Kimagasló eredményeket értek el a HUN-REN CSFK és a Pannon Egyetem kutatói az Amazonas vízrendszerének szennyezettségét vizsgáló nemzetközi kutatásban

A HUN-REN CSFK, a Pannon Egyetem és az ecuadori Cuencai Egyetem (Universidad de Cuenca) kutatói egy közös kutatási projekt keretében vizsgálták az Amazonas vízrendszeréhez tartozó folyók szennyezettségét Ecuadorban. A kutatók elsősorban a szerves mikroszennyezők (egyes gyógyszermaradványok, peszticidek, ipari szennyezők) jelenlétét, a koncentrációk évszakos ingadozását, azok csapadékviszonyoktól való függését elemezték 2023 és 2025 között. A vízmintákból összesen 34 vegyületet sikerült kimutatni, közülük 13 szennyezőt korábban soha nem detektáltak az Amazonas-vízgyűjtő folyóvizeiben. A terepi tapasztalatok és a klímamodellek alapján az éghajlatváltozás növeli a száraz időszakok gyakoriságát és hosszát, emellett felerősíti az ENSO (El Niño – Déli Oszcilláció) jelenség intenzitását az Amazonas-medencében, ami tovább súlyosbítja az mikroszennyezők által okozott stresszt a felszíni vizekben. A több éven át zajló kutatás eredményeit a kutatók a nemzetközileg magasan jegyzett Environmental Pollution nevű tudományos szaklapban publikálták.

Az Amazonas-medence Földünk egyik legjelentősebb hidrológiai és ökológiai rendszere. A csaknem 9 **millió km^2-es területű régió** nyolc dél-amerikai országra (Brazília, Peru, Bolívia, Ecuador, Kolumbia, Venezuela, Guyana, Suriname) és Francia Guyana területére terjed ki. A biodiverzitás egyedülállóan gazdag a térségben, a medence a Földön ismert fajok jelentős hányadának, számos növény-, rovar-, madár-, hal- és emlősfajnak ad otthont. Ennek a hatalmas ökológiai gazdagságnak az egyik alapja az Amazonas folyó vízrendszere, ami az Andoktól az Atlanti-óceánig gyűjti a térség csapadékvizeit, és édesvízi ökológiai hálózatként funkcionál. A medence folyói azonban egyre nagyobb emberi eredetű terhelésnek van kitéve: az intenzív mezőgazdasági és bányászati tevékenység mellett a növekvő népesség következtében keletkező kommunális szennyvíz is jelentős veszélyt jelent a vízminőségre. A helyzetet súlyosbítja az egyébként természetes éghajlati jelenség, az El Niño is, amely az Amazonas-medence nagy részén felmelegedést, a csapadékmennyiség csökkenését és elhúzódó aszályos időszakokat idéz elő.

A magyar és ecuadori kutatók célja az Amazonas vízrendszeréhez tartozó Ecuadori Andok folyóiban előforduló, antropogén eredetű szerves mikroszennyezők jelenlétének, koncentrációjának és környezeti kockázatainak feltárása volt. A kutatást a Pannon Egyetem nagykanizsai kampuszán működő Soós Ernő Kutató-Fejlesztő Központ és az ecuadori Cuencai Egyetem munkatársai által, egy NKFIH által támogatott TÉT-projekt keretében végzett, két éven át tartó vízmintavételi kampány alapozta meg (a projekt neve: Globális tiszta víz probléma: a felszíni vizek romló minősége a növekvő emberi igények tükrében; azonosító: 2021-1.2.4-TÉT-2021-00059; kutatásvezetők: Galambos Ildikó – Pannon Egyetem; Hampel Henrietta és Raúl F. Vázquez – Cuencai Egyetem). A vízminták analízisének eredményeként létrejött hatalmas adatbázis feldolgozásában a HUN-REN CSFK Földrajztudományi Intézete, valamint a Mikroszennyezők és víztisztító technológiák főigazgatói kutatócsoport szakemberei vettek részt Kondor Attila Csaba vezetésével. A kutatók elemezték a szennyezőanyagok térbeli és évszakok közötti időbeli változásait, valamint az ezekhez kapcsolódó ökológiai kockázatokat. Emellett arra is keresték a választ, hogy a csapadék mennyisége és változása miként befolyásolja az eltérő fizikai-kémiai tulajdonságokkal rendelkező szerves mikroszennyezők folyóvízi koncentrációját. Mivel korábban az Amazonas-medencében nem zajlott több évszakra és több évre kiterjedő mikroszennyező-vizsgálat, a kutatás világviszonylatban is nagy jelentőséggel bír. A gyógyszerek, peszticidek és egyéb szerves szennyező anyagok előfordulásának és koncentrációjának eltérő hidrológiai körülmények közötti elemzését ismertető tanulmány kritikus adathiányt pótol ebben a globálisan fontos, ám eddig alulmonitorozott édesvízi rendszerben.

