

Javaslat az ivóvízzel érintkező polimerek migrációjának és biomassza-képző tulajdonságainak vizsgálatára

Az ivóvízrendszerben alkalmazott műanyagokból és elasztomerekből a vízbe vándorolható anyagok vizsgálatára az EU-ban egységes szabványt alkalmaznak. Nincsen azonban ilyen szabvány annak meghatározására, hogy a polimerekből kioldódó vegyi anyagok milyen mértékben képesek a baktériumok szaporodását, a biomassza képződését segíteni. Egy svájci intézmény modulszerűen kivitelezhető vizsgálati módszert fejlesztett ki a migráció és a biomassza-képződés párhuzamos vizsgálására, amelyet közös európai alkalmazásra ajánl.

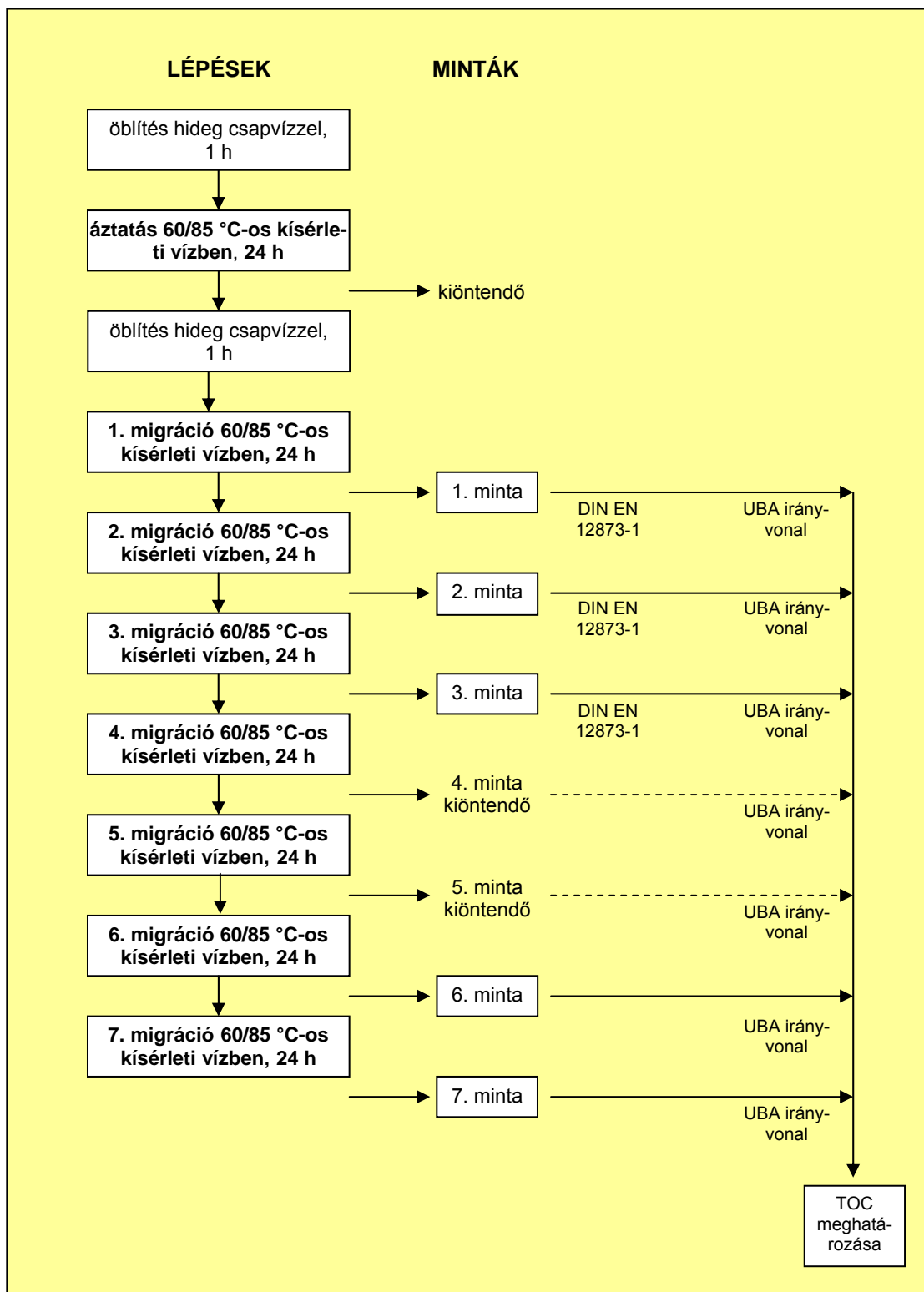
Tárgyszavak: ivóvízellátás; műanyagok alkalmazása; egészségvédelem; migráció; biomassza-képződés; mikroorganizmusok; vizsgálati módszerek, Svájc.

