

SZENNYVÍZMONITORING SZEREPE A NÉPEGÉSZSÉGÜGYBEN – JELEN ÉS JÖVŐ

Vargha Márta¹, Róka Eszter¹, Farkas Ágnes², Henczkó Judit², Khayer Bernadett¹, Kis Zoltán², Málnási Tibor¹, Pályi Bernadett², Schuler Eszter¹, Szécsy Orsolya³, Pándics Tamás¹

¹ Nemzeti Népegészségügyi Központ (NNK), Közegészségügyi Laboratóriumi Főosztály

² Nemzeti Népegészségügyi Központ (NNK), Mikrobiológiai Referencia Laboratóriumi Főosztály

³ Eötvös Loránd Kutatási Hálózat Agrártudományi Kutatóközpont Talajtani Intézet

KIVONAT

A szennyvízvizsgálatok járványügyi, népegészségügyi jelentősége a COVID-19 pandémiával került előtérbe: mára nem csak úgy tekintünk a közüzemi szennyvízre, mint a köztisztaság egyik legfontosabb elemére, hanem egyben, mint az ellátott lakosságot reprezentáló közösségi mintára. A SARS-CoV-2 kimutatása szennyvízből általánosan elfogadott eszközzé vált a járványhelyzet alakulásának követésében és sok esetben előrejelzésében. A Nemzeti Népegészségügyi Központ által üzemeltetett hazai szennyvíz monitoring rendszer a lakosság 40%-át reprezentáló minták legalább heti vizsgálatával az újabb járványhullámokban új esetszám alakulását egy héttel, a kórházban ápoltak száma két héttel korábban jelzi. Az egyes vírusvariánsok elterjedését ugyancsak igazolták. Azonban a szennyvízvizsgálatok a koronavírus járvány alakulásánál jóval szélesebb körű információt adhatnak a lakosság egészségéről. A hazai vizsgálatok kiterjesztésének első lépése más kórokozók kimutatása: az NNK a szezonális influenza nyomon követésére és a poliovírus mentesség igazolására állított be módszert. Magyarország is részt vett abban a nemzetközi összefogásban, amely az antibiotikum rezisztens mikroorganizmusok globális előfordulását értékelte szennyvízvizsgálatok alapján. A fertőző kockázatok mellett előzetes vizsgálatok alapján nyomon követhetőek a közösség gyógyszerfogyasztási szokásai, illetve biomarkerek alapján egyes nem fertőző betegségek előfordulási gyakorisága, vagy olyan népegészségügyi szempontból jelentős életmódbeli tényezők, mint a dohányzás, az alkoholfogyasztás, vagy az illegális szerhasználat.

KULCSSZAVAK: szennyvíz alapú epidemiológia, SARS-CoV-2, COVID, antibiotikum rezisztencia, közösségi egészség monitoring

BEVEZETÉS

A szennyvíz alapú epidemiológia viszonylag új módszer a járványtanban. Korábban a szennyvíz közegészségügyi jelentőségét csak a köztisztaság előmozdításában látták. De tekinthetünk a szennyvízre másként is: mint az ellátott lakosság egészségi állapotát jellemző közösségi mintára. Minden olyan anyag vagy kórokozó, ami széklettel vagy vizelettel ürül, vagy fürdés során mosódik a csatornába, kimutatható lehet a szennyvízből, így anonim és nem invazív módon nyerhetünk nagyszámú lakosságot jellemző reprezentatív információt. A szennyvíz alapú epidemiológia első alkalmazásának általában a 2000-es évek elején végzett, illegális szerhasználat nyomon követésére irányuló vizsgálatokat tartják (*Daughton 2001*). Sok országban végeznek szisztematikus vizsgálatokat szennyvízből poliovírus mentesség igazolására. A negatív eredményekkel támasztják alá, hogy a járványos gyermekbénulás nem cirkulál a közösségben. Ezeket a vizsgálatokat az Egészségügyi Világszervezet (WHO) össze, a Globális Polio Eradikációs Kezdeményezés részeként (*Ashgar és mtsai. 2014*).

