

Izsák Bálint, Vargha Márta

Nemzeti Népegészségügyi Központ, Budapest

National Public Health Center, Budapest

DOI: <https://doi.org/10.29179/EgTud.2020.1-2.105-125>

Mikroműanyag az ivóvízben

Microplastics in drinking-water

Összefoglalás

A világ jelenlegi műanyag felhasználása óriási, több mint 300 millió tonna évente. Ennek egy jelentős része a környezetbe kerül, ahol fizikai, kémiai folyamatok során egyre kisebb részecskékre aprózódnak, darabolódnak. Emellett a közvetlen felhasználásra gyártott (pl. kozmetikumokban használt) kisméretű műanyag szemcsék is növelik a környezeti terhelést. Bár a definíció nem egységes, általában az 5 mm-nél kisebb frakciót nevezik mikroműanyagoknak. A mikroműanyag részecskék bejuthatnak az élőlények szervezetébe, belekerülhetnek az élelmiszereinkbe, a levegőbe, a felszíni vizekbe és az ivóvízbe is. Koncentrációjuk nagyon változatos, felszíni vizekben néhány részecskétől a 10^8 db/m³-ig is terjedhet. Környezeti előfordulásuk, relevanciájuk megítélése bizonytalan, mert jelenleg még a mintavételre és a meghatározásukra sincs egységes eljárás, és a rendelkezésre álló kutatások száma is csekély. Toxikológiai vizsgálatok szintén korlátozott számban állnak rendelkezésre, így a mikroműanyagok egészséghatása is nehezen becsülhető. Az utóbbi években egyre gyakrabban kerülnek említésre az ivóvízzel összefüggésben, emiatt a WHO 2019-ben elemezte és értékelte a rendelkezésre álló adatokat. Megállapították, hogy jelen tudásunk alapján fizikai, kémiai és mikrobiológiai szempontból is csak alacsony kockázatot jelent az

ivóvíz mikroműanyag-tartalma. Ugyanakkor kiemelik, hogy szükséges a célzott vizsgálatok számának növelése és ehhez az egységes módszertan kialakítása.

Kulcsszavak: mikroműanyag, ivóvíz, egészségkockázat, vízbiztonság

Abstract

World-wide use of plastics is enormous, amounting to over 300 million tons/year. Majority of the produced plastic ends up in the environment, where they are degraded by physico-chemical processes to smaller particles. The intentionally produced tiny plastic particles, used for instance in cosmetics, also contribute to the environmental load. Though the definition is not unambiguous, generally particles under 5 mm are considered microplastics. Microplastics can be present in living organisms, food, air, surface water and even in drinking water. The observed concentrations vary, in surface water it ranged from a few to 10^8 particles/ m^3 . Estimates are uncertain on the relevance of the environmental presence of microplastics, as currently standardised procedures for sampling and analysis are lacking and the number of published studies is low. Toxicological evidence is also scarce; thus the human health risk assessment is challenging. In the recent years, microplastics are increasingly brought up in connection to drinking water, therefore WHO analysed and assessed the available information in 2019. The assessment concluded that physical, chemical and microbiological risks associated with the presence of microplastics in drinking water are all low. However, the need for further targeted studies and the development of harmonised methodology for investigation was emphasized.

Keywords: microplastic; drinking water; health risk, water safety

EGÉSZSÉGTUDOMÁNY
HEALTH SCIENCE

2020;63(1-2):

Levelezési cím/Correspondence:

Izsák Bálint

Közlésre érkezett: 2020. április 29.

Nemzeti Népegészségügyi Központ

Submitted: 29 April 2020

1097 Budapest, Albert Flórián út 2-6.

Elfogadva: 2020. május 6

E-mail: izsak.balint@nnk.gov.hu

Accepted: 6 May 2020

Problémafelvetés

A világ műanyag termelése óriási, több százmillió tonna évente és folyamatosan nő, 2018-ban a világon összesen 359 millió tonna műanyagot gyártottak (1). Ennek túlnyomó többsége nem kerül újrahasznosításra vagy újrahasználatra. A többi műanyag hulladék jobb esetben tervezett, gondos módon lerakásra kerül vagy, sajnos nagyon nagy mennyiségben, sorsára lesz hagyva. Ez önmagában is jelentős probléma, azonban

tovább súlyosbítja a helyzetet az ilyen anyagok aprózódása, morzsálódása. Az így képződő mikroműanyagok (amely a legáltalánosabban használt definíció szerint az 5 mm-nél kisebb frakciót jelent) mindenhol megjelennek körülöttünk, sőt a szervezetünkben is. Tovább súlyosbítja a környezeti mikroműanyag terhelést a célzottan előállított (pl. kozmetikumokban használt) szemcsék kijutása.

A mikroműanyagok előfordulnak a levegőben, az élelmiszerekben, a szennyvízben, a felszíni vizekben, a palackozott vizekben és a csapvízben is. A környezetet és az ökoszisztémát igazoltan károsítják. De belélegezzük, lenyeljük mi is, így joggal merül fel a kérdés, hogy az emberi szervezetre – fizikai, kémiai vagy biológiai úton – vannak-e kedvezőtlen hatásai.

