

A mikroszkópos biológiai vizsgálatok jelentősége az ivóvíz minőségének ellenőrzésében – egy magyarországi települési ivóvízszennyezés laboratóriumi aspektusainak bemutatása

Lippai Anett¹

¹ Biokör Technológiai és Környezetvédelmi Kft., Budapest, Bláthy Ottó u. 41, 1089 (e-mail: lippai.anett@gmail.com)

DOI: 10.59258/hk.20606



Kivonat

Az indikátor szervezetek alkalmazása kulcsfontosságú az ivóvíz minőségének ellenőrzésében. A hazai jogszabályozás szerint az ellenőrzés rendje a vízminták mikroszkopikus biológiai vizsgálatára is kiterjed, amely az ivóvíz hálózatban megjelenő mikroszkopikus élőlények kimutatására fókuszál. Az elosztóhálózatban megtalálható szervezetek többsége nem patogén, az emberi egészséget nem veszélyeztetik, azonban szerepet játszhatnak a kórokozók terjesztésében, továbbá hozzájárulnak a fertőtlenítőszerrel szembeni védelemben, a fogyasztói pontokon pedig íz- és szagbeli elváltozásokat is okozhatnak. Vizsgálatuk azért is fontos, mert a vízhálózatban bekövetkezett változásokat indikálják: jelezhetnek nyersvíz eredetű szennyeződést, hálózati utószaporodást, pangást, biofilm képződést és nem utolsósorban technológiai problémákat is. A mikroszkópos biológiai vizsgálatok egyik fő előnye a gyorsaság, amely különösen rendkívüli szennyezettség esetében lényeges, hogy a mintavételt követően minél hamarabb eredményt szolgáltatson a vizsgáló laboratórium. Munkánk során részt vettünk egy magyarországi település vízszennyezésének laboratóriumi vizsgálataiban, a havi időszak alatt 35 minta mikroszkópos biológiai vizsgálatát végeztük el különböző mintavételi pontokon. A mintákból egysejtűeket (*Protozoa sp.*), fonálférgeket (*Nematoda sp.*), kerekcsigákat (*Rotatoria sp.*) és ízeltlábú szúnyoglárvaakat (*Chironomidae sp.*) mutatunk ki, a szervezetek megjelenése azonban sztochasztikus volt a vizsgált időszakban. A mikroszkopikus élőlények főként a fogyasztói pontokon voltak megtalálhatók, a víztároló medencékben 1-1 alkalommal jelentek meg, a hálózatra menő vezetekben nem voltak kimutathatók. Ez arra enged következtetni, hogy a probléma nem a víztermelő kutak technológiájában volt keresendő, hanem a hálózatban bekövetkezett változás (pl. házi víztisztító berendezések, pangás, biofilm képződés) miatt jelentek meg a szervezetek. Az ízeltlábúak azonban a víztárolók sérülésének köszönhetően kerülhettek be a rendszerbe, amelyet igazol az is, hogy nemcsak a fogyasztói pontokon, hanem a víztároló medencékben is megjelentek. A megfelelő vízkezelési eljárásoknak köszönhetően a mikroszkopikus szervezetek száma csökkent, a vizsgált időszak végén pedig nem voltak a mintákból kimutathatók. A havi időszakot követően a mintavételek rendje az önellenőrzési tervnek megfelelően havonta történik tovább, a vízminták megfelelő minőségűek.

Kulcsszavak

Ivóvíz minőség, mikroszkópos biológiai vizsgálatok, fonálféreg, vízkezelés.

The importance of microscopic biological analysis in the control of drinking water quality – the presentation of the laboratory aspects of the water pollution in a Hungarian settlement

Abstract

The application of indicator organisms is crucial in the monitoring of drinking water quality. According to national regulations, the monitoring protocol also includes the microscopic biological examination of water samples, which focuses on the detection of the living organisms. Most of the organisms found in the distribution systems are non-pathogenic and do not pose a risk to human health; however, they can play a role in the transmission of pathogens and contribute to protection against disinfectants and also cause taste and smell changes at the consumer endpoints. Their examination is also important because they can indicate the changes within the water system: they may signal raw water contamination, post-contamination growth within the system, stagnation, biofilm formation, and, not least, technological issues.

One of the main advantages of microscopic biological examinations is that they are not time-consuming, which is particularly crucial in cases of severe contamination, as it allows the testing laboratory to provide results as soon as possible after the sampling. During our work, we participated in the laboratory analysis of a Hungarian settlement's water contamination event: we performed microscopic biological examinations on 35 samples from various sampling points. Protozoa (*Protozoa sp.*), nematodes (*Nematoda sp.*), rotifers (*Rotatoria sp.*), and arthropod mosquito larvae (*Chironomidae sp.*) were identified from the samples. However, the occurrence of these organisms was stochastic throughout the examined period. Microscopic organisms were mainly detected at the consumer endpoints of the drinking water system; they only appeared once in the reservoir pools and were not present in the water going directly into the system. This suggests that the problem was not related to the technology of the water production wells but rather to changes within the distribution system itself (e.g., household water purifiers, stagnation, biofilm formation). The arthropods, however, may have entered the system due to damage to the reservoir pools, which is supported by their appearance not only at consumer endpoints of the drinking water system but also in the pools themselves. Thanks to the appropriate water treatment processes, the number of microscopic organisms decreased, and, by the end of the examined period, they were no longer detectable in the samples. Following the emergency period, sampling continued monthly in accordance with the self-monitoring plan, and the water samples have had appropriate drinking water quality.

