

# NÖVÉNYI TÁPANYAGFORGALOM, NÁTRIUM ÉS AZ ARZÉN KONCENTRÁCIÓJÁNAK VIZSGÁLATA A FELSŐ-TISZÁN

TÜRK Gábor<sup>1</sup>, PROKISCH József<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Debreceni Egyetem, Természetföldrajzi és Geoinformatikai Tanszék

<sup>2</sup>Debreceni Egyetem, Állattudományi, Biotechnológiai és Természetvédelmi Intézet  
4032 Debrecen, Egyetem tér 1. e-mail: trkgr87@gmail.com, jprokisch@agr.unideb.hu

Kulcsszavak: arzén, vízminőség, növényi tápanyagforgalom, Tisza, Lónyay-főcsatorna

**Összefoglalás:** Az antropogén szennyeződésekkel szemben a felszín alatti vizek esetenként magas arzénkoncentrációja a természetes geokémiai folyamatok eredménye. Az arzén ma a legnagyobb természetes kontamináció a felszín alatti vizekben, és ennek csökkentése a XXI. század nagy vízgazdálkodási kihívásai közé tartozik. A Lónyay-főcsatorna vízgyűjtő területén a földtani-geológiai folyamatok eredményeként potenciálisan arzénal szennyezett területek minősül. Ez a veszély azonban a Nyírségben élőket kevésbé veszélyezteti, mint az Alföld déli területein. Szerkezeti jellegéből adódóan a főcsatorna fenékszintje a vízgyűjtő terület több pontján is belemetsz a talajvízszintbe. Ennek következtében jelentős mennyiségű talajvíz kerülhet be az egyes főfolyásokba és ezzel együtt az arzén is bekerül a felszíni víztestbe. Ezen a területen jelentősebb ipari létesítmény nem található, ami további szennyezést jelentene az élővizekre, de szennyezést okozhat az egyes hulladéklerakókból elfolyó csurgalékvíz. Az arzén-vízhozam kapcsolatában hatvány jellegű összefüggést mutattunk ki mindkét felszíni víztest (Tisza és Lónyay-főcsatorna) esetében. Ez azt mutatja, hogy, a csapadékmennyiség növekedésével nő a vízhozam és meredeken csökken a koncentráció. Mind az arzén, mind pedig a növényi tápanyagforgalom esetében a torkolat utáni mintavételi ponton a mért értékek meghaladták a felsőbb, valamint az alsóbb folyószakasz mért értékeit. A tiszai mintavételi helyek között minden mért komponens tekintetében szignifikáns eltéréseket tapasztaltunk. Az arzén koncentrációja minden esetben határérték alatt maradt.

## Bevezetés

A természetben megtalálható víz sohasem vegytiszta állapotban áll rendelkezésünkre. Mint jó oldószer, elsősorban eredete határozza meg az összetételét, és ezek alapján állapítható meg, hogy milyen kémiai összetételű vízzel van dolgunk. Vannak olyan alkotóelemek, amelyek természetes körülmények között is meghaladják az egészségügyi határértéket (Szűcs et al. 2009). Ilyen elem az arzén is, az azonban a toxicitás szempontjából fontos, hogy a táplálékláncban melyik vegyületével találkozunk. Szerves, vagy szervetlen formában a szervezetbe kerülve bizonyítottan rákkeltő hatású (Flechter et al. 2006, Fejes et al. 2012).

A geológiai eredetű szennyezések miatt Magyarország lakosságának negyede egyes paraméterek tekintetében az egészségügyi határértéknek nem megfelelő vizet fogyaszt. Ezek közül az arzénszennyezés a legsúlyosabb, amely mintegy 1,5 millió embert érint. Magyarországon a 201/2001. (X. 25.) kormányrendelet szerint az ivóvíz megengedett arzénkoncentrációja 10 µg/l (a határérték betartását 30 µg/l arzénkoncentráció feletti esetekben 2006 végéig, valamint 10–30 µg/l közötti arzénkoncentráció esetében 2009 végéig kell biztonságosan megvalósítani). Ez megegyezik az EU 95/C 131/03 számú, 1995-ben kiadott direktíva tervezetben, illetve az Egészségügyi Világszervezet (WHO) 1993 évi ajánlásában meghatározott határértékkel. 2001-ig a hazánkban érvényes határérték 50 µg/l volt, megfelelő a WHO korábbi, 1971. évi ajánlásában foglaltaknak (Virág, 2011).

A geológiai adottságok mellett azonban nem szabad figyelmen kívül hagyni a mesterseges eredetű arzénszennyezést (Fejes et al. 2012). Gyárak, ipartelepek, ércbányák terüle-

téről elfolyó nagy arzéntartalmú vizek potenciális veszélyt jelentenek nemcsak a befogadóra, hanem a környezetében található élővilágra is. A nehézfém-koncentráció elsősorban a Tisza menti szennyező források aktivitásától függ, vagyis attól, hogy a bányászat és ércfeldolgozás során mennyire tartják be a környezetvédelmi előírásokat (MAACKLIN et al. 2003, SZABÓ et al. 2010a; SZABÓ et al. 2010b). A bányákban a szennyező anyagokat tartalmazó zagy leeresztése időről-időre megtörténik, rendszerint a folyók, patakok nagyvize idején, így a szennyező anyagok oldott, illetve kolloidokhoz kötött állapotban felhígulva kerülnek be a felszíni vizekbe (LIANG et al. 2011, ÓDOR et al. 1997, CSÁSZÁR 1999, SÁRKÁNY et al. 1999, KERÉNYI et al. 2003, SZALAI 1998).

A Lónyay-főcsatorna vízgyűjtőjén fellépő vízminőségi problémák a diffúz és pontszerű szennyező forrásokból (kommunális és élelmiszeripari szennyvizek, lemosódó szennyezett csapadékvizek, állattartó telepek, a helytelen mezőgazdasági művelés, valamint az illegális hulladéklerakókról bemosódó csurgalékvíz) származó terhelések a felszíni vízfolyás tápanyag- és szervesanyag-tartalmának változásában jelentkeznek, melyet a kémiai állapot kellőképpen tükröz (BALÁZSY és BOYKO 2007, FÜGEDI et al. 2004). A kifogásolható vízminőséget jelzi a meder helyenként burjánzó növényzete is. A Lónyay-főcsatorna vízgyűjtő területén több szennyvíztisztító telep is található, melyek tisztított vizét a csatornába bocsátják, befolyásolva ez által a vízminőséget. Az eddigi vizsgálataink alapján megállapítottuk, hogy a főcsatorna rosszabb vízminőségi kategóriába sorolható, mint a Tisza. Továbbá azt is megállapítottuk, hogy a növényi tápanyagforgalom, valamint egyéb makroelemek tekintetében jelentős terhelés éri a Tiszát.

Munkánkban a tápanyagforgalom, az arzén és a nátrium koncentrációját vizsgáltuk, valamint azt, hogy időben hogyan változnak, és milyen hatással vannak a Tiszára. Továbbá elemeztük, hogy milyen összefüggés figyelhető meg az arzén koncentráció és a vízfolyások vízhozama között, illetve van-e kapcsolat az arzén és az egyéb vízkémiai paraméterek között.