Általánosan ismertté a COVID-19 pandémia során vált a szennyvíz alapú epidemiológia. A járvány elmúlt két évében egyre több ország vezetett be szennyvíz vizsgálatokon alapuló surveillance rendszert a járvány nyomon követésére. A vizsgálati helyszíneket és az ezzel foglalkozó kutatócsoportokat rögzítő COVIDPoops19 internetes oldal szerint jelenleg 67 országban folynak rendszeres vizsgálatok (<https://www.covid19wbec.org/covidpoops19>). Az Európai Unió 2021 márciusában kiadott ajánlása alapján minden tagállamban kialakítanak egy legalább a 150.000 főnél nagyobb agglomerációkat lefedő szennyvíz monitorozó rendszert a

SARS-CoV-2 és variánsai kimutatására (Európai Bizottság 2021). A WHO 2022 márciusában tette közzé a közegészségügyi döntéseket támogató szennyvízvizsgálatokra vonatkozó útmutatóját (WHO 2022).

Felmerülhet a kérdés, hogy mi lesz az így felállított monitoring rendszerek jövője, várható-e hosszú távú fenntartásuk. Jelenleg még nem látható a COVID-19 pandémia vége, így az elkövetkező néhány évben bizonyosan fennmarad eredeti feladata: a járvány újabb hullámainak korai előrejelzése, és nyomon követése. Azonban a nemzetközi testületek és a hazai szakértők is azon dolgoznak, hogy a rendszeresen érkező szennyvízmintákból minél több közegészségügyi szempontból jelentős információ legyen kinyerhető. Az analitikai technikák fejlődése számos ilyen lehetőséget nyitott meg: a kórokozók kimutatásán túl vizsgálható szennyvízből a lakossági gyógyszerfogyasztás, az illegális szerhasználat, a kémiai anyagoknak való kitettség, az antibiotikum rezisztencia terjedése, de akár olyan életmódbeli tényezők is, mint a dohányzás, alkoholfogyasztás, vagy a nem krónikus betegségek gyakoriságára utaló biomarkerek (1. ábra). Az alábbiakban ezeket a lehetőségeket, valamint a hazai eddigi eredményeket foglaljuk össze.



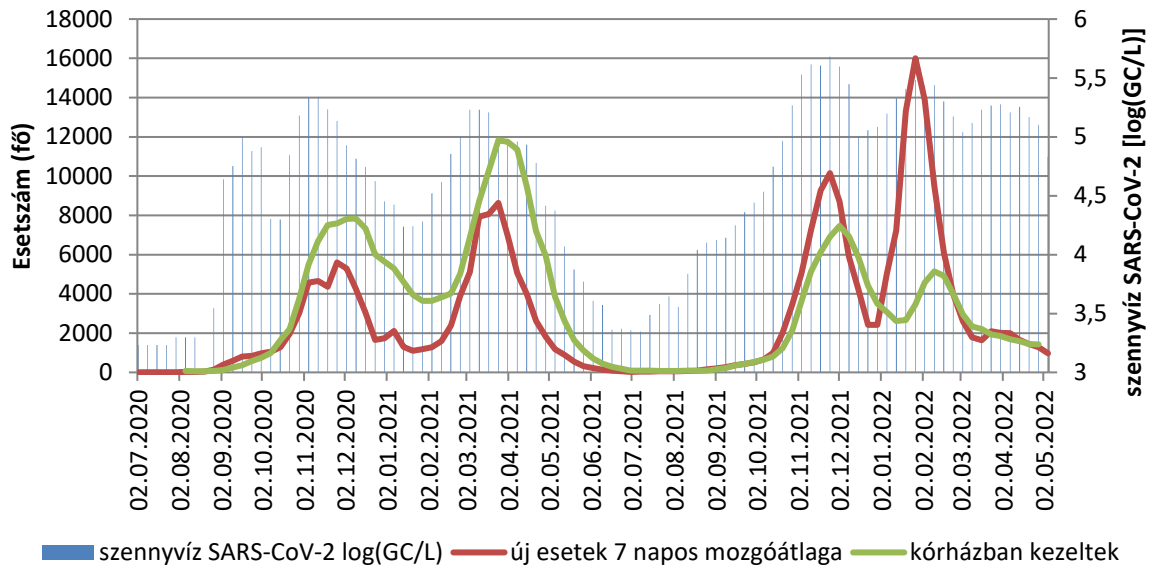
1. ábra. A szennyvízvizsgálatok közegészségügyi szempontból jelentős jelenlegi és távlati alkalmazási lehetőségei (RIVM, 2021 nyomán).