Keywords

Drinking water quality, microscopical analysis, nematodes, water treatment.

BEVEZETÉS

Magyarországon az ivóvíz minőségi követelményeit és az ellenőrzések rendjét az 5/2023 (I.12.) Kormányrendelet (továbbiakban Kormányrendelet) szabályozza: meghatározza azon kémiai és biológiai paramétereket (és azok határértékeit, valamint parametrikus értékeit), amelyeket laboratóriumi vizsgálatokkal szabályozott időközönként ellenőrizni kell. A biológiai vizsgálatok mikrobiológiai és mikroszkópos biológiai jellemzőket foglalnak magukban, amelyek indikátor paraméterként mutatják az esetleges problémákat a vízhálózatban: a ivóvíz előállítás helyétől kezdve a fogyasztói pontokig (5/2023 I.12. Kormányrendelet).

A mikrobiológiai és kémiai indikátor paraméterek mellett a mikroszkopikus szervezetek, mint például vas- és mangánbaktériumok, gombák, fonálférgek, kerekesszék, véglények stb. vizsgálata is hozzájárulnak az ivóvíz minőségének ellenőrzéséhez, vízhiányos indikátor szervezetek révén jelenlétükkel a szennyezés eredetére lehet következtetni (Plutzer és Törökné 2012, Bufa-Dórr és társai 2023). Az ivóvizek mikroszkópos biológiai vizsgálatának kezdete hazánkban 1895-re tehető, majd az 1960-as évektől kezdve az indikátor szervezetek kimutatása mindennapos gyakorlattá vált. Az első publikációk 1977-ből származnak, a rutin ellenőrző vizsgálatok közé a 2001-es évtől került be, az akkori hazai szabályozásnak megfelelően. Több vizsgálat is alátámasztotta már a múltban is a mikroszkopikus szervezetek kimutatásának fontosságát, világszerte azonban mai napig nem terjedt el az ivóvizek ilyen jellegű analízise, néhány közép-európai ország például Szlovákia, Csehország és Magyarország kivételével (Plutzer és Törökné 2012).

Az ivóvíz hálózatban megtalálható mikroszkopikus élőlények többnyire nem patogén, szabadon élő szervezetek, az emberi egészséget nem veszélyeztetik, azonban szerepet játszhatnak kórokozók (vírusok, baktériumok,

protozoák) terjesztésében, valamint védelmet biztosítanak számukra a fertőtlenítőszerrel szemben, ezáltal hozzájárulnak a vízhálózatban tartásukhoz és terjesztésükhöz is. Fontos megjegyezni, hogy a fogyasztói pontokon okozhatnak íz- és szagbéli problémákat is (Bichai és társai 2009, Bufa-Dórr és társai 2023). A vizsgálatok előnye, hogy módszertanilag viszonylag egyszerűen kivitelezhetők, így a mintavételtől számítva 1-2 órán belül eredményt kaphatunk, ezáltal az ivóvíz hálózatban történt szennyeződés eredetére gyorsan következtethetünk, és elvégezhetjük a szükséges beavatkozásokat. A szennyezés származhat a termelő kútból/vízvezetéstől, utalhat technológiai problémákra (pl. homokszűrők) vagy hálózati problémákra (csőtörés, pangó víz, biofilm képződés, házi víztisztító berendezések stb.). Amikor a mikroszkopikus szervezetek megjelennek a vízhálózatban, törekedni kell az okok felderítésére és a probléma megszüntetésére. Fontos kérdés továbbá az is, hogy a vizsgálatok során mely élőlény csoportok okozzák a parametrikus értékek túllépését, mivel minden csoport más-más problémát jelez és más-más megoldást igényelnek (Bufa-Dórr és társai 2023).

A vizsgálandó mikroszkópos biológiai paramétereket és a parametrikus értékeket a Kormányrendelet 1. számú mellékletének 4. táblázata tartalmazza (1. táblázat). Amennyiben a mért értékek a parametrikus értékeket meghaladják, a legtöbb jellemző esetében tűrhető minőségű ivóvízről beszélünk. Kivételt képeznek a házas amőbák és a nematoda vízminőség jellemzők (korábbi rendeletben fonálférgek), ahol a parametrikus érték a fogyasztói pontokon az ún. nincs szokatlan változás. Ez azt jelenti, hogy az illetékes népegészségügyi hatóság több év mérési adatait feldolgozva állapít meg egyedi határértékeket a településekre. A tűrhető minőség ellenére a víz fogyasztható, azonban a megfelelő beavatkozást az üzemeltetőknek el kell végezniük.

1. táblázat. Mikroszkópos biológiai vízminőség jellemzők és parametrikus értékeik az 5/2023 (I. 12.) Kormányrendelet alapján
Table 1. Characteristics of microscopic biological water quality and their parametric values according to 5/2023 (I. 12.) Government Decree

Vízminőség jellemzők	Parametrikus érték	Egység
Üledék	0,1	ml/liter
Vas- és mangánbaktériumok	$2 \cdot 10^4$	szám/liter
Kénbaktériumok	$2 \cdot 10^4$	szám/liter
Szennyezettséget jelző baktériumok	0	szám/liter
Cianobaktériumok és algák	$5 \cdot 10^3$	szám/liter
Gombák	0	szám/liter
Házas amőbák	nincs szokatlan változás, hálózatra menő vizek esetében 5	szám/liter
Egyéb véglények	0	szám/liter
Nematoda	nincs szokatlan változás, hálózatra menő vizek esetében 5	szám/liter
Egyéb férgek	0	szám/liter
Egyéb gerinctelen szervezetek	0	szám/liter