## Anyag és módszer

### Terület bemutatása

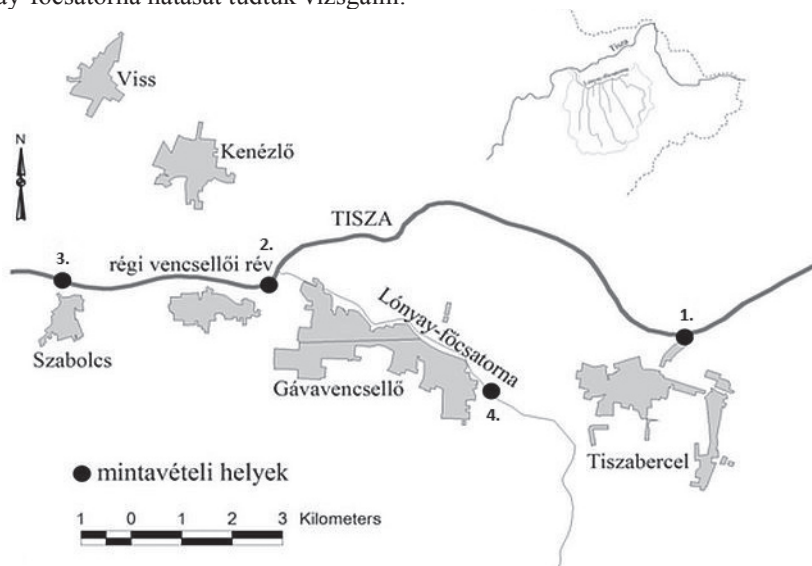
A Lónyay-főcsatorna 2300 km<sup>2</sup> nagyságú vízgyűjtőjének területén összesen 1455 km mesterséges belvízelvezető csatorna található. A 19. század közepéig a Nyírség nagyobb része lefolyástalan volt, melyet a sajátos geológiai felépítés, a domborzati viszonyok és a viszonylag kevés csapadék együttesen idézett elő. Természetesen csak felszíni lefolyástalanságról volt szó, a felszínre hulló csapadék egy része ugyanis leszivárogva, mint áramló talajvíz elhagyta a Nyírséget. Az akkori társadalmi – gazdasági helyzetben a fő célkitűzés a mezőgazdasági termőterületek növelése volt, ennek érdekében elvégezték a nyírségi belvizes területek lecsapolását.

A terület geológiai tulajdonságát figyelembe véve a pliocén korú rétegekben tárolt magas sótartalmú és hőmérsékletű vizekből elégíthető ki a környék hévízszükséglete, míg a hideg édesvizeket tároló pleisztocén vízáadó rétegek a közüzemi ivóvízellátás alapját képezik (URBANCSEK 1983). A területen a pleisztocén rétegek (fő vízáadó) fekümlésége 100–310 m (Nyírmihálydi) közötti, míg a pliocén korú hévízfeltárási alkalmas rétegeinek (felső-pannon) a fekümlésége átlagosan 810–1310 m körül alakul (ERDÉLYI

1991, HAAS és PÉRO 2004, TÓTH et al. 1985). A vizsgált területen az arzénkoncentráció mérésére az 1980-as évek közepén került sor először. A dél-alföldi tapasztalatok alapján először csak a mélyebb vízmű kutakban végeztek méréseket. Az arzéntartalom eredetét tekintve többféle szakirodalmi feltételezés létezik, ezek közül legvalószínűbb, hogy az Erdélyi Érchegységből származik. Az Erdélyi Érchegység primer magmás és utómagmás arzénszulfid és arzenid érceinek oxidációs mállásából vízdoldható arzénat lesz. Ebben az alakban az arzén mobilitása igen megnő (FÖLDVÁRINÉ 1975). A transzport után a medence euxin, anoxikus környezetében kicsapódik. Az akkumulációt a vas és a szerves anyagok elősegítik, ugyanis az arzénátok oldataiból a vashidroxid gélek az arzént megkötik. Természetes eredetű magas arzénkoncentráció a Nyírségben (Kótaj, Nagykovács, Máriapócs, Hodász) valamint a Nyírség és a Szatmár-Beregi síkság határán levő Nagyecsed ivóvízbázisának vizében mérhető kiugróan magas értékben (VIRÁG 2013).

### Mintavételi helyszínek

A Tiszán 3 mintavételi helyet jelöltünk ki: (1) tiszaberceli rév (568,6 fkm); (2) a Lónyay-főcsatorna befolyása után 360 m-re (558,9 fkm), valamint (3) Szabolcs község határában (555,0 fkm), a befolyástól 4,5 km-re. A Lónyay-főcsatorna esetében a mintavétel Gávavencsellő közúti hídjának hídfőjénél történt (4). A téli jegesedés kivételével az adatsor folytonos. A helyszíni terepbejárás során igazoltuk az előzetes felvetést, hogy a vizsgált területen a főcsatornán kívül nincs más felszíni hozzáfolyás. A tápanyagforgalom mérése havi, az arzén, a nátrium és a vezetőképesség mérését heti rendszerességgel végeztük. A főcsatorna vízgyűjtője teljes mértékben Magyarország területén helyezkedik el, így az első olyan potenciális szennyező forrás, amely kizárólag hazánk területéről származó terhelést vezet a Tiszába (1. ábra). Ez azért fontos, mert a mérések során így kizárólag a Lónyay-főcsatorna hatását tudtuk vizsgálni.



1. ábra A Lónyay-főcsatorna vízgyűjtő területe a vizsgált főfolyással, és az egyes mintavételi pontok  
 Figure 1. Catchment of Canal Lónyay with sampling sites

## Az arzén előfordulási formája, analitikai meghatározása

Az arzén a vízben többnyire szerves formában van jelen. Az oxidatív/reduktív környezettől függően arzenát [As(V)] illetve arzenit [As(III)] formájában (FIELDS et al. 2000, DEMARCO et al. 2003). A nagy arzéntartalmú felszín alatti vizek általában enyhén lúgosak (pH=8–9). Oxigéntartalmú vizekben az As(III) → As(V) átalakulás megy végbe, azonban ehhez több hónapnak kell eltelnie. A visszafelé történő redukciónak viszont bakteriális folyamatok eredményezik (SHARMA 2009, SIPOS et al. 2011). A felszín alatti vizek arzéntartalmát növelheti, ha a közelben bányászatot folytatnak. Talajvízben, rétegvízben természetes körülmények között is gyakran előfordul. Elemi állapotban ritkán fordul elő, gyakoribbak az oxigénnel, vassal, klórral és/vagy kénnel képzett vegyületei (KORCSMÁROS et al. 1980, FRUMKIN és THUN 2001). Az arzénvegyületek a piritnek és egyéb szulfidos érceknek állandó kísérői (KORCSMÁROS et al. 1980). A földfelszínen átlagos koncentrációja 1,5–2 ppm, nagyrészt szerves formában (JONES 2007). Az ivóvíz túlnyomórészt szerves, a táplálék szerves és szerves formában is tartalmazza. Az emberi szervezetbe történő bejutásának legtöbbször ez a két módja a döntő.