A figyelem az utóbbi néhány évben irányult a mikroműanyagokra, emiatt még viszonylag kevés az ezzel foglalkozó, megbízható tudományos cikkek száma. A lakosság és a média leggyakrabban az ivóvízzel történő mikroműanyag

bevitel miatt aggódik, elsősorban ezzel összefüggésben kerül elő. Történik ez így annak ellenére, hogy kimondottan az ivóvíz mikroműanyag tartalmára világszerte kevés a rendelkezésre álló adat és hogy az emberi egészségre gyakorolt tényleges egészséghatásra vonatkozóan nincs tudományos bizonyíték. Habár vannak folyamatban Magyarországon is kutatások mikroműanyagok előfordulására vonatkozóan különböző vizekben, így ivóvízben is, az országos helyzetet jellemző, átfogó kutatásról még nincs információnk. Az bizonyos, hogy az ivóvízbe jutó mikroműanyag mennyiségét nagyban befolyásolja a nyersvíz típusa. Egy mélységi réteg-víz-bázis várhatóan jóval kevésbé kitett az esetleges szennyeződésnek, mint egy felszíni víztest. Ez igaz a parti szűrészű vízbázisokra is, bár azok közvetlen hidrológiai kapcsolatban állnak a felszíni víztestekkel. Habár a (műanyag) hálózati anyagok, csövek kopása során is kerülhetnek mikroműanyag szálcskák az ivóvízbe, ezek mértékének meghatározása további kutatásokat igényel.

A mikroműanyagok kimutatott

környezeti koncentrációja a különböző felszíni vizekben (is) óriási különbségeket mutat, sok nagyságrendet ölel fel, néhány részecskétől ($10^{-2}/m^3$) akár a 10^8 részecske/ m^3 koncentrációig is terjedhet (2). További nehézségek is akadnak azonban még a probléma mértékének, súlyának megbecslése során is. Az egyik, hogy jelenleg nincs egységes definíció arra vonatkozóan, hogy mit is tartunk mikroműanyagnak. A problémafelvetés elején is szereplő 5 mm-es méret a leggyakrabban alkalmazott jelenleg, de valójában egységes, hivatalos meghatározás nincs. A másik hátráltató tényező, hogy sem a mintavételre, sem a vizsgálati módszerre vonatkozóan nem áll rendelkezésre elfogadott szabvány vagy eljárásrend. Ez jelentős különbségeket okozhat az egyes kutatások eredményeiben, nehezítve azok összehasonlítását.

Magyarországon az ivóvíz minősége kimondottan jó (3), mégis sokszor lehet találkozni kétségekkel, ellenérzéssel a fogyasztásával szemben. Ennek természetesen adott esetben lehet alapja, mégis az a tapasztalat, hogy a lakosság

gyakran rosszul méri fel a veszélyeket és a kockázatokat. Régi épületekben – amik a II. világháború előtt épültek – gyakran építettek be ólom vízvezeték csöveket, melyek a mai napig használatban vannak. Az ezekből kioldódó ólom ártalmas lehet az egészségre, sokan mégsem aggódnak emiatt, pedig ez a kockázat a fogyasztói szokások megváltoztatásával gyakran jelentősen csökkenthető. Aggodalmasabbnak látják a tényleges releváns kockázatok helyett például a gyógyszermaradványok vagy hormonhatású anyagok, illetve a mikroműanyagok jelenlétét, mert rosszul mérik fel a kockázatokat. Hangsúlyozzuk: ezek a kérdések is fontosak, kutatásokat, vizsgálatokat igénylenek, nem elhanyagolhatók vagy lebecsülendők, ugyanakkor relevanciájuknak megfelelően kell kezelni őket.

Természetesen ez összetett kérdés, nehéz nagyon röviden válaszolni ezekre a felvetésekre úgy, hogy az kellően árnyalt maradjon. Sajnos a legtöbb kérdésre - ellentétben az igényekkel - nem adható néhány szavas válasz, a világunk ehhez túlságosan komplex. Jelen írás-

ban ismeretterjesztő szándékkal végigvesszük, hogy mi a mikroműanyag, honnan származik, hogyan kerülhetünk vele kapcsolatban, milyen módokon hathat ránk közvetlenül, illetve, hogy megítélését, vizsgálatát milyen tényezők nehezítik. Elsősorban ivóvízhigiénés szempontokra koncentrálnunk, nem foglalkozunk a környezetre és az élővilágra gyakorolt hatásokkal, a megfogalmazott következtetések nem vonatkozathatóak az ökológiai kockázatokra.

Az Egészségügyi Világszervezet (WHO) 2019-ben adott ki egy jelentést „*Mikroműanyagok az ivóvízben*” címen. Ebben a rendelkezésre álló eredményeket elemezték, ez alapján felmérve a mikroműanyagok (MM) által az ivóvízben jelentett kockázatokat. Ennek alapját Koelmans és munkatársai által készített 2019-es átfogó szakirodalmi elemzés adja. Ebben egyrészt vizsgálták az ivóvizek és az édesvizek mikroműanyag tartalmára vonatkozó cikkeket és eredményeiket, másrészt értékelték a rendelkezésre álló adatok minőségét. A review során 50 cikket elemeztek 9 minőségi szempont alapján. Mindössze 4

olyan cikk volt az 50-ből, ami mind a 9 szempont alapján megfelelt a tudományos követelményeknek (2).

Mi a mikroműanyag?

Az első nehézség, amivel találkozunk a mikroműanyagok vizsgálatakor, hogy már a meghatározása sem egységes. A korai vizsgálatok során a kutatók különböző méretkorlátot alkalmaznak a mikroműanyagokra, 2 mm, 1 mm, de 500 µm-es határral is lehet találkozni a szakirodalomban. De alkalmazzák a mesoműanyag (500 µm-5 mm), a mikroműanyag (50-500 µm) és a nanoműanyag (<50 µm) felosztást is, ráadásul ezeknél sem következetesek a mérettartományok. Tehát már a legelején komoly problémába futunk bele, hiszen az egységes terminológia nagyon fontos (lenne), hogy a különböző adatok, eredmények összehasonlíthatók legyenek. Ez még napjainkban sem oldódott meg teljesen, azonban mára leggyakrabban az 5 mm-nél kisebb műanyag részecskékre hivatkoznak mikroműanyagként (4). Alakjuk szintén

változatos, leggyakoribbak a törmelékek, szálak rostok, lemezek, hab és pellet, de előfordulnak továbbiak is (gömb, pálca, gyöngy, pehely, lapocska, szemcse, fonal).