A mintavételi helyek kijelölése a víziközmű szolgáltató feladata, a mintavételek éves ütemterv szerint, az illetékes hatósági szerv által jóváhagyva történnek, jellemzően a fogyasztói pontokon. A vízszolgáltató a szolgáltatott víz minőségéért a szolgáltatási határpontig felel, így az épületek, házak, lakások stb. belső hálózatának hibái, karbantartása már nem a vízszolgáltató feladata, de természetesen a lakossági panaszok és kezelésük a szolgáltatók fontos feladatai közé tartoznak (Galsi és Bancsiné 2009). A lakossági panaszok többnyire esztétikai problémák miatt jelentkeznek, szín- szag- és ízbeli elváltozásokban,

amelyeknek nem feltétlenül biológiai okai vannak, ugyanis bizonyos kémiai anyagok is pl. vas- és mangán emelkedett szintje okozhatnak ilyen jellegű változásokat. Hazánk vízgyűjtő területeiről pedig ismert, hogy gazdagok vas-, mangán, ammónium és arzén ionokban, amelyek mennyiségét a vízszolgáltatónak a megfelelő vízkezelési technikát alkalmazva csökkenteniük kell (Plutzer és Törökné 2012). Ennek ellenére az utóbbi időben igen népszerűek a házi víztisztító berendezések, amelynek több típusa is elérhető a hazai piacokon. A felhasználók azonban gyakran nincsenek tisztában a kisberendezések kockázataival:

a fogyasztói pontokon is okozhatnak vízminőség romlást, továbbá a hálózatot is szennyezhetik a nem megfelelően karbantartott berendezések (NNGYK 2022).

A Biokör Kft. vizsgálólaboratóriuma önellenőrző laboratóriumként részt vesz hazai települések ivóvizének ellenőrzésében. Jelen munkánk célja egy magyarországi településen bekövetkezett vízszennyezés laboratóriumi vonatkozásainak és egyben a mikroszkópos biológiai vizsgálatok jelentőségének bemutatása, korábbi hazai felméréseket is felhasználva.

MÓDSZEREK

Mintavétel

A mintavételek lakossági bejelentést követően, 2025. január 17-én kezdődtek, több fogyasztói pont kijelölésével. A rendkívüli (éves ütemtervtől eltérő) mintavételezés egy hónapra keresztül, 2025. február 17-ig tartott, összesen 35 minta mikroszkópos biológiai vizsgálatát végeztük el ebben az időszakban. A haváriát követően, március hónaptól a mintavételezések az ütemtervnek megfelelően történtek tovább. A mintavétel során az MSZ EN ISO 19458:2007 és az MSZ 448-36:1985 szabványok utasításait követtük: a vízmintákat (1 L/minta) tiszta, barna üvegedényzetbe vettük, majd hűtőládban szállítottuk (4 °C) a laboratóriumba, a mintafeldolgozást pedig a mintavételt követő 1 órán belül elkezdtük. A mintavételi helyek jellemzőit a 2. táblázat foglalja össze.

2. táblázat. Mintavételi helyek jellemzői
Table 2. Characteristics of the sampling sites

Mintavételek dátuma	Ellenőrzött fogyasztói pontok száma	Mintavételi helyek
Havária időszak		
2025. január 17.	1	tűzcsap
2025. január 20.	6	közkifolyók, tűzcsapok, víztorony
2025. január 22.	12	termelő kutak, tározó medence, nyers és tisztított víz, hálózatra menő víz, közkifolyók, víztorony
2025. január 28.	4	közkifolyók, hálózatra menő víz, víztorony
2025. február 10.	2	óvoda, közkifolyók
2025. február 17.	10	termelő kutak, nyers és tisztított víz, tároló medencék, hálózatra menő víz, közkifolyók
Ütemterv szerinti mintavételezés		
2025. március 3.	2	közkifolyó, óvoda
2025. április 8.	2	közkifolyók
2025. május 20.	2	közkifolyó, óvoda
2025. június 12.	3	hálózatra menő víz, közkifolyók
2025. július 7.	2	közkifolyók

Vízminták mikroszkópos biológiai vizsgálata

A vízmintákat (990 ml) 0,45 µm (Millipore, Darmstadt, Germany) pórusátmérőjű, cellulóz-észter filterek segítségével koncentráltuk, a szesztont sejtkaparó segítségével, a maradék 10 ml mintával centrifuga csőbe gyűjtöttük, majd a mintákat 800 g-n 15 percen keresztül centrifugáltuk (Orto Alresa, Microcen). A felülúszót eltávolítottuk és a végtérfogatot 0,1-1 ml közé állítottuk be, az üledék mennyiségétől függően. Homogenizálás után a mintákat fénymikroszkóp segítségével (Nikon, Eclipse 200), 40-400 x-os nagyításokon vizsgáltuk, a kimutatott szervezetek számát 1 liter mintára vonatkoztattuk (MSZ 448-36:1985).

EREDMÉNYEK

Vizsgálataink során fonálférgeket, egyéb férgeket, véglényeket és gerinctelen szervezeteket mutattunk ki: a Kormányrendeletnek megfelelő eredményközlést a 3. táblázat foglalja össze. Az egyes mintavételek között azt tapasztaltuk, hogy a mikroszkopikus szervezetek megjelenése sztochasztikus volt, ugyanis nem minden minta esetében volt jellemző az élőlények megjelenése a hálózatban. Amíg kezdetben csupán néhány fogyasztói pont került ellenőrzésre, az eredmények függvényében a

teljes hálózat ellenőrzése is megtörtént: kezdve a termelő kuktól, a tározó medencéken át, a hálózatra menő vizeken keresztül egészen a végpontokig (2. táblázat).