A vízmintavétel az ISO 5667-2:1991 és az ISO 5667-1:1980 szabványoknak megfelelően végeztük. Az előkészítés során 20 cm<sup>3</sup> szűrt vízmintát 10 cm<sup>3</sup> tömény analitikai tisztaságú sósavval hígítottuk (MSZ EN ISO 11969:1998). Az elemzést a Debreceni Egyetem NanoFood Laboratóriumában PS Analytical Millennium Merlin típusú készülékkel végeztük. A vízmintákban csak a két szerves arzénkomponens van jelen, a folyamat pH-függése lehetővé teszi az arzenit és az arzenát meghatározását előzetes elválasztás-technikai módszer alkalmazása nélkül. Alacsony pH-n az arzenit és az arzenát együttes koncentrációját határozzuk meg.

## Egyéb paraméterek meghatározása

Mivel a területen intenzív mezőgazdasági művelés folyik, valamint a lakossági szennyvizet számos, gyenge hatásfokkal működő szennyvíztisztító engedi a felszíni vizekbe, az arzén mellett növényi tápanyagforgalom (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>), valamint nátrium és fájlagos vezetőképesség vizsgálatát is elvégeztük. A fájlagos elektromos vezetőképességet és a kémhatást terepen, a nitrát-, az ammónium- és az ortofoszfát-tartalmat spektrofotometriás módszerrel a Debreceni Egyetem Természetföldrajzi és Geoinformatikai Tanszék laboratóriumában mértük (MSZ 12750-17:1974, MSZ 12750-18:1974, MSZ 260-9:1988).

### Statisztikai értékelés

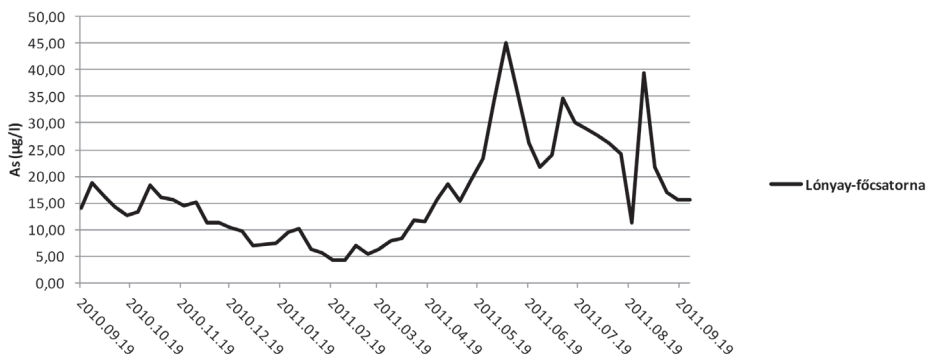
Statisztikai értékelésnél az adatokat mintavételi helyekre és évszakokra lebontva ábrázoltuk és hasonlítottuk össze. A mért értékek kiértékeléséhez felhasználtuk a FETIVÍZIG által mért aktuális vízállás és vízhozam méréseket is. Az egyes adatsoportok (mintavételi helyek) közötti különbségeket Kruskal-Wallis próbával vizsgáltuk meg, post hoc tesztként Mann-Whitney próbát alkalmaztunk Bonferroni korrekcióval.

A mérési adatok kiértékeléséhez az SPSS 19 for WINDOWS és Microsoft Excel 2007 szoftvereket használtuk.

## Eredmények

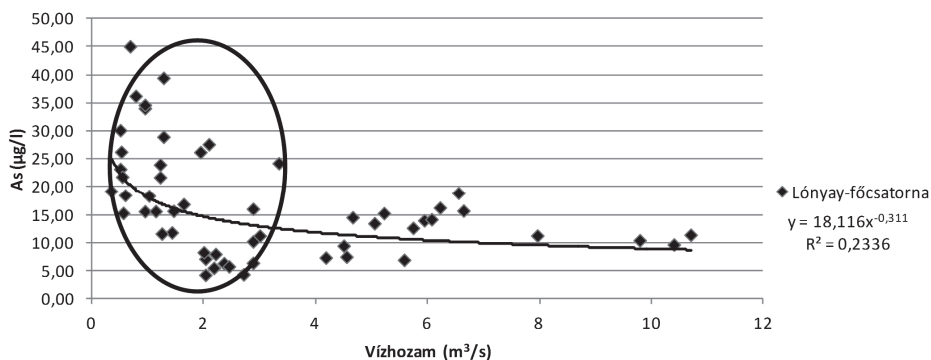
### Az arzén mennyiségi változása

A Lónyay-főcsatorna esetében a vizsgált időszakban az arzén koncentrációja 4 és 45 µg/l között ingadozott (átlagosan 16,7 µg/l). Nagyobb mennyiségben, és a gyakrabban lehulló csapadék következtében a mért értékek 2010. szeptember és 2011. március közötti időszakban (2. ábra) 5–20 µg/l között változtak. Áprilistól kezdődően azonban szembetűnik a változás. A megszűnő csapadéktöbblet következtében a koncentráció erőteljesebb ingadozása, valamint mennyiségi növekedése is megfigyelhető. Jelentős mértékű növekedés a vizsgált időszakban nem következett be, ami azt jelentheti, hogy antropogén eredetű szennyezés nem történt ebben az időszakban a vizsgált területen.



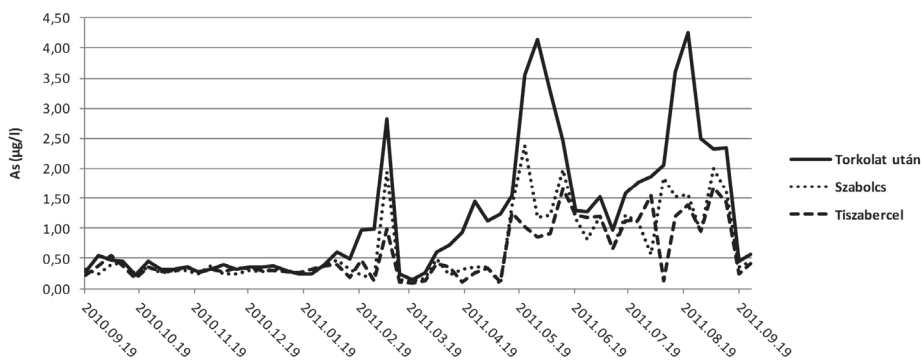
2. ábra Az arzén mennyiségének változása a Lónyay-főcsatornán  
Figure 2. Changes of arsenic concentration in the Canal Lónyay

A mért értékeket a napi átlagos vízhozam függvényében ábrázolva hatvány jelleget lehetett megállapítani. A növekvő csapadék hatására növekedett a felszíni lefolyás, valamint csökkent a koncentráció a hígulás következtében (3. ábra). Az adatok jelentős része a 0,5–3 m<sup>3</sup>/s tartomány között ingadozott.