Mikroműanyagok eredete, képződése

A mikroműanyagokat kategorizálhatjuk eredetük szerint is, úgy, mint elsődleges és másodlagos mikroműanyagok. Elsődleges mikroműanyagokról akkor beszélünk, ha már az előállítás során célzottan kisméretűre alakítják a kívánt terméket. Ez lehet valamilyen további gyártási lépés alapanyaga, vagy akár közvetlenül felhasznált termék, pl. kozmetikai szerekben. Másodlagos mikroműanyag pedig valamilyen műanyag termékekből, hulladékból indirekt módon alakul ki fizikai és/vagy kémiai aprózódás során (5).

Sokféle műanyag létezik, a leggyakoribbak a polipropilén (PP), a polietilén (PE), polietilén-tereftál (PET), polisztirol (PS), akril, polivinil-klorid (PVC), poliuretán (PU), de ez a lista nem teljes.

Tulajdonságaik nagyon eltérőek, megkülönböztetünk hőre lágyuló és keményedő műanyagokat, de sűrűségük is változatos, jellemzően 0,85-1,14 g/cm³ (5). Koelmans és mtsai szerint ivó- és édesvizekben a legtöbbször, közel azonos gyakorisággal a PE és a PP fordult elő, ezt követte csökkenő sorrendben a PS, a PVC és a PET (2).

Gyakorlatilag bármilyen fajtából képződhet mikroműanyag, ennek mennyisége azonban sok mindentől függ, elsősorban az előállítás mennyiségétől, de a felhasználás típusa és az anyag fizikai ellenállóképessége is hatással van rá.

Mintavétel, vizsgálati módszerek

Ha az eddigiek nem lennének elegendőek, további nehézségek is akadnak a mikroműanyagok relevanciájának, hatásainak megítélésakor. Habár a környezet – és elsősorban a felszíni vizek – mikroműanyag terhelésének vizsgálatára egyre több kutatást végeznek, erre jelenleg nincs egységes módszertan vagy szabvány.

Valamilyen vizes mátrix (felszíni, ivó- vagy szennyvíz) mikroműanyag terhelés vizsgálatát 3 lépésre bonthatjuk: 1) mintavétel, 2) extrakció és izoláció, 3) minőségi és mennyiségi meghatározás (5).

A mintavétel során hálón szűrnek át vizet, azonban nagyon fontos, hogy milyen hálón mennyi vizet engedünk keresztül. Az is releváns, hogy a mintát milyen mélységben vesszük, hisz a különböző sűrűségű részecskék más-más rétegben jelennek meg. Így ez a lépés kritikus abból a szempontból is, hogy más vizsgálatokkal hogyan tudjuk az eredményeket összehasonlítani.

Az extrakciós fázisban a műanyag részecskéktől kell elválasztanunk a többi, a hálón fennmaradt törmeléket, lebegőanyagot. Ez történhet szemrevételezéssel és/vagy kémiai oxidációval (pl. hidrogén-peroxiddal) vagy enzimatis úton. Az itt megválasztott módszer természetesen szintén hat az összehasonlíthatóságra.

Végül az analízis lépésre is többféle megoldást alkalmaznak. Ez lehet

valamilyen spektroszkópiai (pl.: FTIR), termoanalitikai (pl.: GC-MS) vagy kémiai eljárás (5), de előfordul, hogy mikroszkópos és gravimetriás vizsgálatot végeznek (6).

De természetesen nem csak a konkrét eljárások, technikák egységesítése szükséges, szintén fontos az előkészítés és a vizsgálat körülményeinek megválasztása. Pozitív hibát (mikroműanyag szennyezést) okozhatunk bármelyik lépés során, gondoljunk csak a műanyag eszközök használatára (mintavevő háló, stb.), vagy a nem megfelelő laboratóriumi körülményekre (pl. a levegőben lebegő mikroműanyag jelenléte). A vizsgálatok során javasolt pozitív és negatív kontroll vizsgálatokat is végezni. Negatív kontrollal vizsgálható a mintavételi eszközök, az analízis technikája és a laboratóriumi körülmények megfelelésége, illetve meghatározható a választott eljárás érzékenysége. Ilyenkor tulajdonképpen azt lehet becsülni, hogy mennyi pozitív hibát okozhatunk a teljes művelet során (mennyi mikroműanyagot mérünk, ami nem a mintából származik). A pozitív kontrol-

lal ennek az ellenkezőjét, a veszteséget vizsgálhatjuk, azaz mennyi MM „veszik el”, nem kerül mérésre (negatív hiba), ami a mintában eredendően benne van. Ezt lehet vizsgálni például úgy, hogy desztillált vízhez adunk műanyag részecskéket, majd a teljes eljárást elvégezzük rajta, mintha valódi minta lenne. (Természetesen ezt az addíciót külön-külön lépéseknél is el lehet végezni, így az adott lépésre jellemző mintavesztés is értékelhető.)

Expozíciós utak

Az ivóvíz csak az egyik – és jelen tudásunk szerint közel sem a legjelentősebb – mikroműanyag beviteli forrásunk. Másik két fontos út az élelmiszerek és a levegő, azonban az eddig részletezett nehézségek (standard vizsgálati eljárás hiánya, kevés kutatás, stb.) és az ebből adódó bizonytalanság legalább annyira – ha nem még inkább – tapasztalható ezekben az esetekben is.

