
HIDROLÓGIAI KÖZLÖNY



A MAGYAR HIDROLÓGIAI TÁRSASÁG LAPJA • 101. ÉVF. 2. SZÁM • 2021
HUNGARIAN JOURNAL OF HYDROLOGY • VOL 101. No. 2. • 2021





Hidrológiai Közlöny

A Magyar Hidrológiai Társaság lapja
Megjelenik háromhavonként

Főszerkesztő

Fehér János

Szakszerkesztők

Ács Éva
Konecsny Károly
Nagy László

Olvasószerkesztő

Szlávik Lajos

Szerkesztőbizottság elnöke

Szöllősi-Nagy András

Szerkesztőbizottság tagjai

Ács Éva, Bakonyi Péter, Baranyai Gábor, Baross Károly, Bíró Péter†, Bíró Tibor, Bogárdi János, Bozán Csaba, Csörnyei Géza, Engi Zsuzsanna, Fehér János, Fejér László, Gayer József, Hajnal Géza, Honti Márk, Ijjas István, Józsa János, Kerekesné Steindl Zsuzsanna, Kling Zoltán, Konecsny Károly, Koris Kálmán, Kovács Sándor, Kuti László, Licskó István, Major Veronika, Melicz Zoltán, Nagy László, Rákosi Judit, Rátky István, Román Pál, Szilágyi Ferenc, Szlávik Lajos, Szűcs Péter, Tamás János, Ungvári Gábor

Kiadó

Magyar Hidrológiai Társaság
1091 Budapest, Üllői út 25. IV. em.
Tel: +36-(1)-201-7655
Fax: +36-(1)-202-7244
Email: titkarsag@hidrologia.hu
Honlap: www.hidrologia.hu
A Kiadó képviselője: Szlávik Lajos, a Magyar Hidrológiai Társaság elnöke

Hirdetés

Magyar Hidrológiai Társaság Titkarsága
1091 Budapest, Üllői út 25. IV. em.
Telefon: (1)-201-7655 Fax: (1)-202-7244
Email: titkarsag@hidrologia.hu

Indexelik

Appl. Mech.; Rew. Chem.; Abstr.
Fluidex; Geotechn. Abstr.; Meteor /
Geostrophys. Abstr. Sei.; Water Res.
Abstr.

Index: 25374
HU ISSN 0018-1323

Tartalomjegyzék

SZAKCIKKEK

Szlávik Lajos: 20 éve volt a 2001. márciusi beregi árvízkatasztrófa	3
Garai József: A hidraulikus talajtörés globális és lokális feltételei	26
Miklós Rita, Lénárt László, Darabos Enikő, Kovács Attila, Czesznak László, Pelczéder Ágnes, Szűcs Péter: A Bükk hegység karsztvízkészleteinek feltárása és hasznosítása	31
Csondor Katalin, Baják Petra, Heinz Surbeck, Izák Bálint, Horváth Ákos, Vargha Márta, Pándics Tamás, Eröss Anita: Parti szűrési vízbázisok természetes radioaktivitása nuklidspecifikus mérések tapasztalatai alapján	44
Kiss Tímea, Fórián Szilveszter, Sipos György: A Tisza és mellékfolyói üledékében a mikroműanyag szennyezettség mértéke Rahó és Mindszent között	54
Túri Norbert: Egy tiszántúli talajcsövezett mintaterület állapotfelmérési lehetőségeinek, valamint működési hatékonyságának vizsgálata	62
Pánya István: A Vajas folyó a történeti forrásokban	72

NEKROLÓG

Dr. Bíró Péter – Szlávik Lajos és Boros Emil megemlékezése ..	81
---	----

Címlapkép:

A 42. és 42a. számú termálkút Egerszalókon. (Lénárt László felvétele.)



Hungarian Journal of Hydrology

Journal of the Hungarian Hydrological Society
Published quarterly

Editor-in-Chief

János FEHÉR

Assistant Editors

Éva ÁCS
Károly KONECSNYI
László NAGY

Copy Editor

Lajos SZLÁVIK

Editorial Board Chairman

András SZÖLLŐSI-NAGY

Editorial Board Members

Éva ÁCS, Péter BAKONYI, Gábor BARANYAI, Károly BAROSS, Péter BÍRÓ†, Tibor BÍRÓ, János BOGÁRDI, Csaba BOZÁN, Géza CSÖRNYEI, Zsuzsanna ENGI, János FEHÉR, László FEJÉR, József GAYER, Géza HAJNAL, Márk HONTI, István IJJAS, János JÓZSA, Zsuzsanna KERESKESNÉ STEINDL, Zoltán KLING, Károly KONECSNYI, Kálmán KORIS, Sándor KOVÁCS, László KUTI, István LICSKÓ, Veronika MAJOR, Zoltán MELICZ, László NAGY, Judit RÁKOSI, István RÁTKY, Pál ROMÁN, Ferenc SZILÁGYI, Lajos SZLÁVIK, Péter SZÜCS, János TAMÁS, Gábor UNGVÁRI

Publisher

Hungarian Hydrological Society
H-1091 Budapest, Üllői út 25., Hungary
Phone: +36-(1)-201-7655; Fax: +36-(1)-202-7244;
Email: titkarsag@hidrologia.hu
Web: www.hidrologia.hu
Represented by: Lajos SZLÁVIK, President
of the Hungarian Hydrological Society
Email: titkarsag@hidrologia.hu

Advertising

Secretariat of the Hungarian Hydrological Society
H-1091 Budapest, Üllői út 25., Hungary
Phone: +36-(1)-201-7655. Fax: +36-(1)-202-7244
Email: titkarsag@hidrologia.hu

Indexed in

Appl. Mech.; Rew. Chem.; Abstr. Fluidex; Geotechn. Abstr.; Meteor / Geostrophys. Abstr. Sei.; Water Res. Abstr.
Index: 25374
HU ISSN 0018-1323

Contents

SCIENTIFIC PAPERS

- Lajos SZLÁVIK: The March 2001 flood disaster in Bereg was 20 years ago 3
- József GARAI: Global and local criteria for hydraulic heave ... 26
- Rita MIKLÓS, László LÉNÁRT, Enikő DARABOS, Attila KOVÁCS, László CZESZNAK, Ágnes PELCZÉDER, Péter SZÜCS: Exploration and utilization of the karst water resources in the Bükk Mountains, Hungary 31
- Katalin CSONDOR, Petra BAJÁK, Heinz SURBECK, Bálint IZSÁK, Ákos HORVÁTH, Márta VARGHA, Tamás PÁNDICS, Anita ERŐSS: Natural radioactivity of river bank filtered water systems based on the experience of nuclide-specific measurements 44
- Tímea KISS, Szilveszter FÓRIÁN, György SIPOS: Microplastic pollution in the sediments of the Tisza River and its tributaries between Rahiv, Ukraine and Mindszent, Hungary 54
- Norbert TÚRI: Investigation of the status assessment possibilities and operational efficiency of a Trans-Tisza tile-drained sample area 62
- István PÁNYA: The Vajas River in historical sources 72
- ### OBITUARY
- Dr. Péter BÍRÓ – Commemoration by Lajos SZLÁVIK and Emil BOROS 81

Cover photo:

The No.42 and No.42a. thermal wells in Egerszalók. (Photo by László LÉNÁRT.)