Az ivóvízellátásában nem kerülhető el a műanyagok alkalmazása. Az ivóvízzel közvetlenül érintkező műanyagoktól nem csak a formaállóságot, a megfelelő keménységet, rugalmasságot, mechanikai szilárdságot, hőállóságot, viszonylag olcsó árat várják el, hanem azt is, hogy belőlük ne oldódjanak (migráljanak) a vízbe kis molekula-tömegű vegyi anyagok (pl. stabilizátorok, lágyítók, viaszok és más adalékok), ami amellet, hogy rontja a víz illatát és ízét, az emberi egészségre is ártalmas lehet, továbbá hogy a műanyagok ne segítsék elő mikroorganizmusok elszaporodását sem a műanyagok felületén lepedék formájában, sem az áramló vízben planktonként. Az utóbbi két feltétel megvalósulásának gyors és egyértelmű vizsgálatához egységes vizsgálati eljárásokra lenne szükség, hogy kiszűrhetők legyenek az élelmiszerekkel és az ivóvízzel közvetlenül érintkező műanyagok közül az erre a célra alkalmatlanok.

Svájcban az élelmiszerekre és az ivóvízre is a szükségleti cikkekkel foglalkozó *SR 817.023.21.* számú törvény vonatkozik. Mivel ebben nincsenek előírások az ivóvízzel érintkező anyagok vizsgálatára, a német szabványokat – a német víz- és gázügyi egyesülés (**DVGW, Deutscher Verein des Gas und Wasserfaches**) *W270-es* előírását (*DVGW Arbeitsblatt W270*) és a környezetvédelmi hivatal (**UBA, Umweltbundesamt**) ivóvízrendszerben alkalmazott műanyagokra vonatkozó irányelveit (*KTW, Kunststoffe im Trinkwasser – Richtlinie*) tekintik irányadónak.

Az európai országokban az ivóvízzel érintkező műanyagok alkalmazását egyebek mellett annak vizsgálata alapján engedélyezik, hogy

- milyen mértékben migrálnak a műanyagból szerves szénvegyületek az vízbe,
- milyen mértékben telepednek meg vagy szaporodnak el mikroorganizmusok a műanyagokon (biomassza-képződés lehetősége).



1. ábra A migrációs vizsgálatok menete 60 és 85 °C-on és a TOC azt követő meghatározása a DIN EN 12873-1 szabvány és az UBA KTW-irányvonala szerint. A migráció révén a vízbe kerülő speciális vegyületeket a DIN EN 12873-1 szabvány szerint az 1., 2. és 3. mintában, a KTW irányvonal szerint az 1., 6. és 7. mintában kell elemezni

A migrációt egységesen a *DIN EN 12873-1 szabvány* szerint vizsgálják, általában három (Németországban hét) migrációs periódus (fokozat) után. Meghatározzák a víz ízének és szagának esetleges elváltozását, és mérik a kioldódott szerves vegyületek mennyiségét, amelyet „összes szerves szén” (*TOC, total organic carbon, a jelen lévő szerves vegyületek összes széntartalma*) formájában fejeznek ki (1. ábra).

A biomassa-képződés lehetőségének vizsgálatára Európában jelenleg nincs egységes eljárás. Az egyes országokban alkalmazott eljárások és nemzeti szabványok mind elvükben, mind pedig kivitelezésükben erősen eltérnek egymástól, eredményeik ezért nem hasonlíthatók össze (1. táblázat).

1. táblázat

Különböző európai országokban alkalmazott eljárások az ivóvízzel érintkező műanyagok mikroorganizmusok szaporodására gyakorolt hatásának vizsgálatára

Jellemző	MDOD (Egyesült Királyság)	W270 (Németország)	BPP (Hollandia)	Önorm B5018 (Ausztria)
Inkubációs hőmérséklet, °C	30 ± 1	környezeti hőmérséklet < 6	30 ± 1	22 ± 2
Próbatest	150 cm ² -es lap	800 cm ² -es lap	50 cm ² -es lap	1257 cm ² -es cső
Próbatestfelület/-vítérfogat aránya	0,15	– (folyamatosan áramló víz)	0,16	1
Vizsgálati víz	klórmentes ivóvíz	klórmentes ivóvíz	homokon lassan átszűrt víz	előírt minőségű ivóvíz
Inokulum (oltóanyag)	folyóvíz	nincs	folyóvíz	nincs
Vízcsere	2x hetente	20 l/h áramló víz	1x hetente	1x hetente
Időtartam, hét	7	12	16	12
A mikroorganizmusok növekedését jellemző paraméter	oxigén-fogyasztás (MDOD)	a felületi bevonat (lepedék) térfogata	ATP-koncentráció	ATP + KBE
Csíráképződés a próbatest felületén	nem mérik közvetlenül	lepedék térfogata	sejtfeltárás, ATP-konc.	sejtfeltárás, ATP konc.
Csíráképződés a vizsgálati vízben	oxigénfogyasztás alapján (MDOD)	nem mérik	ATP-koncentráció	KBE

MDOD = mean dissolved oxygen difference (a vízben oldott oxigén felhasznált aránya),