1. HAZAI SZENNYVÍZ MONITORING RENDSZER SARS-COV-2 KIMUTATÁSÁRA

A Nemzeti Népegészségügyi Központ 2020. július eleje óta gyűjti a szennyvizek SARS-CoV-2 örökítőanyag koncentrációjára vonatkozó adatokat az ország minden megyeszékhelyéről, heti rendszerességgel. A mintavételi gyakoriságot 2021 októberétől a legnagyobb városok (Budapest, Miskolc, Debrecen, Szeged, Pécs és Győr) esetében heti kétszerre növeltük, összhangban az Európai Unió 2021/472 ajánlásával (Európai Bizottság 2021).

Az eredmények a COVID-19 hazai második – ötödik hullámában szoros összefüggést mutatnak az új regisztrált megbetegedések, valamint a kórházi kezelésre szorulókkal számával. A teljes

adatsort tekintve a szennyvíz eredmények az új COVID-19 esetek számának alakulását egy héttel, míg a kórházi kezelésre szorulókat két héttel jelzik előre (Pándics és mtsai. 2021). Az előrejelző képesség azonban az egyes járványhullámokban jelentősen eltér (2. ábra). Az eltérés okai sokrétűek lehetnek, hiszen az egyes járványhullámok sok tekintetben különböző körülmények között zajlottak.



2. ábra. A szennyvízminták SARS-CoV-2 örökítőanyag koncentrációjának országos átlaga, valamint az új és kórházi kezelésre szoruló COVID-19 esetszám alakulása a vizsgálati időszakban (2020. július eleje – 2022. május eleje)

2020 őszen a vizsgálatokat még kizárólag az érzékeny, de laboratóriumi háttérrel, így több várakozást igénylő PCR teszttel végezték, míg a harmadik hullámtól (2021 első felétől) már a vizsgálatok zömét gyorseszttel végezték. Ez jelentősen csökkentette az eredmények elkészítéséhez szükséges időt, így a szennyvíz eredmények előrejelző képessége is rövidült (hiszen az előrejelző képesség a már fertőzött, de még felderítetlen esetekből adódik). 2020 második felétől a SARS-CoV-2 újabb variánsai váltak dominánssá, amelyek mind a megbetegedés lefolyásában, mind az ürített vírusrészletszámokban változást okoztak. A harmadik hullámot okozó alfa, és a negyedik hullámban domináns delta variáns magasabb kópiaszámokban ürült és súlyosabb megbetegedést okozott az előző típusoknál (Costa és mtsai. 2021; Mlcochova és mtsai. 2021). Így az egy betegre eső átlagos vírusrészletszám a szennyvízben is növekszik, míg a súlyosabb lefutás miatt a felderítetlen, tünetmentes esetek száma csökken. Az oltás a betegség lefolyásának enyhítésével szintén befolyásolhatta a szennyvíz és a regisztrált esetszámok közötti összefüggést (Pándics és mtsai. 2022).

Az omikron variáns okozta ötödik hullám lefutása jelentősen eltér a korábbiaktól. Az omikron variáns a felső légutakban magas kópiaszámmal ürül (Sentis és mtsai. 2022), így gyorsabban terjed (Lyngse és mtsai. 2021), mint a korábbi variánsok. Ennek, valamint a patikában is kapható gyorseszteknek köszönhetően az omikron variáns elterjedésekor a korábbi hullámoknál jóval magasabb esetszámokat tapasztaltak. A kórházi ellátásra szorulókat száma azonban nem emelkedett ilyen mértékben, és a szennyvízben mért SARS-CoV-2 kópiaszámok sem érték el a korábbi csúcspontokat. Emellett ebben az időszakban a szennyvíz eredmények előrejelző képessége is rövidült: az ötödik hullámban a koncentrációk egy-két héttel előbb kezdtek emelkedni, mint a klinikai esetszámok, ugyanakkor a tetőzés már egybeesik. Az eltérés feltehetően az

omikron variáns okozta megbetegedés rövidebb lappangási idejével (*Del Águila-Mejía és mtsai. 2022*) és a székletben történő mérsékelttel üritéssel magyarázható.

A COVID-19 feltehetően a következő években is fog járványhullámokat okozni, azonban a lakosság átoltottsága és átfertőzöttsége miatt feltehetően kevésbé fogják megterhelni ezek a hullámok az egészségügyi ellátórendszert. Ezzel a szennyvíz alapú epidemiológiai vizsgálatok célja is megváltozhat: az ellátórendszer várható terhelésének előrejelzése helyett a súlypont a járvány mértékének reprezentatív és olcsó felmérésére helyeződhet át. Különösen lényeges lehet ez abban az esetben, ha a COVID-19 fertőzöttek szoros követése megszűnik.