3. ábra Az arzén mennyiségének alakulása a vízhozam függvényében  
Figure 3. Arsenic concentration and discharge in the Canal Lónyay

A Tisza esetében ezek az értékek jóval kisebbek voltak, összehasonlítva a főcsatornán mért értékekkel. Ennek oka az, hogy a Tisza vízhozama átlagosan 400-szor nagyobb, mint a főcsatornáé. A Tiszán az egyes mintavételi helyek arzénkoncentrációi az alábbiak szerint alakultak; Tiszabercel: 0,09–1,68  $\mu\text{g/l}$  átlagosan 0,58  $\mu\text{g/l}$ ; Szabolcs: 0,06–3,12  $\mu\text{g/l}$  átlagosan 0,73  $\mu\text{g/l}$ . A legnagyobb mennyiségi változást a torkolat utáni eredmények hozták. Ebben az esetben az értékek 0,15–4,26  $\mu\text{g/l}$  között szóródtak, átlagosan 1,16  $\mu\text{g/l}$  (4. ábra). Ennek oka a csatorna becsatlakozása, valamint a torkolat utáni szakaszon az enyhe keveredés, lassú hígulás. A szabolcsi mintavételi pontig a folyó több mint 4 km-t tesz meg, ami már elegendő a teljes keveredéshez, és az értékek is hasonlóan ingadoznak, mint a tiszaberceli mintavételi ponton (O'REILLY et al. 2010).

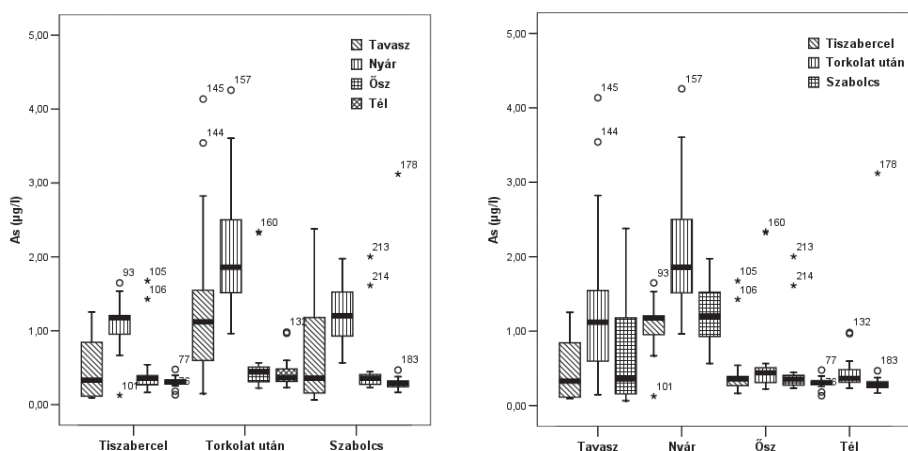


4. ábra Az arzén mennyiségének változása a Tiszán  
Figure 4. Changes of arsenic concentration in the River Tisza

A tiszai mintavételi pontok koncentráció értékeit a vízhozam függvényében ábrázolva szintén hatvány jellegű összefüggést tudunk megállapítani. Az adatok jelentős része a 100–450  $\text{m}^3/\text{s}$  tartomány között ingadozik.

#### Az arzén mennyiségének szezonális változása az egyes mintavételi helyeken

A kapott adatokat évszakokra és mintavételi helyekre lebontva is összehasonlítottuk. Szezonálisan a tavaszi és a nyári értékek nagyobb ingadozást mutatnak. A téli és az őszi alacsonyabb hőmérséklet, valamint a csapadék szilárd halmazállapota miatt a mért arzén koncentrációja csökkent. A melegebb hónapokban a vegetációs periódus és ezzel együtt a talajművelés kezdetével, valamint a megnövekedett csapadékmennyiség miatt nőtt a beoldódás mértéke. Mivel a felszíni vízfolyások bizonyos helyeken belemetszenek a talajvízbe, ezért a megnövekedett csapadék hatására emelkedik a talajvíz és vele együtt a kioldódás. Ennek hatására a koncentráció-értékek megnöttek, illetve a variációjuk is nagyobb lett (5/a ábra). Ha a mintavételi helyeket hasonlítjuk össze (5/b ábra), akkor azt tapasztaljuk, hogy minden évszakban a torkolat utáni mintavételi helyen mért koncentráció-értékek magasabbak, mint a másik 2 tiszai helyen.



5. ábra Az arzén mennyiségének változása szezonálisan (a), és mintavételi helyek szerint (b)  
 Figure 5. Seasonal (a) and locational (b) changes of arsenic concentration

### Egyéb vízkémiai paraméterek mennyiségi ingadozása

A vizsgálatok kiterjedtek a nátrium és a vezetőképesség heti, illetve a növényi tápanyagforgalom elemeinek havi vizsgálatára. Ezeknek a vizsgálatoknak az volt a célja, hogy képet kapjunk a terület vízminőségi állapotáról, illetve hogy van-e kapcsolat ezen vízkémiai paraméterek és az arzén között.

A mérési eredmények alapján elmondható, hogy a főcsatorna vize a növényi tápanyagforgalom tekintetében kb. 5–8-szor olyan szennyezett, mint a Tisza. Ez egyrészt a területen folyó intenzív mezőgazdaság, valamint a szennyvíztisztító telepek túlterhelésének, elavulásának következménye. Az intenzív műtrágyázás hatására a mobilisebb elemek a csapadékkal a felszíni vizekbe mosódnak, növelve ezzel a háttérszennyezettséget (GARNIER et al. 2010, PIRKHOFER et al. 2013, SZABÓ 2004, SZABÓ 2008, SZALAI et al. 2004). A nátrium mennyiségi alakulása egyrészt mutatja a megnövekedett vízhasználatot, valamint ezzel együtt a tisztítás hatékonyságának elmaradását. A geológiai szerkezetnek köszönhetően a területen több termásvízforrás és az azokra települt gyógyfürdő is található, melyek az elhasználandó vizet a főcsatornába engedik, növelve ezzel a nátrium mennyiségét. Mivel a termásvíz egyéb komponenseket is tartalmaz a fajlagos elektromos vezetőképesség is 3-szor akkora, mint a Tiszán mért értékek. A koncentráció-értékek alapján megállapítható (1. táblázat), hogy a torkolat utáni mintavételi ponton az esetek döntő többségében – csekély értékben ugyan - de nagyobb a nitrát, az ammónium, az ortofoszfát és a nátrium koncentráció, mint a torkolat feletti, és a torkolattól távolabbi mintavételi ponton. Ez azt jelenti, hogy az antropogén hatásra bekövetkező szennyezés érezhető hatásait a torkolat környéki szakaszon, azonban ez csak helyi jellegű, mert a hígulás és a keveredés következtében a változás mértéke mérséklődik a távolabbi mintavételig.