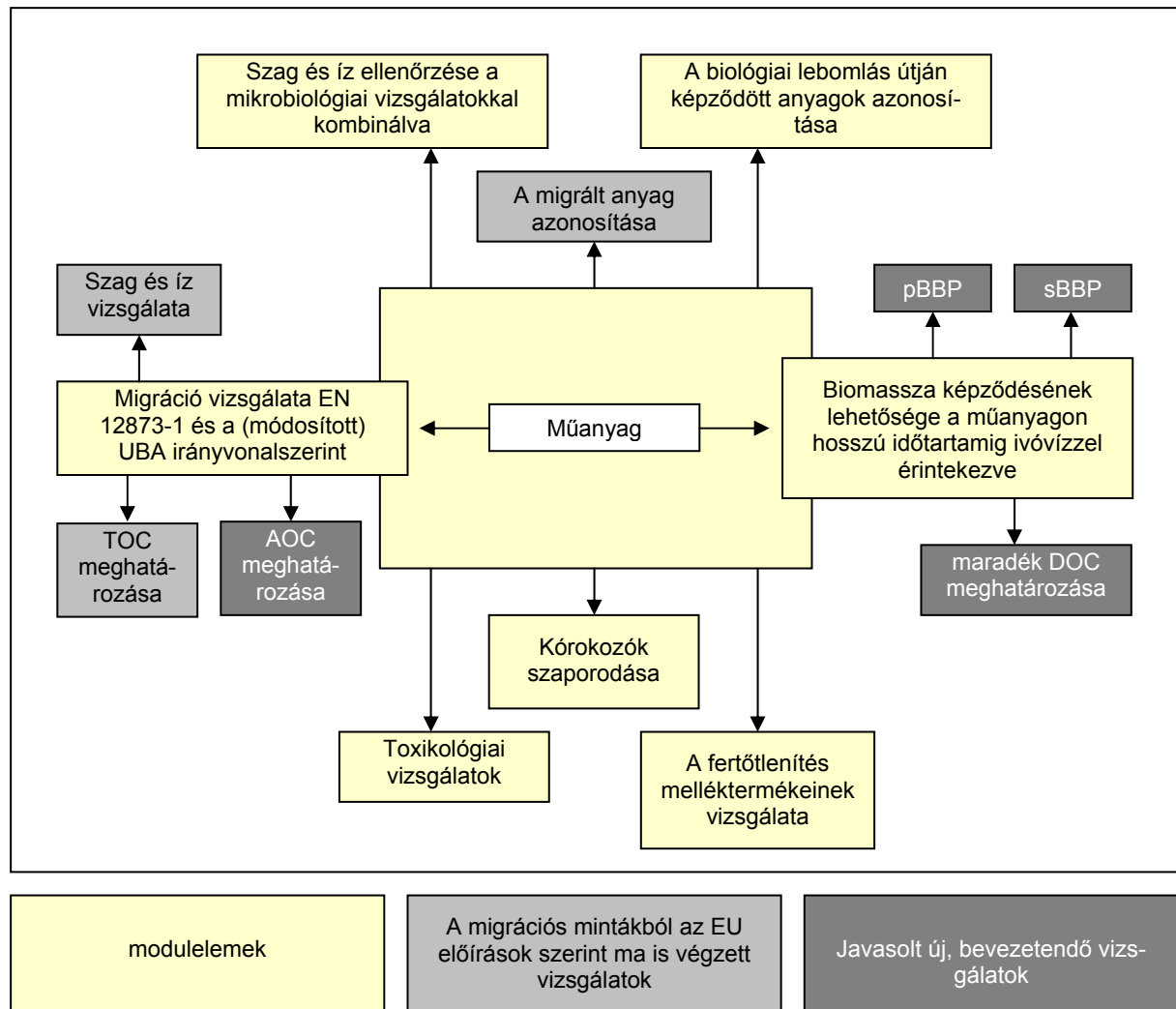
BPP = biomass production potential (biomassa-képző potenciál),

ATP = adenzin-trifoszfát

KBE = Koloniebildende Einheiten (kolóniaképző egységek).

Svájcban általában nem adnak fertőtlenítőszer az ivóvízhez (Németországban, Hollandiában és Ausztriában sem), ezért különösen fontos, hogy az elosztórendszerben alkalmazott műanyagokból ne kerüljön a vízbe a mikroorganizmusok szaporodását

segítő tápanyag. A svájci szövetségi vízügyi tudományos és technológiai kutatóintézet (Eawag, német nevén **Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz**, angol nevén **Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology**) ezért kifejlesztette a „BioMig”-nek elnevezett, vizsgálati módszerekből (modulokból) álló csomagot, amelynek segítségével a DIN EN 12873 szabványra támaszkodó migrációs vizsgálattal párhuzamosan elvégezhető a kérdéses műanyag biomasszaképző hajlamának vizsgálata is (2. ábra).



2. ábra Javaslat a migráció és a biomassza-képződés modulelemekből felépített kombinált vizsgálati rendszerének felépítésére és néhány új paraméter meghatározására (TOC = total organic carbon, összes szerves szén; AOC = assimilable organic carbon, a mikroorganizmusok számára hasznosítható szerves szén; maradék DOC = dissolved organic carbon, a kísérleti vízben visszamaradó oldott szerves anyagok széntartalma; pBBP = plaktonisches Biofilmbildungspotential, planktonos biofilmképző potenciál; sBBP = sessiles Biofilmbildungspotential, szesszilis biofilmképző potenciál)

A *DIN EN 12873* szabványban előírt *TOC* vizsgálatát kiegészítik az *AOC* (*assimilable organic carbon*), a mikroorganizmusok számára hasznosítható szerves vegyületek széntartalma meghatározásával. Emellett a migrált anyagokat tartalmazó vízben mérik a *planktonos állapotú (vízben lebegő)*, továbbá a műanyag felületéhez tapadó *szesszilis (helyhez kötött) mikroorganizmusok* szaporodását. Az előbbiek adnak a műanyag *pBBP (planktonisches Biomassebildungspotential, planktonos biomassaképző potenciál)*, az utóbbiak a műanyag *sBBP (sessiles Biomassebildungspotential, szesszilis biomassaképző potenciál)* paramétereit.