A Tisza és mellékfolyói üledékében a mikroműanyag szennyezettség mértéke Rahó és Mindszent között

Kiss Tímea*, Fórián Szilveszter*, Sipos György*

* Szegedi Tudományegyetem, Geoinformatikai, Természet- és Környezetföldrajzi Tanszék, Szeged, 6722, Egyetem u. 2-6. (kissimi@gmail.com; forianszil@gmail.com; gysipos@geo.u-szeged.hu)

Kivonat

Bár a műanyagokat széles körben alkalmazzuk, a már nem használt anyagok újrahaznosítása, illetve környezettudatos elhelyezése igencsak limitált. A problémát tovább fokozza, hogy egyes kutatások szerint akár még a tisztított szennyvizekből is jut ki mikroműanyag a környezetbe, és a szennyvíziszap lerakás is jelentős szennyezés-forrás. Ennek következtében a műanyagok jelentős mértékben elszennyezik a talajokat és a vizeket. A kutatásunk célja annak meghatározása, hogy van-e, és ha igen, mennyi mikroműanyag (2-0,2 mm) szemcse található a Tisza és mellékfolyói frissen lerakott üledékében, és hogyan változik a szennyezettség a folyó mentén, illetve a különböző mederformákban. A vizsgált, kb. 750 km hosszú szakaszon a Tisza üledékében 2019-ben átlagosan 3177 ± 1970 db/kg, míg a tíz vizsgált mellékfolyó torkolatközeli szakaszán 3808 ± 1605 db/kg mikroműanyag szemcsét mértünk. A mikroműanyag szemcsék döntő többsége műanyag szál volt, ami arra utal, hogy a ruhák mosása révén a folyókba kerülő lakossági szennyvízből származnak. Magas volt a kárpátaljai szakasz szennyezettsége, ahol nagyon alacsony a szennyvíztisztítás mértéke, illetve a kis esésű Tiszakeszi alatti szakaszé, ahol a vízsebesség csökkenés miatt ülepedhetett ki sok szennyezés.

Kulcsszavak

Tisza vízrendszere, mikroműanyag, háztartási szennyvíz, műanyag szál, mederforma.

Microplastic pollution in the sediments of the Tisza River and its tributaries between Rahiv, Ukraine and Mindszent, Hungary

Abstract

Plastics are widely used all over the world, however their recycling or safe, legal disposal is often limited. The problem is further accelerated by the legal or illegal waste water drainage into rivers, as according to former researches even the cleaned waste water can contain microplastics. Besides, the sewage sludge is often deposited on agricultural lands, and run-off can transport the microplastics into rivers. Therefore, plastics enter to the natural environment in great quantity, thus they pollute the soils and the surface and sub-surface waters. The aim of this research is to evaluate the microplastic (2-0.2 mm) pollution of the recently deposited fluvial sediments of the Tisza River and its ten tributaries (Central Europe), to characterise its downstream changes, and to evaluate the role of in-channel forms on microplastic trapping. In 2019 on the studied ca. 750-km-long section the sediments of the Tisza contained 3177 ± 1970 plastic particles/kg, while the mean number of microplastics was 3808 ± 1605 particles/kg in the sediments of the tributaries. Most of the particles were plastic fibres, referring to their communal waste origin, as they are mostly produced during washing synthetic clothes. The highest pollution was measured in the Subcarpathian region (Ukraine) where low number of households are connected to waste water treatment plants. High pollution was detected on the downstream section of the Middle Tisza, where the drop of flow velocity enhances the deposition of plastic particles.

Keywords

Tisza River, microplastic, communal waste, plastic fibre, in-channel form.

BEVEZETÉS

A műanyagokat az élet minden területén hasznosítjuk, azonban egy idő után elhasználódnak, és kikerülhetnek a levegőbe, a földekre, illetve bemosódhatnak a felszíni és felszín alatti vizekbe. A műanyag-szennyezés legfontosabb forrásai a legális vagy illegális szemétkerakás (*Li és társai 2020*), és a szennyvizek. A kezeletlen szennyvizek révén közvetlenül jut ki műanyag a környezetbe (*Tramoy és társai 2020*), de a kezelt szennyvizekből is átlagosan csupán 80%-át tudják kiszűrni a műanyag-részecskének (*Donoso és Rios-Touma 2020*), így azok is a vizekbe vagy talajokba juthatnak (*Horton és társai 2017*). Ráadásul a műanyaggal szennyezett szennyvíziszap mezőgazdasági földeken való elhelyezése révén a talajerózió közvetítésével további műanyag juthat a vizekbe (*He és társai 2018*).

A környezetbe való kikerülésük után a műanyagok lassan összetöredeznek, így változatos méretű műanyag szemcsékkel találkozhatunk (*van Emmerik és társai 2018*): a

makroműanyagok 5 centiméternél nagyobbak, a mezoműanyagok nagysága 0,5-5 cm, a mikroműanyagok 5 mm-nél kisebbek, míg a nanoműanyagok néhány μm nagyságúak. A mikroműanyagok egy részét eleve kis méretűre gyártják (pl. kozmetikumokba), de a zömük nagyobb műanyag-darabkák összetöredezésével és kopásával keletkezik. Például Németországban évente átlagosan 4 kg mikroműanyag termelődik személyenként (*Bertling és társai 2018*), amiben benne van a ruhák mosása (0,08 kg), az útfelület és a gumibroncsok kopása (1,55 kg), illetve egyéb folyamatok (pl. cipő kopása, sportpályák kopása, építkezések, festékek kopása). A szintetikus textíliák mosása jelentős mennyiségű mikroműanyag szálát eredményez: például *Yang és társai (2019)* szerint 1 m² szintetikus anyag kimosásával közel 75 ezer műanyagszál került a mosóvízbe. Mivel a tisztított szennyvíz is tartalmaz mikroműanyagokat (*Donoso és Rios-Touma 2020*), így a mikroműanyag szálak egyértelműen jelzik, ha kommunális szennyvíz jut a folyóba (*Habib és társai 1996*).

Napjainkban már nem csupán sűrűn lakott területeken átfolyó folyók szennyezettek, de találtak már mikroműanyagot tibeti folyókban (*Jiang és társai 2019*) vagy a svájci Alpokban (*Mani és Burkhardt-Holm 2020*). Magyarországon a Zalában és a Balatonban, a Tisza-tóban illetve néhány halastóban vettek 12 helyről víz- és üledék-mintát *Bordós és munkatársai (2019)*, és azt tapasztalták, hogy a vízben átlagosan $13,79 \pm 9,26$ db/m³ volt a mikroműanyagok száma, míg az üledékekben $0,81 \pm 0,37$ db/kg. Ugyanakkor hosszabb szakaszra kiterjedő vizsgálat nem történt, így a mikroműanyag szennyezés térbelisége, a források és nyelők elhelyezkedése nem ismert, miközben ezek időben át is rendeződhetnek egy-egy nagyobb árvíz során, és új szennyezési gócpontok alakulhatnak ki (*Hurley és társai 2018*).

