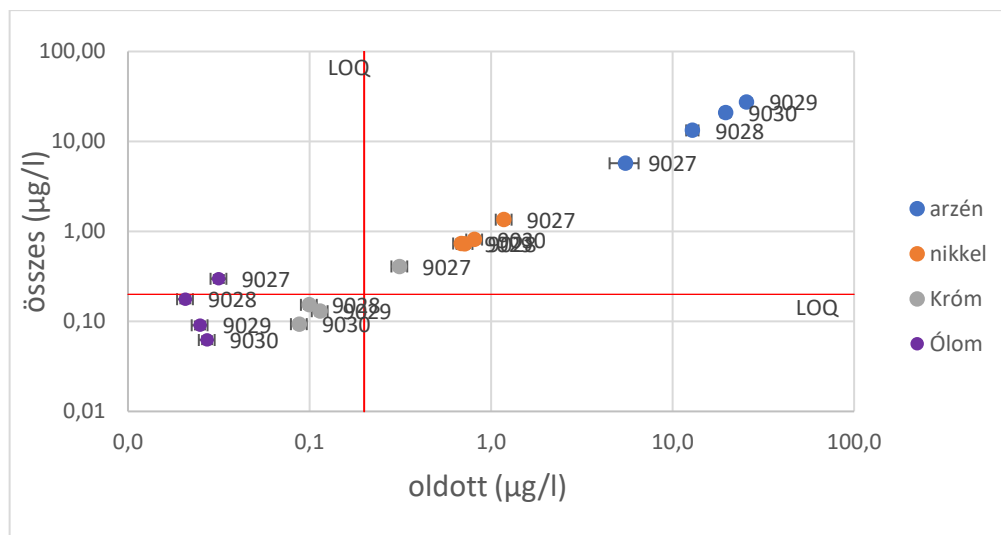
A júliusi mintavétel során a szűrt és eredeti mintát is vizsgáltam. A 0,45 µm pórusméretű szűrőn átszűrt minta az oldott elemtartalomra, az eredeti, szűrés nélkül salétromsavazott minta az összes elemtartalomra utal. Arzén és nikkel esetében alsó méréshatár (LOQ) fölötti mintáknál megfigyelhető, hogy döntően (90% feletti arányban) az oldott hányadban van jelen. A lenti ábra mutatja az összes koncentrációt az oldott koncentráció függvényében. Az 12. táblázat és a diagram a mérési eredményeket mutatja.

12. táblázat Oldott-arzén – összes-arzén koncentrációk

Mintavétel helye	Minta száma	As oldott (µg/l)	As összes (µg/l)
Alsó-Tápió - Tápióság	9027	5,5	5,7
Alsó-Tápió - Tápióbicske	9028	12,9	13,3
Egyesült-Tápió-Tápiószele	9029	25,6	27,4
Egyesült-Tápió - Tápiógyörgye	9030	19,6	20,9



29. ábra Összes- és oldott- arzén koncentrációk a júliusi mintákban



30. ábra Összes- oldott komponensek koncentrációi a júniusi mintákban.

A 30. ábra összes és oldott komponensek koncentrációi a júniusi mintákban. A különböző koncentrációtartományok miatt a tengelyek logaritmikusak. A módszer meghatározási határát az LOQ jelöli, az ez alatti értékek bizonytalanok.

Egy mintavétel adataiból nem vonhatunk le hosszabb távú következtetéseket. További vizsgálatok, megfelelő mennyiségű mérési adatra lenne szükség, hogy megbízhatóan meghatározzuk az oldott-arszén - összes arzén megoszlását. Ugyanakkor feltételezhetjük, hogy az agyagon, vas és mangán oxi-hidroxidokon és szerves anyagon megkötődő arzénforma a síkvidéki jellegű, kis vízhozamú vízfolyásban hamar adszorbeálódik, kiülepedik. Más folyókon végzett kutatások közleményeiben az összes-arszén – oldott-arszén megoszlása különböző, a helyi környezeti adottságok befolyásolják.

Baker és munkatársai (1998) a tanulmányukban az arizonai Verde folyó arzén koncentráció – lebegőanyag összefüggését vizsgálva megállapították, hogy az arzén túlnyomó részben az oldott fázisban van jelen, a lebegőanyag széles tartományában. Munkájukban 10-10000 mg/l oldottanyag koncentráció mellett is 88-89% volt az oldott-arszén hányada. (Baker, et al., 1998)

Egy finn tanulmányban, amely a Vahantajoki vízbázist monitorozta, amely bányászati eredetű arzénszennyezés útvonala, az oldott-arszén az összes-arszén körülbelül felét teszi ki, nagy (100 µg/l koncentrációk) mellett. A vizsgált szakasz mindössze 7 km hosszú, arzén-terheltsége magas a bányászati eredetű csóvának (tailing), savas bányavizeknek (acid mine drainage), és a magas arzéntartalmú alapközetnek köszönhetően. (Ä. Bilaltdin, et al., 2007) Magyarországon az Ipolyon - Ipolytarnóc határvízi mintavételi ponton - az utóbbi három év (2020-2022) havi adatait tekintve az oldott-arszén – összes-arszén arány átlaga 74%, mediánja szintén 74%, az

arányok szórása 0,11, minimuma 56%, maximuma 100%. (Környezetvédelmi Mérőközpont, nem publikált adatok, 2023)

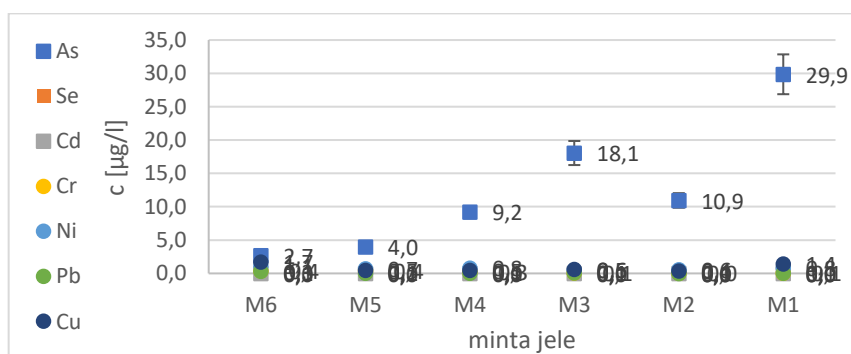
4.3. Egyesült-Tápió, 2022.11.01-i mintavétel

A mintavétel célja, hogy tájékozódjunk az Egyesült-Tápión az arzén megjelenéséről és térbeli eloszlásáról. A M1-M6 minták számozása folyásiránnyal ellentétesen történt. A tápiószelei – tápiógyörgyei minták viszonya hasonló a korábban tapasztaltakhoz. A mintavétel során Tápiógyörgyén szinte állt a víz, míg Tápiószelénél az összeszükülő mederben a gyors folyású helyről lehetett mintát venni. Az Újszászi mintánál nem volt érzékelhető vízfolyás, a minta egy felhagyott szivattyúzó műtárgynál történt. Nagyjából 1,2 kilométerrel lejjebb a patakot egy hódgát torlaszolta el. Az 13. táblázat tartalmazza a minták elemkoncentrációit.

13. táblázat – Elemkoncentrációk

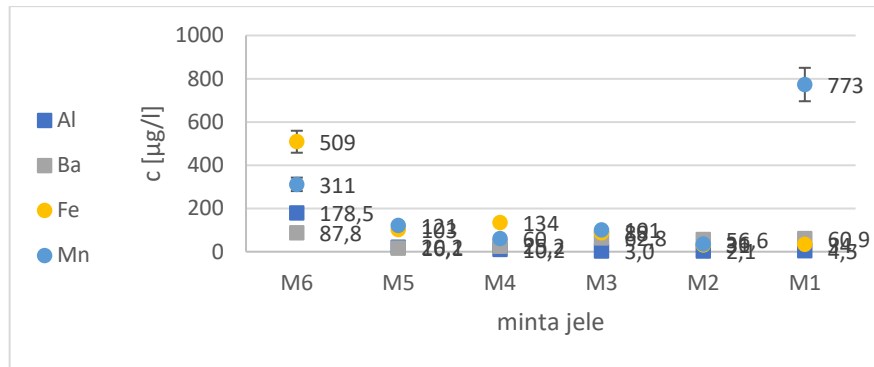
minta jele	As (µg/l)	Cd (µg/l)	Cr (µg/l)	Ni (µg/l)	Pb (µg/l)	Cu (µg/l)	Se (µg/l)	Al (µg/l)	Ba (µg/l)	Fe (µg/l)	Mn (µg/l)	Na (mg/l)	K (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)
M1	29,9	<0,01	<0,2	0,8	<0,2	1,4	<0,2	4,5	60,9	34,0	773	116	14,7	101	49,1
M2	10,9	<0,01	<0,2	0,6	<0,2	0,4	<0,2	2,1	56,6	30,5	36,1	107	13,0	75,3	48,6
M3	18,1	<0,01	<0,2	0,5	<0,2	0,6	<0,2	3,0	62,8	88	101	111	12,3	84,1	51,8
M4	9,2	<0,01	0,3	0,8	<0,2	0,5	<0,2	10,2	25,2	134	59,8	158	22,7	53,4	30,8
M5	4,0	<0,01	0,4	0,7	<0,2	0,5	<0,2	20,2	16,1	103	121	177	24,7	46,3	30,0
M6	2,7	<0,01	0,4	1,1	0,3	1,7	<0,2	179	87,8	509	311	40,8	9,9	78,2	58,0

Az alábbi ábrák a minták elemkoncentrációit tartalmazzák, külön diagramon a nyomelemek, a fő- és mellékalkotók.



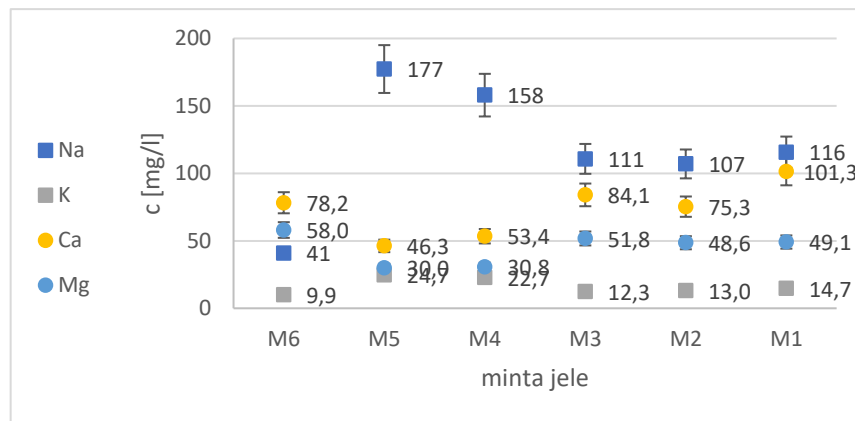
31. ábra Nyomelemek az M1-M6 mintákból

A nyomelemek esetében a kadmium, szelén minden mintában alsó méréshatár alatt volt, az ólom és króm esetében egy, illetve két minta haladta meg a 0,2 µg/l-es alsó méréshatárt.