Élelmiszer

Az Európai Élelmiszerbiztonsági Ható-

ság (EFSA) 2016-ban szintén készített egy összefoglaló tanulmányt, amiben élelmiszerek műanyag tartalmát vizsgálták. Mikroműanyagra vonatkozóan 10 kutatást elemeztek, amelyek tengeri halakat és kagylókat vizsgáltak. Halak esetében jellemzően 1-7 részecske/hal, kagyló esetében 1-10 részecske/g koncentrációkról számoltak be. A jellemző mérettartomány halaknál 130-5000 µm, kagylóknál 5-90 µm volt (7, 8). Hasonló áttekintést végzett az Élelmezésügyi és Mezőgazdasági Világszervezet (FAO), amikor az élelmiszerek MM-tartalmát vizsgáló cikkeket elemzett, tengeri élőlényeken kívül többek közt mézre, sörre és sóra vonatkozóan is egyet-egyed. Mézben a mikroműanyag koncentráció 0,166 rost/g (méret: 40-9000 µm) és 0,009 részecske/g (10-20 µm) volt. Sörben 0,025 rost/ml-t és 0,033 részecske/ml-t mértek, a cikk nem tartalmazta a mérettartományt. Tengeri sóban is találtak mikroműanyagot, ebben a koncentráció 0,55-0,681 részecske/g között alakult (45-4300 µm) (8).

A rendelkezésre álló adatok alapján az EFSA vizsgálta, hogy milyen kockázatot

jelent a tengeri halak és a tengeri eredetű élelmiszerek fogyasztása. Számításaikhoz a kagylókra vonatkozó eredményeket vették figyelembe, mert egyrészt ezeknek volt legnagyobb medián mikroműanyag koncentrációjuk, másrészt a kagylók fogyasztásánál nem kerül eltávolításra az emésztő-traktus (amiben elsősorban felhalmozódnak a részecskék). Ez egy konzervatív, legrosszabb esetet alapul vevő számítást tett lehetővé. A becslés alapján még így is nagyon kicsi az a műanyag eredetű poliklórozott-bifenil (<0,006 %), poliaromás-szénhidrogén (<0,004 %) és biszfenol-A (kb 2 %) többletbevitel, ami ezekből az élelmiszerekből származik. A FAO is hasonló eredményre jutott ezeknél a vegyületeknél, valamint a DDT és a polibrómozott-difenil-éterek esetében is (5, 7, 8).

Levegő

Szintén kevés adat áll rendelkezésre a levegőben lévő mikroműanyagokra vonatkozóan, az azonban biztosra vehető, hogy ez a környezeti elem is ki van téve az ilyen jellegű szennyezésnek. A levegőben lévő mikroműanyag egyik fontos forrása a gépjárművek abroncsai, illetve maga az úttest, amikből kopással

képződnek. Panko és munkatársai vizsgálták a szállópor 2,5 µm-es (PM_{2,5}) tartományának összetételét és azt tapasztalták, hogy annak 0,27%-a valamilyen polimer (9). De máshonnan is kerülhet a levegőbe mikroműanyag. A tengeri sóval aeroszol képződés közben, a szennyvíziszap szél által történő elhordásával, a műanyag fóliák és más építőanyagok lebomlása, a ruhaszárítás és viselés, valamint a textil kopása mind lehetséges forrás (10).

Dris és mtsai 2016-ban vizsgálták a légkörből való kihullás minőségét és mértékét Párizsban. A kihulló anyag legnagyobb részben rostokból áll, melynek mennyiségét 2-355 rost/m²/nap között becsülik a tapasztalati adatok alapján. Ennek fele természetes eredetű rost (gyapjú, gyapot), 21%-a természetes eredetű polimer-származék

és 29%-a mikroműanyag (11). Vizsgálták továbbá a kül- és beltéri por összetételét is Párizsban 3 beltéri és 1 kültéri helyszínen. A beltéri por rosttartalma szignifikánsan magasabb volt (0,4-59,4 rost/ m³, medián 5,4) a kültérinél (0,3-1,5 rost/ m³). Az összetétel hasonló volt, mint a korábbi vizsgálatuknál (a rostok 33%-a volt valamilyen műanyag). Egyes tanulmányok szerint a beltéri mikroműanyagok elsődleges forrását a műszálas ruhák jelentik (12).

Ivóvíz

A Koelmans és mtsai által készített review 50 cikket elemez, ezeknek azonban csak az ötöde tartalmazott ivóvízre vonatkozó adatokat. Ezek között vannak palackozott vízre és különböző vízbázisú csapvízre vonatkozóan is eredmények. Ezeket az eredményeket tartalmazza az *1. táblázat* (5).

I. táblázat: Ivóvíz mikroműanyag tartalmára vonatkozó kutatások eredményei

Table I. Results of studies related to microplastic content of drinking water

Szerző(k) Author(s)	Víztípus Water type	Átlag MM koncentráció (részecske/l) Mean MP concentration (particles/litre)	Részecskeméret (µm) Particle size (µm)	
Oßmann et al. (2018)	Üveg glass	3074–6292	több, mint 75 % <5 µm	
	Palackozott ásványvíz Bottled mineral water	egyszer használatos PET single use PET	2649	
	újrahasznált PET Reusable PET	4889	több, mint 95 % <5 µm	
Pivokonsky et al. (2018)	Vízmű kimenő vize -felszíni víz-bázis (3 helyszín) DWTP from surface water sources (3 sites)	628 338 369	több, mint 95 % 1-10 µm között	
	Schymanski et al. (2018)	Palackozott víz Bottled water	egyszer használatos műanyag single use	14
		újrahasznált műanyag returnable	118	40-50 % 5-10 µm között
Üveg glass		50		
	italos karton beverage carton	11		