A mikroműanyag szemcsék általában nagyobb felületűek és kisebb sűrűségűek, mint a természetes hordalék, ezért a folyóvízben a szállítódásuk és lerakódásuk is eltérő lehet, bár erről még nagyon ellentmondásos adatok állnak rendelkezésre. Például van arra példa, hogy a szállított szennyeződés és a vízhozam között negatív a kapcsolat, azaz árvízkor felhígul a szennyezés (*Barrows és társai 2018; Nel és társai 2018*), de van arra is adat, hogy pozitív a kapcsolat, mivel árvízkor a már lerakódott mikroműanyag mobilizálódhat (*He és társai 2020; Mani és Burkhardt-Holm 2020*).

Kutatásunk célja, hogy feltérképezzük, hogy a Tisza mentén hogyan változik folyásirányban a friss üledék mikroműanyag tartalma, hogyan hatnak a mellékfolyók, és vajon hogyan befolyásolja a mintavételi hely geomorfológiai helyzete a mikroműanyag szennyezést. Adatainkkal hozzá szeretnénk járulni ahhoz, hogy a monitoring-jellegű vizsgálatok megtervezhetővé váljanak, és tapasztalataink alapján a mintavétel pontosága javítható legyen. Ugyanakkor a most bemutatásra kerülő első méréseink ennek az adatsornak az alapjául is szolgálhatnak.

1. táblázat. A vezetékes ivóvíz hálózatba, illetve a szennyvíztisztító telephez csatlakoztatott lakosok aránya (%) a Tisza vízgyűjtő országaiban (Adatok forrása: World Bank 2015)

Table 1. Proportion (%) of population connected to drinking water pipeline systems and to waste water treatment plants in the countries of the Tisza Basin (Data source: World Bank 2015)

Ország	A vezetékes vízhálózat-hoz kapcsolt lakosság aránya (%)	Szennyvíztisztítóhoz kapcsolt lakosság aránya (%)
Ukrajna	73	37
Románia	71	41
Szlovákia	100	62
Magyarország	97	72
Szerbia	90	11

Vizsgálatainkat a Tisza Rahó és Mindszent közötti szakaszán végeztük. Ezt a szakaszt a klasszikus felosztás szerint tagoltuk, amely szerint a Felső-Tisza a kárpátaljai forrástól a Szamos torkolatáig terjed, míg a Közép-Tisza a Maros torokig (*Lászlóffy 1982*). A Felső-Tisza folyásirány szerinti felső felén a Tisza mély, bevágódó völgyben folyik. Esése nagy (500 cm/km), a kötömbök és kavicsok között a víz sebessége 2-3 m/s (*Lászlóffy 1982*). A mederben helyenként kavicsos oldalzátónyok és a mellékvölgyek szájánál kialakult torkolati zátónyok találhatók. A Felső-Tisza alsó felén a meder esése fokozatosan lecsökken (10-200 cm/km), így a víz sebessége is mérséklődik (1 m/s). A kárpátaljai szakaszon a lerakódó kavicsos-homokos meder szétágazóvá

MINTATERÜLET

A mikroműanyag szennyezés szempontjából fontos tény, hogy öt ország osztozik a Tisza vízgyűjtőjén (157200 km²), és míg a hegyvidéki részvízgyűjtőkről származik a lefolyó víz 95,7%-a, addig a síkvidéki területekről csupán 4,3%-a (*Konecsny 2000*). A *World Bank (2015)* adatai alapján összehasonlítható a vízgyűjtőn osztozó országok szennyvízkezelési gyakorlata (1. táblázat). Ezen országok lakosságának 71-100%-a rendelkezik vezetékes vízzel, ugyanakkor a háztartások csupán 11-72%-a van szennyvízelvezető csatornarendszerekhez, illetve szennyvíztisztítókhöz csatlakozva. Általában a falusias térségekben rosszabb a helyzet, így ott bár szennyvíz csatornahálózattal lehet, hogy rendelkeznek, de szennyvíztisztítás hiányában gyakran a kezeletlen szennyvíz közvetlenül a folyókba jut. A legrosszabb a helyzet Ukrajnában, ahol a falusi háztartásoknak csupán 1,5%-a van a csatornahálózatra kötve, míg a városiak aránya 86% (*World Bank 2015*). *Tarpai (2013)* szerint ráadásul Kárpátalján rosszabb a helyzet, mint Ukrajna egészén, amit tovább ront az, hogy az itteni szennyvíztisztítók hatásfoka is rossz az elhanyagolt állapotok miatt, így 2011-ben 7,8 millió m³ tisztítatlan szennyvizet juttattak az élő vizekbe.

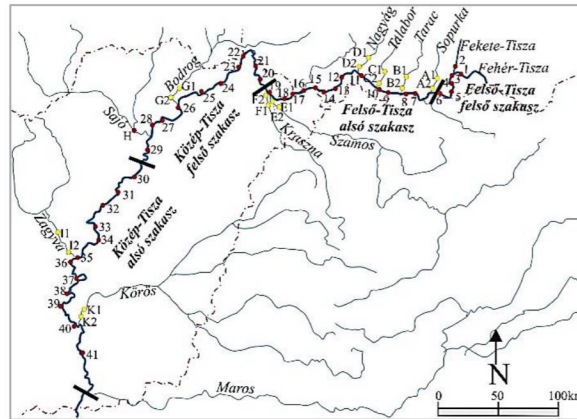
Ugyanakkor a helyzet javuló félben van az EU-hoz csatlakozott országokban. Például Magyarországon 2000-ben a Tisza menti településeken a háztartások 49%-a volt csatornahálózatba kötött (*Kerényi és társai 2003*), ugyanakkor 2018-ra ez 56%-ra javult (*KSH adat*), bár egyre inkább elmaradt az országos átlagtól (2000: 52%, 2018: 82%). Különösen a felső-tiszai kisebb települések csatornázottsága alacsony, ami feltételezhetően jelentős mennyiségű mikroműanyag terhelést jelent a vizekre nézve, hiszen illegálisan a folyókba kerülhet az emésztőgödörből kiszippantott anyag. (Azonban pontos adatok erről nem állnak rendelkezésre, ahogy arról sem, hogy a kommunális szennyvíz szikkasztása révén milyen mértékben szennyeződik el mikroműanyaggal a talajviz.)

válí, ahol a mellékágak kisebb-nagyobb szigeteket határolnak (anasztomizáló mintázat), ugyanakkor Tiszabecstől kezdődően a mederszabályozási munkák eredményeként a meanderező meder enyhén bevágódik. Tivadarnál a fenék-hordalék éves hozama 2260 m³, míg a lebegtetetté 0,9 millió m³ (*Bogárdi 1971*).