A szennyvíz alapú epidemiológiai vizsgálatok másik fontos célja az új variánsok elterjedésének nyomon követése. Klinikai minták esetében ez csak a PCR vizsgálatra vett minták esetében lehetséges, amelyeknek az aránya mára jelentősen lecsökkent a gyors tesztek javára, így ebben az esetben különösen fontos szerepe van már most a szennyvízvizsgálatoknak. A variánsok célzott kimutatása a legjellemzőbb mutációk PCR alapú szűrésével gyorsan és olcsón kivitelezhető. Az alfa variáns esetében az új leszármazási vonat a vizsgált városok mindegyikében gyorsan elterjedt, a szennyvíz eredmények pedig szoros összefüggést mutattak a klinikai esetszámokkal (*Róka és mtsai. 2022*). A delta, valamint az omikron variáns elterjedése szintén nyomon követhető volt a szennyvíz alapján. Az egyes variánsok célzott kimutatása mellett lehetőség van a mintában található összes variáns vizsgálatára is újgenerációs szekvenálás módszerével, ez azonban költségesebb, lassabb és kevésbé érzékeny vizsgálat. Teljes körű variánskövetés legjobban a két módszer (célzott kimutatás és újgenerációs szekvenálás) kombinációjával oldhatóak meg.

2. EGYÉB KÓROKOZÓK KIMUTATÁSI LEHETŐSÉGE

A kórokozók közül a széklettel, vizelettel ürülő vagy bőrfelületről lemosódó mikroorganizmusok mutathatóak ki szennyvízből. A különböző kórokozók detektálása eltérő stratégiát igényelhet, különböző koncentrálnálási és (tenyésztésen alapuló vagy tenyésztésfüggetlen) kimutatási módszer lehet szükséges.

Az enterális, széklet-száj úton terjedő kórokozók jelenléte egyértelműen igazolható, de mint a SARS-CoV-2 példája mutatja, légúti vírusok is ürülhetnek széklettel (*Corpus és mtsai. 2020*). Az NNK korábbi szennyvíz vizsgálatai elsősorban fürdővízzel terjedő adenovírusok és norovírusok kimutatására irányultak, amelyek szennyvízzel kerülhetnek az természetes vizekbe (*Kern 2014*). A járványos gyermekbénulást okozó poliovírusok előfordulását számos ország rutinszerűen monitorozza (*Asghar és mtsai. 2014*), Magyarországon a magas szintű átoltottság miatt korábban ennek szükségessége nem merült fel. 2022-ben az Ukrajnában zajló háború miatt megindult menekültválság azonban közegészségügyi szempontból új helyzetet teremtett. A háború elől menekülők esetében gyakran előfordul, hogy nem rendelkeznek megfelelő oltásokkal, így számítani kell olyan betegségek előfordulására is, amely a magyar lakosság körében nem, vagy nagyon kis valószínűséggel jelennek meg. A traumatizált, jellemzően néhány napig-hétig itt tartózkodó menekültek egészségi állapotának felmérése nem könnyű, a szennyvíz alapú epidemiológia azonban ezen a területen is segítséget nyújthat. Ebből a célból a kezdte meg az NNK a poliovírus kimutatásra irányuló vizsgálatokat. A vizsgálatokra való felkészülés során problémát jelentett, hogy poliovírus detektálására a SARS-CoV-2-nél jóval érzékenyebb vizsgálat szükséges, valamint hogy a célszervezet tulajdonságai is jelentősen eltérnek (a poliovírus kis méretű, burok nélküli vírus, szemben a viszonylag nagy méretű, burkos SARS-CoV-2-vel). A SARS-CoV-2 koncentrálnálására alkalmazott módszer visszatartása nem volt megfelelő, így egy abszorpción alapuló elektronnegatív membránszűrési módszert

állítottak be. Az első vizsgálatokat több település kevert szennyvíz mintájából végezték, ezek sem vad, sem vakcina-eredetű poliovírus jelenlétét nem mutatták ki. A továbbiakban a vizsgálatok a budapesti szennyvíztisztítókból, valamint közlekedési csomópontok és menekülteket befogadó állomások szennyvizéből folytatják.