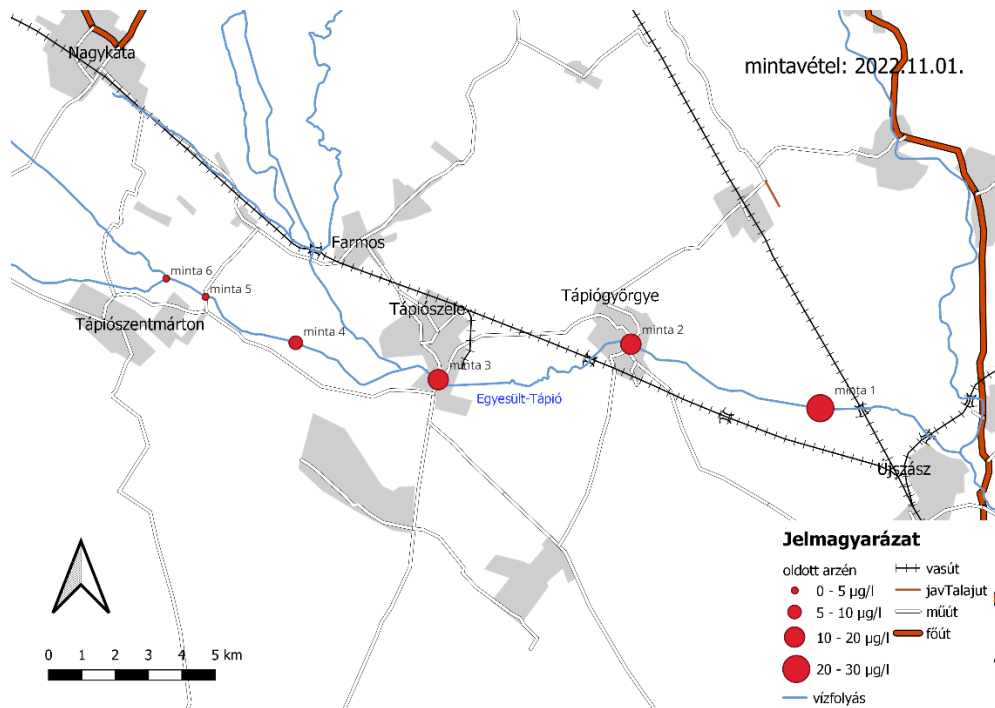
32. ábra Mellékalkotók az M1-M6 mintákban

Az M1 jelű minta (Újszász) kiugróan magas mangánt tartalmaz. A kiugró érték mellett megfigyelhető, hogy az oldott mellékalkotók koncentrációja lefelé haladva csökken.



33. ábra Főalkotók az M1-M6 mintákban

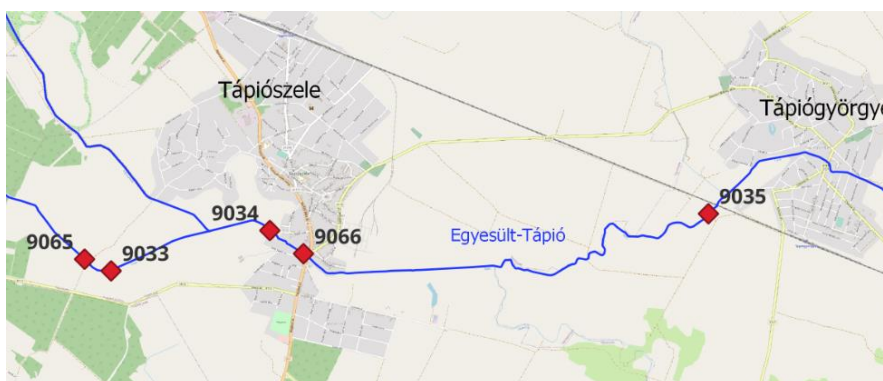
Megfigyelhető, hogy a Tápiószele-Tápiógyörgye (M3/M2) koncentrációk aránya 1,66, amely hasonló az október, illetve november havi mintavételekéhez. Az M1 jelű mintának magas az arzén és kiugróan magas a mangán tartalma, melynek okát további mintavétellel és vizsgálatokkal lehetne ellenőrizni. Az M4 és M5 jelű mintákat a Tápiószentmárton üdülőterület alatt és felett vettem, az M6-ot a két ág összefolyásánál (itt nem volt vízfolyás, mert egy hódgát állta a patak útját). Látszik, hogy az összefolyástól lefelé haladva Tápiószeléig nő az arzén koncentráció, majd Tápiógyörgyén már alacsonyabb. Ezen adatok alapján elképzelhető az M4 és M3 pontok közötti pont- vagy diffúzforrás, esetleg a Hajta-patak irányából, azonban ennek a megállapítása részletes vizsgálatokat igényel. A mért arzén koncentrációkat a 34. ábra mutatja.



34. ábra Egyesült-Tápió arzén koncentrációi 2022.11.01-én

4.4. Üledék vizsgálatok

A mintavételek helyszíneit a 35. ábra mutatja. Az üledékminták elemtartalmát az 14. táblázat tartalmazza. A 3.5 fejezetben felsorolt elemek koncentrációi királyvizes feltárásból ICP-OES készülékekkel kerültek meghatározásra. Az összes szerves szén (TOC) az összes szén (TC) és összes szervesetlen szén (TIC) különbségként, szilárd mintás bemérésből a 3.8 fejezetben leírtak szerint, CO₂-dá történő oxidációval, infravörös detektálással történt.

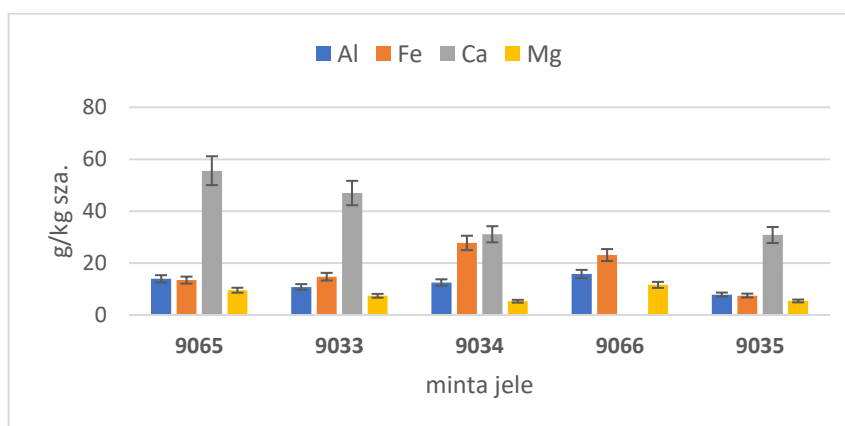


35. ábra Üledék mintavételi helyek

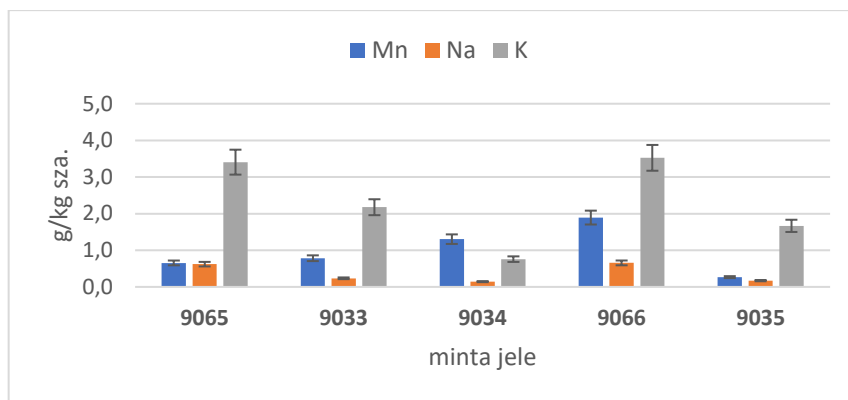
14. táblázat Üledékminták elemtartalma

		9033	9034	9035	9065	9066
Al	g/kg sza.	10,8	12,5	7,87	13,9	15,8
Fe	g/kg sza.	14,8	27,8	7,49	13,4	23,1
Mn	g/kg sza.	0,783	1,30	0,266	0,654	1,89
Na	g/kg sza.	0,235	0,144	0,171	0,621	0,655
K	g/kg sza.	2,18	0,758	1,67	3,41	3,52
Ca	g/kg sza.	47,0	31,1	30,8	55,6	68,8
Mg	g/kg sza.	7,41	5,31	5,41	9,56	11,6
P	g/kg sza.	0,625	0,308	0,185	0,598	2,05
S	g/kg sza.	2,62	0,370	0,363	0,395	4,40
Zn	mg/kg sza.	18,3	26,4	12,4	22,8	44,9
Cu	mg/kg sza.	5,0	1,1	1,8	5,6	8,7
Ni	mg/kg sza.	5,9	2,5	4,0	7,4	8,2
Pb	mg/kg sza.	2,5	1,2	1,2	4,7	5,3
Cd	mg/kg sza.	<0,1	<0,1	<0,1	0,1	0,1
Ba	mg/kg sza.	61,6	27,2	37,9	74,0	150
Co	mg/kg sza.	3,7	4,4	2,6	4,3	5,3
Cr	mg/kg sza.	13,6	19,2	9,2	16,8	19,5
As	mg/kg sza.	7,7	5,8	3,2	4,9	10,1
Ag	mg/kg sza.	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Se	mg/kg sza.	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
B	mg/kg sza.	<50	<50	<50	<50	<50
Mo	mg/kg sza.	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Sb	mg/kg sza.	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
TC (IR)	g/kg sza.	31	11	15	38	59
TOC (IR)	g/kg sza.	13	<2,0	<2,0	15	32

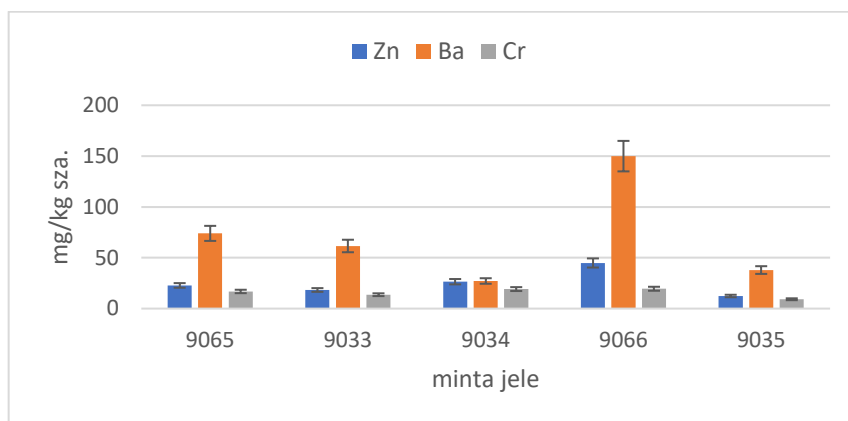
A mintavételi pontok a térképen, a diagramokon a minták sorrendje a térképen elfoglalt helyüket követi. Az eredményeket 36-40. ábra jeleníti meg.



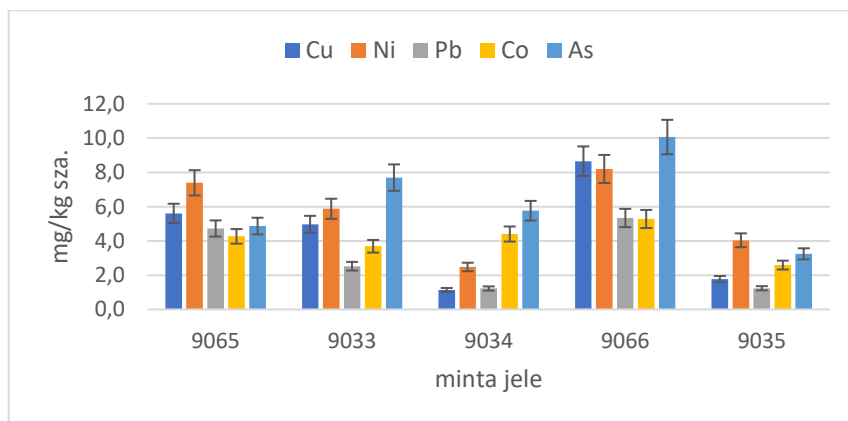
36. ábra Al, Fe, Ca, Mg



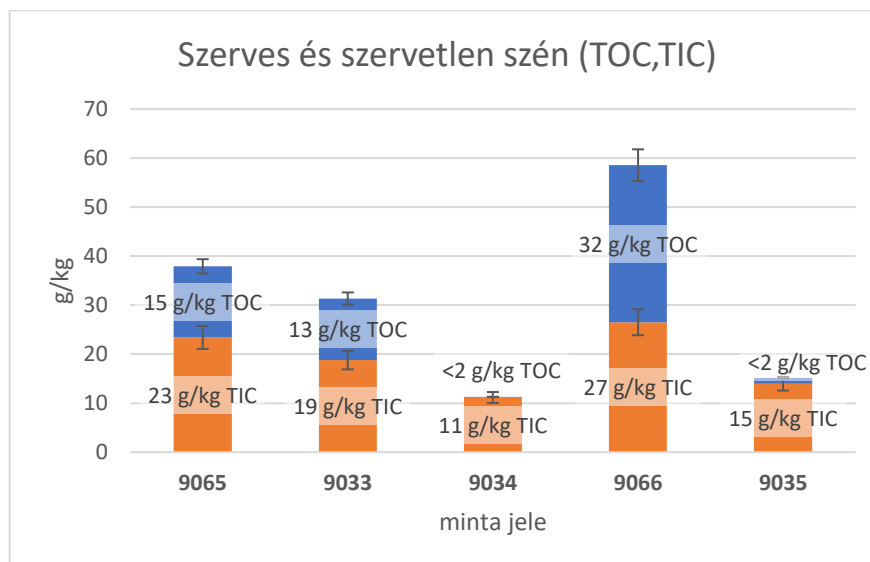
37. ábra Mn, Na, K



38. ábra Zn, Ba, Cr



39. ábra Cu, Ni, Pb, Co, As



40. ábra A minták összes szén, szervesetlen szén, és szerveszén tartalma

4.4.1. Eredmények korlátai

A 3.3 fejezetben leírtak szerint a helyek úgy lettek kiválasztva, hogy ahol a vízben emelkedett arzén koncentrációt mértünk. Tápiószele településnél, Hajta-patak alatt és felett, valamint Tápiógyörgyénél. A megmintázott üledék rétegeloszlását nem lehet pontosan meghatározni. A meder anyaga miatt a mintavételi eszköz nem volt optimális a pontos mintavételek végrehajtására. A nem megfelelő eszköz választása a tapasztalatlanságnak tudható be. A „peat” mintavevőből az üledék laza felső része ki tudott jutni, és csak a mélyebb, szilárdabb anyagú réteg maradt benne. Ilyen üledék mintavételére más típusú mintavevő eszközt kell alkalmazni. Jobb minőségű, jobban összehasonlítható eredmények születnek, a mintavételezés mélysége azonos. A mérési eredmények tájékoztató jellegűek.