A kombinált *BioMig* eljárással 4 hét alatt meg lehet határozni egy műanyagból kioldódó szerves anyagok mennyiségét (*TOC* értékét) és mikrobiológiai tulajdonságait. A kétféle tulajdonságegyüttes vizsgálatait párhuzamosan lehet végezni. A modulokból álló felépítés lehetővé teszi az újabb vizsgálatok elvégzését is. Mindkét vizsgálat sorozatban lehetőség van arra, hogy a vízben jelen lévő vegyületeket meghatározzák a biológiai lebontás előtt és után. A rendszer egyszerű felépítése következtében bármely jól felszerelt analitikai laboratóriumban elvégezhető a vizsgálatok.

A mikroorganizmusok szaporodásának mennyiségi meghatározására alapvetően az *áramlási citometriát (flow cytometry, Durchflusssytometrie)* alkalmazzák, amellyel a folyadékkal nagy sebességgel áramló sejteket (cellákat) fényforrás vagy villamos téren áthaladás közben számlálják. Ez a megbízható és nagy pontosságú eljárás helyettesíthető indirekt módszerrel, pl. a képződő *ATP (adenozin-trifoszfát)* meghatározásával.

Az **Eawag**-ban négy polimert választottak ki a felvázolt *BioMig* eljárás kipróbálására. Az *A* és *B* műanyagot a vezetékrendszerben alkalmazzák, mindkettő kielégíti az **UBA** ivóvízzel érintkező műanyagokra (*KWT*), továbbá a **DVGW** és az **SVGW (Schweizerischer Verein des Gas- und Wasserfach, Svájci gáz- és vízügyi egyesülés)** követelményeit. Az *C* és *D* anyag elasztomer, az előbbi tömítésekhez alkalmazzák, 2% lágyítót tartalmaz és ugyancsak kielégíti a fenti követelményeket. Az *D* elasztomerben 20% a lágyító, ezt csak szennyvízvezetékbe építik be. Bevontak a vizsgálatokba negatív kontrollmintaként üvegből készített próbatesteket, amelyek eredményeit „hát-térérték”-ként használták fel, és ezt levonták a polimereken mért *TOC* és *AOC* értékekből. Pozitív mintaként lágy PVC-t vizsgáltak, amelyet az ivóvízrendszerben egyáltalán nem alkalmaznak.

Migrációs vizsgálatok

A migrációs vizsgálatokat az 1. ábrán látható eljárás szerint végezték el, de a *TOC* mellett a minták *AOC*-tartalmát is meghatározták. Az 1–7. migrációs vízminta mellett mérték egy pasztörizált minta (0. minta) jellemzőit is.

A migrációs vizsgálatban nincsen szigorúan előírt próbatest; lapok, csövek, tömítőgyűrűk is felhasználhatók próbatestként. Az összehasonlíthatóság érdekében a vizsgálatokban valamennyi kísérleti anyagból 200 cm² felületű lapokat alkalmaztak. Ezeket 1 óra hosszat szobahőmérsékletű nanopurvízben (ionmentes víz, amely kiegészítő

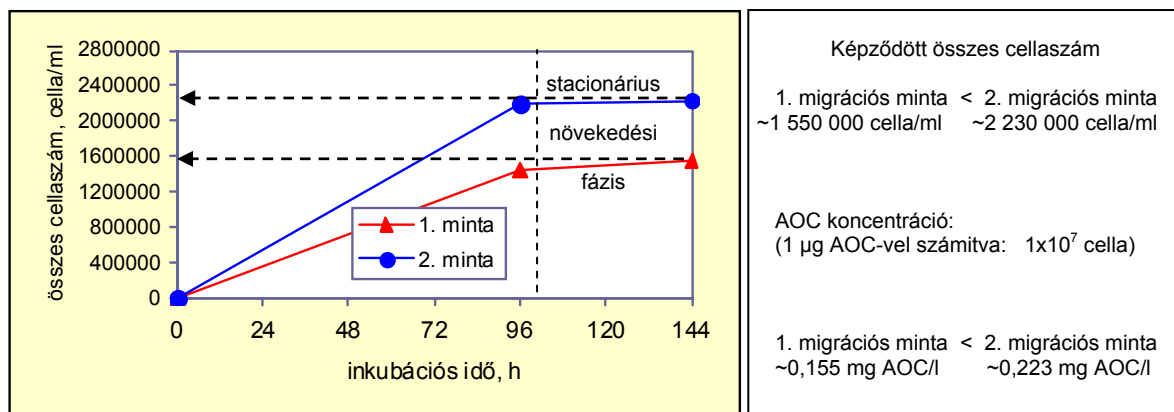
szűrés után 1 nm-nél nagyobb részecskéket nem tartalmazhat) tartották, majd 10 percig ultrahangos fürdőben kezelték és nanopurvízzel ismét leöblítették.