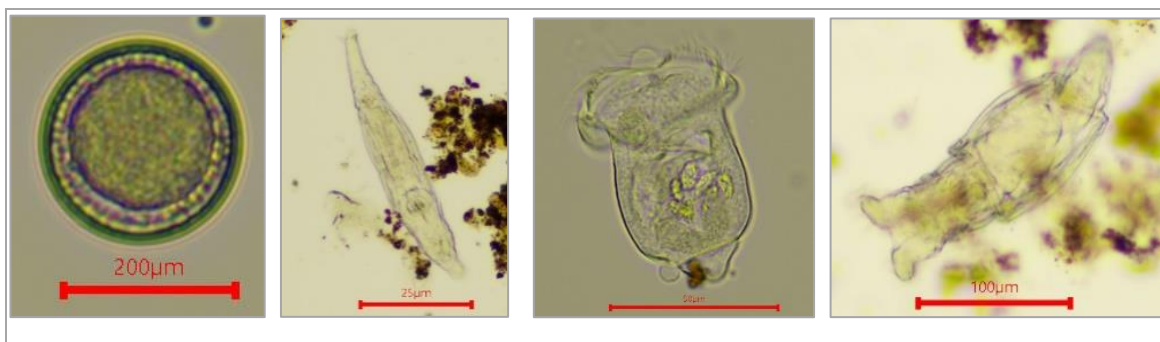
A Kormányrendelet a következők szerint szabályozza az eredményközlést a laboratóriumok számára: „Nematoda” csoportba a szabadon élő mikroszkopikus méretű fonálférgek kifejlett egyedeit kell sorolni, és mivel a peték nem különíthetők el más férgek petéitől, ezért a kimutatott petéket minden esetben az „egyéb férgek” kategóriában kell feltüntetni. Az „egyéb véglények” paraméter a házas amőbák kivételével tartalmazza a szabadon élő egysejtűeket (amőbák, ostorosok, csillósok), míg az „egyéb férgek” a petéken kívül a csillóshasúak (*Gastrotricha*), kerekesszervek (*Rotatoria*), húrférgek (*Nematomorpha*) és gyűrűsférgek (*Annelida*) törzsek képviselőit (beleértve a különböző fejlődési alakokat, szaporodási formákat) jelentik. Az „egyéb gerinctelen szervezetek” vízminőségi kategóriába pedig a medveállatkák (*Tardigrada*), ízeltlábúak (*Arthropoda*) képviselői és minden egyéb, előző vízminőségi jellemzőkhöz nem besorolható többsejtű szervezetet kell sorolni (5/2023 I.12. Kormányrendelet, Bufo-Dörr és társai 2023).

3. táblázat. A vizsgálatok során kimutatott mikroszkopikus szervezetek és a tűrhető minőségű mintavételi helyek a vizsgált időszakban
 Table 3. Microscopic organisms detected during the tests and tolerable quality sampling sites during the tested period

Mintavétel dátuma	Megfelelő/tűrhető minták száma	Mintavételi hely tűrhető vízminőséggel	Kimutatott szervezetek
Havária időszak			
2025. január 17.	0/1	Tűzcsap	Nematoda, egyéb véglények, egyéb gerinctelen szervezetek
2025. január 20.	6/0	-	-
2025. január 22.	6/6	2. sz. tározó medence	Egyéb férgek, egyéb gerinctelen szervezetek
		Közkifolyó 1.	Egyéb férgek, egyéb gerinctelen szervezetek
		Közkifolyó 2.	Egyéb férgek, egyéb gerinctelen szervezetek
		Óvoda közkút	Egyéb gerinctelen szervezetek
		Közkifolyó 3.	Egyéb férgek
		Víztorony	Nematoda, egyéb férgek, egyéb gerinctelen szervezetek
2025. január 28.	4/0	-	-
2025. február 10.	2/0	-	-
2025. február 17.	9/1	Hálózatra menő víz	Egyéb férgek
Ütemterv szerinti mintavételezés			
2025. március 3.	2/0	-	-
2025. április 8.	2/0	-	-
2025. május 20.	2/0	-	Vas- és mangánbaktériumok
2025. június 12.	3/0	-	Vas- és mangánbaktériumok
2025. július 7.	2/0	-	Vas- és mangánbaktériumok

Vizsgálataink során több mintából a féregpeték mellett fonálférgeket (*Nematoda sp.*) és kerekesszemeseket (*Bdelloidea sp.*, *Philodina sp.*, *Brachionus sp.*) mutatunk ki, továbbá több mintavételi ponton jelentek meg ízeltlábú szúnyoglárva (Chironomidae sp.). Protozoa fajok (pl. *Vorticella sp.*, *Paramecium sp.*) a tűzcsapok esetében voltak jellemzők a vízmintákban. A

mikroszkopikus szervezetek megjelenése a fogyasztói pontokon volt megfigyelhető, a termelő kutakban nem, a tározó medencékben (szúnyoglárva) és a hálózatra menő vizek esetében (kerekesszemesek) 1-1 mintavétel során voltak élőlények kimutathatók. A vízmintákból kimutatott szervezetek néhány képviselője az alábbi képeken látható (1-7. képek):