4.4.2. Összehasonlítás a határértékkel és a geokémiai nagytáj jellemző értékeivel

A 6/2009. (IV. 14.) KvVM-EüM-FVM együttes rendelet „B” szennyezettségi határértékeivel összehasonlítva minden a határértékek alatt van. A rendeletben meghatározott arzén B határérték koncentráció 15 mg/kg. Az értékek alacsonynak mondhatók, nem jeleznek anomáliát (vagyis olyan koncentrációt, amely szignifikánsan több, mint a vizsgált területen a geokémiai háttér). A jégkorszak óta az felszíni és felszínhez közeli üledékekben lerakódott arzén miatt országban számos területen meghaladja ezt az értéket. (Fügedi, et al., 2015)

A nyomelemeket egy minta egy komponense sem haladja meg a 2. geokémiai nagytáj Magyarország Geokémiai Atlaszában megállapított értéktartományokat (a második geokémiai nagytájra jellemző a meszesedés és a többi tápelem elszegényedése). Réz és nikkal esetén 3 minta, ólom esetén 4 minta kisebb, mint a megadott értéktartomány. A 15. táblázat tartalmazza

a Geokémiai Atlaszban meghatározott értéktartományokat, várható értékeket és a saját minták méréseinek átlagát.

15. Táblázat A 2. geokémiai nagytáj jellemzői és a saját eredmények összehasonlítása

elem	tartomány	várható érték	saját minták átlaga
Zn	14-180	46	25,0
Cu	5,5-33	15	4,4
Ni	7-30	16	5,6
Pb	5,3-23	13	3,0
Cd	<0,5-3,4	<0,5	<0,1
Ba	22-158	68	70,1
Co	1,7-10	5,7	4,0
Cr	4-32	14,5	15,7
As	2,5-57	6,3	6,3
Hg	0,03-0,37	0,08	<0,1

Ezek alapján kijelenthető, hogy a fenti, környezeti szempontból fontos elemek normális tartományba esnek, azaz nem jeleznek környezeti anomáliát.

Az üledékek összes arzéntartalma nem támogatja a feltételezést, hogy az üledék magas arzéntartalmának remobilizációja történik a nyári időszakban. Ugyanakkor további vizsgálatokkal közvetlenül megállapítható lenne a könnyen mobilizálható mennyiség. Szekvens extrakció után a szemcséken adszorbeálódott, kicserélhető arzéntartalom meghatározható lenne.

További megközelítés lehetne az üledékek térbeli elemzése is. Az összes vízmintavételi pontnál történő üledékvizsgálatokkal, megfelelő számú mintavétel mellett megállapítható, hogy az üledékben mért arzén koncentráció mennyire korrelál a vízben mért koncentrációkkal.

4.4.3. Minták összetétele

A minták főalkotóinak arányait a 16. táblázat mutatja. Az egyéb kategória döntően a szilikátok. Kisebb része az előkészítés és feltárás során keletkező és távozó illékony vegyületek, illetve ez egyéb, királyvízzel nem oldható vegyületek. Az elemek hányadai a teljes elemtartalom királyvízzel oldható mennyiségére utalnak. Az összes és szervesszén a szilárd mintából közvetlenül mért mennyiség, a karbonáttartalmat a mért szervetlenszén-tartalomból számítással meghatározható.

$$[CO_3^{2-}] = \frac{M_{CO_3^{2-}}}{M_C} \cdot TIC = 5 \cdot TIC$$

ahol:

- M: moláris tömeg (g/mol)
- TIC: szerves széntartalom* (mg/kg)

*Az általunk használt módszer a szerves széntartalom meghatározására a karbontátokban kötött szén határozza meg.

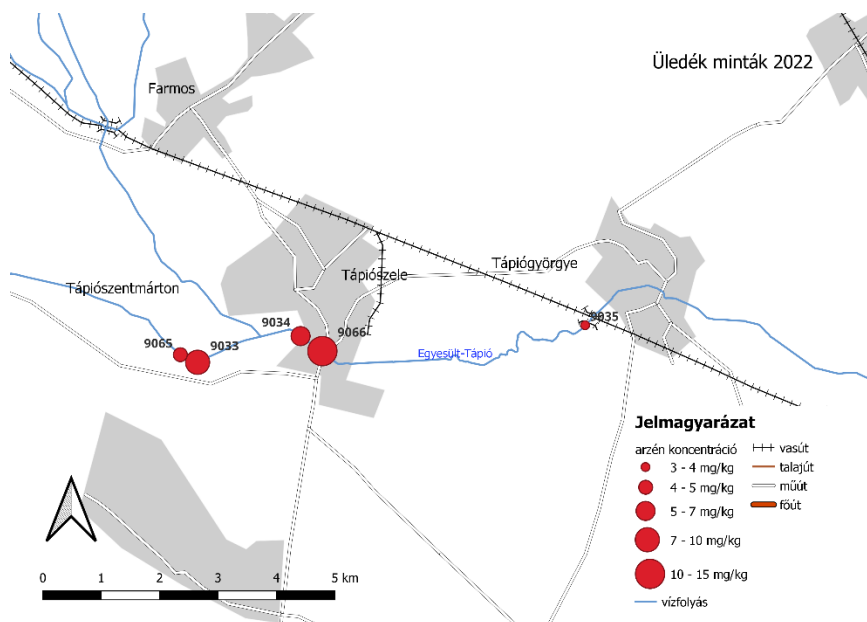
Az egyéb mezőbe tartoznak a szilikátok, a királyvízzel nem oldható vegyületek, valamint a minta további elemi összetevői, amelyet ICP technikával nem lehet meghatározni.

16. táblázat Minták elemösszetétele

	9033	9034	9035	9065	9066
Al	1,08%	1,25%	0,79%	1,39%	1,58%
Fe	1,48%	2,78%	0,75%	1,34%	2,31%
Mn	0,08%	0,13%	0,03%	0,07%	0,19%
Na	0,02%	0,01%	0,02%	0,06%	0,07%
K	0,22%	0,08%	0,17%	0,34%	0,35%
Ca	4,70%	3,11%	3,08%	5,56%	6,88%
Mg	0,74%	0,53%	0,54%	0,96%	1,16%
P	0,06%	0,03%	0,02%	0,00%	0,00%
S	0,26%	0,04%	0,04%	0,00%	0,00%
TOC	1,26%	0,01%	0,11%	1,45%	3,21%
TC	3,13%	1,13%	1,51%	3,79%	5,86%
CO ₃ ²⁻	9,39%	5,58%	6,99%	11,70%	13,26%
egyéb	80,71%	86,45%	87,47%	77,11%	70,60%

A mintavételek helyszínein a patak felszíni földtani környezete holocén futóhomok, aleurit, illetve pleisztocén futóhomok és agyagos lösz. A minták magas karbonáttartalma a 2. geokémiai nagytáj meszes jellegére utal. Erre utal továbbá az alacsony nyomelemtartalom.

Az arzén koncentrációk a 41. ábrán lévő térképen láthatók.



41. ábra Arzén koncentrációk az üledékmintákban (saját térkép)

4.5. Korábbi adatok - Egyesült-Tápió Tápiógyörgye

Egyesült-Tápió - Tápiógyörgye visszatérő pont a monitoring hálózatban. Évekre visszamenőleg érhetőek el szervesen szennyezők adatai. A 17. táblázat tartalmazza a mért oldott-arzén koncentrációkat a megjelölt években $\mu\text{g/l}$ -ben.

17. táblázat Korábbi évek arzén koncentrációinak áttekintése a tápiógyörgyei mintavételi ponton

	Január	Február	Március	Április	Május	Június	Július	Augusztus	Szeptember	Október	November	December
2007		5,6		6,1		23,7		21,0		7,6		
2008	3,5		4,0		8,7		12,7		17,9	7,9	7,1	3,4
2009	2,5		6,5		10,3		22,0		10,7		6,7	
2013	4,1		3,2		10,1		11,0		9,9		8,2	
2014	3,9		2,6		8,4		21,4		13,6		7,7	
2020	4,1	3,7	3,1	5,6	12,3	13,9	16,9	17,8	9,6	6,5	5,3	4,4
2021	3,7	3,8	5,1	5,8	9,0	19,9	25,6	23,7	21,1	7,9	5,1	5,0
2022	3,8	3,9	3,4	5,6	11,0	27,7	19,6	18,7	19,9	9,0	7,8	5,9

A 2007-2009, illetve 2013-2014 években kéthavonta történt mintavétel, 2020-2023 években havonta. A 18. táblázat az éves mért legkisebb és legnagyobb értékeket tartalmazza. A 19. táblázat tartalmazza a havi legalacsonyabb és legmagasabb értékeket.

18. táblázat Az éves legnagyobb és legkisebb koncentrációk

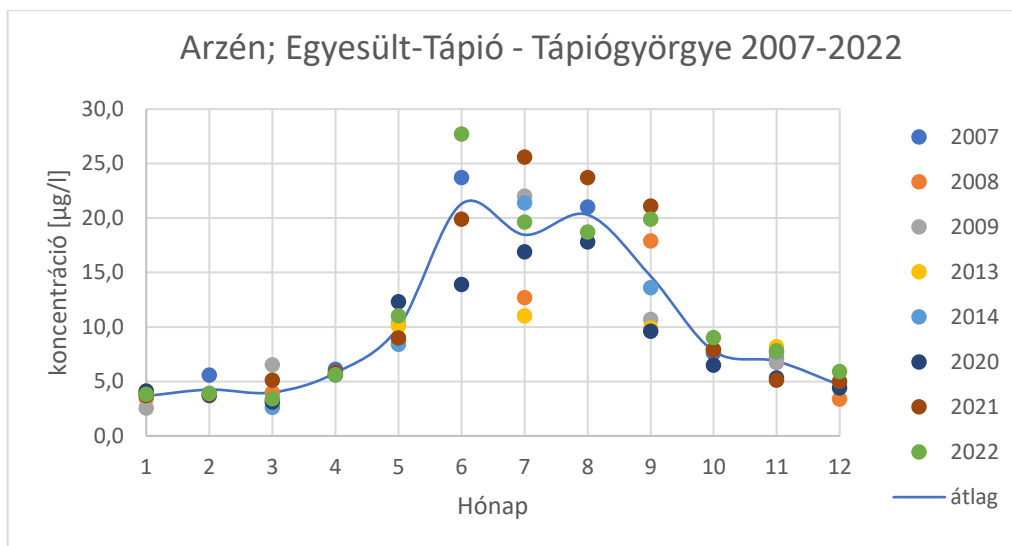
	legkisebb koncentráció	legnagyobb koncentráció
2007	5,6 $\mu\text{g/l}$ Február	23,7 $\mu\text{g/l}$ Június

	legkisebb koncentráció	legnagyobb koncentráció
2008	3,4 µg/l December	17,9 µg/l Szeptember
2009	2,5 µg/l Január	22,0 µg/l Július
2013	3,2 µg/l Március	11,0 µg/l Július
2014	2,6 µg/l Március	21,4 µg/l Július
2020	3,1 µg/l Március	17,8 µg/l Augusztus
2021	3,7 µg/l Január	25,6 µg/l Július
2022	3,4 µg/l Március	27,7 µg/l Július