A pasztörizálás azonossága érdekében a polimer és az üveg próbatesteket egyszerre kezelték. A 100 ml-es lombikba helyezett próbatestre 100 ml nanopurvizet öntöttek [O/V (a próbatestfelület és a víz aránya) = 2] és 60 °C-on 24 óra hosszat hőkezelték. Ezután a pasztörizált vizet kiöntötték, a próbatestet nanopurvízzel leöblítették, és ezeket a próbatesteket használták a 0. jelű migrációs próbákhoz.

A többi előkezelt próbatestre üvegedényben 100 ml 0,22 µm pórusméretű szűrőn átszűrt *Evian*-vizet (a francia Alpokban PET palackokban forgalmazott szénszegény ásványvíz, TOC-tartalma kb. 0,15 mg/l) öntöttek, és 60 °C-on 24 óra hosszat inkubálták. 24 óránként ugyanazzal a próbatesttel és friss *Evian*-vízzel hatszor megismételték az eljárást. Így 0-7 számú migrációs mintát kaptak. Kontrollvizsgálatok igazolták, hogy az egyes migrációs fokozatokban a mikroorganizmusok szaporodása nem indult meg.

TOC és AOC meghatározása

A TOC-koncentráció meghatározásához a mintákban lévő szerves vegyületek széntartalmát kémiai oxidációval szén-dioxiddá alakították. A CO₂ mennyiségét *EN 1484 szabvány* szerint infravörös detektorral mérték.

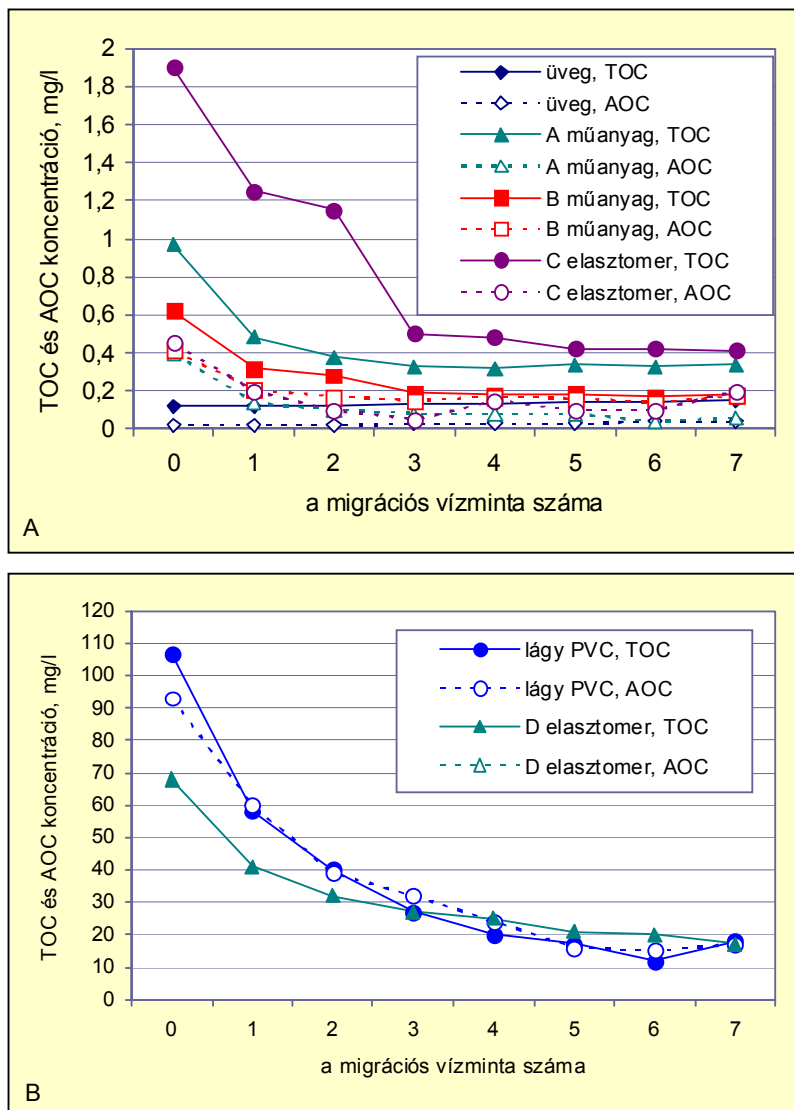


3. ábra A módosított AOC-meghatározás és számítás lefutásának menete két migrációs vízmintában az összes cellaszámból kiindulva Hammes és Egli módszere szerint

Az AOC elemzését *Hammes* és *Egli* migrációs eljárásához hozzáigazított módszerrel végezték. Egy üvegedénybe 22 ml migrációs mintát töltöttek, ehhez 30 ml különböző ásványi anyagokat tartalmazó, hasznosítható szén nélküli törzsoldatot, majd 100 µl *Evian*-vizet adtak. Az *Evian* oldatban lévő mikroorganizmusok (kb. 1x10⁵ cella/ml, a beoltott mintában a sejtkoncentráció kb. 1x10³) számára szénforrás csak a migrációs mintában volt; az *Evian*-víz P és N-tartalma a mikroorganizmusok számára

kb. 100 µg/l AOC hasznosítását tette lehetővé. Az üvegedényt 6 napig (144 óra hossz-
 szat) inkubálják. 120 és 144 óra után mérik a teljes cellaszámot áramlásos citometriás
 eljárással annak ellenőrzésére, hogy a cellanövekedés elérte-e a stacionárius állapotot
 (3. ábra). Az AOC koncentrációt a következő képlettel számítják ki:

$$AOC(\mu\text{g}/l) = \frac{\text{összescellaszám} / l}{1 \times 10^7 \text{ cella} / \mu\text{gAOC}}$$