A Közép-Tiszán az esés folyamatosan csökken 8-9 cm/km-ről 2-4 cm/km-re, és a vízsebesség 0,1-0,5 m/s-re (*Lászlóffy 1982*). Az eséscsökkenés miatt a Közép-Tisza alsó szakasza visszaduzzasztás alatt áll: kiszívkor a kiskörei és a törökbecsei duzzasztók hatása érvényesül, míg az árvizeket a Duna és a Maros duzzaszthatja vissza egészen

Szolnokig (Vágás és Bezdán 2015). A folyamatok hatásaként Szegednél már alig szállítódik fenékhordalék (110 m³/év), ugyanakkor a lebegtetett hordalékhozam 12,2 millió m³ évente (Bogárdi 1971). A mederszabályozások eredményeként a meanderező meder bevágódik, és a jellegzetes akkumulációs formák (pl. szigetek, övzátonyok, oldalzátónyok) eltűnőben vannak.

A Tisza Rahó és Mindszent közötti kb. 750 km-es szakaszán összesen 41 helyen, míg 10 mellékfolyó torlóköt-közei szakaszain további 19 helyen gyűjtöttünk mintát (1. ábra). A mintagyűjtést 2019 augusztusában, kisvizes időszakban végeztük: az aktuális vízszint felett 10-50 cm-rel magasabban frissen lerakódott üledéket gyűjtöttük be.



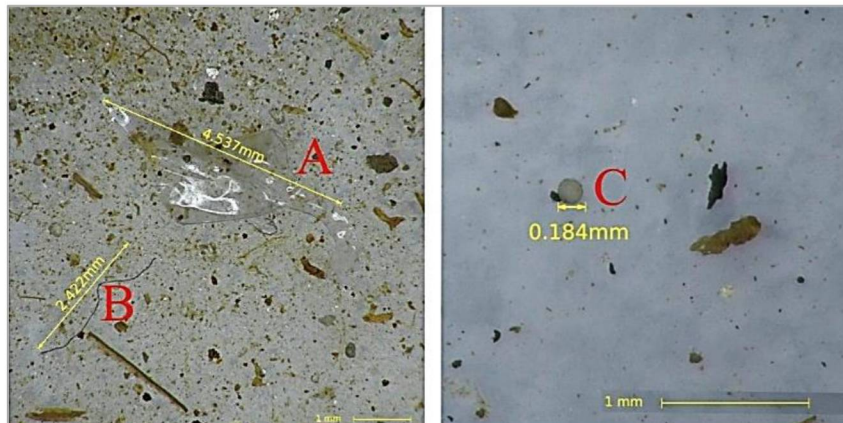
1. ábra. A mintavételi pontok elhelyezkedése a Tisza (1-41) és a mellékfolyók (A-K) mentén (Megjegyzés: A fekete rövid vonalak a szakaszhatárokat jelölik.)

Figure 1. Location of the sampling sites along the Tisza River (1-41) and on the tributaries (A-K). (Note: The short black bars reflect the limits of the sections.)

MÓDSZEREK

Mivel a begyűjtött minták szemcseösszetétele a durva kavicsostól az agyagos-homokosig széles skálán mozgott, az összehasonlíthatóság kedvéért csak a 2 mm alatti frakciót használtuk. A szerves üledéket 1,8 g/cm³ sűrűségű cink-klorid oldattal választottuk el, míg a szerves anyagot hid-

rogén-peroxiddal roncsoltuk (Atwood és társai 2019). Az így elválasztott közepes méretű (0,2-2 mm) mikroműanyagokat fénymikroszkóp segítségével azonosítottuk, elkülönítve a szálakat, gömböket és foszlányokat (2. ábra). A minták szemcseösszetételét Fritsch Analysette 22 MicroTec plus segítségével határoztuk meg.



2. ábra. Különböző mikroműanyag típusokról készült mikroszkópos felvételek (Megjegyzés: A: foszlány, B: szál, C: gömb) Figure 2. Various microplastic types under microscope (Note: A: fragment, B: fibre, C: pearl)

EREDMÉNYEK

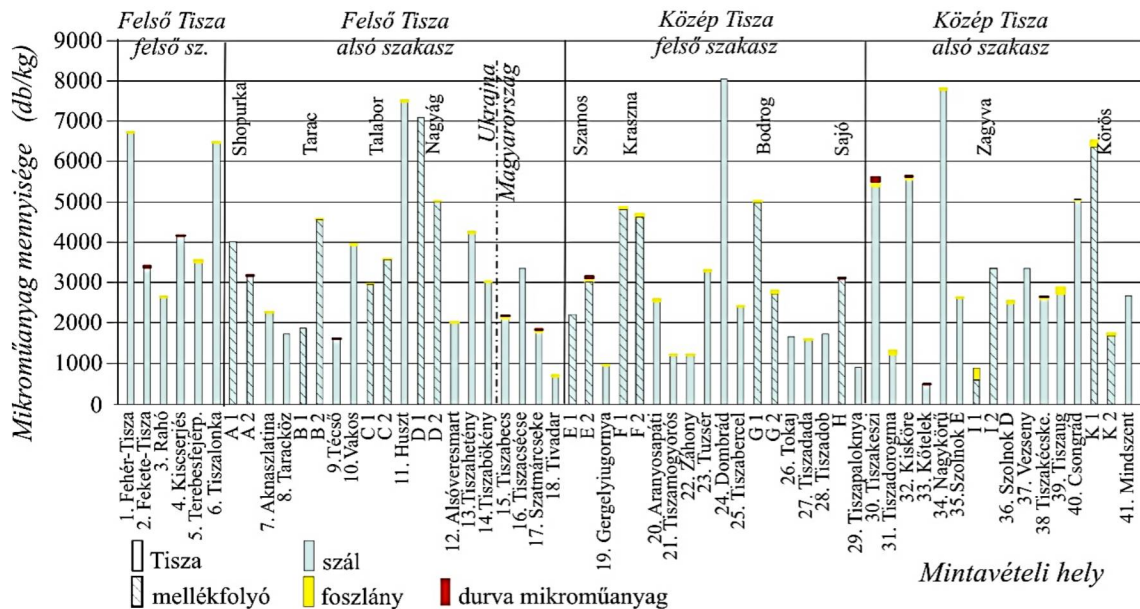
Folyásirány szerinti változások a Tisza mentén

A 2019-es minták elemzése azt mutatja, hogy a felső-tiszai minták átlagosan 15%-al több mikroműanyagot tartalmaztak (3430±1834 db/kg) mint a közép-tiszaiak (2968±2093 db/kg). A kárpátaljai mintavételi pontokon az átlagos szennyezettség (3810±1826 db/kg) jóval meghaladja a hazai Felső-Tiszán mértet (2004±1084 db/kg) és a teljes magyar szakasz átlagát (2825±1991 db/kg) is.