19. táblázat A havi legnagyobb és legkisebb koncentrációk

	legkisebb koncentráció	legnagyobb koncentráció
Január	2,5 µg/l 2009	4,1 µg/l 2013
Február	3,7 µg/l 2020	5,6 µg/l 2007
Március	2,6 µg/l 2014	6,5 µg/l 2009
Április	5,6 µg/l 2020;2022	6,1 µg/l 2020; 2022
Május	8,4 µg/l 2014	12,3 µg/l 2020
Június	13,9 µg/l 2020	27,7 µg/l 2022
Július	11,0 µg/l 2013	25,6 µg/l 2021
Augusztus	17,8 µg/l 2020	23,7 µg/l 2021
Szeptember	9,6 µg/l 2020	21,1 µg/l 2021
Október	6,5 µg/l 2020	9,0 µg/l 2022
November	5,1 µg/l 2021	8,2 µg/l 2013
December	3,4 µg/l 2008	5,9 µg/l 2022

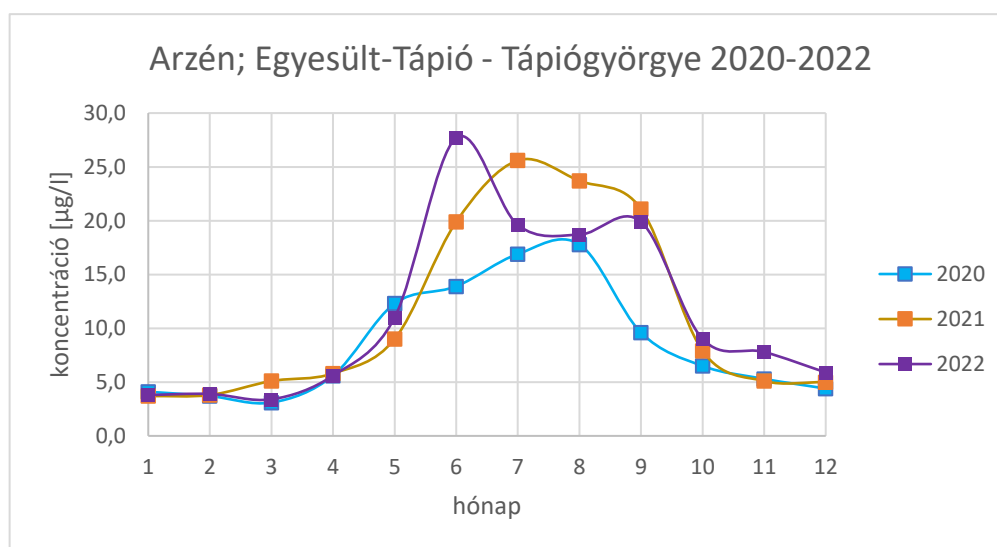
A 42. ábra a korábban mért oldott-arsén koncentrációkat ábrázolja (függőleges tengely). A vízszintes tengelyen a hónapok sorszáma található. A legalacsonyabb értékek 2013-ban fordultak elő.



42. ábra Arzén koncentrációk Egyesült-Tápió – Tápiógyörgye mintavételi ponton 2007 és 2022 között

4.5.1. 2020-2022-es koncentráció adatok

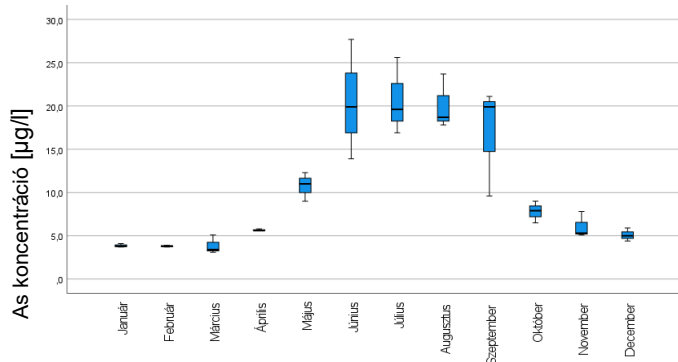
Az utóbbi három év eloszlása a 43. ábrán látható.



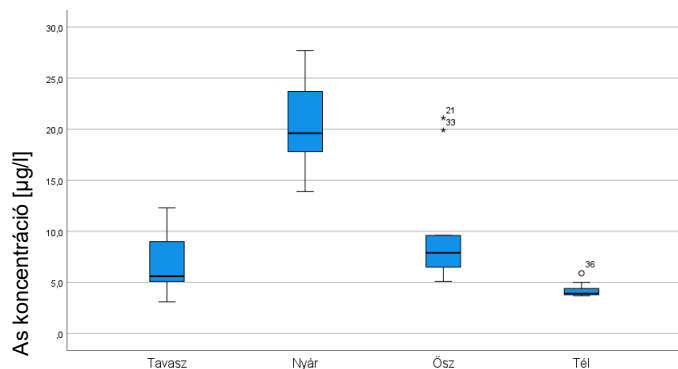
43. ábra Arzén koncentrációk Az Egyesült-Tápió – Tápiógyörgye mintavételi ponton az elmúlt három évben

A 2020-as évben júliusban, illetve szeptemberben az értékek jóval alacsonyabbak voltak, mint a másik két évben. A mérési adatok azt mutatják, hogy nyáron a legmagasabb az arzén koncentrációja a vízben, általában július hónapban és a legkisebb koncentrációk télen, illetve kora tavasszal fordulnak elő. Az adatok alapján azt lehet feltételezni, hogy az arzén koncentrációja összefügg a patak vízhozamával, és a vízgyűjtőn lehulló csapadékkal.

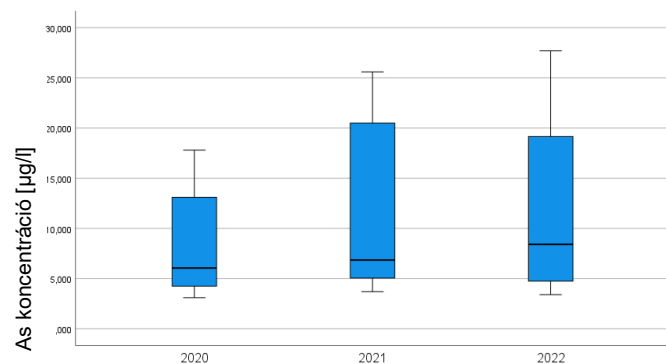
Az értékeket havi évszakos és éves bontásban a 44-46. ábrák mutatják.



44. ábra Arzén koncentráció havonta 2020-2022



45. ábra Arzén koncentráció évszakonként 2020-2022



46. ábra Arzén koncentráció évenként 2020-2022

4.6. Összefüggés a vízhozammal

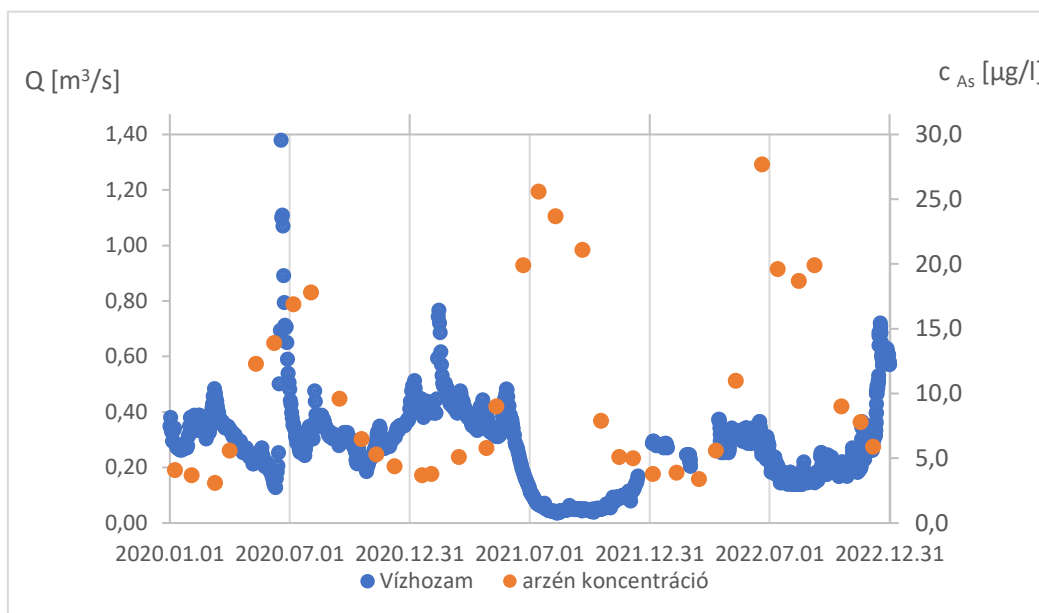
A mérési adatok azt mutatják, hogy nyáron a legszárazabb időszakban legmagasabb az arzén koncentrációja a vízben és a legkisebb koncentrációk télen, illetve kora tavasszal fordulnak elő, amikor a vízhozam magasabb.

A 2020-2022-es időszakot Országos Vízügyi Főigazgatóságtól, illetve a Közép-Duna-völgyi Vízügyi Igazgatóságtól származó tápiógyörgyei vízmérce vízhozam adataival összevetjük a

mért arzén koncentrációkat. A vízmérce az Egyesült-Tápió 9,400 fkm, szelvényén található, Tápiógyörgye községben, a vízmérce nullpontja 87,242 mBF. (OVF, 2023)

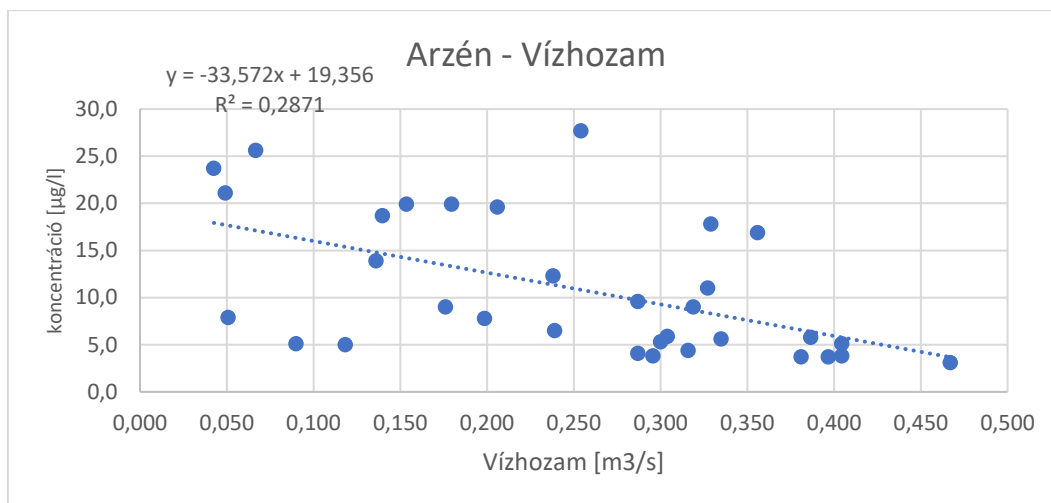
Meg kell jegyezni, hogy a KDVVIZIG adatai a 2022-es évre tájékoztató jellegűek, az évben kevés vízhozam mérés történt. (Szakács, 2023, szóbeli közlés) Az mintavételek során tapasztaltak is némileg ellentmondanak a tájékoztató jellegű adatoknak, hiszen Tápiógyörgyénél szinte állt a víz a nyár végi és kora őszi mintavételek alkalmával.

Az 44. ábrán a fenti időszak vízhozam adatsorát és az arzén koncentrációkat tüntettem fel.



47. ábra Vízhozam - arzén koncentráció

A 2021-es adatokban a júliusi, augusztusi és szeptemberi magas koncentrációkat követi az októberi, novemberi és decemberi alacsony koncentráció, úgy, hogy a vízhozam nem növekedik meg jelentősen. Az év első négy hónapjához általában hasonló alacsony koncentráció - magas vízhozam értékek tartoznak. Az arzén koncentrációk ($\mu\text{g/l}$) napi átlag vízhozamok (m^3/s) függvényében a 45. ábrán láthatók. Az értékek szóródása az trendvonal mentén nagy.