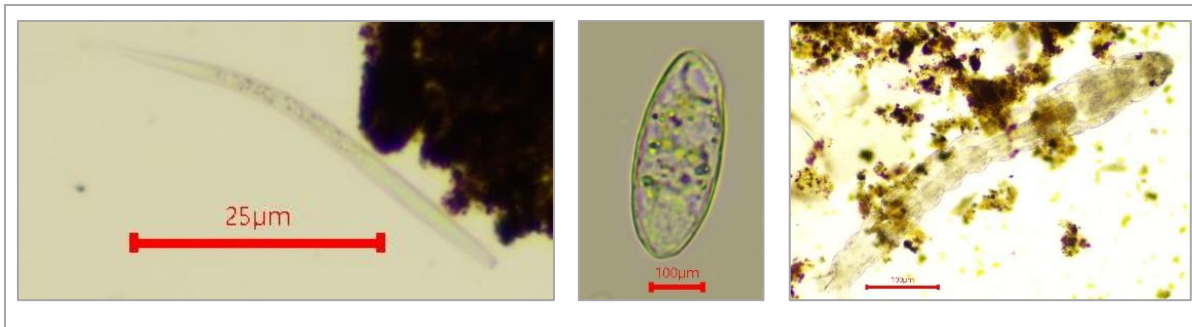


1-4. kép. A vízmintákból kimutatott mikroszkopikus szervezetek (1)

Balról jobbra: 1. kép. Féregpete, 2. kép. *Bdelloidea sp.* (Rotatoria), 3. kép. *Brachionus sp.* (Rotatoria), 4. kép. *Philodina sp.* (Rotatoria)

Images 1-4. Microscopic organisms detected in the samples (1)

From left to right: Image 1. Helminth's egg, Image 2. *Bdelloidea sp.* (Rotatoria), Image 3. *Brachionus sp.* (Rotatoria), Image 4. *Philodina sp.* (Rotatoria)



5-7. kép. A vízmintákból kimutatott mikroszkopikus szervezetek (2)
Balról jobbra: 5. kép. Nematoda sp., 6. kép. Protozoa sp., 7. kép. Szúnyoglárva (Chironomidae sp.)
Images 5-7. Microscopic organisms detected in the samples (2)

From left to right: Image 5. Nematoda sp, Image 6. Protozoa sp., Image 7. Imagemosquito larvae (Chironomidae sp.)

A havária időszakot követően a mintavételi pontok száma az ütemtervnek megfelelően csökkent, az ellenőrzési pontokon csak vas- és mangánbaktériumok voltak kimutathatók, számuk azonban nem haladta meg a Környezetvédelmi parametrikus értéket ($2 \cdot 10^4$ /liter).

KÖVETKEZTETÉSEK

A mikroszkopos biológiai vizsgálatok fontos részét képezik az ivóvíz minőségének ellenőrzésében: az élőlények megjelenése a víz minőségében bekövetkezett változás következménye. A vizsgálatok alapja az ökológiában is jól ismert indikáció elve, vagyis az élőlény csoportok jelzik a létrejöttükre és viselkedésükre hatással lévő környezeti tényezőket. Természetesen nem minden környezeti paraméter változásra reagál egyformán egy szervezet, bizonyos tényezőkkel szemben érzékenyebb, míg másokkal szemben kevésbé érzékeny. A hálózati ivóvíz nem mentes az élőlényektől, potenciális élőhelyet biztosít, így a megjelenő szervezetek alapvető információt nyújtanak az ivóvíz minőségének ellenőrzéséhez (Galsi és Bancsiné 2009, Plutzer és Törökné 2012).

A mikroszkopos biológiai vizsgálatoknak számos előnye van: kevés eszközzel elvégezhető a mintavétel és a vizsgálatokhoz nem szükséges időigényes mintaelőkészítés, tenyésztés stb., így a mintavételt követően rövid időn belül eredményt kapunk, amely lakossági panasz, akut szennyezés vagy szennyezés gyanúja esetén döntő fontosságú. További előnye a vizsgálatoknak, hogy az élőlények minőségi és mennyiségi eloszlása nemcsak a mintavétel időpontjában jellemző állapotokat jelzik, hanem következtethetünk azokra a tényezőkre, amelyek megjelenésük, szaporodásuk, hálózatban maradásuk feltételei. Mint minden módszernek természetesen a mikroszkopos biológiai vizsgálatoknak is vannak hátrányai: az élőlények megjelenése gyakran sztochasztikus, így az egymást követő mintavételezések különböző eredményeket mutathatnak. A vizsgálatok végzéséhez továbbá a vizsgáló személyzet szakmai felkészültsége is nélkülözhetetlen, hogy a különböző mikroszkopikus indikátorokat felismerje és jellemezni tudja (Galsi és Bancsiné 2009).

Munkánk során a lakossági panaszokat követő kivizsgálások révén végeztünk mintavételezést és laboratóriumi vizsgálatokat egy magyarországi településen, a vízszolgáltatás utasításainak megfelelően: kezdetben a fogyasztói pontokon, majd a teljes hálózatot monitoroztuk, annak ér-

dekében, hogy a fogyasztói pontonok jelzett vízminőségi probléma okait, eredetét felderítsük. A mikroszkopikus élőlények megjelenése a magyarországi ivóvizekben nem újkeletű (Galsi és Bancsiné 2009, Plutzer és Törökné 2012), az önellenőrző vizsgálatok során laboratóriumunk is többször mutatott ki különböző férgeket és fereg petéket, házas amőbákat, vas- és mangánbaktériumokat, egysejtűeket, mint területileg jellemző ivóvízlakó fajokat. A 2025. januárjában bekövetkezett vízszennyezés kivizsgálása a lakossági panaszoknak és a médiafigyelemnek köszönhetően a férgekre fókuszált, holott a laboratóriumban kimutatott élőlények szabad szemmel nem láthatók, a víz-hálózatban szabadon élő szervezetek voltak. A vizsgált időszakban a lakossági panaszokkal ellentétben a mintákból csak 40-400x-os nagyítással, mikroszkóp segítségével látható élőlényeket azonosítottunk.