Mason, Welch and Neratko (2018)	Palackozott víz <i>Bottled water</i>	315	NA*
Strand et al. (2018)	Csapvíz - felszín alatti vízbázis <i>Tap from groundwater sources</i>	0,8	20-100 µm
Mintenig et al. (2019)	Csapvíz - felszín alatti vízbázis <i>Tap from groundwater sources</i>	0,0007	50-150 µm
Uhl, Eftekhardadk-hah, and Svendsen (2018)	Csapvíz - 24 forrásból <i>Tap from 24 sources</i>	nincs megadva, mert csak egyetlen eredmény volt kimutatási határ (LoQ**=4,1) feletti	NA*
Mason, Welch and Neratko (2018)	Palackozott víz <i>Bottled water</i>	10,4	NA*
Strand et al. (2018)	Csapvíz - felszín alatti vízbázis <i>Tap from groundwater sources</i>	0,312 (LoD***=0,58)	NA*
Kosuth, Mason and Wattenberg (2018)	Csapvíz - nem megadott vízbázis <i>Tap from unspecified sources</i>	5,45	rosthossz 100-5000 µm

Forrás: WHO (5)

Source: WHO (5)

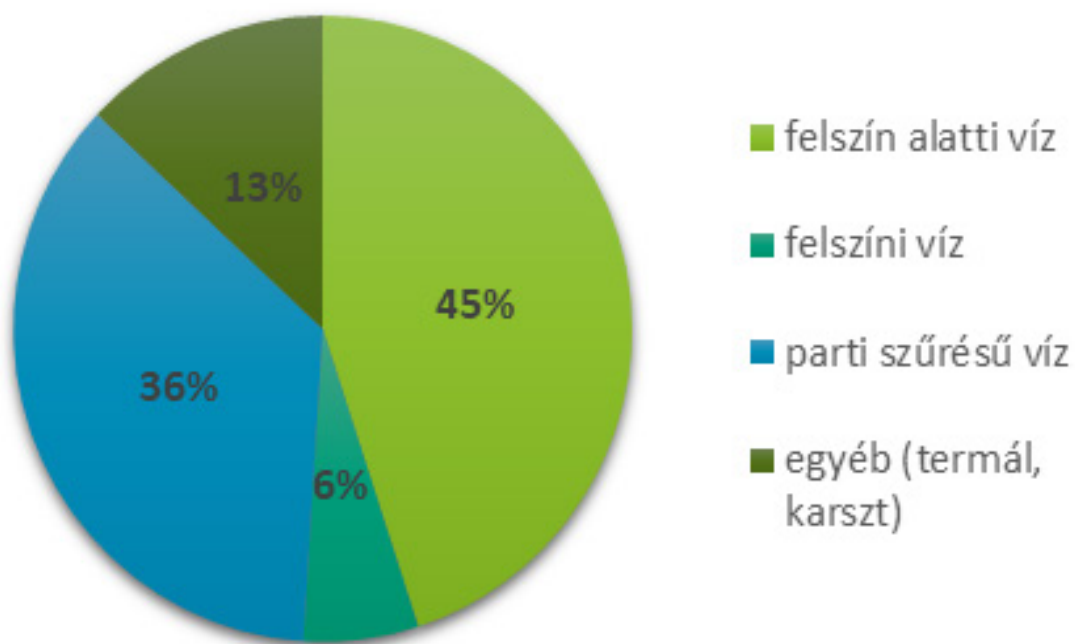
* NA: nincs adat (*no data*)

**LoQ: kimutatási határ (*limit of quantification*)

*** LoD: detektálási határ (*limit of detection*)

Az adatokat áttekintve több megállapítást tehetünk. Egyrészt az eredmények alátámasztják azt a feltételezést, hogy a felszín alatti vízbázisok védettnek tekinthetők a műanyag terheléssel szemben. Ez mindenképpen jó hír számunkra, hiszen Magyarországon jellemzően ilyen típusú vízbázisok biztosítják az ivóvízellátást. Hazánkban a közműves ivóvízellátásnak csak körül-

belül a 6%-a történik felszíni vízből (például Szolnok, illetve szezonálisan Keszthely és Siófok esetében), a maradék 94% felszín alatti vízbázisból. A hazai ivóvízbázis típusainak arányait szemlélteti az 1. ábra. A felszíni vízbázisok kis aránya a mikroszennyezők (így a mikroműanyag) szempontjából kedvező, mert a felszín alatti vizek természetes adottságaiknak köszönhetően védettebbek.



1. ábra: A hazai közműves ivóvízellátás megoszlása a nyersvíz eredete szerint. Forrás: NNK (3)

Figure 1. Distribution of domestic public drinking water supply according to the origin of raw water.

(Groundwater 45%, surface water 6%, bank filtered water 36%, other (thermal, karst) 13%)

Source: NNK (3)

A másik, ami az adatokat meg- nézve elsőre meglepő lehet, hogy a palackozott vizek eredményei is nagyon nagy tartományban változnak. Különösen érdekes ez a palackozott ásványvíz esetében, hiszen az valószínűsíthetően mélységi rétegvízből származik. Ennek ellenére kiugróan nagy értékek tartoznak hozzá, ami a kitermelés, illetve a palackozás és/vagy a tárolás során kerülhet bele. Természetesen ez a vizsgálatszám önmagában nem elegendő, hogy az ásványvizekkel – vagy akár a csapvízzel – kapcsolatban messzemenő kijelentéseket tegyünk, de mindenesetre elgondolkodtató, és alátámasztja a további vizsgálatok szükségességét.

Potenciális egészséghatások és kockázatok

A mikroműanyagok egészséghatásának vizsgálatát nehezíti, hogy nem egy- séges, jól jellemezhető anyagokról beszélünk, hanem egy széles, heterogén anyagcsoportról. Tehát egy nem egyértelműen definiált anyagcsoport emberi egészségre gyakorolt hatását próbáljuk

megítélni úgy, hogy a toxikológiai vizsgálatok száma kevés, nehezen összehasonlítható vagy extrapolálható. Nem könnyű feladat.