1. táblázat A mintavételi helyeken mért vízkémiai változók adatai  
Table 1. Water chemical variables of the sampling sites

	<b>Lónyay-főcsatorna</b>	<b>Tiszabercel</b>	<b>Torkolat után</b>	<b>Szabolcs</b>
	átlag±szórás	átlag ± szórás	átlag ± szórás	átlag ± szórás
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	8,2 ± 3,5	3,0 ± 2,1	3,3 ± 2,1	3,3 ± 2,1
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/l)	1,1 ± 0,8	0,4 ± 0,2	0,7 ± 0,8	0,6 ± 0,7
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mg/l)	0,6 ± 0,2	0,1 ± 0,04	0,2 ± 0,1	0,1 ± 0,1
Na <sup>+</sup> (mg/l)	75,4 ± 27,8	22,5 ± 7,6	25,4 ± 8,5	22,7 ± 7,4
Vezető-képesség (μS/cm)	969,1 ± 104,5	395,3 ± 76,4	427,7 ± 72,9	388,7 ± 77,1

A nátrium (6/d. ábra) az ortofoszfát (6/b. ábra) és a nitrát (6/a. ábra) mennyiségi eloszlását box-plot diagramon ábrázolva hasonló ingadozásokat lehet tapasztalni, mint az arzén esetében (2. és 4. ábra). Ezen a két paraméteren is felfedezhető, hogy a csapadékosabb időszakban (2010. szeptember és 2011. március között) mérsékeltek az ingadozások, valamint a kapott koncentrációk is alacsonyabbak a szárazabb időszakhoz képest. A szárazabb időszakban megnő az ingadozások mértéke, illetve a legnagyobb mennyiséget is ebben az időszakban éri el. A tavaszi vegetáció kezdetével és az intenzívebb műtrágyázás hatására a növényi tápanyagforgalom elemei ugrásszerűen megnövekednek (AL-TAANI 2011). Ezek közül is a legnagyobb mértékű ugrás az ortofoszfát esetében tapasztalható.

### Az eredmények statisztikai elemzése

A mintavételi helyek eredményeit statisztikai vizsgálatoknak vetettük alá. A Mann-Whitney próba azt mutatja, hogy a Lónyay-főcsatorna minden esetben szignifikánsan különbözik ( $p < 0,05$ ) a tiszai mintáktól az arzén tekintetében. Ha csak a tiszai mintavételi pontokat vesszük figyelembe, akkor az eredmények azt mutatják, hogy a torkolat utáni szakasz szignifikánsan különbözik a másik két tiszai mintavétel eredményeitől. Ez az eltérés bizonyítja a főcsatorna módosító hatását. Szezonális ingadozások tekintetében, amíg a tavaszi hónapok csak a nyári és a téli hónapoktól, addig a nyári hónapok minden hónaptól szignifikánsan különböznek.

További összefüggéseket kerestünk az arzén, a nátrium és a vezetőképesség mért értékei között. Ennek érdekében korrelációs vizsgálatokat végeztünk (2. táblázat).

A korreláció vizsgálata során a Lónyai-főcsatorna – Szabolcs esetében volt a leggyengébb a kapcsolat, ami azt mutatja, hogy ez a két mintavételi hely eltér egymástól. A legerősebb kapcsolatot a Szabolcs – Torkolat után mért arzén koncentrációértékek esetében tapasztaltuk (3. táblázat).



2. táblázat A vízkémiai változók korrelációi mintavételi helyenként  
 Table 2. Correlations of the water chemical variables by sampling sites

Lónyay-főcsatorna					Torkolat után				
	As	Vezető- képes- ség	Na <sup>+</sup>	Víz- hozam		As	Vezető- képes- ség	Na <sup>+</sup>	Víz- hozam
As		0.3292	0.5951	-0.4125	As		-0.0122	0.2235	-0.3939
Vezető- képes- ség	0.3292		0.5821	-0,4158	Vezető- képes- ség	-0.0122		0.3861	-0.2375
Na <sup>+</sup>	0.5951	0,5821		-0,5468	Na <sup>+</sup>	0.2235	0.3861		-0.5605
Víz- hozam	-0.4125	-0,4158	-0,5486		Víz- hozam	-0.3939	-0.2375	-0.5605	
Tiszabercel					Szabolcs				
	As	Vezető- képes- ség	Na <sup>+</sup>	m <sup>3</sup> /s		As	Vezető- képes- ség	Na <sup>+</sup>	Víz- hozam
As		0.0645	0.3804	-0.4019	As		0.0874	0.3338	-0.3967
Vezető- képes- ség	0.0645		0.6348	-0.3558	Vezető- képes- ség	0.08747		0.5672	-0.3207
Na <sup>+</sup>	0.3804	0.6348		-0.5269	Na <sup>+</sup>	0.3338	0.5672		-0.5483
Víz- hozam	-0.4019	-0.3558	-0.5269		Víz- hozam	-0.3967	-0.3207	-0.5483	

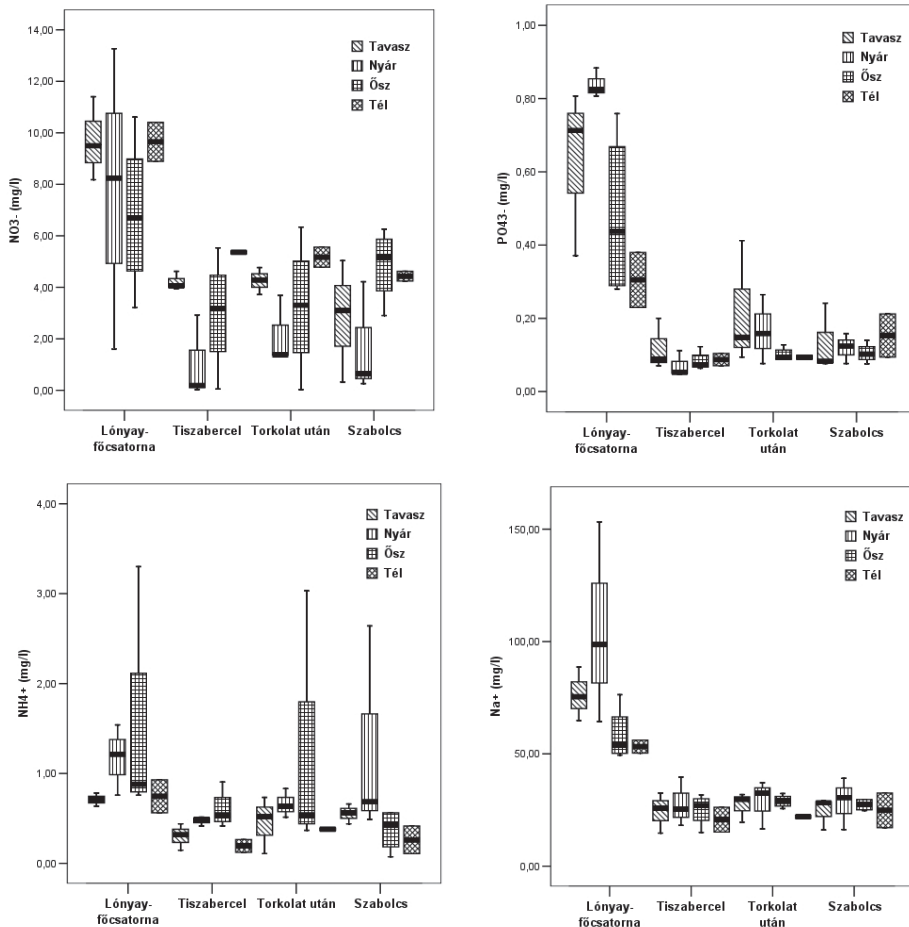
3. táblázat Az egyes mintavételi helyeken mért arzénkoncentrációk közötti korreláció  
 Table 3. Correlation of arsenic concentrations by sampling sites

	Lónyay- főcsatorna	Tiszabercel	Torkolat után
Tiszabercel	0.5998		
Torkolat után	0.5917	0.7215	
Szabolcs	0.5482	0.791	0.8278

A korreláció vizsgálatát elvégeztük az egyes paraméterek között, mintavételi helytől függetlenül is (4. táblázat). Ebben az esetben több komponens között tapasztaltunk erős kapcsolatot. Ezek közül is a legerősebb az arzén és az ortofoszfát közötti kapcsolat. Szintén erős pozitív kapcsolatot észleltünk az arzén-nátrium, arzén-vezetőképesség, valamint a nátrium-vezetőképesség között.

