

A tengerek és óceánok műanyag szennyezésének komplex hatása – 2. rész: Lehetséges megoldások

Gubek István

*Eötvös Loránd Tudományegyetem, Humánökológia MA,
1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/A
e-mail: istvan.elte@gmail.com*

Összefoglaló: A tengerek és óceánok műanyag szennyezése az utóbbi évek egyik egyre többet kutatott témája. Hasonlóan globális szintű környezeti probléma, mint az éghajlatváltozás vagy a biodiverzitás csökkenése, ugyanakkor a közvélemény sokkal kevesebbet tud róla, mivel ez egy új kutatási terület, illetve nincs magyar nyelvű szakirodalom a témában. Ez az első átfogó összeállítás, mely a külföldi szakirodalom részletes áttanulmányozásával készült. Az első részben részletes leírást adtam a tengeri környezetbe került műanyagok fizikai, kémiai, biológiai, ökológiai, gazdasági és társadalmi hatásairól. A mostani, második, befejező részben pedig bemutatom a már létező megoldási lehetőségeket.

Kulcsszavak: tengerek, óceánok, műanyagok, környezetszennyezés, fenntarthatóság, szabályozás, oktatás, anyagciklus

Bevezetés

Egy olyan új, töbttényezős környezeti problémával állunk szemben, melyet nehéz elsőre összefüggéseiben átlátni. Az 1950-es évektől kezdve az emberiség elkezdett tömegesen, évi több millió tonna mennyiségben előállítani egy teljesen új típusú, természetben elő nem forduló anyagtípust: a szintetikus polimereket, vagy köznapin néven a műanyagokat. Sokáig csak előnyeiket ismertük: könnyű, erős, tartós, olcsó anyagok, sokoldalú felhasználási lehetőséggel (Derraik 2002). A 2000-es évektől kezdett nyilvánvalóvá válni, milyen veszélyesek is valójában: óceáni környezetbe kerülve évszázadokig, évezredekig képesek megmaradni, miközben láthatatlan, mikrométeres toxikus szemcsékre bomlanak és beépülnek a teljes táplálékhálózatba (Kaposi *et al.* 2013). Sajnos az elmúlt 60 évben a tengeri környezetbe jutott óriási mennyiségű műanyag hulladékot nem tudjuk eltávolítani. A tengerparti homokból való kiszitálás vagy a tengervízből történő kiszűrés már csak az újratermelődés miatt beláthatatlan ideig tartana és nem is lenne haté-

kony. A táplálékláncba és tengerfenéki üledékbe is stabilan beépültek már (Do Sul & Costa 2014). Szerencsére több hatásos intézkedést is tehetünk és már egyéni szinten is cselekedhetünk, hogy csökkentsük vizeink műanyag szennyezettségét és az általa okozott károkat.

Műanyagevő mikrobák?

Reménykeltő felfedezés volt, amikor az angliai Sheffield Egyetem kutatói tengerparti üledékmintákban lévő PE műanyag darabokat vizsgáltak és olyan baktériumokat találtak, melyek jelentősen különböztek a tágabb környezetben található, természetes felszíneket kolonizáló baktériumoktól. Ez a bakteriális biofilm bevonat meglepően gyorsan kialakult és mindig meghatározott típusú baktériumok alkották. Mikroszkóppal megvizsgálva a műanyag felületét, apró rovátkákat láttak, melyek a műanyag biológiai lebontására utalhattak (Harrison *et al.* 2011).

Két évvel később amerikai kutatók az Észak-Atlanti-óceán szubtrópusi áramlatából vett PE és PP szemcséken fedeztek fel szénhidrogén bontó baktériumokat. A minták felszíne szintén degradált volt, repedésekkel és kis üregekkel szabdalva (Zettler *et al.* 2013). Ez a két eredmény azt sugallhatja, hogy a tengeri környezetben jelen lévő speciális mikrobák felszaporodása és elterjedése megoldja a mikroplasztikumok okozta problémát: benövik és lebontják őket. Legalábbis ebben a két esetben, ami már önmagában is jelentős lenne, hiszen a globális műanyag felhasználás 30%-át a PE és PP alapú eldobható csomagolás adja (Wurpel *et al.* 2011).

A helyzet azomban nem ilyen egyszerű. A műanyagok biológiai lebomlását vizsgáló tanulmányból kiderül, hogy ez a mechanizmus nem eredményezi a műanyagszennyezés eltűnését a tengerekből (Shah *et al.* 2008). A szintetikus polimerek élőlények általi lebontását két tényező akadályozza meg: hosszú molekulaláncuk és nagy molekulatömegük. Ahhoz, hogy a mikrobák felhasználhassák a kötött állapotban lévő molekulákat (C, H, N, O), külső enzimekkel rövidebb egységekre kell feldarabolni azokat. Ezek már elég kicsik ahhoz, hogy átjuthassanak a sejthártyán, belső enzimekkel tovább bontva pedig megtörténjen az energetikai hasznosítás és anyagfelhasználás. Oxigéndús környezetben (pl. vízben lebegve) szén-dioxid, oxigénhiányos körülmények közt (pl. üledékben) metán termelődik. Mindkettő üvegházhatású gáz, tehát komoly problémát okozna, ha hirtelen beindulna az óceánokban a bakteriális műanyaglebontás. A folyamat elindul, de nagyságrendekkel lassabban zajlik, mint ahogy a műanyag bekerül az óceánokba és nem megy végbe teljesen. Laboratóriumban modellezték a mineralizációt (tápanyaggá történő lebontást): tengerparti üledékbe helyezték a polimereket, mikro-