48. ábra Arzén koncentráció a vízhozam függvényében

Az adatok közti korrelációt IBM SPSS Statistics 27 szoftver segítségével vizsgáltam. A Pearson féle korreláció feltételei nem teljesülnek, így a rangkorreláción alapuló nemparametrikus próbákat, a monoton kapcsolatot megállapító Spearman's-rho-t, illetve a Kendall- τ korrelációt lehet figyelembe venni. A kettő hasonló eredményre vezet, de a Kendall- τ értékei alacsonyabbak.

20. táblázat Arzén koncentráció -Vízhozam összefüggése

Korreláció

			As-oldott (µg/l)
Kendall's τ -b	mért vízhozam (m³/s)	Korrelációs együttható	-,423**
		Sig. (2-tailed)	<,001
		N	33
Spearman's rho	mért vízhozam (m³/s)	Korrelációs együttható	-,579**
		Sig. (2-tailed)	<,001
		N	33

** . Korreláció szignifikáns 0.01 szinten (2-oldali).

Az adataink alapján tehát a vízhozam szezonális ingadozása és a nyári megnövekedett arzén koncentrációk között gyenge negatív irányú kapcsolat van, az alacsony vízhozam önmagában nem lehet oka az arzén feldúsulásának.

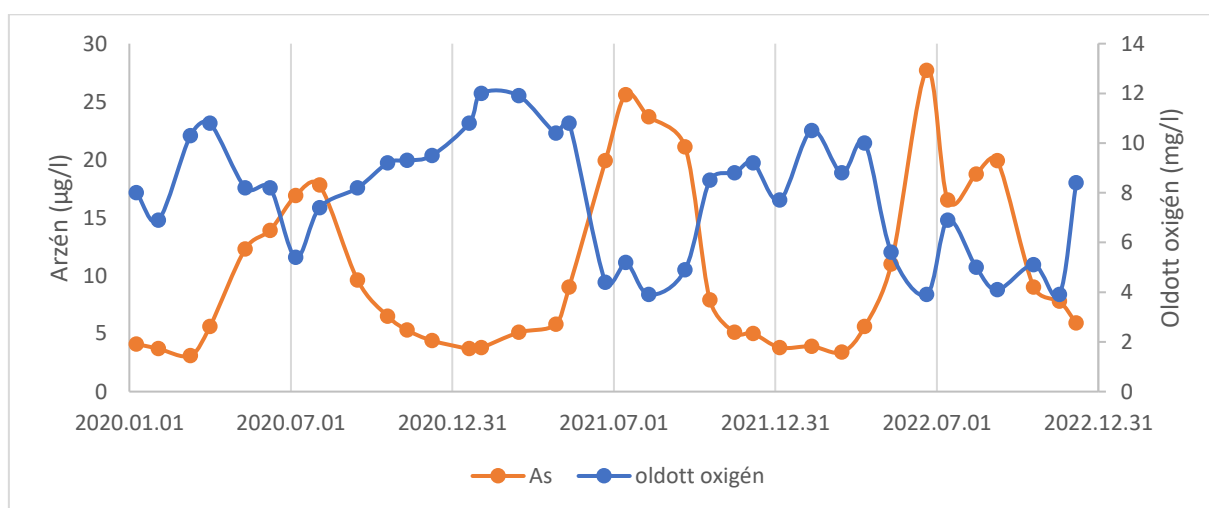
4.7. Összefüggés az oldott-oxigénnel

A redox potenciálnak fontos szerepe van a félfém és fémszennyezők felszabadulásában az üledékekből. Oxigén hiányában, alacsony E_H értékeknél (redukáló környezetben) a mikroorganizmusok a Fe(III) és Mn(IV) vegyületeket használják elektronakceptorként

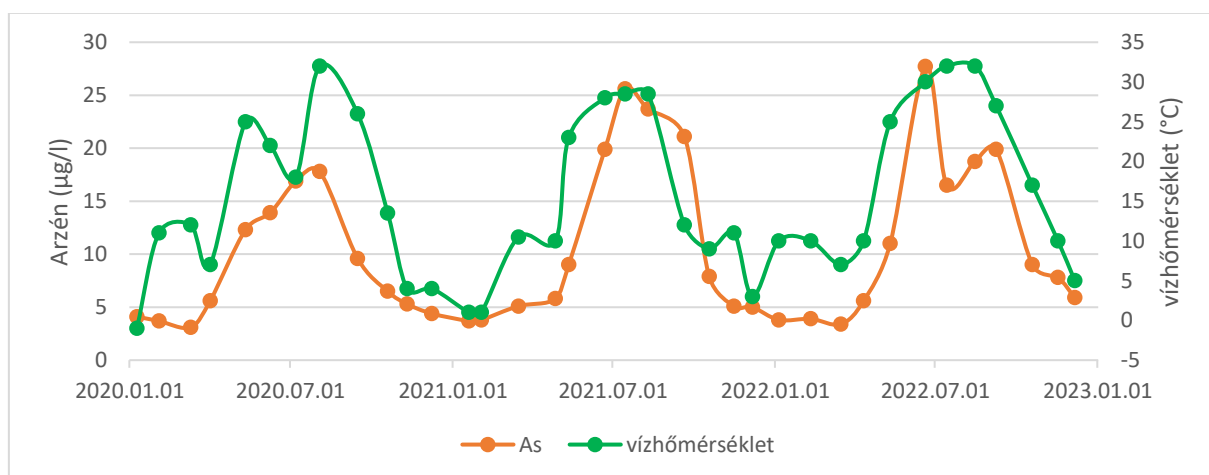
(Szoboszlai & Kriszt, 2014), így azok redukálódnak, és a felületükön adszorbeálódott ionok felszabadulnak.

Nyáron, alacsony oldott-oxigén mellett az üledékben a vas és mangán oxi-hidroxidokat használják a mikroorganizmusok elektronakceptoroként, azokat alacsonyabb oxidációs állapotba hozva. A redukció következtében a rajtuk kötésben lévő arzénionok fel tudnak szabadulni és oldatba kerülnek. Télen, alacsonyabb hőmérsékleten a csökkent biológiai aktivitás mellett a bakteriális redukció nem történik, így nem történik arzén felszabadulás.

A 49. ábrán Tápiógyörgye felszíni víz mintavételi ponton látjuk az oldott-oxigén (mg/l) és arzén ($\mu\text{g/l}$) komponensek értékeit feltüntetve 2020-2022 időszakban. Az 50. ábrán az arzén-víz hőmérséklet értékeket látjuk ugyan ebben az időszakban.



49. ábra Arzén - oldott-oxigén



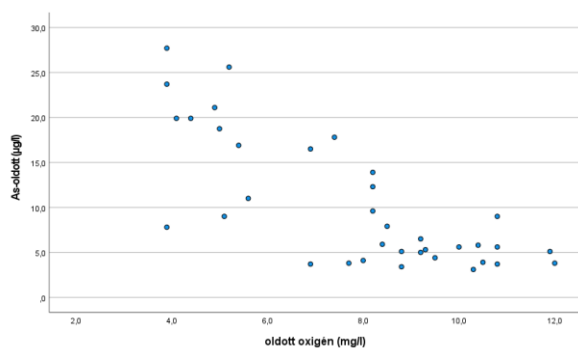
50. ábra Arzén - vízhőmérséklet

A Pearson féle korreláció feltételei nem teljesülnek, így a rangkorreláción alapuló Kendall- τ , illetve Spearman- ρ korrelációt lehet figyelembe venni. Itt már erősebb a negatív kapcsolat a két paraméter között. A 20. táblázatban lévő korrelációs együtthatókból látszik, hogy az oldott-oxigénnel közepesnél jobban, a hőmérséklettel erősen a korrelál.

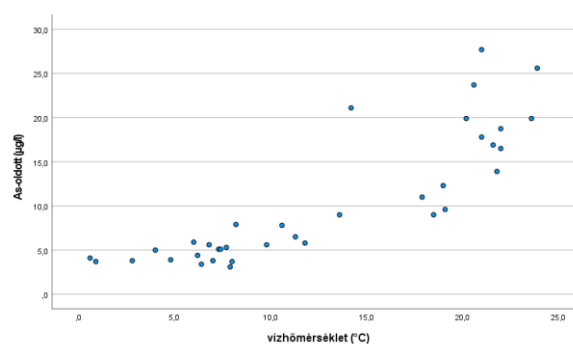
21. táblázat Arzén koncentráció – Oldot-oxigén koncentráció összefüggése

Korreláció							
			As-oldott ($\mu\text{g/l}$)				As-oldott ($\mu\text{g/l}$)
Kendall's τ -b	oldott O_2 (mg/l)	Korrelációs együttható	-,531**	Spearman's ρ	oldott O_2 (mg/l)	Korrelációs együttható	-,702**
		Sig. (2- tailed)	<,001			Sig. (2- tailed)	<,001
		N	36			N	36
Kendall's τ -b	vízhőm. ($^{\circ}\text{C}$)	Correlation Coefficient	,709**	Spearman's ρ	vízhőm. ($^{\circ}\text{C}$)	Correlation Coefficient	,882**
		Sig. (2- tailed)	<,001			Sig. (2- tailed)	<,001
		N	35			N	35

** . Korreláció szignifikáns 0.01 szinten (2-oldali).



51. ábra As – oldott-oxigén



52. ábra As - vízhőmérséklet

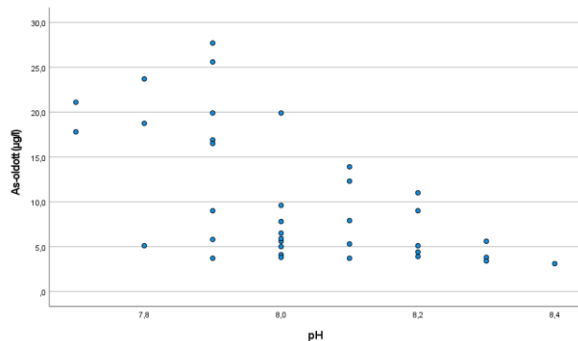
4.8. Összefüggés az összes foszforral, összes nitrogénnel, szulfáttal, pH-val

Az oldott-arsén koncentráció mért vízkémiai jellemzők és komponensek közül az összes foszforral, összes nitrogénnel, szulfáttal mutat korrelációt a nem paraméteres tesztek alapján a 36 elemű mintából. Ahol előfordult kiugró érték, nem vettem figyelembe az értékelésnél.

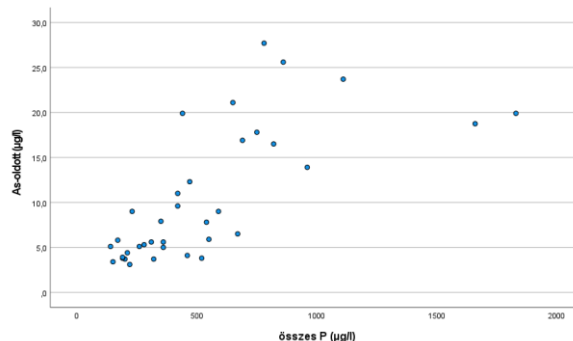
22. táblázat P, N, SO₄²⁻, pH

Korreláció							
		As-oldott (µg/l)				As-oldott (µg/l)	
Kendall's τ-b	összes P	Korrelációs együttható	,584**	Spearman's ρ	összes P	Korrelációs együttható	,782**
		Sig. (2- tailed)	<0,001			Sig. (2- tailed)	<0,001
		N	36			N	36
		összes N	Korrelációs együttható			-,531**	összes N
		Sig. (2- tailed)	<0,001			Sig. (2- tailed)	<0,001
		N	34			N	34
	szulfát	Korrelációs együttható	-,387**		szulfát	Korrelációs együttható	-,556**
		Sig. (2- tailed)	0,001			Sig. (2- tailed)	<0,001
		N	36			N	36
	pH	Korrelációs együttható	-,447**		pH	Korrelációs együttható	-,587**
		Sig. (2- tailed)	<0,001			Sig. (2- tailed)	<0,001
		N	36			N	36

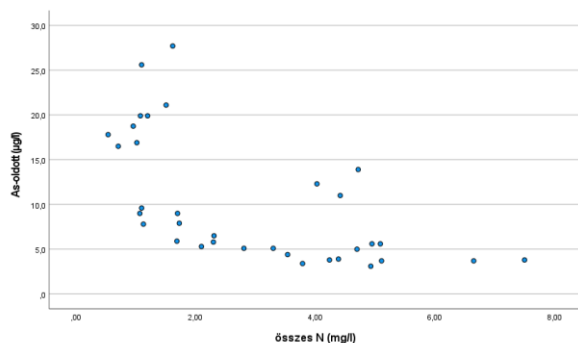
** . Korreláció szignifikáns 0.01 szinten (2-oldali).