4. táblázat Az egyes vízkémiai paraméterek közötti korreláció  
Table 4. Correlations between water chemical variables

	As	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Vezető- képesség
As	1	0,515	0,915	0,357	0,899	0,832
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,515	1	0,528	-0,124	0,559	0,659
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	0,915	0,528	1	0,336	0,843	0,801
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0,357	-0,124	0,336	1	0,333	0,233
Na <sup>+</sup>	0,899	0,559	0,843	0,333	1	0,854
Vezető- képesség	0,832	0,695	0,801	0,233	0,854	1



6. ábra Az egyes helyeken mért vízkémiai paraméterek szezonális ingadozása  
Figure 6. Seasonal variations of water chemical parameters at the sampling sites

## Diszkusszió

Az Erdélyi Érc-hegységéből származó arzéndús üledékből kioldódó arzénvegyületek módosító hatással bírnak a felszíni és felszín alatti vizek minőségére. Mivel a felszíni vízfolyások egyes helyeken belemetszenek a talajvízbe, ennek következtében a magasabb térszínekről érkező vízfolyások kémiai jellege módosul (NAGY 2004, WITTNER et al. 2004). Ezzel együtt a mezőgazdaság, valamint a környező településeken található szennyvíztisztító telepek korszerűtlen technológiája miatt jelentős többletterhelést jelentenek az élővizeknek. Ezt mutatja a nátrium mennyiségének ingadozása a Lónyay-főcsatornán. Vele együtt a geológiai szerkezet, valamint a mezőgazdasági talajművelés hatására az arzén is hasonlóképpen ingadozik, mint a nátrium (CHAUHAN et al. 2011, ERDÉLYI 1991).

A főcsatornán a vízhozam csökkenésével, valamint a vízfolyás lelassulásával az arzén mennyisége megnövekszik. Ezt jól mutatja, hogy a 0,2–4 m<sup>3</sup>/s körüli vízhozam értékeknél találjuk az adatok jelentős részét (3. ábra). A determinációs együttható alacsony értéke ( $R^2 < 0,5$ ) azt mutatja, hogy szignifikáns összefüggést nem lehet megállapítani a vízhozam és a mért koncentráció között. Magasabb vízhozam esetén is történik hígulás, azonban magasabb vízhozam mellett is lehetett mérni 15 µg/l körüli értékeket. Nagyobb esőzések és hóolvadás után a vízhozam növekedését tapasztaltuk, és ezzel együtt megnőtt a hígulás mértéke is. Ez a koncentrátság, és az alacsony vízhozam miatti hígulás hiánya bizonyítja a Tiszára kifejtett hatását.

A három tiszai mintavételi pont közül a szabolcsi értékek adták a legnagyobb determinációs együtthatót, azonban itt sem haladja meg a kritikus határértéket. Ebben az esetben sincs szignifikáns összefüggés a vízhozam és a mért koncentráció-érték között. Azonban az is elmondható, hogy ezen a mintavételi helyen érvényesül legjobban az arzén mennyiségi hígulása a vízhozam következtében.

Mind a 4 mintavételi helyen negatív korrelációs értéket lehet tapasztalni a vízhozam és az arzén között (2. táblázat). Ez azt jelenti, hogy minél nagyobb a vízhozam, annál kisebb a mért érték. A legerősebb kapcsolat a torkolat utáni mintavételi helyen észlelhető. A nátrium és az arzén között a legszorosabb kapcsolat a főcsatorna esetében mutatható ki. Növekvő nátriummal együtt nő az arzén mennyisége is. Az is megfigyelhető, hogy a szabolcsi mintavételi helyig bekövetkező hígulás mértéke nem éri el a felső folyószakaszon mért értéket. Leggyengébb kapcsolat a torkolat utáni mintavételi helyen tapasztalható. Ebből arra tudunk következtetni, hogy a főcsatorna által szállított víz hatása a távolabbi mintavételi pontig alig észrevehető (3. táblázat). Az arzén és a vezetőképesség közötti korreláció a torkolatot követő folyószakaszon negatív értéket mutat. A kapcsolat erőssége minden mintavételi pont esetében gyenge, érdemi összefüggés nem mutatható ki közöttük.

Mivel a Lónyay-főcsatorna vízgyűjtő területén a felszíni és a felszín alatti vizek szoros kapcsolatban vannak egymással, így a csapadék következtében a beszivárgást, valamint a felszíni lefolyást is jelentősen befolyásolják (KERSEBAUM et al. 2003, MENCIO és MAS-PLA 2008), ezzel együtt a kioldódás mértékére is hatást gyakorolnak. A statisztikai vizsgálatok azt igazolták, hogy a növekvő vízhozam hatására a nátrium, az arzén, valamint az egyéb komponensek mennyisége lecsökken, a szárazabb időszakokban pedig erőteljes ingadozást tapasztalhatunk mindkét felszíni víztest esetében. A szezonális ingadozások esetében arra a megállapításra jutottunk, hogy a nyári hónapok szignifikánsan különböznek a többi hónapoktól. Ez az eltérés az időszakosan megjelenő eseményserű, hirtelen lezúduló

esőzések következtében jöhet létre. A hidegebb hónapokban csökken a lefolyás, és vele együtt a kioldódás mértéke is.

Az egyes mintavételi helyeken is eltéréseket lehet megfigyelni. Jellemző, hogy a főcsatornán mért paraméterek koncentráció-értékei (nátrium, ortofoszfát, vezetőképesség) meghaladják a Tiszán mért értékeket (LASSALETTA et al. 2009, HERZOG et al. 2008). Ez a többletterhelés a torkolat utáni mintavételi helyeken is érzékelteti hatását. A korrelációs vizsgálat eredménye azt mutatja, hogy az ortofoszfát-arzén (4. táblázat) között igen erős a kapcsolat. Ez abból adódik, hogy az arzén a legnagyobb mennyiségben a foszfátércekben fordul elő, és ezek feldolgozása során a foszforműtrágyákba (PAPP és ROLF 1992) kerül, a talajra kijuttatva többletterhelést jelent a környezetre.

Szignifikáns eltérést lehet tapasztalni a becsatlakozás feletti és alatti folyószakasz koncentráció-értéke, valamint vízminősége között. A statisztikai vizsgálatok azt is kimutatták, hogy a felsőbb, és az alsóbb folyószakasz értékei nem térnek el szignifikánsan egymástól. Ez tehát azt jelenti, hogy a legtávolabbi mintavételi helyig a főcsatorna által szállított víz felhígul, keveredik. Az egyes mintavételi helyek közötti korrelációs vizsgálat eredményei is ezt a megállapítást támasztják alá (JUDOVÁ és JANSKY 2005).