A mikroszkopikus férgek a vízelosztó rendszerekben hálózati elszennyeződést jeleznek, emelkedett számuk hálózati utószaporodás eredménye a gerincvelőben és/vagy az épületen belüli elosztóhálózatban (Bufa-Dörner és társai 2023). Jelenlétük a vízrendszerekben annak köszönhető, hogy túlélnek és átjutnak a vízkezelés különböző fázisain, testfelépítésüknek köszönhetően: egyszerű, nem szelvényezett testű élőlények, kültakarójuk több rétegből álló erős kutikula, amelynek köszönhetően igen ellenállóak a fertőtlenítőszerrel szemben (Bichai és társai 2008, Galsi és Bancsiné 2009, Plutzer és Törökné 2012). Pangó vizekben előfordulásuk szintén gyakori, mivel ezek a rendszerek táplálékukban (baktériumokban) is gazdagok egyben. Ugyan alapvetően nem betegségkókozó férgek jellemzőek az ivóvíz rendszerekre, a patogén baktériumok (pl. *Salmonella* sp., *Shigella* sp.), vírusok (pl. Coxsackie vírus, echovírus), egysejtűek bekebelezése révén hozzájárulnak azok terjesztéséhez és védelmet biztosítanak számukra a fertőtlenítéssel szemben is (Bichai és társai 2008, Plutzer és Törökné 2012). Fontos azonban megjegyezni, hogy vízzel terjedő betegséget, amely a férgek által hordozott patogéneknek volt köszönhető mindeközéig nem jelentettek (WHO 2025). A férgek túlélését az is segíti, hogy petéik még a kifejlett egyedeknél is nagyobb ellenállóképességgel bírnak (Galsi és Bancsiné 2009, Tahseen 2012), valamint a kifejlett egyedek kedvezőtlen körülmények közé kerülve hosszú nyugalmi állapotba kerülnek (ún. kriptobiózis), amely során lényegében az élőlények a megvastagodott kültakarójuknak köszönhetően betokozódnak, be-

száradnak, majd ismételt kedvező körülmények közé kerülve az életfolyamatok szinte azonnal újra indulnak (Bufa-Dórr és társai 2023, Tahseen 2012).

Vizsgálataink során kimutattunk egysejtű élőlényeket is a vízmintákból: különböző ostoros és csillós fajokat. A szabadon élő protozoák széles körben elterjedtek vizes környezetben, ezáltal nem meglepő, hogy az ivóvíz előállításához alkalmazott vízbázisokban is megtalálhatók. A férgekhez hasonlóan a pangó vizek, biofilmben gazdag rendszerek kedvező körülményeket teremtenek számukra, a rendelkezésre álló bőséges tápanyag mennyiségének köszönhetően. A fogyasztói pontokon való megjelenésük elsősorban hálózati utószaporodás következménye, de jelezhetnek akut talajvíz eredetű szennyeződést, csőtörést, technológiai problémát is (Plutzer és Törökné 2012, Bufa-Dórr és társai 2023). A protozoák további jellemzője, hogy magas hőmérsékletnek és a fertőtlenítésnek is ellenállnak köszönhetően annak, hogy környezeti stressz hatására cisztaává alakulnak, melyeket különösen nehéz a szűrőkből, biofilmekből eltávolítani. A szabadon élő szervezetekről az is ismert tény, hogy a férgekhez hasonlóan képesek patogén mikrobákat terjesztetni pl. *Legionella sp.*, *Mycobacterium sp.*, *Salmonella sp.*, *Yersinia sp.*, *Shigella sp.* és *Campylobacter sp.* fajok protozoák általi hálózaton tartásról és védelméről korábbi vizsgálatok rendelkezésünkre állnak (Plutzer és Törökné 2012).

Az ízeltlábúak megjelenése az ivóvízhálózatban jelentős mértékű elszennyeződést feltételez: munkánk során több mintavételi ponton mutattunk ki szúnyoglárvákat (*Chironomidae sp.*), amelyek a külső környezetből, jellemzően a víztározók sérülésének köszönhetően juthatnak be a rendszerbe (Bufa-Dórr és társai 2023). Jelen esetben a víztározók fedelének sérülése okozhatta az ízeltlábúak bekerülését a rendszerbe, jelenlétüket a laboratóriumban nemcsak a fogyasztói pontokon, hanem víztározók és víztorny minták esetében is igazoltuk.

A mintavételi pontok tekintetében vizsgálataink során azt tapasztaltuk, hogy tűrhető vízminőség leginkább a tűzcsapok és a közkifolyók esetében voltak megfigyelhetők, a különböző létesítmények pl. iskolák, óvodák, polgármesteri hivatal, víztorony, tárolómedencék stb. esetében 1-1 alkalommal mutattunk ki mikroszkopikus élőlényeket. A mintavételi pontok kiválasztása ezért kulcsfontosságú minden esetben: amennyiben lehetőség van rá, akkor az adott település ivóvíz hálózatát célszerű végig zárt rendszerű fogyasztói pontokon ellenőrizni, kerülve a külső környezet hatásainak kitett tűzcsapokat és közkifolyókat, mivel ezeken a helyeken a szennyeződés gyakran a közvetlen környezetükből származik (5/2023 I.12. Kormányrendelet, Galsi és Bancsiné 2009).