A másik fejlesztési irány a szezonális influenza korai előrejelzése. Az influenzavírus is ürül széklettel, mint ezt a H1N1 pandémia időszakában végzett holland vizsgálatok igazolták. A módszerbeállítás a szezonális influenzára is megtörtént, de az influenzajárvány az idei szezonban a szokottnál későbbre tolódott, a hagyományos influenzaszezon időszakában vett minták negatívak lettek.

3. ANTIMIKROBIÁLIS REZISZTENCIA VIZSGÁLATA

Az antimikrobiális rezisztencia korunk egyik kiemelt járványügyi problémája. A kezelésére irányuló korszerű megközelítés az emberi egészségügyet, állategészségügyet és környezetegészségügyet egyesítő ún. „Egy egészség” koncepciót. Az egyes rezisztens mikroorganizmusok és rezisztencia gének gyakorisága a szennyvízben leképezi a közösségben való terjedést, míg a mezőgazdasági szennyvizet fogadó telepek vizsgálata az állati eredetű rezisztenciáról is információt ad. A szennyvíz monitorozása fontos kiegészítője lehet a hagyományos klinikai vizsgálatoknak, mivel a lakosság szélesebb körét reprezentálja, és a tüneteket nem mutató személyek szervezetében előforduló rezisztens mikroorganizmusokat is kimutatja (*Pruden és mtsai. 2021*).

Magyarország is részt vett egy globális felmérésben, amely 60 országban térképezte fel az antibiotikum rezisztencia gének előfordulását a szennyvízben metagenomikai módszerekkel (*Hendriksen és mtsai. 2019*). A vizsgálatban a humán egészségügyet a Semmelweis Egyetem, az állategészségügyet a Szent István Egyetem képviselte. Az eredmények azt mutatták, hogy a rezisztencia gének abundanciája Európában és Észak-Amerikában alacsonyabb, mint a többi kontinensen, és elsősorban az országok társadalmi-gazdasági fejlettségével mutat (fordított) összefüggést. Nagyobb felbontású, országon belüli változatosságot is kimutató vizsgálatokkal további információt nyerhetünk az antibiotikum rezisztencia gyakoriságát befolyásoló tényezőkről.

4. HUMÁN BIOMONITORING ÉS GYÓGYSZERFOGYASZTÁS VIZSGÁLATOK

Az emberi szervezetbe kerülő kémiai anyagok – beleértve a szándékosan szedett gyógyszereket és a környezeti expozícióból származó szennyezőanyagokat – jellemzően csak részben hasznosulnak vagy halmazódnak fel, egy részük változatlan formában vagy metabolitként kiürül a vizelettel. Így ezek nyomon követésére is lehetőség van a szennyvízből.

Az NNK az ELKH Agrártudományi Kutatóközponttal együttműködésben vizsgálta szennyvízből gyógyszermaradványok, a fájdalomcsillapító diklofenák, illetve a női hormon ösztroin és ösztradiol jelenlétét. Az eredmények szerint a diklofenák néhány µg/l, a hormonok kevesebb, mint 1 µg/l koncentrációban vannak jelen a szennyvízben (*1. táblázat*). A kidolgozott, szilárd fázisú extrakción és HPLC-MS meghatározáson alapuló metodika más gyógyszermaradványok kimutatására is alkalmas lehet.

A humán biomonitoring célja, hogy a környezeti kémiai expozíció mértékét és egészséghatását jellemezze az anyagok vagy metabolitjaik célzott kimutatásával a szervezetből, általában véréből vagy vizeletből. Az NNK-ban jelenleg is folynak ilyen mérések, pl. ftalátok, biszfenol-A vagy peszticidek okozta terhelés jellemzésére vizeletmintából. A humán biomonitoring vizsgálatok esetében a legnagyobb nehézséget a reprezentatív mintavétel (megfelelő számú önkéntes toborzása)

jelentí, és a kutatás etikai engedély köteles. A szennyvíz vizsgálatával ez a probléma kiküszöbölhető. Több mint 30 gyakori élelmiszer, csomagolóanyag, háztartási vegyszer vagy kozmetikum eredetű szennyezőanyagra (pl. peszticidok, ftalátok, bisfenolok, parabének) írtak már le olyan biomarkert, amellyel szennyvízben vizsgálható a lakosság terhelése (Senta és mtsai. 2020).