A teljes vizsgált szakasz leginkább szennyezett üledékeit (4383±1589 db/kg) Rahó és Tiszalonka (1-6. sz. mintavételi pont) között gyűjtöttük (3. ábra). A mintavétel során jól látható volt, hogy ezen a völgyi szakaszon közvetlenül a Tiszába szórják a kommunális hulladékot, így rengeteg szemét (makroműanyag) akadt fenn a zátonyokon és a faágakon a víz fölött, és a beömlő patakok is erős makroműanyag szennyezettséget mutattak. A mintákban itt volt a legmagasabb a műnagszálak aránya (98,5%), viszonylag kevés foszlány fordult elő (13-57 db/kg), és néhány nagyobb mikroműanyagot is találtunk (13-39 db/kg).

A Felső-Tisza alsó feléről származó üledékek Aknaszlatina és Tivadar között (7-18 sz. pontok) kevésbé voltak szennyezettek mikroműanyaggal (2874 ± 1792 db/kg) és makroműanyag is kisebb arányban volt jelen a mintákban. Itt a települések kissé távolabb vannak a Tiszától, így feltételezésünk szerint a szennyvizek közvetlen be-

eresztése és a szemét beszórása is kisebb mértékű lehet. A legmagasabb szennyezettséget (7533 db/kg) Huszt (11. sz) felett mértük, majd innen fokozatosan csökkent a mikroműanyagok mennyisége az üledékben, és Tivadarnál (18. sz) már csak 729 db/kg volt. A szálak aránya 95%-ra csökkent, és a foszlányok aránya nőtt meg.



3. ábra. A Tisza és mellékfolyói üledékében lévő mikroműanyag tartalom (db/kg), illetve azok morfológiai típusai
Figure 3. Microplastic content of the sediment samples collected along the Tisza River and its tributaries, and the main microplastic types

A Közép-Tisza is két szakaszra osztható a mikroműanyagok mennyisége alapján. A felső szakaszon, Gergelyugornya és Tiszapalkonya között (19-29. sz. pontok) csupán átlagosan 2334 ± 2042 db/kg szemcse rakódott le, így ez a teljes vizsgált Tisza legkevésbé szennyezett része, ahol sem foszlányok, sem nagyobb mikroműanyagok nem fordultak elő az üledékben. Ugyanakkor Dombbrádnál (24. sz. pont) mértük a Tisza legmagasabb szennyezését (8067 db/kg), ami feltételezhetően helyi okokra vezethető vissza, de ennek tisztázásához további mérések szükségesek. A Közép-Tisza alsó fele Tiszakeszitől Mindszentig (30-41 sz. pontok) erősen szennyezett (3549 ± 2049 db/kg), hiszen 53%-al több mikroműanyagot tartalmazott az üledék, mint a felette lévő szakaszon. A foszlányok és nagyobb szemű mikroműanyagok mennyisége 7,3%-ra nőtt, bár még itt is a szálak dominálnak.

Bár a Felső-Tisza nagy esése és vízsebessége nem biztosít kedvező körülményeket a finomabb szemcsék és a könnyű mikroműanyag darabok lerakódásához, mégis nagy mennyiségben ülepedtek le. Ez arra utal, hogy a természetes befolyásoló tényezőket felülírhatják az antropogén hatások, azaz a jelentős mértékű szennyezés-utánpótlás miatt rakódott le sok mikroműanyag szemcse. Ez szoros összefüggésben áll azzal, hogy a kárpátjai részvízgyűjtőkön a szennyvíz-kezelés igen alacsony színvonalú és mértékű. A további szakaszokon egyre kisebb a szennyezés mértéke, ami szállítódás közbeni lerakódásra utal (Christensen és társai 2020). Bár a Közép-Tisza alsó felén

a települések szennyvíztisztítása már megoldott és a mellékfolyók sem szállítanak jelentős mikroműanyag utánpótlást a Tiszába, mégis sok műanyag rakódott le az üledékekben. Itt a fokozott lerakódást egyrészt magyarázhatja a csökkenő esés és kisebb vízsebesség, a gyakori visszaduzzasztott állapot, illetve azt sem szabad figyelmen kívül hagyni, hogy a tisztított szennyvízben is maradhatnak műanyag szemcsék (Donoso és Rios-Touma 2020).

Az, hogy a mikroműanyagok döntő hányada mind-egyik mintavételi ponton a műanyag szálakhoz tartozott, egyértelműen arra utal, hogy a szennyezés háztartási eredetű, és az élővizekbe kiengedett szennyvízből (pl. mosóvízből) származik. Ezt támasztja alá az a tény is, hogy a kárpátjai és romániai részvízgyűjtőkön lévő településeken csupán a háztartások 0-40%-a csatlakozik olyan szennyvízhálózatokhoz, amelyek vizét tisztítják is (Tarpai 2015; World Bank 2015). Ugyanakkor a foszlányok megjelenése arra utal, hogy hol rakódik le a nagyobb műanyagok (pl. PET-palackok) erodálódásával keletkező törmelék. Ennek kitüntetett helye a Felső-Tisza alsó szakasza, ahol már elegendő utat tettek meg a makroműanyagok az erősen szennyezett völgyi szakasztól ahhoz, hogy róluk darabok váljanak le, illetve a Közép-Tisza alsó szakasza, ahol pedig a nagyon alacsony vízsebesség lehetővé teszi ezen nagy felületű műanyagok leülepedését is.

Terepi megfigyeléseink szerint a szennyezési gócpontok (≥ 4000 db/kg) olyan helyekhez köthetők, ahol szennyvíz-befolyó található (pl. Tiszalonka), vagy illegálisan raktak le szemetet a mederbe (pl. Fehér-Tisza torkolatközeli zátonya, Huszt), vagy a horgászok látogatják és otthagyják

a szemetüket (pl. Dombrád, Tiszadorogma és Nagykörű). Ugyanakkor ez csupán egy egyszeri mérés volt, az okok pontosabb feltárásához további mintavételek és mérések szükségesek.

A mellékfolyók hatása a Tisza mikroműanyag-szennyezettségére

A mintavétel (2019. augusztus) idején a tíz megminta-zott mellékfolyó üledékében a mikroműanyagok átlagos mennyisége (3808±1605 db/kg) kb. 20%-al magasabb volt, mint a Tiszában (3177±1970 db/kg). A Felső-Tiszába ömlő Sopurka, Tarac, Talabor és Nagyg folyók üledékében kiemelkedően magas volt a mikroműanyagok mennyisége (4201±1548 db/kg), azaz ezek átlagosan 46%-al voltak szennyezettebbek, mint a Tisza (3. ábra). Ugyanakkor hatásukra nem volt tapasztalható a mikroműanyag szennyezés jelentős növekedése a Tiszában. Ez azzal magyarázható, hogy ezek a folyók csupán 8-20%-al járulnak hozzá a Tisza közepes vízhozamához (2. táblázat).