4. ábra
 A különböző anyagok mig-
 rációs vízmintáiban mért
 TOC és AOC értékek.
 (A kép: üveg, A és B mű-
 anyag, C elasztomer; B
 kép: lágy PVC, D elasz-
 tomer, amelynél AOC = 0,
 ezért görbéje az ábrán nem
 jelenik meg). Kísérleti kör-
 ülmények: migráció 60
 °C-on 24 h, O/V = 2/cm.

A migrációs vizsgálatok eredményei

Valamennyi vizsgált polimer migrációja hasonló lefutást mutatott: a kioldódott
 szerves anyagok koncentrációja az egymást követő migrációs fokozatokban folyama-

tosan csökkent, majd beállt egy konstans „platóértékre” (4. ábra). A negatív kontroll-mintaként vizsgált üveg TOC koncentrációja konstans 0,15 mg/l, AOC értéke 0,05 mg/l volt (4/A ábra). Ezeket az értékeket „háttérértéknek” tekintve a későbbiekben levonták a pozitív minta és a polimerek TOC és AOC értékeiből. A pozitív kontroll-mintaként kiválasztott lágy PVC 1. migrációs mintájában a TOC 60 mg/l, a 7. mintában már csak 10 mg/l volt. A kioldódott szerves vegyületeket a mikroorganizmusok gyakorlatilag teljes egészében le tudták bontani, ezért a TOC és AOC között csak nagyon csekély különbséget mértek (4/B ábra).

Az A és B műanyag vizsgálata alatt már a 2.-3. migrációs fokozat után kialakult a konstans TOC, ill. AOC koncentráció, de míg az A műanyagból származó szerves vegyületeknek csak 15-30%-át használták fel a mikroorganizmusok, a B műanyagból származó szerves vegyületek széntartalmának 90%-át építették be szervezetükbe.

A két elasztomer is nagyon eltérően viselkedett. A 2% lágyítót tartalmazó C elasztomer TOC koncentrációja a 7. migrációs próba után mindössze 0,5 mg/l volt, a 20% lágyítót tartalmazó D elasztomeré 20 mg/l. De míg a C elasztomerből származó vegyületek 10-20%-át felemésztették a mikroorganizmusok, a D elasztomer migrációs vizében a baktériumok növekedésének nyomát sem tudták kimutatni, ami arra utal, hogy az ebből az elasztomerből származó szerves vegyületek a mikroorganizmusok számára hozzáférhetetlenek (AOC = 0).

A kísérletek során azt is vizsgálták, hogy hogyan befolyásolja a próbatest felületének (O) és a migrációs víz térfogatának (V) aránya TOC és AOC értékét. A B műanyaggal végzett kísérletek során kiderült, $O/V = 0,5, 1,0, 1,5, 2,0 \text{ cm}^{-1}$ arány mellett ezek az értékek arányosan növekednek, ezért az érdemi méréseket 2 cm^{-1} O/V aránnyal végezték.

A biomasszaképző potenciál vizsgálata

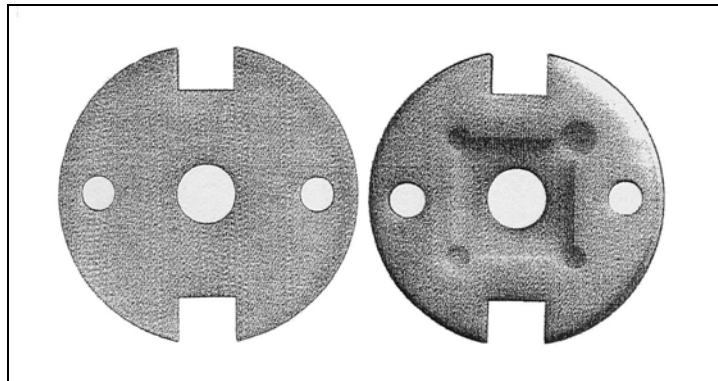
Az **Eawag** a *biomassza-képző potenciál* (BBP, Biomassebildungspotenzial) méréséhez az 1. táblázatban is szereplő hollandiai BPP (*biomass production potential*) eljárásból indultak ki, amelyet hozzáigazítottak a migrációs vizsgálatok AOC meghatározásához. Ezért ugyanazt az (*Evian*) ásványvizet, ebben ugyanazt a természetes baktériumflórát alkalmazták. Ilyen módon könnyebb összehasonlítani a migrációs vizsgálatok és a BBP vizsgálatok eredményeit.

A BBP vizsgálatok alkalmasak a vizes közegben jelentkező ún. *planktonos biomassza-képző potenciál* (pBBP) és a felületen megtapadó biofilm, az ún. *szesszilis biomassza-képző potenciál* (sBBP) meghatározására.