ba kultúrát és tápanyagokat (N, P) adtak hozzá, és mérték a CO₂ kibocsátást. A lebontás mértéke elenyésző volt, 10 évre vetítve néhány százalék. Alátámasztotta ezt az eredményt az indiai Bengáli-öbölben végzett terepkísérlet is: 6 hónapra helyeztek ki műanyag mintákat, majd megmérték a súlyvesztésüket: LDPE (kis sűrűségű PE) esetén 1,5–2,5%, HDPE (nagy sűrűségű PE) esetén 0,5–0,8 %, PP-nél pedig 0,5–0,6% csökkenést mértek (Andrady 2011). Egy évtizedre tovább számolva nem jelent többet néhány százaléknál az eredeti tömeghez viszonyítva. Az eredmények a bakteriális enzimek működésével magyarázhatók, melyek kétféle módon bontanak: oxigén jelenlétében oxidálnak, hiányában hidrolizálnak. A tengerekben uralkodó, szárazföldihez képest oxigénszegényebb környezet és alacsony hőmérséklet egyik folyamatnak sem kedvez. Mindent összevetve tehát annak ellenére, hogy a polimerek potenciális tápanyagforrást jelentenek a szerves anyagot fogyasztó baktériumok számára, nem valósul meg számottevő mértékben a lebontás a körülmények és a nehéz hozzáférhetőség miatt.

Lebomló műanyagok

A 80-as évek óta léteznek már környezetbarát, biológiai úton lebomló műanyagok, melyekkel lehetne helyettesíteni a szintetikus polimereket (Shah *et al.* 2008). Kémiaiilag poliészterek, molekulaláncaik rövidebbek, a kötéseik könnyebben felbonthatók. Olyan természetes, megújuló alapanyagból készülnek, mint a kukorica, burgonya, cukorrépa, melasz, tejsav vagy növényi olaj. Több közülük élettelen környezetben is sokkal gyorsabban, akár néhány hónap alatt lebomlik hő, fény vagy oxigén hatására. Ilyen biopolimerek például a PHA vegyületek (polihidroxialkanoátok), melyeket oxigéndús és oxigénhiányos körülmények között is lebontanak egyes baktériumok és gombák. Széleskörű felhasználási lehetőségük miatt (csomagolás, orvosi eszközök, mezőgazdaság) egyre nagyobb az érdeklődés irántuk világszerte. Elterjedésüket kisebb mechanikai ellenállóságuk és drágaságuk gátolja. Vannak azonban olyan biológiailag lebomló műanyagok, melyek nem megújuló, hanem ugyanúgy kőolaj alapúak. Ilyen például a PBS (polibutilén-szukcinát), melyből talajtakaró fóliák, palackok vagy szatyrok készülnek. Teljes életciklusukat tekintve viszont továbbra sem környezetbarátok, mivel a fosszilis nyersanyag kitermelése sok szennyezéssel jár, lebomlásuk vagy égetésük során pedig üvegházhatás-fokozó CO₂ keletkezik. A másik fontos észrevétel, hogy a csak részben bio-alapú műanyagok alig jobbak lebomlás szempontjából szintetikus társaiknál: például a Coca-Cola „növénypalackja”, mely 30%-ban növényi alapanyagokból készül, több száz évig megmarad (Wurpel *et al.* 2011). További probléma, hogy a biológiai lebontást sokszor kémiai adalékanyagokkal segítik elő, melyek bomlás során felszabadulnak és kikerülnek a környezetbe.

Gazdasági és jogi szabályozás

A nemzetközi egyezmények már a 70-es évek óta tiltják a tengerbe történő személerakást (1972, 1996), a hajóforgalomból (1973, 1978) vagy szárazföldi forrásból (1982) eredő szennyezést. A korlátozások és a teljes tilalom nem érte el a célját. A tengerek és tengerpartok műanyaggal történő elszennyezése tovább folytatódik. Az ellenőrzés és a szerződéses betartatása nem hatékony (Interwies *et al.* 2013).