A vízmintavétel során a kutatók az ecuadori Magas-Andokban eredő, majd a csaknem félmilliós Cuenca városán (Ecuador harmadik legnagyobb településén) átfolyó, és közvetetten az Amazonasba torkolló Tomebamba és Cuenca folyókból vettek vízmintákat (1. ábra). A terepmunka két száraz és két csapadékos évszakban zajlott 2023 és 2025 között. Ilyen hosszú, több évszakon átívelő mikroszennyező-vizsgálat még nem történt az Amazonas-medencében. A kutatás unikális jellegét erősíti, hogy az első száraz és nedves időszak mintavételei (2023. szeptember és 2024. március) egybeesett a térségben valaha mért legerősebb El Niño periódussal, amelynek során extrém szárazság és hőhullámok sújtották az egész Amazonas-medencét. Ez hatalmas ökológiai és gazdasági pusztítást okozott, például a sekély, felmelegedett édesvizekben tömeges hal- és folyami delfinpusztulás következett be. A kiszáradt növényzet miatt 2024-ben mintegy 15,8 millió hektárnyi terület égett le a medencében.



1. ábra. A vizsgálati terület és a mintavételek helyszínei Dél-Amerikában

A kutatók a szerves mikroszennyezők vizsgálata céljából minden egyes mintázási periódusban 15 helyszínen gyűjtöttek folyóvíz-mintákat, így összesen 60 db mintát elemeztek (2. kép). Összesen 58 szerves mikroszennyezőt kerestek a vízben, beleértve a humán gyógyszermaradványokat, állatgyógyászati készítményeket, egyes növényvédő szereket (gyomirtókat, gombaölő szereket és rovarirtókat), műanyag-adalékanyagokat (pl. biszfenolok) és fényvédő anyagokat. A vizsgált anyagok közül 34-et mutattak ki, ebből 13 vegyületet még soha nem detektáltak az Amazonas-medence felszíni vizeiben. Sőt a gombák ellen használt klotrimazolt egész Dél-Amerikában most sikerült kimutatni először felszíni vízből.

1. táblázat A kutatás során detektált anyagok és koncentrációik

Detektált mikroszennyező	Vegyület típusa	Előfordulások száma a mintákban	Maximum koncentráció (ng L^{-1})	Átlagos koncentráció (ng L^{-1})
Azithromycin (AZM)*	*Antibiotikum*	2/60	6.0	5.6±0.6
Ciprofloxacin (CIP)*	*Antibiotikum*	18/60	112.2	52.0±37.4
Clarithromycin (CLR)	*Antibiotikum*	50/60	457.2	74.6±115.0
Clindamycin (CLN)*	*Antibiotikum*	14/60	15.8	3.7±4.7
Ofloxacin (OFL)*	*Antibiotikum*	35/60	140.4	40.2±38.3
Sulfamethoxazole (SMX)	*Antibiotikum*	36/60	77.7	14.7±17.3
Trimethoprim (TRI)	*Antibiotikum*	50/60	225.4	33.9±45.2
Venlafaxine (VLF)	*Antidepresszáns*	31/60	14.5	3.1±3.1
Clotrimazole (CLO)*	*Gombaölő szer*	15/60	25.7	7.6±7.3
Fluconazole (FLU)	*Gombaölő szer*	40/60	167.7	22±36.1
Cetirizine (CET)*	*Antihisztamin*	50/60	218.7	19.8±33.8
Atenolol (ATN)	*Vérnyomáscsökkentő*	22/60	59.1	9.0±14.2
Carbamazepine (CBZ)	*Antiepileptikum*	47/60	243.1	33.6±53.6
Lamotrigine (LTG)*	*Antiepileptikum*	19/60	57.2	19.5±16
Estradiol (E2)	*Hormon*	30/60	17.7	4.5±5.6
Estrone (E1)	*Hormon*	53/60	30.2	4.9±6.6
Ethinylestradiol (EE2)	*Hormon*	32/60	2.8	0.9±0.6
Lidocaine (LID)	*Helyi érzéstelenítő*	50/60	208.0	19.6±41.1
O-desm.venlafaxine (ODV)	*Antidepresszáns metabolit*	42/60	64.0	15.3±17.3
Diclofenac (DCL)	*Fájdalomcsillapító*	60/60	166.3	27.9±31.7
Naproxen (NPX)	*Fájdalomcsillapító*	46/60	745.4	125.4±153.5
Tramadol (TRA)*	*Opioid fájdalomcsillapító*	46/60	155.1	15.4±28.1
Enrofloxacin (ENRO)*	*Állatgyógyászati antibiotikum*	3/60	58.7	30.0±25.8
Azoxystrobin (AZO)	*Gombaölő szer*	7/60	11.6	5.9±3.4
Tebuconazole (TBZ)	*Gombaölő szer*	14/60	25.8	13.1±8.3
Atrazine (ATR)	*Gyomirtó*	24/60	171.5	25.2±49.6
Metolachlor (MET)	*Gyomirtó*	8/60	22.0	13.4±5.1
Acetamiprid (ACE)*	*Rovarirtó*	16/60	7.5	3.2±1.9
Fipronil (FP)	*Rovarirtó*	13/60	90.8	17.2±26.2
Imidacloprid (IMI)	*Rovarirtó*	10/60	3.5	1.7±0.8
Bisphenol-A (BPA)*	*Műanyag monomer*	49/60	850.4	88.2±179.2
Bisphenol-F (BPF)*	*Műanyag monomer*	22/60	46.1	8.3±13.8
Bisphenol-S (BPS)*	*Műanyag monomer*	57/60	428.7	48.2±95.2
Oxybenzone (BP3)	*Fényvédő szer*	50/60	54.6	13.0±13.0