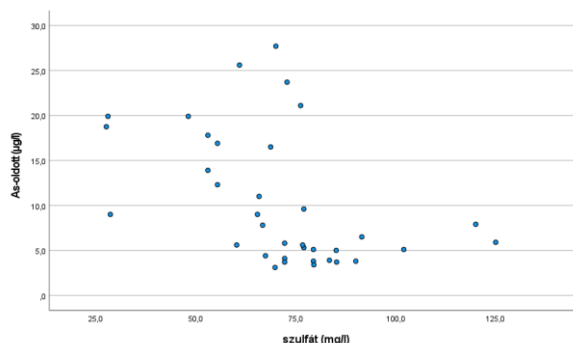
53. ábra As-pH



54. ábra As-öP



55. ábra As-öN



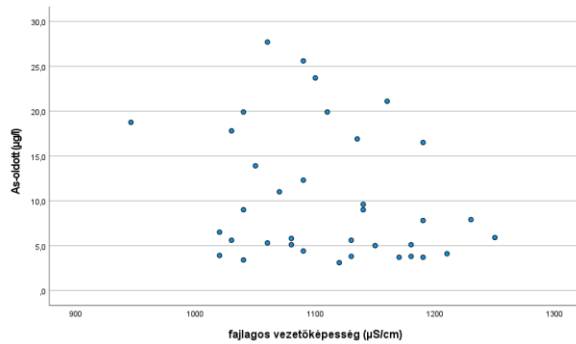
56. ábra As-SO₄²⁻

A 21. táblázat alapján felsorolt paraméterek közül az összes foszforral a korreláció pozitív irányú, és a négy felsorolt komponens közül a legerősebb. Ez arra a tényre utal, hogy az arzén gyakran fordul elő foszforral annak ásványaiban. A foszfortartalmú műtrágyák arzéntartalma számottevő mértékű lehet. A nitrogénnel a kapcsolat negatív irányú. Szulfát esetében szóródnak leginkább az eredmények, a korrelációs együttható itt a legalacsonyabb.

A 22. táblázatban látszik, hogy arzén koncentrációk nem korrelálnak a minták oldott sótartalmát kifejező fajlagos elektromos vezetőképességével.

23. Táblázat Fajlagos vezetőképesség

Korreláció			<u>As-oldott (µg/l)</u>
Kendall's τ -b	vez. kép. (µS/cm)	Correlation Coefficient	-0,152
		Sig. (2-tailed)	0,199
		N	36
Spearman's rho	vez. kép. (µS/cm).	Correlation Coefficient	-0,212
		Sig. (2-tailed)	0,214
		N	36



57. ábra Arzén - fajlagos vezetőképesség

5. Következtetések és javaslatok

Az arzén forrásának és környezeti hatásainak megállapításához további vizsgálatok szükségesek. Az Egyesült-Tápió üledékének összes arzén tartalma nem mutat anomáliás jelet, nem éri el a szennyezettségi B határértéket, MÁFI által megállapított 60 mg/kg-os anomáliaküszöböt nem közelíti meg. Ugyanakkor az üledék fázisban a könnyen mobilizálható frakciók vizsgálati kivonatok készítésével ajánlott elvégezni. Szekvens extrakció után a szemcséken adszorbeálódott, kicserélhető szennyezőanyag tartalom meghatározható lenne.

Minden felszíni víz mintavételi pontnál üledék mintavételt is végre lehet hajtani, hogy lássuk, hogy van-e különbség az üledékek arzéntartalmában és van-e összefüggés az oldott fázis koncentrációjával.

Az arzén speciációs analízisét, az As(III) és As(V) formák meghatározását is el lehet végezni. A vizsgálatból arra az eredményre számítottunk, hogy a felszíni vizekre jellemző As(V) formák vannak jelen. Ezek könnyen adszorbeálódnak a vas-mangán oxi-hidroxidokon, viszont a nyári, oxigénben szegény időszakban a vas és mangán oxidációs állapota miatt mobilisek maradnak. Elképzelhető, hogy felszín alatti eredetű az arzén, amely nyáron a kis vízhozamok mellett az intenzív párolgás miatti feláramlás következtében az alaphozam nagyobb mértékét adja. Javasolt a talajvízkutak arzéntartalmának vizsgálata a vízfolyás közelében.

A Hajta-patakot nem sikerült mintázni, ugyanakkor a Hajta menti mocsári üledékek vizsgálata is érdekes lehet az arzén megjelenése szempontjából.

Az arzén koncentrációja a teljes vízgyűjtőn Tápióbitskén és a feljebbi szakaszon is megemelkedik, de nem ér el olyan koncentrációkat, mint az Egyesült-Tápióban.

Oldott- és összes- arzén koncentráció meghatározása, minden felszíni víz mintából, valamint összes lebegőanyag mérése és a megoszlás vizsgálata lenne szükséges az oldott és szilárd fázis között. Oldott- és összes-vas és mangán mérése minden ponton, illetve szulfát, összes kén,

klorid mérése is indokolt lenne. Szükséges lenne az oldott szerves szén (DOC) és összes szerves szén (TOC) mérése a vízfázisból, valamint az összes kén mérése.

A mintavétel heti rendszerességgel történő végrehajtása még több adatot szolgáltatna, annak érdekében, hogy az adatok statisztikai elemzése során pontosabb modelleket lehessen felállítani.

Az üledékek térbeli elemzése szempontjából célszerű lenne az összes vízmintavételi pontnál üledékmintát venni. Megfelelő számú mintavétellel megállapítható, hogy az üledékben mért arzén koncentráció korrelál-e a vízben mért koncentrációkkal.

Mérési adatok a teljes Tápió-vízgyűjtőjének 7 víztestjéről összesen 13 mintavételi helyről állnak rendelkezésre 2007-től kezdődően. Az éves monitoring programokban az egyes helyek bizonyos gyakorisággal szerepelnek így különböző időszakokról állnak rendelkezésre vízminőségi adatok. A vízmintavételek havonta történnek (az első időszakban kéthavonta), a mintákból több komponens meghatározása történik. A rendelkezésre álló adatok statisztikai elemzése további lehetőségeket nyújt az egyes komponensek – például az arzén – időbeli változásainak értékelésére. Ezekkel az eszközökkel összefüggések és trendek mutathatók ki az mérési eredmények között.

További lehetőség lenne azon komponensek értékelése, amelyek a dolgozatba tárgyába nem tartoznak bele. A felszíni vízmintákból a fő kationok (Na, K, Ca, Mg), valamint az arzén mellett a Ni, Pb, Cu, Zn, Cd, Cr valamint a Nitrát-monitoring komponensei, melyek az oldott-oxigén, biológiai oxigénigény, kémiai oxigénigény, lúgosság, foszfát-ion, összes foszfor, fajlagos elektromos vezetőképesség, pH, lúgosság, orto-foszfát ion, összes foszfor, ammónium-ion, nitrit-ion, nitrát-ion, szerves nitrogén, összes nitrogén, a-klorofill, illetve Tápiógyörgyénél a teljes feltáró komponensköre, amely az általános kémiai paraméterek mellett vízgyűjtő specifikus elemeket, és veszélyes anyagokat is tartalmaz.

6. Összefoglalás

Magyarországon a PBT (perzisztens, bioakkumulatív, toxikus) jellegű arzén számos víztesten túllépi a megállapított éves átlag (AA-EQS) vagy a maximális (MAC-EQS) értékeket, így a vízfolyás nem megfelelő állapotához vezet, derül ki Magyarország Vízyűjtő-gazdálkodási Tervének értékeléséből. A 2020. és 2021. évben az Egyesült-Tápió-Tápiószelei mintákban megfigyeltük, hogy a nyári hónapokban magasabb (20 µg/l feletti) az oldott-arzén koncentrációja, míg a téli és tavaszi hónapokban nem tér el jelentős mértékben az általunk vizsgált Pest és Nógrád megye területén más kisvízfolyásokban tapasztalt koncentrációktól. A Tápió további 6 víztestet magába foglaló vízgyűjtőterületén az utóbbi évek VKI programjaiban fémszennyezők vizsgálata nem szerepelt, így azok esetében nem állt információ a rendelkezésünkre.

A dolgozat készítése során a vízgyűjtőn 2022. év júliustól decemberig havi gyakorisággal történtek mintavételek az Alsó-Tápióból, a Felső-Tápióból, illetve az Egyesült-Tápióból. A mintavételeket megnehezítette, bizonyos helyeken megakadályozta az aszályos időjárás. Az Alsó-Tápióból Süllysáp-Tápiósápnál és a Hajta-patakból Farnosnál tervezett mintavételeket egyetlen alkalommal sem tudtuk végrehajtani. A Felső-Tápióban júliustól-októberig, Alsó-Tápió Tápióbicskénél augusztusban, Tápióságnál szeptemberben nem volt víz.

Összesen 6 mintavételi pontról 24 vízmintát, továbbá 5 üledékmintát vettem, és vizsgáltam a toxikus elemtartalmát műszeres analitikai módszerekkel. A szűrt vízmintákat ICP-MS technikával, az üledékeket királyvizes feltárással ICP-OES technikával, valamint a mintából közvetlen módon összes-szerves szén (TOC) és összes szén (TC) mérésre alkalmas analizátorral vizsgáltam. A mérések megerősítették, hogy arzén feldúsulása a nyári hónapokban történik az Egyesült-Tápió patakon. Minden alkalommal a tápiószelei ponton mértük a legmagasabb koncentrációt, amelyet a tápiógyörgyei követett a folyásirány szerint 6,7 km-rel lejjebb lévő mintavételi ponton. A tápiószelei ipari üzem feletti mintavétel alapján kijelenthető, hogy az üzem területén korábban feltárt talaj és talajvízszennyezés nem okozhatja a patak megnövekedett arzén koncentrációját. Az oldott-arzén, összes-arzén vizsgálatok eredménye arra utal, hogy az arzén oldott formában van jelen döntően, ugyanakkor ezt további vizsgálatokkal szükséges megerősíteni. A patakon végighaladva Tápiószele felett már alacsonyabb koncentrációk voltak mérhetőek. Az arzén forrásának pontos meghatározása további vizsgálatokat igényel. A területen a Hajta-patak betorkolása alatt és felett, valamint Tápiógyörgyénél üledékmintákat vettem. Az üledékek elemtartalma nem utal szennyezésre, az értékek megfelelnek a terület földtani viszonyainak és a 2. geokémiai nagytáj jellemzőinek. Az

arzén a Hajta patak feletti üledékben 4,9-7,7 mg/kg szá., alatta 5,8-10,1 mg/kg szá., amely értékek nem érik el a B szennyezettségi határértéket (15 mg/kg szá.). Az utóbbi három év adatait tekintve Tápiógyörgye mintavételi ponton az arzén koncentrációk eloszlása azonos, viszont 2020 nyarán alacsonyabb értékek voltak mérhetőek. A legnagyobb koncentrációk általában júliusban, a legalacsonyabbak télen, illetve kora tavasszal fordulnak elő. A koncentráció a vízhozammal gyengén korrelál, a vízhozam szezonális ingadozása önmagában nem magyarázza a nyári megnövekedett arzén koncentrációkat. Negatív irányú korreláció mutatkozik az oldott-arzén koncentráció és az oldott-oxigén koncentráció között és pozitív irányú az oldott-arzén és víz hőmérséklet között. Ez arra utalhat, hogy nyáron alacsony oldott-oxigén koncentráció és magas hőmérséklet mellett, redukív környezetben a megnövekedett mikrobiális tevékenység az arzén mobilizálódását eredményezheti. Az arzén koncentráció továbbá együtt mozog a víz összes foszfortartalmával, amellyel gyakran együtt fordulnak elő ásványaikban. Korreláció mutatható ki továbbá az összes nitrogénnel, szulfáttal és a pH-val.