1. táblázat Gyógyszermaradványok szennyvízben mért koncentrációjának

Évszak	Diklofenák (µg/l)	Ösztron (µg/l)	Ösztradiol (µg/l)
Nyár	4,3	0,13	0,052
Ősz	2,9	0,114	0,040
Tél	4,4	<0,015	<0,015

5. EGYÉB, TÁVLATI LEHETŐSÉGEK

A szennyvízvizsgálatok népegészségügyi szempontból jelentős, életmódbeli tényezők és krónikus megbetegedések előfordulásának nyomon követésében is segítséget jelenthet. Az illegális szerhasználat vizsgálata a szennyvízalapú epidemiológia legkorábbi felhasználásai közé tartozik, hiszen erről hagyományos megközelítéssel nem nyerhető pontos információ (Boogaerts és mtsai. 2021). Az alkohol fogyasztás az etil-szulfát, a dohányzás a kotinin metabolit mennyisége alapján becsülhető.

A krónikus betegségek időbeli és térbeli eloszlása követhető közvetve (pl. diabétesz a cukor-gyógyszer fogyasztás alapján), de vannak közvetlen biomarkerek is, pl. a stressz szintet jellemző glükokortikoid származékok, vagy az elhízással összefüggő markerek (Driver és mtsai 2022, RIVM 2021). Az ilyen típusú vizsgálatok várhatóan már a közeljövőben beépülnek a népegészségügy eszköztárába.

IRODALOMJEGYZÉK

- Asghar, H., O. M. Diop, G. Weldegebriel, F. Malik, S. Shetty, L. El Bassioni, A. O. Akande, és mtsai. 2014. „Environmental Surveillance for Polioviruses in the Global Polio Eradication Initiative”. *Journal of Infectious Diseases* 210 (suppl 1): S294–303. <https://doi.org/10.1093/infdis/jiu384>.
- Boogaerts, T., Jurgelaitiene, L., Dumitrascu, C., Kasprzyk-Hordern, B., Kannan, A., Been, F., Emke, E., de Voogt, P., Covaci, A., & van Nuijs, A. (2021). Application of wastewater-based epidemiology to investigate stimulant drug, alcohol and tobacco use in Lithuanian communities. *The Science of the total environment*, 777, 145914. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145914>
- Corpuz, M., Buonerba, A., Vigliotta, G., Zarra, T., Ballesteros, F., Jr, Campiglia, P., Belgiorno, V., Korshin, G., & Naddeo, V. (2020). Viruses in wastewater: occurrence, abundance and detection methods. *The Science of the total environment*, 745, 140910. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140910>
- Costa, Rosa, Felipe Bueno, Estela Giménez, Alma Bracho, Eliseo Albert, Diego Carretero, Paula de Michelena, Cecilia Martínez-Costa, Fernando González-Candelas, és David Navarro. 2021. „Initial Viral Load and Decay Kinetics of SARS-CoV-2 Lineage B.1.1.7 in the Upper Respiratory Tract of Adults and Children”. *Journal of Infection* 83 (4): 496–522. <https://doi.org/10.1016/j.jinf.2021.08.015>.
- Daughton, C. G. 2001. „Emerging Pollutants, and Communicating the Science of Environmental Chemistry and Mass Spectrometry: Pharmaceuticals in the Environment”. *Journal of the American Society for Mass Spectrometry* 12 (10): 1067–76. [https://doi.org/10.1016/S1044-0305\(01\)00287-2](https://doi.org/10.1016/S1044-0305(01)00287-2).
- Del Águila-Mejía, Javier, Reinhard Wallmann, Jorge Calvo-Montes, Jesús Rodríguez-Lozano, Trinidad Valle-Madrado, és Adrian Aginagalde-Llorente. 2022. „Secondary Attack Rate, Transmission and Incubation Periods, and Serial Interval of SARS-CoV-2 Omicron Variant, Spain”. *Emerging Infectious Diseases* 28 (6): 1224–28. <https://doi.org/10.3201/eid2806.220158>.
- Driver, E. M., Gushgari, A. J., Steele, J. C., Bowes, D. A., & Halden, R. U. (2022). Assessing population-level stress through glucocorticoid hormone monitoring in wastewater. *The Science of the total environment*, 838(Pt 2), 155961. Advance online publication. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155961>