Ha a mikroszkopikus szervezetek csak a fogyasztási ponton mutathatók ki, a hálózat javítása, öblítése, fertőtlenítése, a pangó vizek és a biofilmek megszüntetése szintén a vízszolgáltató feladata, azonban amennyiben a hálózatra menő vizekben is megtalálhatók, akkor technológiai probléma áll a háttérben. A vízkezelés során különböző szűrő rendszereken keresztül halad az ivóvíz a fogyasztók felé, azonban a nem megfelelően karbantartott szűrők és a

nem megfelelően visszamosatott szűrők segítik az élőlények hálózatban tartását és terjesztését (Galsi és Bancsiné 2009, Bufa-Dórr és társai 2023). Ugyanez igaz a lakosság által közkedvelt házi víztisztító berendezésekre is: a nem megfelelően alkalmazott és karbantartott víztisztítók képesek a vezetékes ivóvíz hálózatot elszennyezni (NNGYK 2022). A gyakorlatban alkalmazott kavics- és homokszűrők nem bizonyulnak elég hatékonyak a mikrobák eliminálásában, azonban léteznek korszerű, szűrőtechnikai megoldások pl. nano- és ultraszűrés, amelyek alkalmazása hozzájárul a biológiai szennyezők eltávolításához. Bármely élőlény csoport esetében megállapíthatjuk, hogy a hálózatban történő szaporodásuk megakadályozásához az életfeltételeik korlátozása szükséges, így a szerves anyagok mennyiségének csökkentése, pangó vizek megszüntetése, biofilmek eltávolítása, megfelelő vízkezelési beavatkozások, üledékképződés kialakulásának megakadályozása a célravezető megoldások az ivóvíz minőségének javításához (Bufa-Dórr és társai 2023).

A vízkezelés egyik legkritikusabb pontja a fertőtlenítés, amely jellemzően klórvegyületekkel történik. A Kormányrendelet szerint olyan mennyiségű fertőtlenítőszer adagolható a rendszerbe, amely fenntartja az ivóvíz biológiai biztonságát, azonban a fertőtlenítési melléktermékek a fogyasztót nem veszélyeztetik (5/2023 I.12. Kormányrendelet). Annak ellenére, hogy egyre elterjedtebb alternatív lehetőségek is rendelkezésre állnak (pl. az ózon és az UV-kezelés), ezek lokális megoldást jelentenek, az egész hálózaton nem alkalmazható beavatkozások. A mikroszkopikus szervezetek sajnos a fertőtlenítőszerrel szemben igencsak ellenállóak, ezért a kimutatott élőlény csoporttól függően fontos a probléma lokalizálása és célzott intézkedések alkalmazása. Például a biofilm eltávolítását szolgáló szivacsos mosatást, célszerű az egész hálózaton elvégezni (Galsi és Bancsiné 2009), különösen egy havária helyzetben a visszafertőződés elkerülése érdekében.

A laboratóriumunk által kimutatott szervezetek alapján a következő következtetéseket tudtuk levonni: a vizsgált település ivóvíz hálózatában bekövetkezett vízminőség romlás kettős problémára vezethető vissza:

1. az egysejtűek és férgek elszaporodását okozhatta a településen is divatos, nem megfelelően karbantartott házi víztisztító berendezések alkalmazása. Ennek felderítése azonban szinte lehetetlen, így a probléma megoldására fókuszálva többszöri hálózatöblítés és fertőtlenítés történt a vízszolgáltató által. Feltehetően a hálózatöblítéseknek volt köszönhető az, hogy a beavatkozásokat követően sztochasztikusan jelentek meg a mikroszkopikus szervezetek, hiszen a leváló élőbevonat részek egy mosatás során a későbbiekben újra problémát okoznak. A mosatások után ezért fontos az alapos átöblítés, a szűrők eltávolítása, amelyekkel a visszafertőződés elkerülhető (Galsi és Bancsiné 2009). Ezt alátámasztja, hogy a szűrők eltávolítását követően nem mutattunk ki élőlényeket a vizsgálataink során.

2. a szúnyoglárvák megjelenése pedig, különösen, hogy a víztározókban is kimutatható volt, a víztározók sérülésére engednek következtetni, amely révén az ízeltlábúak a külső környezetből kerültek a víztározó medencékbe, majd jelentek meg a fogyasztói pontokon is.

Összességében tehát az ivóvízhálózat sérülése és a nem megfelelően karbantartott lakossági ivóvíztisztító berendezések együttesen okozhatták a település vízszennyezését.

A mikroszkópos biológiai vizsgálatok fontosságát egyéb hazai esettanulmányok is alátámasztják és bemutatják azt, hogy milyen területi jellegzetességek találhatók Magyarországon: Galsi és Bancsiné 657 ivóvíz minta vizsgálatát végezte el, 160 magyarországi településről – a vizsgált minták 29%-ában mutattak ki parametrikus értéket meghaladó mikroszkopikus élőlényeket. Az összes vizsgált minta közel felében (48%) találták meg a *Nematoda* képviselőit, továbbá *Bdelloidea* sp. (24%) és *Lecane* sp. kerekessérgek (15%), csillósok (6%) és házas amőbák (5%) okozták a vízminták kifogásoltóságát (Galsi és Bancsiné 2009). Plutzer és Törökné 913 ivóvíz mintát vizsgált hazánk különböző területeiről: a minták 30%-a volt kifogásolt minőségű a mikroszkopikus élőlények miatt. Az ivóvizekben nagyrészt fonálférgeket és kerekessérgeket (58%), protozoákat (41%), vaskbaktériumokat (16%), kénbaktériumokat (13%), gombákat (11%) és algákat (5%) mutattak ki. A leggyakrabban előforduló kerekessérgek a *Chaetonotus* sp., *Lecane* sp., *Philodina* sp., és *Bdelloidea* sp. voltak (Plutzer és Törökné 2012).