Vizsgálataink alapján a Lónyay-főcsatorna szignifikáns hatását mutattuk ki az arzén, valamint egyéb vízkémiai paraméterek tekintetében. Ezeknek a hatásoknak a mértéke évszakonként változik a csapadék, a hőmérséklet és a vízhozam függvényében. A 6/2002 (XI.5.) KvVM rendelet VII. számú mellékletének folyószakaszonkénti besorolása nem véletlenül adja meg a csatorna torkolata feletti szakaszt márnás-dévères, míg alatta csak dévères besorolású vízként.

#### Köszönetnyilvánítás

A kutatás a TÁMOP-4.2.4.A/2-11/1-2012-0001 azonosító számú Nemzeti Kiválóság Program – Hazai hallgatói, illetve kutatói személyi támogatást biztosító rendszer kidolgozása és működtetése konvergencia program című kiemelt projekt keretében zajlott. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

#### Irodalomjegyzék

- 201/2001. X.25. Kormányrendelet az ivóvíz minőségi követelményeiről és az ellenőrzés rendjéről
- 6/2002. (XI. 5.) KvVM rendelet az ivóvízkivételre használt vagy ivóvízbázisnak kijelölt felszíni víz, valamint a halak életfeltételeinek biztosítására kijelölt felszíni vizek szennyezettségi határértékeiről és azok ellenőrzéséről.
- AL-TAANI, A. 2013: Seasonal variations in water quality of Al-Wehda Dam north of Jordan and water suitability for irrigation in summer. *Arab J Geosci* 6: 1131–1140.
- BALÁZSY S., BOYKO N. 2007: Szennyeződések, szennyezők, hatások a Felső-Tisza-vidék ökológiailag érzékeny területein. Bessenyei György Könyvkiadó Nyíregyháza pp. 183–216.
- CHAUHAN, V.S., YUNUS, M., SANKARARAMAKRISHAN, N. 2011: Geochemistry and mobilization of arsenic in Shuklaganj area of Kanpur–Unnao district, Uttar Pradesh, India. *Environmental monitoring and assessment* 184(8): 4889–4901.
- CSÁSZÁR J. 1999: Water quality of Hungarian reach of the River Szamos. *Tiscia monograph series*, 3: 105–131.
- DEMARCO, M.J., SENGUPTA A.K., GREENLEAF J.E. 2003: Arsenic Removal Using Polymeric/Inorganic Hybrid Sorbent. *Wat.Res.* 37: 164–176.
- ERDÉLYI M. 1991: A tiszántúli arzénos rétegvíz hidrogeológiája. *Földrajzi Értesítő* 40: 3-4. füzet, pp. 231–250.
- EU 95/C 131/03 direktíva
- FEJES I., FARSANG A., PUSKÁS I. 2012: Potential effects of the contaminated groundwater on human health in Szeged, SE Hungary. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences* 7(3): 119–126.

- FEJES I., FARSANG, A., M. TÓTH T. 2012: Talajvíz-minőségi és -mennyiségi monitoring városi környezetben Szegeden. *Földrajzi Közlemények* 136:(3) pp. 254–270.
- FIELDS K.A., CHEN, A., WANG L. 2000: Arsenic Removal from Drinking Water by Coagulation/Filtration and Lime Softening Plants. EPA 600/R-00/063,
- FLETCHER, T., LEONARDI, G., HOUGH, R. GOESSLER, W., GURZAU, E., KOPPOVA, K., RUDNAI, P., CLEMENS, F., KUMAR, R., VAHTER, M. 2006: Long-term arsenic exposure and cancer risk – sensitivity to choice of indicators based on recent and lifetime arsenic intake. *Epidemiology* 17: S307
- FÖLDEVÁRINÉ V. M. 1975: A területi geokémiai kutatás elméleti és gyakorlati módszerei. A Magyar Állami Földtani Intézet alkalmi kiadványa, 2005
- FRUMKIN, H., THUN, M.J. 2001: Arsenic. *A Cancer Journal for Clinicians* 51, (4) 254–262.
- FÜGEDI U., SZURKOS G., VERMES J. 2004: Éghajlatváltozások geokémiai hatásai Magyarország középső és keleti részén. A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése, 65–71.
- GARNIER, M., RECANATESI, F., RIPA, M.N., LEONE, A. 2010: Agricultural nitrate monitoring in a lake basin in Central Italy: a further step ahead towards an integrated nutrient management aimed at controlling water pollution. *Environmental Monitoring and Assessment* 170: 273–286.
- HAAS, J. PÉRÓ, Cs. 2004: Mesozoic evolution of the Tisza Mega-unit. *International Journal of Earth Sciences*, 93(2): 297–313.
- HERZOG, F., PRASUHN, V., SPIESS, E., RICHNER, W. 2008: Walter Richner Environmental cross-compliance mitigates nitrogen and phosphorus pollution from Swiss agriculture. *Environmental Science & Policy* 11: 655–668.
- JONES, F.T. 2007: A broad view of arsenic. *Poultry Science* 86, 2–14.
- JUDOVÁ, P., JANSKY, B. 2005: Water quality in rural areas of the Czech Republic. *Limnologia* 35: 160–168.
- KERÉNYI A., FAZEKAS I., SZABÓ Gy., SZABÓ Sz. 2003: Környezeti problémák és megoldási lehetőségek In: Teplán I (szerk.) *A Tisza és vízrendszere I-II*. Budapest: MTA Társadalomkutató Központ pp. 179-202. (Magyarország az ezredfordulón. Stratégiai tanulmányok a Magyar Tudományos Akadémián. A Területfejlesztési Program Tudományos Alapozása. A Tisza; 4.
- KERSEBAUM, K. C., STEIDEL, J., BAUER, O., PIORR, H.-P. 2003: Modelling scenarios to assess the effects of different agricultural management and land use options to reduce diffuse nitrogen pollution into the river Elbe. *Physics and Chemistry of the Earth* 28: 537–545.
- KORCSMÁROS I., SZÓKEFALVI-NAGY Z. 1980: Szervetlen kémia. Tankönyvkiadó, Budapest
- LASSALETTA, L., GARCIA-GÓMEZ, H., GIMENO, B.S., ROVIRA, J.V. 2009: Agriculture-induced increase in nitrate concentrations in stream waters of a large Mediterranean catchment over 25 years (1981–2005). *Science of the Total Environment* 407: 6034–6043.
- LIANG, N., YANG, L., DAI, J., PANG, X. 2011: Heavy Metal Pollution in Surface Water of Linglong Gold Mining Area, China. *Procedia Environmental Sciences* 10: 914–917.
- MAACKLIN, M.G., BREWER, P.A., BALTEANU, D.B., COULTHARD, T.J., DRIGA, B., HOWARD, A.J., ZAHARIA, S. 2003: The long term fate and environmental significance of contaminant metals released by the January and March 2000 mining tailings dam failures in Maramures, County, upper Tisa Basin, Romania. *Applied Geochemistry* 18: 241–257.
- MENCIO, A., MAS-PLA, J. 2008: Assessment by multivariate analysis of groundwater–surface water interactions in urbanized Mediterranean streams. *Journal of Hydrology* 352: 355–366.
- MSZ 12750-17:1974 Felszíni vizek vizsgálata. Foszforsók meghatározása
- MSZ 12750-18:1974 Felszíni vizek vizsgálata. Nitráttartalom meghatározása
- MSZ 260-9:1988 Szennyvizek vizsgálata. Az ammóniumion-tartalom meghatározása
- MSZ EN ISO 11969:1998 Vízminőség. Az arzén meghatározása. Atomabszorpciós spektrometriás (hidridtechnikás) módszer (ISO 11969:1996)
- NAGY S. A., DÉVAI Gy., TAKÁCS P., GECSEI J. 2004: Helyszíni vízvizsgálatok a Lónyai-főcsatornán és főbb mellékvízfolyásain. *Hidrológiai Közlöny* 84(5–6): 94–96.
- O'REILLY, J., WATTS, M.J., SHAW, R.A., MARCILLA, A.L., WARD, N.I. 2010: Arsenic contamination of natural waters in San Juan and La Pampa, Argentina. *Environ Geochem Health* 32: 491–515.
- ÓDOR, L., HORVÁTH, I., FÜGEDI, U. 1997: Low-density geochemical mapping in Hungary. *Journal of Geochemical Exploration* 60: 55–66.
- PAPP S., ROLF K. 1992: Környezeti kémia. Tankönyvkiadó, Budapest
- PIRKHOFFER E., CZIGÁNY Sz., HEGEDŰS P., BALATONYI L., LÓCZY D. 2013: Lefolyási viszonyok talajszempontú analízise ultra-kisméretű vízgépjűtőkön. *Tájékológiai Lapok* 11(1): 105–123.
- SHARMA, V.K., SOHN, M. 2009: Aquatic arsenic: Toxicity, speciation, transformations, and remediation. *Environment International* 35: 743–759.
- SÍPOS, P., NÉMETH, T., MAY, Z., SZALAI, Z. 2011: Accumulation of trace elements in the Fe-rich nodules in a neutral-slightly alkaline floodplain soil. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences* 6(1): 13–22.