- Európai Bizottság. 2021. A BIZOTTSÁG (EU) 2021/472 AJÁNLÁSA (2021. március 17.) a SARS-CoV-2 és variánsai uniós szennyvizekben történő szisztematikus megfigyelésének kialakítására vonatkozó közös megközelítésről.
- Hendriksen, R. S., Munk, P., Njage, P., van Bunnik, B., McNally, L., Lukjancenka, O., Röder, T., Nieuwenhuijse, D., Pedersen, S. K., Kjeldgaard, J., Kaas, R. S., Clausen, P., Vogt, J. K., Leekitcharoenphon, P., van de Schans, M., Zuidema, T., de Roda Husman, A. M., Rasmussen, S., Petersen, B., Global Sewage Surveillance project consortium, ... Aarestrup, F. M. (2019). Global monitoring of antimicrobial resistance based on metagenomics analyses of urban sewage. *Nature communications*, 10(1), 1124. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-08853-3>
- I. Senta, S. Rodríguez-Mozaz, L. Corominas, M. Petrovic 2020, Wastewater-based epidemiology to assess human exposure to personal care and household products – A review of biomarkers, analytical methods, and applications *Trends Environ. Anal. Chem.*, 28, p. e00103, 10.1016/j.teac.2020.e00103
- Kern A. 2014 Kórokozó vírusok előfordulása felszíni- és fürdővizekben. Doktori értekezés, Eötvös Loránd Tudományegyetem, Környezettudományi Doktori Iskola, Budapest.
- Lyngse, Frederik Plesner, Laust Hvas Mortensen, Matthew J. Denwood, Lasse Engbo Christiansen, Camilla Holten Møller, Robert Leo Skov, Katja Spiess, és mtsai. 2021. „SARS-CoV-2 Omicron VOC Transmission in Danish Households”. Preprint. *Infectious Diseases (except HIV/AIDS)*. <https://doi.org/10.1101/2021.12.27.21268278>.
- Mlcochova, Petra, Steven A. Kemp, Mahesh Shanker Dhar, Guido Papa, Bo Meng, Isabella A. T. M. Ferreira, Rawlings Datir, és mtsai. 2021. „SARS-CoV-2 B.1.617.2 Delta Variant Replication and Immune Evasion”. *Nature*, szeptember. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03944-y>.
- Pándics, Tamás, Eszter Róka, Judit Henczkó, Bernadett Khayer, Zoltán Kis, Tibor Málnási, Bernadett Pályi, Eszter Schuler, és Márta Vargha. 2022. „A hazai szennyvíz alapú COVID-19 előrejelző rendszer - másfél év tanulságai” Közlésre elfogadva a Népegészségügy című folyóiratban.
- Pándics, Tamás, Eszter Róka, Bernadett Khayer, Zoltán Kis, Luca Bella Kovács, Nóra Magyar, Tibor Málnási, és mtsai. 2021. „A szennyvíz alapú epidemiológia jelentősége a COVID–19 járványban és azon túl”. *Scientia et Securitas* 2 (1): 30–37. <https://doi.org/10.1556/112.2021.00005>.
- Pruden, A., Vikesland, P. J., Davis, B. C., & de Roda Husman, A. M. (2021). Seizing the moment: now is the time for integrated global surveillance of antimicrobial resistance in wastewater environments. *Current opinion in microbiology*, 64, 91–99. <https://doi.org/10.1016/j.mib.2021.09.013>
- RIVM, 2021 Sewage as an indicator of public health. <https://www.rivm.nl/en/documenten/infographic-sewage-as-indicator-of-public-health>. Letöltve: 2022. május 8.
- Róka, Eszter, Dániel Déri, Bernadett Khayer, Zoltán Kis, Eszter Schuler, Nóra Magyar, Bernadett Pályi, Tamás Pándics, és Márta Vargha. 2022. „SARS-CoV-2 Variant Detection from Wastewater: Rapid Spread of B.1.1.7 Lineage in Hungary”. *Journal of Water and Health*, január, jwh2022179. <https://doi.org/10.2166/wh.2022.179>.
- Sentis, Célia, Geneviève Billaud, Antonin Bal, Emilie Frobert, Maude Bouscambert, Gregory Destras, Laurence Josset, és mtsai. 2022. „SARS-CoV-2 Omicron Variant, Lineage BA.1, Is Associated with Lower Viral Load in Nasopharyngeal Samples Compared to Delta Variant”. *Viruses* 14 (5): 919. <https://doi.org/10.3390/v14050919>.