A Közép-Tisza felső szakaszán a Tiszába torkolló Szamos, Kraszna, Bodrog és Sajó üledékei (3 687±1 155 db/kg) kevésbé voltak szennyezettek, mint a kárpátaljai folyóké, de 58%-al magasabbak, mint a Tiszáé (2 334±2 042 db/kg) ugyanitt. A Szamos és a Kraszna együttesen 37,9%-al növelik a Tisza vízhozamát, és így a viszonylag magas

mikroműanyag szennyezettségük (3 723 db/kg) jelentősen befolyásolja a Tiszáét, hiszen a beömlésük feletti mintavételi ponton a tiszai üledék mikroműanyag tartalma csupán 729 db/kg volt, míg alatta már 956 db/kg.

A Közép-Tisza alsó szakaszán a Zagyva és a Körös átlagos mikroműanyag szennyezettsége (3 138±2 482 db/kg) alacsonyabb volt, mint a többi mellékfolyóé, és 11%-al kisebb, mint a Tiszáé (3 549±2 049 db/kg). Üledékeikben a foszlányok aránya viszonylag magas (2-33%) volt, de még mindig a műanyag szálak tették ki a műanyag töredékek többségét.

Összességében megállapítható, hogy a mellékfolyók jelentős forrásai a mikroműanyag-szennyezésnek a Tiszában, hiszen átlagosan ötödével volt magasabb az üledékeik szennyezettsége a mintavételek időpontjában, mint a főfolyóé. Ugyanakkor ennek pontos meghatározására a folyók távolabbi, nem visszaduzzasztott szakaszain is kellene mintát venni az üledékből és a vízből is. Különösen a Kárpátalján és a Romániában eredő mellékfolyók a szennyezés fő forrásai. A mellékfolyó szennyezés hatása függ attól, hogy mekkora vízhozammal járul hozzá a Tisza vízhozamához, ugyanakkor a hordalékhozamuk sem elhanyagolható, azonban ehhez is további pontos adatokra lenne szükség.

2. táblázat. A Tisza vizsgált mellékfolyóinak főbb jellegzetességei (Forrás: *Konecsny 2000; **Andó 2002)
(Megjegyzés: A hozzájuk tartozó részvízgyűjtőkön osztozik Ukrajna (UA), Románia (RO), Magyarország (HU) és Szlovákia (SK))
Table 2. Main characteristics of the sampled tributaries of the Tisza River (Sources: *Konecsny 2000, **Andó 2002)
(Note: Their catchments are shared by Ukraine (UA), Romania (RO), Hungary (HU) and Slovakia (SK).)

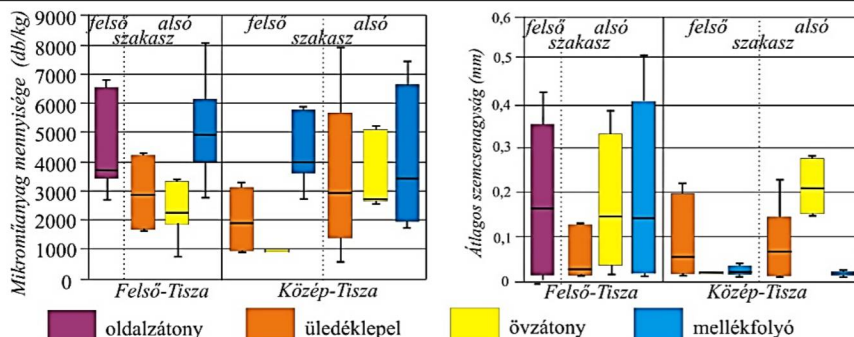
Mellékfolyó	Vízgyűjtő terület (km ²) (ország részesedése)*	Közepes vízhozam (m ³ /s)**		A mellékfolyó hozzájárulása a Tisza vízhozamához (%)
		mellékfolyóé	Tiszáé az összefolyásnál	
Sopurka	286 (UA: 100%)	5,7	67	8,5
Tarac	1 224 (UA: 100%)	27	134	20,1
Talabor	766 (UA: 100%)	19	155	12,3
Nagyág	1 240 (UA: 100%)	21	175	12,0
Szamos	15 881 (RO: 98%, HU: 2%)	120	330	36,4
Kraszna	3 142 (RO: 72%; HU: 28%)	5		1,5
Bodrog	13 580 (SK: 55%, UA: 36%, HU: 8%)	124	464	26,7
Sajó	12 708 (SK: 67%, HU: 33%)	65	530	12,3
Zagyva	5 677 (HU: 100%)	10	546	1,8
Körös	27 537 (RO: 53%, HU: 47%)	105	652	16,1

A mintavételi pont helyzete és szemcseösszetételének hatása a Tisza mikroműanyag-szennyezettségére

A Felső-Tisza felvízi szakaszán a Rahó és Tiszalonka (1-6. sz.) közötti mintavételi pontok durva kavicsú oldalzátonyokon voltak. Az alsóbb anasztomizáló és meanderező szakaszokon a kanyarulatok belső ívén lévő övzátonyokról, illetve az egyenes vagy külső ívek mederoldalára lerakódó üledékleplekből vettünk mintákat. A Felső-Tiszán az üledékleplekben a mikroműanyag-tartalom általában magasabb volt és az adatok szórása is nagyobb, mint az ugyanazon szakaszokon lévő övzátonyokból vett mintákban, holott az övzátonyok durvább anyagúak voltak, mint az üledéktakarók (4. ábra). Míg a Felső-Tiszán az övzátonyok kevésbé megfelelő környezetet biztosítottak a mikroműanyag lerakódásnak, mint az üledéktakarók, addig a Közép-Tiszán ez a kapcsolat megfordult, és bár az övzátonyok továbbra is durvább anyagúak, de több mikroműanyag csapódott bennük. Általában a

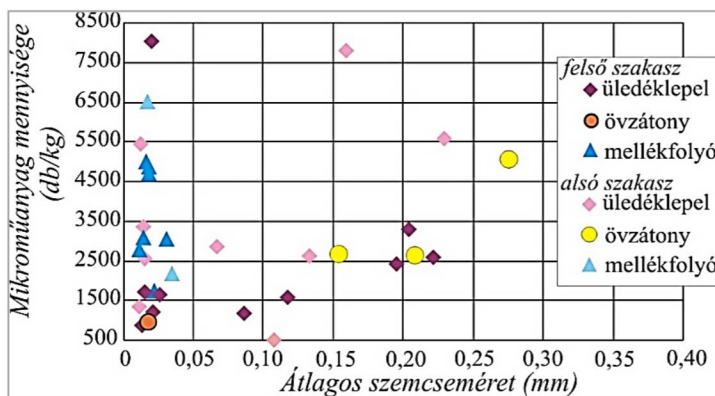
mellékfolyók üledékei finomszeműbbek voltak, mint ami a Tisza adott szakaszán jellemző, csak a legfelső, fontos mellékfolyók (pl. Sopurka, Tarac, Talabor) üledékei voltak durvább szeműek. A torkolat-közeli szakaszok finomszemű lerakódásai a visszaduzzasztott állapottal hozhatók kapcsolatba: ez elősegítheti a mikroműanyagok kiülepedését is, ami magyarázhatja a mellékfolyók üledékének magasabb mikroműanyag tartalmát.