** Az Amazonas-medencében először detektált vegyület*

A legmagasabb koncentrációkat a műanyagok monomerjeként ismert biszfenol-A (850,4 ng/l) és a fájdalomcsillapító naproxen (745,4 ng/l) esetében mérték. A szintén fájdalomcsillapító diklofenakot minden mintában kimutatták, és az elvégzett kockázatelemzés alapján az ösztronnal együtt ez az anyag jelentette a legnagyobb ökológiai kockázatot. Érdekesség, hogy olyan anyagokat is rendszeresen ki lehetett mutatni az ecuadori folyóvízből, amelyeket a fejlett országokban már korlátoztak vagy betiltottak (pl. a gyomirtó atrazin és a rovarirtó fipronil), ami a globális világunkban a szennyezőanyagok fejlődő országok irányába történő „exportjára" utal.



2. kép Vízmintavételek a Tomebamba folyón

Az adatbázis további elemzése, így pl. a permutációs többváltozós varianciaanalízissel történő modellezés alapján egyértelművé vált, hogy a szennyezés térbeli és időbeli változékonyságát a csapadék változása szignifikánsan befolyásolja. Az úgynevezett hidrofil (vízben oldódó) anyagok esetében a csapadék és a folyóvízben kimutatott szennyező-koncentrációk közötti kapcsolat lineáris: minél több a csapadék, annál alacsonyabbak a koncentrációk. A hidrofób (vízben nehezebben oldódó) anyagok esetében ugyanakkor nemlineáris viselkedés figyelhető meg, ami arra utal, hogy a csapadék felszabadít bizonyos mennyiségű, üledékhez/talajhoz kötődő szennyező anyagot, egy ideig ellensúlyozva a hígító hatást. A kutatás végül rámutatott, hogy a klímamodellek előrejelzései szerint az éghajlatváltozás hatására az Amazonas-medencében gyakoribbá válhatnak a száraz időszakok, és fokozódhat az ENSO-jelenség intenzitása is. Ezek a folyamatok tovább növelhetik a mikroszennyezők okozta terhelést az édesvízi rendszerben.

A kutatás alapjául szolgáló tanulmány:

Kondor, A. C., Bauer, L., Hampel, H., Vancsik, A., Szabó, L., Vázquez, R. F., Vimos-Lojano, D., Zrínyi, Z., Kovács, N., Maász, G., Tombácz, E., & Galambos, I. (2026). Organic micropollutants in the Andean Highlands of Ecuador: Spatiotemporal patterns of river pollution and the impact of precipitation variability. *Environmental Pollution*. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2026.129535

A kutatáshoz hozzájárult: Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal (NKFIH) (projektazonosítók: DKOP-23_03, NKFIH 2020–1.1.2-PIACI-KFI-2021-00309, 2021-1.2.4-TÉT-2021-00059, 2024-1.2.11-TÉT-IPARI TR-2025-00024, 2020-1.1.6-JÖVŐ-2021-00007, STARTING 152507);

Európai Regionális Fejlesztési Alap (ERFA) (projektazonosító: HUSK_2302_1.2_070, Interreg VI-A Szlovénia–Magyarország program SIHU_00083); Magyar Tudományos Akadémia, Bolyai János kutatói ösztöndíj (projektazonosító: BO/00 199/25/10).

Elérhetőség:

Dr. Kondor Attila Csaba, HUN-REN CSFK kutatásvezető (tel.: +36 30 886 2083; kondor.attila@csfk.org)

Dr. Galambos Ildikó, Pannon Egyetem Soós Ernő Kutató-Fejlesztő Központ (tel.: +36 70 333 9913; e-mail: galambos.ildiko@pen.uni-pannon.hu)