A mikroműanyagok káros hatásukat kifejtetik fizikai, kémiai és biológiai úton is. A különböző méretű és alakú részecskék közvetlenül, fizikailag is irritálhatják az emésztőrendszert, így okozva gyulladást. A műanyag részecskékből kémiai anyagok is a szervezetbe kerülhetnek, kioldódhatnak belőlük monomerek (pl. akrilamid), illetve adalékanyagok (pl. biszfenol-A, kadmium). De nem csak a műanyagokba a gyártás során bekerülő vegyületek miatt jelenthetnek problémát. A felületükön megkötődhetnek káros anyagok (pl. poliklórozott-bifenilek, poliaromás szénhidrogének, peszticidek), amik végül leoldódnak, miután a szemcsék a szervezetbe, a tápcsatornába kerülnek. Továbbá a felületükön patogén mikroorganizmusok is megtapadhatnak, így közvetve hozzájárulhatnak megbetegedések kialakulásához is (5).

Bár néhány emlősön (egér és patkány) végzett vizsgálat is van, a toxikológiai tesztek túlnyomó többsége vízi szervezetekre vonatkozik. Ezeknél a vizsgálatoknál káros hatást nem, vagy csak nagyon magas, a környezeti koncentrációkat sokszorosán meghaladó koncentrációknál találtak. Epidemiológiai vagy humán toxikológiai vizsgálat nincs, csak két humán sejtvonalon végeztek in vitro vizsgálatokat. A vizsgált PS és PE mikrorészecskék közül a PS oxidatív stresszt váltott ki a sejteken, de csak a legnagyobb, 10 mg/l koncentrációnál. A kisebb koncentrációk (0,05; 0,1 és 1,0 mg/l) a PS esetében sem okoztak mérhető változást (5).

Fontos, hogy mi történik a lenyelt mikroműanyagokkal a szervezetben. Ezt – és az esetleges hatást is – sok minden befolyásolja, leginkább a méret, a forma és a részecske felszíne és annak tulajdonságai. Az ezt vizsgáló korlátozott adat alapján az látszik, hogy a lenyelt műanyag részecskék nagy része (> 90%) nem kötődik meg, távozik a szervezetből a széklettel. A 150 µm feletti frakció nagyjából teljesen kiürül,

de a kisebbek (jellemzően a már nanomérettartományba tartozó, 100 nm-nél kisebb) részecskék felvehetődnak, akár sejt szinten is (5).

Mint említettük, hathatnak azáltal is, hogy különböző anyagok, monomerek és adalékok oldódnak ki belőlük. Mivel a polimerizációs folyamatok teljesen sosem mennek végbe, így valamennyi monomer (akár 4%-nyi) mindig marad, a polimertől és a technológiától függően. Ezeknek a veszélyessége eltérő, a WHO ötre javasol határértéket az ivóvízben (akrilamid, epiklórhidrin, 1,4-diklórbenzol, sztirol és vinil-klorid) különböző határértékekkel (0,3-300 µg/l-ig, monomertől függően) (5). Ennek alapján az Európai Unió (EU) jogszabály és az azon alapuló hazai, ivóvízre vonatkozó Kormányrendelet is meghatároz határértékeket bizonyos monomerekre. Ezeket már a termékengedélyeztetés során vizsgálják, tehát nem kerülhet beépítésre ivóvízhálózatba olyan szerkezeti anyag, amiből jelentős mennyiség oldódhat ki ezekből a monomerekből. A WHO, az EU és a magyar ivóvízre vonatkozó határértékek is úgy vannak

meghatározva, hogy azok egy életen át tartó expozíció mellett is elfogadhatóan alacsony kockázatot jelentsenek.

Különböző adalékanyagok is oldódhatnak ki a műanyagokból különböző mértékben, például kadmium, ólom, biszfenol-A vagy ftalátok. Ezt megint csak sok tényező befolyásolja, például a molekulasúly, a műanyag életkora vagy a környezeti feltételek. Nincs adat arra vonatkozóan, hogy a mikroműanyagok miképpen járulnak hozzá ezen anyagok megjelenéséhez a környezetben, beleértve az ivóvizet is. Valószínűleg ezen anyagok mikroműanyagokból származó bevitele az egyéb expozíciós, emissziós útjaikhoz képest elhanyagolható (5). Tegyük még azt is hozzá, hogy sok anyag koncentrációját ezek közül (például az ólmot és a kadmiumot), folyamatosan monitorozzák az ivóvízben.

Itt egy gondolat erejéig érdemes kitérni a határértékek és a kockázatértékelés viszonyára. Természetesen nulla kockázatról csak abban az esetben beszélhetnénk, ha káros (rákkeltő vagy mutagén) anyagot egyáltalán nem

vinnénk be a szervezetbe, mert ezek a hatások már egyetlen molekula vagy atom hatására is kialakulhatnak elvben – rendkívül kis eséllyel. Ugyanakkor az is nyilvánvaló, hogy ezt elérni lehetetlen, egy bizonyos szint alá is már csak elképesztő ráfordításokkal, gyakran új, akár nagyobb egyéb kockázatok bevezetésével lenne csökkenthető. Erre született meg az úgynevezett „társadalmilag elfogadható kockázat” fogalma, ami azt a kockázati szintet jelenti, amit még gazdasági, egészségügyi, megvalósíthatósági szempontokat figyelembe véve tolerálhatónak tartunk. Tehát nem azt mondjuk egy anyag esetében, hogy a határérték alatt nem jelent problémát és nem kell figyelmet fordítani rá, hanem azt, hogy addig még elfogadható, de ettől még figyelmet érdemel, foglalkozni kell vele, a környezeti expozíció minimalizálására kell törekedni. A határérték nem egy mágikus szám, ami alatt hátradőlhetünk, hanem egy tudatosan választott, meghatározott érték, amit időnként felül kell vizsgálni az új tudományos bizonyítékok alapján, és ha szükséges, meg kell változtatni.