Azoknál a mintáknál, amelyeknél az átlagos szemcseátmérő 0,05 mm alatti volt, nem volt kapcsolat a szemcseméret és a mikroműanyag-tartalom között. Ugyanakkor, ahogy az üledék szemcseösszetétele durvult, a mikroműanyag tartalom egyre magasabbá vált. Különösen jól látszik ez a közép-tiszai minták esetében (5. ábra), ami arra utal, hogy ezen a kis esésű szakaszon a nagyobb vízsebesség (és durvább üledék) biztosít kedvezőbb környezetet a mikroműanyagok lerakódásához.



4. ábra. Az üledékek mikroműanyag tartalma és átlagos szemcsemérete (d_{50}) a Tisza egyes szakaszain előforduló akkumulációs formákon, illetve a mellékfolyók mentén

Figure 4. Microplastic content and mean grain size (d_{50}) of the sampled fluvial forms on the different sections of the Tisza River and its tributaries



5. ábra. Az üledékek átlagos szemcsemérete és az üledék mikroműanyag tartalma a Közép-Tisza szakaszain előforduló akkumulációs formákon, illetve a mellékfolyók mentén

Figure 5. Mean grain size and microplastic content of the sampled fluvial forms on the different sections of the Middle-Tisza River and its tributaries

ÖSSZEZÉS

A Tisza vizsgált 750 km hosszú szakaszán a 2019 nyarán frissen lerakódott üledékben a mikroműanyagok mennyisége 528 és 8067 db/kg között változott (átlag: $3\,177 \pm 1\,970$ db/kg), míg a vizsgált tíz mellékfolyó üledékében $900-7\,115$ db/kg (átlag: $3\,808 \pm 1\,605$ db/kg) mikroműanyag szemcsét számoltunk. Ezek az adatok arra utalnak, hogy a Tisza vízrendszere szennyezettebb, mint a nemzetközi publikációkban megjelent vízfolyások (3. táblázat).

Mivel a Tisza és mellékfolyói üledékében is a mikroműanyag szálak dominálnak, egyértelmű, hogy elsősorban a lakossági tisztítatlan szennyvíz bevezetés terheli a folyót ebből a szempontból is. Figyelembe véve, hogy a felső vízgyűjtők egy részén a közműellő egyre inkább szétnyílik, illetve a mederüledékek mobilizálódhatnak, feltehető, hogy a szál marad a Tisza jellegzetes műanyag-szennyezési formája.

3. táblázat. Néhány folyó üledékének mikroműanyag szennyezettsége irodalmi adatok alapján
Table 3. Some data on the microplastic pollution of rivers from all over the world

Folyó (ország)	A mikroműanyag		Forrás
	mennyisége (db/kg)	jellegzetes típusa	
Temze (GB)	660	foszlány	Horton és társai 2017
Elba (D)	2080	foszlány, gömb	Scherer és társai 2020
Mersey (GB)	2812-6350	foszlány, gömb	Hurley és társai 2018
Haihe (Kína)	4980 ± 2462	szálak	Liu és társai 2021
West River (Kína)	2560-10240	szálak	Huang és társai 2021
Nakdong River (Dél-Korea)	1970 ± 62	foszlány	Eo et al 2019
Amazonas három mellékfolyója (Brazília)	417-8178	szálak	Gerolin és társai 2020
Brisbane River (Ausztrália)	10-520	foszlány	He és társai 2020
St. Lőrinc folyó (Kanada)	65-7562	gömb	Crew és társai 2020
Fall és Six Mile Creeks (USA)	25-250	szálak	Watkins és társai 2019

A méréseink alapján a Tiszán a mikroműanyag mennyiségében nem tapasztaltunk egyértelmű folyásirány szerinti változást, ami annak tudható be, hogy változtak a szakaszok hordalék-lerakódási viszonyait befolyásoló hidrológiai, geomorfológiai és antropogén (mikroműanyag in-

put) viszonyok is. Ugyanakkor a hatótényezők szerepe igen eltérő lehet szakaszonként is. Ezt jól mutatja, hogy a Felső-Tisza felvízi felén és az Közép-Tisza alvízi felén mértük a legtöbb mikroműanyag részecskét az üledékben (4383 ± 1589 db/kg illetve 3549 ± 2049 db/kg), holott a két

szakasz esés- és sebességviszonyai nagyon eltérőek. Tehát a hidrológiai és geomorfológiai hatásokat érdemes ugyanazon szakaszon belül is értékelni, és a jövőbeli monitoring megszervezésekor érdemes jóval több ponton vizsgálni a szennyezést, hogy a hatótényezők pontosabban feltárhatók legyenek. A jövőben település-szintű elemzéseket kellene végezni, hogy a szennyezőforrások pontosan azonosíthatók legyenek, illetve ezek időbeli dinamikáját is fel kell tárni. Ráadásul a mikroműanyagok szállítódásának és lerakódásának tér- és időbeli változásai is a kutatások céljai között szerepelhetnek. Tehát a mikroműanyagok vizsgálata egy új és perspektivikus kutatási irányba lehet a folyóvízi kutatásoknak.

A mérések jövőbeli tervezésekor azt is javasoljuk, hogy hasonló morfológiai helyekről és hasonló szemcseösszetételű üledéktestekből történjen a mintavétel, hogy a szennyezés valódi mértéke becsülhető legyen. A mellékfolyók hosszabb, nem csak torkolati szakaszáról is javasolt a mintagyűjtés, hogy az adott mellékfolyó pontos szerepe meghatározható legyen, azaz az, hogy mennyivel járul hozzá a főfolyó mikroműanyag szennyezéséhez.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatást az OTKA K:134306 sz. pályázata támogatta. Köszönjük a kutatásban résztvevő hallgatók segítségét.

IRODALOMJEGYZÉK

Andó M. (2002). A Tisza vízrendszer hidrogeográfiája. SZTE-TFGT, Szeged, p. 168.

Atwood E.C., Falcieri F.M., Piehl S., Bochow M., Matthies M., Franke J., Carniel S., Sclavo M., Laforsch C., Siegert F. (2019). Coastal accumulation of microplastic particles emitted from the Po River, Northern Italy: Comparing remote sensing and hydrodynamic modelling with *in situ* sample collections. *Marine Pollution Bulletin* 138, 561-574.

Barrows A.P., Christiansen K.S., Bode E.T., Hoellein T.J. (2018). A watershed-scale, citizen science approach to quantifying microplastic concentration in a mixed land-use river. *Water Research*, 147, 382-392.

Bertling J., Bertling R., Hamann L. (2018). Kunststoffe in der Umwelt: mikro- und makroplastik. Fraunhofer Institut für Umwelt, Dortmund, p. 56.

Bordós G., Urbányi B., Micsinai A., Kriszt B., Palotai Z., Szabó I., Hantosi Zs., Szoboszlay S. (2019). Identification of microplastics in fish ponds and natural freshwater environments of the Carpathian Basin. *Chemosphere*, 216, 110-116.