- SZABÓ, GY., ELEK, Z., SZABÓ, SZ. 2008: Study of heavy metals in the soil-plant system. *Cereal Research Communications* 36: 403–406.
- SZABÓ, GY., ANGYAL, A., CSIKÓS, A., BESSENYEI, É., TÓTH, E., KISS, P., CSORBA, P., SZABÓ, SZ. 2010a: Examination of the groundwater pollution at lowland settlements. *Studia Universitatis Vasila Goldos Arad – Seria Stiintele Vietii (Life Sciences Series)* 20(4): 89–95.
- SZABÓ SZ. 2004: Talajtulajdonságok szerepének értékelése egy tájérzékenységi-vizsgálat példáján. *Studia Geographica*, Kossuth Egyetemi Kiadó, Debrecen, 152 p.
- SZABÓ, SZ., GOSZTONYI, GY., PROKISCH, J. 2010b: Measure of heavy metal load in the floodplain of River Tisza. *Scientific Annals School of Geology Aristotle University of Thessaloniki*, Thessaloniki: Carpathian-Balkan Geological Association, pp. 133–139.
- SZALAI Z. 1998: Nyomelem-eloszlási típusok természeteshez közeli állapotú ártéri területek talajaiban és üledékeiben: A Háros-sziget mintaterület alapján. *Hungarian Geographical Bulletin* 47(1): 19–30.
- SZALAI, Z., JAKAB, G., MADARÁSZ, B. 2004: Estimating the vertical distribution of groundwater Cd and Cu contents in alluvial sediments (River Danube) In: Aagard P (szerk.) *Proceedings of the International Workshop : Saturated and unsaturated zone: integration of process knowledge into effective models: COST action 629, Fate, Impact and Indicators of Water Pollution in Natural Porous Media*. 303–312.
- SZÜCS P., SALLAI F., ZÁKÁNYI B., MADARÁSZ T. 2009: *Vízkezelés- és védelem*. Bibo Kiadó Miskolc
- TÓTH GY., EGERER F., NEMESÁNSZKY, K. 1985: *Magyarország Vízegeokémiai Atlasza*. (Hydrogeochemical Atlas of Hungary.) M=1:1 000 000. — MÁFI kiadvány. Kézirat.
- URBANCSÉK J. 1981: *Magyarország mélyfúrású kútjainak katasztere*. – OVH Vízgazdálkodási Intézet X., Budapest, 655 p.
- VIRÁG M. 2011: *Az ivóvízminőség-javító program Szabolcs-Szatmár-Bereg megyei sajátosságai* Miskolci Egyetem, Multi diszciplináris tudományok, 1. kötet 1. szám, pp. 315–324.
- VIRÁG M. 2013: *Felszín alatti vízadó összletek komplex hidrogeológiai vizsgálata a Felső-Tisza vidéken*. Doktori (PhD) értekezés, Miskolci Egyetem
- WITTNER I., DÉVAI GY., NAGY S.A., TAKÁCS P., VADNAY Á., PUSKÁS E.SZ., BOGÁR É.V, BARKÁNYI M. 2004: *A Lónyay-főcsatorna vízrendszerének vízminőségi állapotértékelése*. In: Kókai Sándor (szerk.) *A Magyar Tudományos Akadémia Szabolcs-Szatmár-Bereg Megyei Tudományos Testületének XIII. évi közgyűléssel egybekötött tudományos ülésének előadásai: Nyíregyháza, Nyíregyházi Főiskola, 2004. október 1-2.*

STUDY OF SOME WATER CHEMICAL VARIABLES, SODIUM AND ARSENIC CONCENTRATION  
IN A SECTION OF THE UPPER-TISZA REGION

G. TÜRK<sup>1</sup>, J. PROKISCH<sup>2</sup>

<sup>1</sup>University of Debrecen, Department of Physical Geography and Geoinformatics, <sup>2</sup>University of Debrecen, Institute of Animal Science, Biotechnology and Nature Conservation, 4032 Debrecen, Egyetem tér 1. e-mail: trkgr87@gmail.com, jprokisch@agr.unideb.hu

Occasionally high arsenic concentrations of groundwater are the result of the natural geochemical processes in contrast to anthropogenic contaminations. Nowadays, arsenic is the most considerable natural contamination in groundwater and its reduction belongs to the great challenge of water management in the 21st century. The catchment area of the Main Canal Lónyay is qualified as an area potentially polluted by arsenic as the result of geological processes. However, this hazard endangers not only the residents living in the region of Nyírség, but also it appears in other areas of the Great Hungarian Plain. The floor-level of the main channel incises to the ground-water level in some points of the catchment area due to its structural character. In consequence, substantial amount of ground-water can get into certain mainstreams by which arsenic can also get into the surface water bodies. In this area there's no remarkable industrial institution which could mean further contamination to water bodies. However, it can cause pollution in leachate collected from certain landfills. We revealed a power-law relationship in the correlation of arsenic and runoff in both cases of surface water bodies (Tisza and Main Canal Lónyay). Runoff is increased and concentration is precipitously decreased by the increasing amount of precipitation. The values, measured below the firth at sample location, were exceeded the values of upper and lower river sections in both cases of arsenic and nutrient turnover. We experienced significant differences among sample locations of Tisza in point of every measured component. Arsenic concentration was below the threshold level in all samples.