Látható tehát, milyen nehéz is megítélni a mikroműanyagok jelentette fizikai és kémiai kockázatokat. Ugyanakkor a rendelkezésre álló adatok alapján a WHO egy meglehetősen konzervatív (ha úgy tetszik pesszimista) kockázátértékelést készített. Ez azt jelenti, hogy mind az ivóvízzel bevitt mikroműanyag mennyiségét, mind az abban jelen lévő, kioldható anyagok koncentrációját a rendelkezésre álló tanulmányok maximum értékei alapján becsülték. Még ez alapján is azt az eredményt kapták, hogy az ivóvíz mikroműanyag tartalma alacsony kémiai kockázatot jelent az emberi egészségre (5).

Szintén fontos az is, hogy a mikroműanyagok jelenléte hogyan hat a mikroorganizmusokra, elősegíti-e a biofilm képződést. A biofilm (vagy élőbevonat) tulajdonképpen egy poliszacharid mátrixba ágyazott mikroorganizmus-közösség. Jellemzően ártalmatlan baktériumokból áll, de akár patogén vagy fakultatív patogén fajok is megtelepedhetnek benne (például *Legionella* spp. vagy *Pseudomonas aeruginosa*) (13). Akár magasabb rendű

egysejtű szervezetek vagy fonalférgek is jelen lehetnek benne, de a fő problémát az emberi egészség szempontjából patogének jelentik. Maga a biofilm meglehetősen ellenálló a fertőtlenítéssel szemben, így a védekezés megfelelő módját a megelőzés jelenti (13).

Biofilm az ivóvízhálózatokban szinte minden esetben kialakul, függetlenül a csőhálózat anyagától (műanyag vagy valamilyen fém). A mikroműanyagok kapcsán felvetődött azonban, hogy a részecske gyakorlatilag vektorként működhet, azaz a felületén kialakuló biofilmben lévő mikroorganizmusok messzire eljuthatnak az ivóvízhálózaton keresztül. Ez problémát jelenthet a patogén baktériumok vagy protozoák, de az antibiotikum-rezisztens mikroorganizmusok terjedésében is. Ivóvízben a patogének terjedése – akár mikroműanyagok közvetítésével – alacsony, mert a vízbázisok mikrobiológiai vízminősége jellemzően megfelelő, illetve az esetleges vízkezelés (például szűrés) eltávolíthatja a kórokozókat (és akár a műanyag részecskéket is) (5).

Vizsgálták a biofilm hatását az antibiotikum-rezisztencia szempontjából is. A kutatások alapján ez a tulajdonság gyorsabban terjed, könnyebben adódik át az egyes fajok közt a biofilmben, mint a szabadon, önállóan élő sejtek között. Ennek oka lehet a nagy sejtszám és a sejtek között lévő szoros kapcsolat (5). Ez tehát egy nagyon fontos, kiemelt figyelmet érdemlő terület, mely további kutatásokat igényel, ugyanakkor nem elsősorban az ivóvíz-mikroműanyag-emberi egészség kapcsolat szempontjából.

Az ivóvízben nem csak műanyag részecskék lehetnek (illetve vannak) jelen, gondoljunk az esetleges vas- vagy mangáncsapadéokra, vagy különböző szerves és szervesetlen lebegőanyagokra. Ezeknek a koncentrációja jellemzően sokszorososa a mikroműanyagok koncentrációjának, felületükön ugyanúgy kialakulhat biofilm, sőt számos esetben kémiai szennyezőket is megköthetnek. Jelenleg tehát nincs bizonyíték, ami arra utalna, hogy az ivóvízben lévő mikroműanyagokon kialakuló biofilm többlet kockázatot jelentene az egészségünkre

(5). Ehhez még hozzátehetjük, hogy az ivóvíz minőségét mikrobiológiai szempontból is folyamatosan ellenőrzik, hasonlóan a kémiai szennyezőkhöz.

Konklúzió

A mikroműanyagok okozta veszély nagyon összetett, számos probléma nehezíti a megítélését. Bár első hallásra nem feltűnő, valójában egy nagyon heterogén anyagcsoportról beszélünk, tagjai fizikai, kémiai tulajdonságaikban igen eltérőek. Első lépésben szükséges az egyértelmű definíció meghatározása, bár az 5 mm-es mérethatár egyre inkább elfogadott. Ennél jóval nehezebb az egységes, összehasonlítható mintavételi és meghatározási szabványok kidolgozása. Habár a kutatások száma folyamatosan nő, önmagában ez még nem elégséges, ha a különböző eljárások miatt az adatok nem összehasonlíthatóak. Szükség lenne szabványra, vagy legalább a különböző eljárások összehasonlítására, mely segíti a különböző tanulmányokból származó eredmények összevetését.

De nemcsak analitikai, hanem toxikológiai szempontból is nehézségekkel állunk szemben. Ilyen jellegű eredmény is csak korlátozott számban áll rendelkezésre, és ezeknek is jó része fenntartásokkal kezelendő, a toxikológiai tesztek eredményeinek emberre való kivetítése alapvetően is nehéz feladat. Ugyanakkor, ahogy egyre több eredmény születik arra vonatkozóan, hogy mi a mikroműanyagok környezeti relevanciája, előfordulása, mekkora a mértéke, egyre jobban megtervezett toxikológiai vizsgálatokat lehet (és kell) elvégezni.