A pBBP, az sBBP és a maradék DOC mérése

A felületen megtapadó szesszilis biofilm kialakításához és vizsgálatához az 5. ábrán látható, inert poli(tetrafluor-etilén)-ből (PTFE, Teflon) kimunkált 25,3 mm átmérőjű próbatesttartó eszközt használják. A jobb oldali korong közepén látható négyzet alakú mélyedésbe fektetik bele az 1x1 cm-es próbatestet, amelyet a bal oldali

fedőkoronggal fognak le. Az *Evian* ásványvíz a korong közepén lévő 5 mm átmérőjű lyuknál érintkezik a próbatartó felületének alsó és felső részével.



5. ábra A szesszilis biofilm kialakításához alkalmazott PTFE próbatartó eszköz

Az sBBP meghatározására szolgáló próbatartó korongokat a pBBP meghatározására szánt nagyobb méretű próbatartókkal együtt üvegedénybe helyezik úgy, hogy a próbatartók vízzel érintkező összfelülete 100 cm^2 legyen. 100 ml $0,22 \mu\text{m}$ pórusátmérőjű szűrőn átszűrt *Evian* vizet öntenek rá, ehhez $300 \mu\text{l}$ ásványi oldatot és 1 ml kezeletlen *Evian* vizet adnak, majd 4 hétig $30 \text{ }^\circ\text{C}$ -on $90/\text{min}$ fordulatszámmal keverve inkubálják. Ezután áramlásos citometriával mérik a vizes fázisban lévő planktonos cellák számát, a filmképző cellák számát és a vízben még meglévő oldott szerves anyagok széntartalmát (maradék-DOC). A cellaszámot a próbatartók felületegységére – pBBP számításakor a teljes felületet, sBBP számításakor a próbatartóban lévő minták szabad felületét figyelembe véve – vetítik.

A pBBP meghatározásához a vizes közegből 1 ml -t különítenek el. Az sBBP meghatározásához le kell választani a próbatartóról a biofilmet, ami nagy ügyességet és gyakorlatot igényel. A próbatartó négyzet sarkainál lévő bemélyedések arra szolgálnak, hogy a biofilmmel borított próbatartót csipesszel kiemeljék a film megsértése nélkül. A filmet az alsó és a felső felületről ultrahangos szippantócsővel választják le.

A DOC-t 40 ml -es vízmintából, $0,22 \mu\text{m}$ pórusméretű szűrőn végzett átszűrés után határozzák meg.

A pBBP, sPPB és a DOC vizsgálat elvégzése az áramlásos citometriás mérést is beleértve egy-egy mintán kb.30 percet vesz igénybe.

A minták biomasza-képző potenciálja

A lágy PVC kivételével a migrációs vizsgálatokban alkalmazott valamennyi anyag biomasza-képző potenciálját vizsgálták. Az eredményeket a 2. táblázat foglalja össze. A legkisebb értékeket az üveg adta, ennek pBBP és sBBP értéke azonos, a kettő együtt (BPP) $7,59 \times 10^5 \text{ cella/cm}^2$ és a vízben visszamaradó szerves szén (DOC) is mindössze $0,3 \text{ mg/l}$ volt, bár valamivel magasabb, mint a migrációs vizsgálatokban, ami valószínűleg az utóbbiak rövidebb inkubációs idejével magyarázható.

A vizsgált minták biomasszaképző potenciálja és DOP értéke

Vizsgált minta	pBBP, cella/cm ²	sBBP, cella/cm ²	BPP, cella/cm ²	DOC, mg/l
Üveg	3,80 x 10 ⁵	3,79 x 10 ⁵	7,59 x 10 ⁵	0,27
A műanyag	4 x 10 ⁶	1,38 x 10 ⁷	1,78 x 10 ⁷	0,60
B műanyag	3,7 x 10 ⁶	8,5 x 10 ⁶	1,22 x 10 ⁷	0,45
C elasztomer	4 x 10 ⁷	3,02 x 10 ⁷	7,02 x 10 ⁷	7,2
D elasztomer	2 x 10 ⁷	9,4 x 10 ⁷	1,14 x 10 ⁸	24 mg/l

pBBP + sBBP = BPP.

Az *A* és *B* műanyag biomassza-képző potenciálja szinkronban volt a migrációs eredményekkel. Az *A* műanyag jelenlétében valamivel több biomassza képződött, mint a *B* műanyag esetében. Ezeknél az *sBBP* értéke lényegesen meghaladta a *pBBP* értékét.

A migrációs vizsgálatokban mind a kevés lágyítót tartalmazó *C*, mind pedig az erősen lágyított *D* elasztomer nagyon mérsékelt csíráképző hajlamot mutatott. A biomassza-képződés azonban a *C*, de különösen a *D* elasztomer jelenlétében igen erőteljes volt, emellett nagyon jelentős nem hasznosítható szén is maradt az oldatban. A *C* elasztomer planktonos és szesszilis biomassza-képzése közelítőleg azonosnak bizonyult, amit felületi adottságainak tulajdonítanak. Meglepő, hogy a *D* elasztomeren, amely a migrációs vizsgálatokban teljesen elnyomta a mikroorganizmusok szaporodását, a biomassza-képződés vizsgálatakor vastag biofilm alakult ki.