Számos további lehetőség van a vizsgálatok folytatására, többek között korábbi mérési adatok statisztikai elemzése, üledékminták vizsgálata a teljes vízgyűjtőn, könnyen mobilizálható arzén meghatározása, oldott- és összes-arzén koncentráció meghatározása és évszakos ingadozásának vizsgálata, a talajvíz szerepének vizsgálata.

7. Köszönetnyilvánítás

Szeretnék köszönetet mondani a Pest Megyei Kormányhivatal Környezetvédelmi, Természetvédelmi és Hulladékgazdálkodási Főosztály Környezetvédelmi Mérőközpontjában dolgozó kollégáimnak, akik segítettek abban, hogy a diplomadolgozatom elkészülhessen. Köszönetet mondok a Polyákovics Zsuzsanna osztályvezetőnek, Keszi Bélának, aki a mintavételekben volt segítségemre, Borsosné Novák Anitának, a kémiai vizsgálócsoport vezetőjének, valamint az általános kémiai csoport tagjainak: Bedics Juliannának, Nemesné Németh Ritának és Paál Tibornak.

Köszönetet mondok Papp Monikának, aki külső konzulensként segítette a munkámat a Környezetvédelmi Mérőközpontban, valamint a belső konzulensemnek Kruppiné Dr. Fekete Ilonának.

Szoftverek

- A dolgozatban található térképeket QGIS 3.22.11-Białowieża szoftverrel készítettem.
- A korreláció vizsgálatokhoz IBM SPSS Statistic 27 szoftvert használtam.
- A diagramokat és táblázatokat, valamint a szövegszerkesztésez Microsoft Office-t használtam
- Az analitikai műszerek mérő és kiértékelő szoftverei a készülékek gyártói által biztosítottak.

Ábrajegyzék

1. ábra: Arzenitek és a pH összefüggése (Eames, et al., 2014) 2. ábra: Arzenátok és a pH összefüggése forrás: (Eames, et al., 2014)	8
3. ábra Gyakori arzénformák E_H – pH diagramja forrás: (Ferguson & Gavis, 1972)	9
4. ábra Az arzén MAC-EQS értékek alapján nem megfelelőnek értékelt víztestek (forrás: VGT3 8.7-es mellékelete alapján saját szerkesztés).....	13
5. ábra Az arzén AA-EQS értékek alapján nem megfelelőnek értékelt víztestek (forrás: VGT3 8.7-es mellékelete alapján saját szerkesztés)	13
6. ábra Felszíni földtan a Tápió vízgyűjtőjén. Magyarország felszíni földtana 1:500 000 (Gyalog, 2013) alapján saját szerkesztés (https://map.mbfisz.gov.hu/#ogc).....	15
7. ábra Tápió-Mente genetikai talajtérképe térkép forrása: Stefanovics P. és Szűcs L: A körponti Körzet atlasza 11. oldal).....	16
8. ábra Talajvízszint a Tápió vízgyűjtőjén. MBFSZ adattár Magyarország talajvíz térképei (Kuti et al., 2002) és (Scharek P. et al, 2005) alapján saját szerkesztés (https://map.mbfisz.gov.hu/#ogc)	17
9. ábra Tápió vízgyűjtő víztestei (saját szerkesztés).....	18
10. ábra Szennyvíztisztítók és ipari létesítmények a területen (saját szerkesztés).....	21
11. ábra Az ICP-MS sematikus ábrája (Gilstrap, 2009) alapján, a mai készülékeken a kvadrupol tömegszűrő előtt egy multipol elrendezésű reakciócella/ütközési cella foglal helyet.	27
12. ábra Elemek ionizációs foka Induktív csatolású plazmában (Záray & Mihutz, 2019) alapján	28
13. ábra Mintavételi helyek (saját szerkesztésű térkép).....	31
14. ábra 2022.11.01-i bejárás során vett minták (saját szerkesztésű térkép)	36
15. ábra Üledék mintavételi helyek (saját szerkesztésű térkép)	37
16. ábra CRM-048 referenciaanyag visszanyerései.....	40
17. ábra CRM 029 referenciaanyag visszanyerései	41
18. ábra Arzén mérőgörbék a STD, KED módban és képlettel korrigált STD mód esetén	44
19. ábra A minták arzén visszanyerései (%).....	45
20. ábra ISTD visszanyerés	45
21. ábra Ellenőrző keverék visszanyerése	47
22. ábra Arzén koncentrációk 2022 júliustól decemberig	49
23. ábra Júliusi arzén koncentrációk.....	49
24. ábra Augusztusi arzén koncentrációk	49
25. ábra Szeptemberi arzén koncentrációk	50
26. ábra Októberi arzén koncentrációk	50
27. ábra Novemberi arzén koncentrációk	50
28. ábra Decemberi arzén koncentrációk.....	50
29. ábra Összes- és oldott- arzén koncentrációk a júniusi mintákban	51
30. ábra Összes- oldott komponensek koncentrációi a júniusi mintákban.....	52
31. ábra Nyomelemek az M1-M6 mintákból.....	53
32. ábra Mellékalkotók az M1-M6 mintákban	54
33. ábra Főalkotók az M1-M6 mintákban	54
34. ábra Egysült-Tápió arzén koncentrációi 2022.11.01-én	55
35. ábra Üledék mintavételi helyek	55
36. ábra Al, Fe, Ca, Mg	56
37. ábra Mn, Na, K	57
38. ábra Zn, Ba, Cr	57
39. ábra Cu, Ni, Pb, Co, As	57
40. ábra A minták összes szén, szervesetlen szén, és szerveszén tartalma	58
41. ábra Arzén koncentrációk az üledékmintákban (saját térkép)	61
42. ábra Arzén koncentrációk Egyesült-Tápió – Tápiógyörgye mintavételi ponton 2007 és 2022 között	63

43. ábra Arzén koncentrációk Az Egyesült-Tápió – Tápiógyörgye mintavételi ponton az elmúlt három évben ..	63
44. ábra Arzén koncentráció havonta 2020-2022	64
45. ábra Arzén koncentráció évszakonként 2020-2022	64
46. ábra Arzén koncentráció évenként 2020-2022	64
47. ábra Vízhozam - arzén koncentráció	65
48. ábra Arzén koncentráció a vízhozam függvényében	66
49. ábra Arzén - oldott-oxigén.....	67
50. ábra Arzén - vízhőmérséklet.....	67
51. ábra As – oldott-oxigén	68
52. ábra As - vízhőmérséklet.....	68
53. ábra As-pH	70
54. ábra As-öP	70
55. ábra As-öN	70
56. ábra As-SO ₄ ²⁻	70
57. ábra Arzén - fajlagos vezetőképesség.....	71

Képek

1. kép Thermo ICAP Q plazmaégője (saját kép).....	26
2. kép Alsó-Tápió a 31105-ös útnál 2022.09.08-án (saját kép).....	34
3. kép Felső-Tápió patak medre 2022.07.14-én (saját kép).....	34
4. kép Alsó-Tápió Tápióbicske 2022.08.15-én (saját kép).....	34
5. kép Alsó-Tápió Tápióság 2022.08.15-én (saját kép).....	35
6. kép Egyesült-Tápió Tápiószelénél 2022.11.17-én (saját kép).....	35
7. kép Egyesült-Tápió Tápiógyörgyénél 2022.09.08-én (saját kép).....	35
8. kép Mintavétel "Peat" mintavevő eszközzel 2022.08.15-én, 9034 Tápiószele, Hajta alatt (saját kép).....	37
9. kép Mintaelőkészítés (saját kép).....	38

Táblázatok

1. táblázat: A víztestek főbb adatai (forrás: VGT3, 1-1-es melléklet).....	19
2. táblázat: Víztestek minősítése	20
3. táblázat Kibocsátó létesítmények	21
4. táblázat A mintavételi helyek	32
5. táblázat Mintavételek.....	35
6. Táblázat Roncsolóprogram.....	39
7. táblázat – ICP-OES Módszerparaméterek.....	40
8. Táblázat ICP-MS módszerparaméterek	42
9. Táblázat STD és KED üzemmódok összehasonlítása	44
10. táblázat: Mintavételi helyek koordinátái és minták száma	48
11. táblázat: Arzén koncentrációk (µg/l)	48
12. táblázat Oldott-arzén – összes-arzén koncentrációk.....	51
13. táblázat – Elemkoncentrációk.....	53
14. táblázat Üledékminták elemtartalma	56
15. Táblázat A 2. geokémiai nagytáj jellemzői és a saját eredmények összehasonlítása	59
16. táblázat Minták elemösszetétele	60
17. táblázat Korábbi évek arzén koncentrációinak áttekintése a tápiógyörgyei mintavételi ponton	61
18. táblázat Az éves legnagyobb és legkisebb koncentrációk	61
19. táblázat A havi legnagyobb és legkisebb koncentrációk	62
20. táblázat Arzén koncentráció -Vízhozam összefüggése.....	66
21. táblázat Arzén koncentráció – Oldot-oxigén koncentráció összefüggése.....	68
22. táblázat P, N, SO ₄ ²⁻ , pH.....	69
23. Táblázat Fajlagos vezetőképesség	70

8. Hivatkozások

- A Tápió-vidék Természeti Értékeiért Közalapítvány, 2018. *A Tápió Natúrpark létrehozását megalapozó szakmai háttér tanulmány*, Tápiószentmárton: A Tápió-vidék Természeti Értékeiért Közalapítvány.
- Å. Bilaltdin, és mtsai., 2007. *A transport model of arsenic for surface waters – an application in Finland*, Espoo: Geological Survey of Finland.
- ASHP, 2022. *Drugs.com*. [Online] Available at: <https://www.drugs.com/monograph/arsenic-trioxide.html?references=1#introduction> [Hozzáférés dátuma: 18 02 2023].
- Baker, L. A., Qureshi, T. M. & Wyman, M. M., 1998. Sources and mobility of arsenic in the Salt River Watershed, Arizona. *Water Resources Research*, 01 06.pp. 1543-1552.
- Bartram, és mtsai., 1996. *Water quality monitoring : a practical guide to the design and implementation of freshwater quality studies and monitoring programs / edited by Jamie Bartram and Richard Ballance*. online: UNEP/WHO.
- Boromisza, Z. és mtsai., 2021. *Tápió mintaterület*, Budapest: Agrárminisztérium.
- Borsodi, A. és mtsai., 2013. *Bevezetés a prokarióták világába*. 1 szerk. Budapest: Eötvös Loránd Tudományegyetem.
- Cullen, W. & Reimer, K., 1989. Arsenic speciation in the environment. *Chem. Rev.*, 89. kötet, pp. 713-764.
- Csalagovits, I., 1994. A Magyarországi arzénos rétegvizek földtani-geokémiai környezete és lehetséges genetikája. *A Magyar Állami Földtani Intézet évi jelentése, 1992-1993/II. kötet*, pp. 85-92.
- Csapó, J., Albert, C. & Kiss, D., 2020. *Analitikai kémia élelmiszer-mérnököknek*. második szerk. Cluj-Napoca: Scientia.
- Das, N. K. & Sengupta, S. R., 2008. Arsenicosis: Diagnosis and treatment. *Indian Journal of Dermatology, Venereology, and Leprology*, 6(74), pp. 571-581.
- De Vos, W. és mtsai., 2006. *Geochemical Atlas of Europe. Part 2 - Interpretation of Geochemical Maps, Additional Tables, Figures, Maps, and Related Publications*. hely nélkül: EuroGeoSurveys-FOREGS.
- Dövényi, Z., 2016. *Kárpát-medence földrajza*. digitális kiadás szerk. Budapest: Akadémiai kiadó.
- Duna-Ipoly Nemzeti Park, 2023. *Tápió-mente komplex élőhelyvédelmi infrastruktúra fejlesztése*. [Online] Available at: <https://www.dunaipoly.hu/hu/palyazat/tapio-mente-komplex-elohelyvedelmi-infrastruktura-fejlesztese> [Hozzáférés dátuma: 25 03 2023].
- Eames, D. B., Nielsen, B. & Landis, C., 2014. *Meeting Nevada DEP-BMRR Profile II Parameters with Electrocoagulation-Based Treatment Solutions*. San Antonio, Texas, International Water Conference.
- Enwiworld, 2014. *Pest Megyei Környezetvédelmi Program 2014-2020*. Budapest: Pest Megye Önkormányzata.
- Erdődiné Molnár, Z. & Kovács, A., 2023. *Országos Meteorológiai Szolgálat (www.met.hu)*. [Online] Available at: https://www.met.hu/ismeret-tar/erdekesssegek_tanulmanyok/index.php?id=3261&hir=2022_a_tortenelmi_aszaly_eve_%E2%80%9393_az_ev_agrometeorologiai_attekintese [Hozzáférés dátuma: 15 02 2023].
- Fecske, S., 1938. A Tápióvidék földrajza. *Acta litterarum ac scientiarum regiae Universitatis Hungaricae Francisco-Josephinae = A M. Kir. Ferencz József Tudományegyetem tudományos közleményei : sectio geographico-historica = a földrajz és történettudományok köréből*, A M. Kir. Ferencz József Tudományegyetem tudományos közleményei : sectio geographico-historica = a földrajz és történettudományok köréből(4), pp. 46-70.
- Ferguson, J. F. & Gavis, J., 1972. A review of the arsenic cycle in natural waters. *Water Research*, 6. kötet, pp. 1259-1274.
- Fügedi, U., 2016. *Magyarország geokémiai atlasza* [Interjú] (14 január 2016).
- Fügedi, U., Tolmács, D. & Barczikayné Szeiler, R., 2015. *Toxikus és esszenciális mikroelemek háttér értéktartományai*. Pécs, Szentágotthai János Szakkolégium, dr. Hatvani Zsolt.
- G.K., 2003.. Valóban veszélyes-e a faanyag tartósítása?. *Magyar Asztalos és Faipar 2003. január-június (13. évfolyam, 1-6. szám)*, 01 02, pp. 140-141.
- Gilstrap, R., 2009. *A colloidal nanoparticle form of indium tin oxide: system development and characterization*. hely nélkül: Georgia Institute of Technology.
- Gyalog, L., 2013. *Magyarország földtani térképe, 1:500 000*. Budapest: Magyar Földtani és Geofizikai Intézet.
- Hámori, A., 1941. Chronikus arzénmérgezés érdekes esetei : az arzénmérgezés megállapítása és gyógyítása. *Közlemények a szegedi kir. magy. Ferencz József-Tudományegyetem belgyógyászati klinikájáról 1940-1941*, pp. pp. 1-11.