A WHO összefoglaló áttekintést készített a rendelkezésre álló cikkek, kutatások alapján és összességében azt a megállapítást tette, hogy az ivóvíz mikroműanyag tartalma fizikai, kémiai és mikrobiológiai szempontból is csak alacsony kockázatot jelent. Természetesen nem győzik hangsúlyozni, hogy szinte minden területen további vizsgálatok elvégzése szükséges.

Az is nyilvánvaló, hogy mikroműanyagokat korántsem csak az ivóvízzel viszünk be a szervezetünk-

be, nagyon valószínű, hogy még csak nem is ez a fő forrás, sokkal inkább az élelmiszerek, illetve a levegő. Ez persze az egészséghatás oldaláról nem jelent könnyebbséget, de mindenképp szükséges tisztán látni a kérdésben, ha beavatkozási pontokat akarunk meghatározni. Semmiképpen nem javasolt a csapvíz fogyasztásának kerülése a mikroműanyagoktól való félelmünkben, sőt, sokkal inkább tűnik úgy, hogy ebből a szempontból (is) kimondottan javasolható. Érdeemes belegondolni – és nagyon jó lenne még jobban kutatni is –, hogy mennyi mikroműanyag kerülhet a levegőbe egy műszálas pulóver kिरázásakor, a szőnyegen való sétáláskor vagy a palacsintába, amikor felkeverjük a tésztát a műanyag edényben.

Hogy miért mindig az ivóvíz az, ami miatt a legjobban aggódunk, amikor valami új, kevésé ismert jelenséggel találjuk szemben magunkat, annak több oka is van. Egyfelől nyilvánvalóan fontos kérdések ezek, akár a peszticidekről, akár gyógyszermaradványokról, akár hormonhatású anyagokról, akár a mikroműanyagokról van szó. Még ak-

kor is, ha ezek mindegyike legalább ekkora vagy akár sokkal nagyobb eséllyel kerül a szervezetbe más úton, mondjuk az élelmiszerek, a táplálék-kiegészítők vagy kozmetikai szerek közvetítésével. Másfelől bizony sajnós gazdasági, lobbierdekek is fel-felbukkannak, bármennyire is szomorú ez. (Elég itt a korábbi ismeretterjesztő cikkünkben bemutatott varázs- és csodavizekre gondolnunk.) Végül pedig egy utolsó, talán cinikus gondolat: analitikus szemmel nézve a víz egy nagyon barátságos mátrix. Ebből a szempontból a szennyvíz is jobb választás, mint a Jókai-bableves. Könnyebb a csapvízből mérni analitikailag bármit, mint egy somlói galuskából, pedig abba is könnyen bekerül a mikroműanyag (vagy a peszticid, vagy a hormonhatású anyag vagy a gyógyszermaradvány).

Szerzők hozzájárulása

IB: a kézirat elkészítése

VM: a kézirat szakmai ellenőrzése

Nyilatkozat

A szerzők nyilatkoznak arról, hogy a közlemény más folyóiratban korábban nem jelent meg, és máshová beküldésre nem került.

Anyagi támogatás

Nem volt.

Szerzői érdekeltségek

A szerzőknek nincsenek a tartalommal érintő érdekeltségeik.

Irodalomjegyzék

1. Statista.com; Global plastic production from 1950 to 2018; <https://www.statista.com/statistics/282732/global-production-of-plastics-since-1950/#statisticContainer>; (letöltve: 2020.04.15.)
2. Koelmans A. A., Nor N. H. M., Hermesen E., et al. Microplastics in freshwaters and drin-

- king water: Critical review and assessment of data quality; Water Research; 2019 <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.02.054>
3. Nemzeti Népegészségügyi Központ. Magyarország ivóvízminősége, 2017; <https://www.antsz.hu/data/cms90078/lvovizminoseg2017.pdf>
 4. Bergmann M., Gutow L, Klages M. Marine Anthropogenic Litter; University of Gothenburg; 2015; ISBN 978-3-319-16509-7
 5. World Health Organization. Microplastics in drinking-water; Svájc; ISBN 978-92-4-151619-8; 2019 <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/326499/9789241516198-eng.pdf?ua=1> (letöltve 2020.04.23)
 6. National Oceanic and Atmospheric Administration; US Department of Commerce. Laboratory Methods for the Analysis of Microplastics in the Marine Environment: Recommendations for quantifying synthetic particles in waters and sediments; 2015; NOS-OR&R-48
 7. EFSA. Presence of microplastics and nanoplastics in food, with particular focus on seafood; 2016; <https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.2903/j.efsa.2016.4501> (letöltve 2020.04.23)
 8. Food and Agriculture Organization of the United Nation. Microplastics in fisheries and aquaculture; 2017; ISBN 978-92-5-109882-0; <http://www.fao.org/3/a-i7677e.pdf>
 9. Panko J.M., Hichcock K.M., Fuller G. W., et al. Evaluation of TireWear Contribution to PM2.5 in Urban Environments, Atmosphere; 2019 <https://doi.org/10.3390/atmos10020099>
 10. Writgh S. L., Kelly F. J. Plastic and Human Health: A Micro Issue? Environmental Science & Technology; 2017
 11. Dris R., Gasperi J., Saad M., et al. Synthetic fibers in atmospheric fallout: A source of microplastics in the environment?; Marine Pollution Bulletin; 2016, Volume 104, Issues 1–2; <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.01.006>
 12. Dris R., Gasperi J., Mirande C., et al. A First Overview of Textile Fibers, Including Microplastics, in Indoor and Outdoor Environments; December 2016 Environmental Pollution 221. DOI: [10.1016/j.envpol.2016.12.013](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.12.013)
 13. Környezet-egészségtan jegyzet; Szerk. Pándics Tamás és Hofer Ádám, Országos Környezetegészségügyi Központ, Budapest, 2017. ISBN 978-963-86572-8-2