Összefoglalás és kilátások

A *BioMig* eljárás fejlesztése alatt bebizonyosodott, hogy a moduláris rendszer a kísérletek széles körű lehetőségét nyitja meg. Általa különböző körülmények között hozhatók létre planktonos és szesszilis biomasszafázisok, amelyeken mikroszkóp alatt és a felvázolt módszerekkel tanulmányozható a biofilmek képződése, esetleg a fertőtlenítőszer hatása. A *BioMig* módszercsomag alkalmas lehet bevonóanyagok, pl. epoxigyanták, lakkok, festékek vagy a nanotechnológia új termékeinek vizsgálatára is.

A legközelebbi feladat a *BioMig* eljárás szabványosítása lehetne. Ennek keretében független laboratóriumok, majd több laboratórium körvizsgálatban tesztelhetné az eljárást, amelyen végre lehetne hajtani a szükséges finomításokat. Az Eawag más ásványvizek természetes baktériumtörzseivel és tenyésztett tiszta törzsekkel is folytatja a kutatást. A kutatók arra törekcsenek, hogy a *BioMig* eljárás Svájcban szabványos eljárássá váljék.

Összeállította: Pál Károlyné

Kötsch, S.: Beurteilung von Kunststoffen in Kontakt mit Trinkwasser. = Gas, Wasser, Abwasser, 90. k. 9. sz. 2010. p. 797–810.

Egli, T.; Hammes, F.: Neue Methoden für die Wasseranalytik. = Gas, Wasser, Abwasser, 90. k. 4. sz. 2010. p. 315–324.

HÍR

Műanyag hulladékok újrahasznosítása

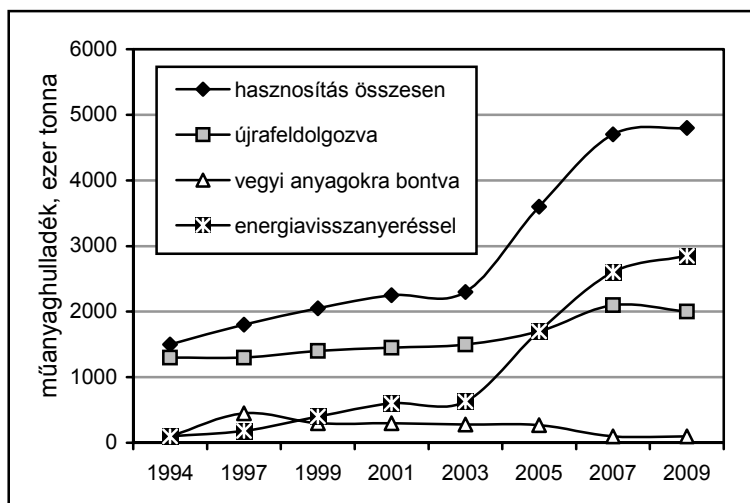
A „Műanyaggyártás, feldolgozás és felhasználás Németországban; 2009” című tanulmány hivatalos statisztikai adatokra és intézményi elemzésekre támaszkodva ad tájékoztatást a műanyagok újrahasznosításának 1994 és 2009 között megfigyelt eredményeiről.

Az ismét feldolgozott (reciklált) hulladékok mennyisége 1994 és 2009 között 65%-kal, évente átlagosan 3,2%-kal 1,3 M tonnáról 2,1 M tonnára nőtt, ezen belül 2007 és 2009 között enyhén mérséklődött, mivel a feldolgozás során kevesebb hulladék jelentkezett. Vegyi alapanyag formájában 1994-ben mintegy 10-20 ezer tonnát, 1997 és 2005 között évente átlagosan közel 300 ezer tonnát, ezt követően 2009-ben már csak 50 ezer tonnát hasznosítottak. Az 1994-ben még jelentéktelen energetikai célú felhasználás a következő 15 évben 2,8 M tonnára nőtt (1. ábra).

A 2009-ről tájékoztató adatok a válság hatásait tükrözik, 2007 és 2009 között a műanyagtermelés 3,5 M tonnával 17 M tonnára, a feldolgozás 1,8 M tonnával 12,5 M tonnáról 10,7 M tonnára csökkent. A műanyag-feldolgozó iparban az építő- és az autóiipari termékek gyártása visszaesett, de a rövid élettartamú termékek, mint a csomagolási célú gyártmányok értékesítése csaknem változatlan maradt. A műanyag hulladékok mennyisége 0,7 M tonnával 4,9 M tonnára mérséklődött. A hulladék újrafeldolgozásának enyhe csökkenését ellensúlyozta az energetikai hasznosítás növekedése. A hulladékok 97 %-át hasznosítják, lerakásra már alig kerül sor.

A műanyag hulladékok kezelése és hasznosítása Németországban biztonságos, megbízhatóan szervezett és kivételes körülmények között is hatékony. A műanyag hulladék ma már nem szemét, hanem környezetbarát erőforrás.

2010-ben a műanyagipar jórészt visszanyerte piacait, a termelés elérte a korábbi szintet.



1. ábra A műanyag hulladék hasznosítása összességében és a hasznosítás módja szerinti felosztásban Németországban 1994–2009 között