- Houk, R. S. & Joseph, J. T., 1988. Inductively coupled plasma mass spectrometry. *Mass Spectrometry Reviews*, Reviews 7. kötet, p. 429.
- Hudson-Edwards, K., 2005. MINERALS | Arsenates. In: L. R. M. C. I. R. P. Richard C. Selley, szerk. *Encyclopedia of Geology*. hely nélkül:Elsevier, pp. 506-510.
- Illés, A., 2022. *Jász-Nagykun-Szolnok Vármegyei Hírportál* (www.szoljon.hu). [Online] Available at: <https://www.szoljon.hu/helyi-kozelet/2022/08/az-utolso-csepp-viz-is-eltunt-a-mederbol-kiszaradt-a-tapio-jaszboldoghazanal-fotokkal> [Hozzáférés dátuma: 19 08 2022].
- Isaac, S., 2018. *Arsenic: a domestic poison*. [Online] Available at: <https://www.rcseng.ac.uk/library-and-publications/library/blog/arsenic-a-domestic-poison/> [Hozzáférés dátuma: 18 02 2023].
- ISO, 1982. *International Standard ISO 6595:1982 Water Quality - Determination of total arsenic - Silver diethylidithiocarbamate spectrophotometric method*. Technical Committee ISO/TC 147, Water quality: International Organization for Standardization.
- ISO, 2007. *MSZ EN ISO 17294-1 Vízminőség. Az induktív csatolású plazma ionforrású tömegspektrometria (ICP-MS) alkalmazása*. hely nélkül:Magyar Szabványügyi Testület.
- Jakab, A., Deák, J. & Kovács, A., 2016. *Arzén (As) talajvíz szennyezés eredetének meghatározása konvencionális és "nem konvencionális" módszerekkel*. Siófok: FAVA.
- KÖTIVIZIG, 2020. *Jelentős vízgazdálkodási kérdések 2-10 Zagyva vízgyűjtő-gazdálkodási tervezési alegység, Szolnok: Közép-Tisza-vidéki Vízügyi Igazgatóság*.
- Kuti et al., 2002. *Magyarország sík- és dombvidéki területeinek talajvíztérképei*. MBFSZ Adattár: Magyar Állami Földtudományi Intézet.
- Levander, O. A. és mtsai., 1977. *Arsenic - Medical and biologic Effects of Environment Pollutants*. 1977 szerk. Washington, D.C: National Academy of Sciences.
- Lóki, J., 1997. A tiszai Alföld. In: K. Dávid, szerk. *Magyarország földje*. Budapest: KERTEK 2000 Könyvkiadó.
- Ma, J. és mtsai., 2015. Arsenic Adsorption and its Fractions on Aquifer Sediment: Effect of pH, Arsenic Species, and Iron/Manganese Minerals. *Water, Air, & Soil Pollution*, 226. kötet, p. 260.
- Marosi, S. & Somogyi, S., 1990. *Magyarország kistájainak katasztere I-II.*. Budapest: MTA Földrajztudományi Kutató Intézet.
- MBFSZ, 2018. *Magyarország geokémiai térképezése*, online: Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat.
- MSZ, 1978. *MSZ 12739/2-78 Felszíni vizek üledékének vizsgálata - Mintavétel és a minta előkészítése*. Budapest: MSZH.
- MSZ, 2003. *MSZ EN 13137 Hulladékok jellemzése. Hulladékok, iszapok és üledékek összes szerveszéntartalmának (TOC) meghatározása*. hely nélkül:Magyar Szabványügyi Testület.
- National Research Council, 1977. *Arsenic: Medical and Biologic Effects of Environmental Pollutants*. Washington, DC: National Academies Press.
- NFP, 2020. *ÉSZAK-MAGYARORSZÁGI IVÓVÍZMINŐSÉG-JAVÍTÓ PROGRAM 1. (ÉMO 1)*. [Online] Available at: <http://tapioszele.hu/ivoviz/> [Hozzáférés dátuma: 25 03 2023].
- Norilyuki, Y., 2015. Kinetic energy discrimination in collision/reaction cell ICP-MS: Theoretical review of principles and limitations. *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy*, Volume 110. kötet, pp. 32-44.
- Onishi, H. & Sandell, E., 1955. Geochemistry of arsenic. *Geochemica et Cosmochimica Acta*, pp. 1-33.
- OVF, 2022. *MAGYARORSZÁG VÍZGYŰJTŐ-GAZDÁLKODÁSI TERVE – 2021*. Magyarország vízgyűjtő-gazdálkodási tervének második felülvizsgálata szerk. Budapest: Országos Vízügyi Főigazgatóság.
- OVF, 2023. *Operatív vízállások - Tápiógyörgye vízmérce*. [Online] Available at: <https://www.vizugy.hu/?mapModule=OpGrafikon&AllomasVOA=1649609C-97AB-11D4-BB62-00508BA24287&mapData=OrasIdosor#mapData> [Hozzáférés dátuma: 08 03 2023].
- Öllös, G., 1998. *Vízisztítás - Üzemeltetés*. 1 szerk. Eger: Egri Nyomda Kft.
- Pátzay, G., Tugler, A. & Mika, L. T., 2011. *Kémiai technológia*. első szerk. Budapest: Typotex Kiadó.
- Pokol, G. és mtsai., 2011. *Analitikai Kémia*. 1 szerk. Budapest: Typotex.
- Reimann, C. & Caritat, P., 1998. *Chemical Elements in the Environment Factsheets for the Geochemist and Environmental Scientist*. 1 szerk. Berlin: Springer.
- Scharek P. et al, 2005. *Magyarország M=1:500 000-es digitális talajvíztérképei*. Budapest: Magyar Állami Földtani Intézet.
- Szabó, A., 2003. *Tápióbicske*. online: Arcanum.
- Szentes, O., 2022. *Országos Meteorológiai Szolgálat* (www.met.hu). [Online] Available at: https://www.met.hu/ismeret-tar/erdekesssegek_tanulmanyok/index.php?id=3198 [Hozzáférés dátuma: 15 02 2023].

- Szoboszlai, S. & Kriszt, B., 2014. *Környezeti elemek védelme*. Gödöllő: Szent István Egyetem.
- Tapio, S. & Grosche, B., 2006. Arsenic in the aetiology of cancer. *Elsevier*, q(612), pp. 215-246.
- Thomas, R., 2001. *A Beginner's Guide to ICP-MS*. hely nélk.:Spectroscopy.
- Tremearne, T. H. & Jacob, K. D., 1941. *Arsenic in Natural Phosphates and Phosphate Fertilizers*. Washington, D.C.: UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE.
- US EPA, 1995. *Arsenic, inorganic; CASRN 7440-38-2*. [Online] Available at: https://iris.epa.gov/static/pdfs/0278_summary.pdf [Hozzáférés dátuma: 05 05 2023].
- US EPA, 2014. *SW-846 Test Method 6020B: Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry*. Revision 2 szerk. hely nélk.:United States Environmental Protection Agency.
- Vízügyi Főigazgatóság, 2022. *Vízügyi honlap (www.vizugy.hu)*. [Online] Available at: <https://www.vizugy.hu/index.php?module=content&programelemid=1&id=1619> [Hozzáférés dátuma: 23 04 2023].
- VKKI, 2010. *2-10 Zagyyva alegység*. Budapest: Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium.
- WHO, 2022. *Guidelines for drinking-water quality*. 4 szerk. Geneva: World Health Organisation.
- Wiertz, J. V., Escobar, B. & Mateo, M., 2006. Mechanism of pyrite catalysis of As(III) oxidation in bioleaching solutions at 30 °C and 70 °C. *Hydrometallurgy*, 01 09, Issue 83, pp. 35-39.
- Wolf, R., 2022. *ICP-MS Masterclass – Understanding Matrix Interferences in ICP-MS and strategies for dealing with them*. Online: PerkinElmer.
- Záray, G. & Mihutz, V. G., 2019. *Az elemanalitika korszerű módszerei [Digitális kiadás.]*. második, átdolgozott kiadás szerk. Budapest: Akadémiai kiadó.
- Zilhai-Sebess, L. & Gyuricza, G., 2012. *Jászberény terület geotermikus koncessziós jelentése*. Budapest: Magyar Bányászati és Földtani Hivatal.

NYILATKOZAT

a diplomadolgozat nyilvános hozzáféréséről és eredetiségéről

A hallgató neve: BODIS BALINT TAMÁS
A Hallgató Neptun kódja: 0336ML
A dolgozat címe: ARZÉN KONCENTRÁCIÓK VIZSGÁLATA A TAFIÓ VÍZKÜZÖRTÉRELETEN
A megjelenés éve: 2023
A konzulens tanszék neve: KÖRNYEZETANALITIKA ÉS KÖRNYEZETTECHNOLÓGIAI TANSZÉK

Kijelentem, hogy az általam benyújtott diplomadolgozat egyéni, eredeti jellegű, saját szellemi alkotásom. Azon részeket, melyeket más szerzők munkájából vettem át, egyértelműen megjelöltem, s az irodalomjegyzékben szerepeltettem.

Ha a fenti nyilatkozattal valótlan állítottam, tudomásul veszem, hogy a Záróvizsga-bizottság a záróvizsgából kizár és a záróvizsgát csak új dolgozat készítése után tehetek.

A leadott dolgozat, mely PDF dokumentum, szerkesztését nem, megtekintését és nyomtatását engedélyezem.

Tudomásul veszem, hogy az általam készített dolgozatra, mint szellemi alkotás felhasználására, hasznosítására a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem mindenkori szellemitulajdonkezelési szabályzatában megfogalmazottak érvényesek.

Tudomásul veszem, hogy dolgozatom elektronikus változata feltöltésre kerül a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem könyvtári repozitori rendszerébe.

Kelt: 2023 év 05 hó 8 nap

M Y G
Hallgató aláírása

KONZULTÁCIÓS NYILATKOZAT

Bódis Bálint Tamás (hallgató Neptun azonosítója: **OJJGML**) konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a diplomadolgozatot áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A diplomadolgozatot a záróvizsgán történő védeésre javaslom / nem javaslom¹.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem^{*2}

Kelt: 2023. év 05. hó 08. nap


Belső konzulens

¹ A megfelelő aláhúzendó.

² A megfelelő aláhúzendó.