Jelen esettanulmányból és a korábbi hazai felmérésekből levonhatjuk azt a következtetést, hogy vannak olyan élőlények, amelyek jellemzően előfordulnak a hazai vizekben, megjelenésük azonban nem állandó, kimutatásuk függ a mintavételi pontoktól, valamint az alkalmazott vízkezelési eljárás sikerességétől. Az okok felderítésével és a probléma megoldásával ezek az élőlények eltávolíthatók a vízrendszerekből vagy legalábbis számuk a Kormányrendeletben megfogalmazott parametrikus értékeken belül tartható.

ÖSSZEFOGLALÁS

Hazánkban az ivóvíz minőségének ellenőrzése a mikroszkópos biológiai vizsgálatokat is magukban foglalják, segítségükkel a hálózatban felmerülő problémákra gyorsan következtethetünk. Munkánk célja egy magyarországi település vízszennyezésének bemutatása volt az általunk végzett laboratóriumi vizsgálatok alapján, továbbá korábbi esettanulmányok segítségével a mikroszkópos biológiai vizsgálatok fontosságának alátámasztása. Az eredmények alapján megállapítható, hogy a mikroszkópos biológiai vizsgálatokkal jól jellemezhető a vízbázisok/termelő kutak, víztározók és a vízhálózat állapota, hibái. Az indikátor élőlényeket felhasználva ellenőrizhetjük a vízkezelés hatékonyságát, a hálózati utószaporodást, a vízben lejátszódó folyamatokat, másodlagos szennyeződések. A kimutatott élőlény csoportok nemcsak biológiai problémát

jeleznek, hanem a víz minőségét meghatározó egyéb komponenseire is felhívják a figyelmet, így összességében megállapítható, hogy a mikroszkópos biológiai vizsgálatok nélkülözhetetlenek az ivóvizek minősítéséhez.

IRODALOMJEGYZÉK

5/2023 I.12. Kormányrendelet (2023). 5/2023. (I. 12.) Korm. rendelet az ivóvíz minőségi követelményeiről és az ellenőrzés rendjéről.

Bichai, F., Payment, P., Barbeau, B., (2008). Protection of waterborne pathogens by higher organisms in drinking water: a review. Can J. Microbiol. 54, pp. 509-524. <https://doi.org/10.1139/W08-039>

Bichai, F., Barbeau, B., Payment, P. (2009). Protection against UV disinfection of E. coli bacteria and B. subtilis spores ingested by C. elegans nematodes. Water Res. 43, pp. 3397-3406.

<https://doi.org/10.1016/j.watres.2009.05.009>

Bufa-Dórr, Zs., Sebestyén, Á., Izsák, B., Schmoll, O., Pándics, T., Vargha, M. (2023). Dual system of water safety plan auditing in Hungary: benefits and lessons learnt. J. Water & Health (2023) 21 (11): pp. 1663-1675. <https://doi.org/10.2166/wh.2023.130>

Galsi, T., Bancsiné, T.M. (2009). A mikroszkópos biológiai vizsgálatok szerepe és beépítése az ivóvíztermelés minőségbiztosítási rendszerébe. https://www.muszerol-dal.hu/measurenotes/ivoviz_mikroszkopos_vizs.pdf

MSZ EN ISO 19458:2007 Vízminőség. Mintavétel mikrobiológiai vizsgálatokhoz

MSZ 448-36:1985 Ivóvízvizsgálat. Mikroszkopikus biológiai vizsgálat

Nemzeti Népegészségügyi Központ (NNGYK) (2022). Tájékoztató víztisztító berendezések alkalmazásával kapcsolatban. <https://www.nnk.gov.hu/index.php/koze-geszsegugyi-foosztaly/telepules-egeszsegugyi-klimavaltozas-es-kornyezeti-egeszsegghatas-elemzo-osztaly/temaink/ivoviz/1368-tajekoztatas-viztisztito-berendezesek-alkalmazasaval-kapcsolatban.html>

Plutzer, J., Törökné, A. (2012). Free-living microscopic organisms as indicators of changes in drinking-water quality. Water pract. technol., 7(3). <https://doi.org/10.2166/wpt.2012.050>

Tahseen, Q. (2012). Nematodes in aquatic environments: adaptations and survival strategies. Biodivers. J. 3(1), pp. 13-40.

WHO (2025). Free living nematodes. Background document for the WHO guidelines for drinking-water quality.

SZERZŐ



LIPPAI ANETT okleveles biológus, MSc diplomáját az ELTE Mikrobiológiai Tanszékén szerezte 2012-ben. Phd fokozatot 2023-ban szerzett az ELTE Környezettudományi Doktori Iskola, Környezetbiológia programjában. Kutatási témája: Magyarországi gyógyfürdők mikrobiológiai vizsgálata volt. Jelenleg a Biokör Technológiai és Környezetvédelmi Kft. mikrobiológiai és ökotoxikológiai laboratóriumvezetője, ahol környezeti mikrobiológiai és ökotoxikológiai vizsgálatokat végez, koordinálja a vizsgálólaboratórium tevékenységét. 2015 óta tagja a Magyar Hidrológiai Társaságnak.