Bogárdi J. (1971). Vízfolyások hordalékszállítás. Akadémiai Kiadó, Budapest, p. 837.

Christensen N.D., Wisinger C.E., Maynard L.A., Chauhan N., Schubert J.T., Czuba J.A., Barone J.R. (2020). Transport and characterization of microplastics in inland waterways. *Journal of Water Process Engineering* 38, 101640.

Crew A., Gregory-Eaves I., Ricciardi A. (2020). Distribution, abundance, and diversity of microplastics in the upper St. Lawrence River. *Environmental Pollution* 260, 113994.

Donoso J.M., Rios-Touma B. (2020). Microplastics in tropical Andean rivers: A perspective from a highly populated Ecuadorian basin without wastewater treatment. *Heliyon* 6, e04302.

Emmerik van T., Kieu-Le T.C., Loozen M., van Oeveren K., Strady E., Bui X., Egger M., Gasper J., Lebreton L., Nguyen P., Schwarz A., Slat B., Tassin B. (2018). A methodology to characterize riverine macroplastic emission into the ocean. *Frontiers in Marine Science* 5, 10.3389/fmars.2018.00372

Eo S., Hong S.H., Song Y.K., Han G.M., Shim W.J. (2019). Spatiotemporal distribution and annual load of microplastics in the Nakdong River, South Korea. *Water Research* 160, 228-237.

Gerolin C.R., Pupim F.N., Sawakuchi A.O., Grohmann C.H., Labuto G., Semensatto D. (2020). Microplastics in sediments from Amazon rivers, Brazil. *Science of the Total Environment* 749, 141604

Habib D., Locke D.C., Cannone L.J. (1996). Synthetic fibers as indicators of municipal sewage sludge, sludge products, and sewage treatment plant effluents. *Water Air Soil Pollution* 103, 1-8.

He B., Goonetilleke A., Ayoko G.A., Rintoul L. (2020). Abundance, distribution patterns, and identification of microplastics in Brisbane River sediments, Australia. *Science of the Total Environment* 700, 134467

He D., Luo Y., Lu S., Liu M., Song Y., Lei L. (2018). Microplastics in soils: Analytical methods, pollution characteristics and ecological risks. *Trends in Analytical Chemistry* 109, 163-172.

Horton A.A., Svendsen C., Williams R.J., Spurgeon D.J., Lahive E. (2017). Large microplastic particles in sediments of tributaries of the River Thames, UK – Abundance, sources and methods for effective quantification. *Marine Poll. Bull.* 114, 218-226.

Huang D., Li X., Ouyang Z., Zhao X., Wu R., Zhang C., Lin C., Li Y., Guo X. (2021). The occurrence and abundance of microplastics in surface water and sediment of the West River downstream, in the south of China. *Science of the Total Environment* 756, 143857

Hurley R., Woodward J., Rothwell J.J. (2018). Microplastic contamination of river beds significantly reduced by catchment-wide flooding. *Nature Geoscience* 11/4, 251-257.

Jiang C., Yin L., Li Z., Wen X., Luo X., Hu S., Yang H., Long Y., Deng B., Huang L., Liu Y. (2019). Microplastic pollution in the rivers of the Tibet Plateau. *Environmental Pollution* 249, 91-98.

Kerényi A., Szabó Gy., Fazekas I., Szabó Sz. (2003). Környezeti problémák és megoldási lehetőségek. in: Teplán I. (szerk): A Tisza vízrendszere II. MTA TKK, Budapest, 179-203.

Konecsny K. (2000). Az országhatáron túli tájalakítás hatása az Alföld vízviszonyaira. In: Pálfai I. (szerk). A víz szerepe és jelentősége az Alföldön. Nagyalföld Alapítvány, Békéscsaba, 27-46.

Lászlóffy W. (1982). A Tisza. Akadémiai Kiadó, Budapest, p. 610.

- Li C., Busquets R., Campos L.C. (2020). Assessment of microplastics in freshwater systems: A review. *Science of the Total Environment* 707, 135578
- Liu Y., Zhang J.D., Tang Y., He Y., Li Y.J., You J.A., Breider F., Tao S., Liu W.X. (2021). Effects of anthropogenic discharge and hydraulic deposition on the distribution and accumulation of microplastics in surface sediments of a typical seagoing river: The Haihe River. *Journal of Hazardous Materials* 404, 124180
- Mani T., Burkhardt-Holm P. (2020). Seasonal microplastics variation in nival and pluvial stretches of the Rhine River – From the Swiss catchment towards the North Sea. *Science of the Total Environment* 707, 135579
- Nel H.A., Dalu T., Wasserman R.J. (2018). Sinks and sources: Assessing microplastic abundance in river sediment and deposit feeders in an Austral temperate urban river system. *Sci. of the Total Environment* 612, 950-956.
- Scherer C., Weber A., Stock F., Vurusic S., Egger H., Kochleus C., Arendt N., Foeldi C., Dierkes G., Wagner M., Brennholt N., Reifferscheid G. (2020). Comparative assessment of microplastics in water and sediment of a large European river. *Science of the Total Environment* 738, 139866
- Tarpai J. (2015). A természeti és társadalmi erőforrások szerepe Kárpátalja turizmusfejlesztésében és hatása a területfejlesztésre. PhD disszertáció, PTE, Pécs, 181.
- Tramoy R., Gasperi J., Colasse L., Tassin B. (2020). Transfer dynamic of macroplastics in estuaries: New insights from the Seine estuary: Long term dynamic based on date-prints on stranded debris. *Marine Poll. Bull* 152, 110894.
- Vágás I., Bezdán M. (2015). Tisza és árvizei. Kisbíró Kft., Szeged, p. 190
- Watkins L., McGrattan S., Sullivan P.J., Walter M.T. (2019). The effect of dams on river transport of microplastic pollution. *Science of the Total Environment* 664, 834-840.
- World Bank (2015). Water and Wastewater Services in the Danube Region: country notes, IAWD
- Yang L., Qiao F., Lei K., Li H., Kang Y., Cui S. (2019). Microfiber release from different fabrics during washing. *Environmental Pollution* 249, 136-143.

A SZERZŐK



KISS TÍMEA diplomáját (1998) és PhD fokozatát (2001) a Debreceni Egyetemen szerezte, majd 2015-ben megkapta a Magyar Tudományos Akadémia Doktora (DSc) címet, 2016-ban habilitált. A Szegedi Tudományegyetem Természettudományi Karának docense. A folyók morfológiai változásait és a vízrendszereket érő emberi hatásokat vizsgálja.

FÓRIÁN SZILVESZTER a Szegedi Tudományegyetem földrajz-német szakos hallgatója.

SIPOS GYÖRGY geográfusként végzett (2002), majd PhD fokozatot szerzett (2007) a Szegedi Tudományegyetemen, ahol jelenleg egyetemi docensként dolgozik. Az Optikailag Stimulált Lumineszcens Laboratórium vezetője. Kutatási területei a folyók hidromorfológiai változásai és OSL vizsgálatok.