Sokkal látványosabb eredményeket lehet elérni a gazdasági szabályozással. Írország partjai a 2000-es évek elejére rendkívül szennyezetté váltak: 500 méterenként átlagosan 19 db műanyag zacskót lehetett összeszámolni (ECAS 2013). Ennek háttérében az egyszer használatos műanyag bevásárlószatyrok elterjedése állt: több mint 300 db/fő/év volt a fogyasztás. Az országra jellemző szeles időjárás pedig nagy távolságokra eljuttatta a hulladék zacskókat: a lakatlan területekre és a tengerpartokra is. A környezetvédelmi miniszter javaslatára a kormány 2002 márciusában 15 eurocentes adót vetett ki az eldobható műanyag zacskókra, ami hihetetlenül hatásosnak bizonyult, hiszen egy év alatt közel 95%-kal csökkent a használatuk: 328 db-ról 21 db/fő/évre. A következő években is alacsony szinten maradt, ami azt eredményezte, hogy 2013-ra már csak két zacskóval lehetett találkozni az ír partokon 500 méterenként, tehát 99%-kal lett kevesebb a műanyag szemét mennyisége. Az évente termelődő országos szemétmennyiségben is megjelentek ezek az adatok: a műanyag zacskók aránya 5%-ról 0,5% alá esett 2002 után. Amellett, hogy hatásos volt az adó, azóta is nagy népszerűségnek örvend. Jó a kiskereskedőknek, jó a vásárlóknak, jó a kormánynak és jó a környezetnek is (egyedül a műanyagfeldolgozó-iparnak nem jó, mert csökken a bevétele). Az eladóknak némi plusz jövedelmet jelent, a felmérésék alapján a lakosok elégedettsége nőtt a tisztább környezet miatt, a kormányzati bevétel pedig évi 12–14 millió euró (ennek csak 3%-át teszi ki a rendszer működtetése). Ezt tájékoztató kampányokra és környezetvédelmi programokra fordítják, ezáltal azon kevés adónem közé tartozik a világon, amelyet örömmel fizetnek meg az adófizetők (Convery *et al.* 2007).

A nem lebomló, egyszer használatos műanyag zacskók okozta környezeti probléma igen jelentős Európa többi részén is: megközelítőleg évi 100 milliárd db-t használnak el az emberek, ami percenként 190 000 db-ot jelent. 90%-ukat valóban csak egyszer használják. Átlagosan egy EU állampolgár évente 200 db-t fogyaszt. Ennek a mennyiségnek 50%-a hulladéklerakókba kerül, csak 6,6%-át hasznosítják újra, 8%-a szemét formájában felhalmozódik a szárazföldi és vízi környezetekben (a fennmaradó részt elégetik). A tengerekbe Európából évente több millió tonna műanyag jut az eldobható szatyrok használata miatt (ECAS 2013). Szerencsére a tagországok felismerték ezt a veszélyt és többen is az ír példához hasonló és

hatásos intézkedéseket hoztak. Franciaországban az újrahasználható típus forgalomba hozásával és népszerűsítésével a 2002-es 10,5 milliárd db-ról 2013-ra 800 millió db-ra csökkent az egyszer használatos szatyrok fogyasztása. Hasonlóan történt Luxemburgban is, ahol 2004 óta gyártanak hosszú élettartamú szatyrokat. Itt 85%-os volt ez a csökkenés. Európában itt használják el a legkevesebb szatyrot évente: fejenként 20 db-ot. Önkéntes alapon alkalmazhatnak adót a kiskereskedők Németországban, Hollandiában, Portugáliában és Magyarországon is. Olaszország még tovább ment: 2011-ben kitiltotta azokat a műanyag zacskókat, melyek nem bomlanak le biológiailag. (Viszont ez ellentétes az európai irányelvekkel, ezért vizsgálat indult ellene (EPRS 2014)). Európában a jövő biztató: 2014 márciusában az Európai Bizottság elfogadott egy jelentést, mely a tagállamok számára előírja, hogy 2017-ig 50%-al, 2019-ig pedig 80%-al csökkentsék a műanyag zacskó használatát a 2010-es szinthez képest. Valamint felére kell csökkenteni a biológiailag lebomló és komposztálható zacskók díját. Legnehezebb helyzetben Bulgária van: a tagállamok közül itt a legnagyobb az egy főre eső átlagos zacskófogyasztás: 438 db/fő/év (ECAS 2013).

A világ más részein is korlátozták a műanyag zacskók használatát: Dél-Afrikából, Bangladesből és Ruandából egyenesen kitiltották, Kínában és Indiában Európához hasonlóan adót vetettek ki rájuk, és az adó bevezetését fontolgatják Nagy-Britanniában és Kenyában is (Convery *et al.* 2007, Thiel *et al.* 2011). Franciaországban pedig 2016 júliustól tilos az egyszer használatos műanyag zacskók forgalmazása ([http1](http://)).

Az adó jó megoldás olyan szempontból, hogy csökkenti a műanyaghasználatot és környezetkímélőbbé teszi a vásárlók magatartását. Az ehhez kapcsolódó népszerűsítő és tájékoztató kampányok pedig növelik a környezettudatosságot. Megjeleníti azokat az externális költségeket is, melyek a szennyezés hatásaként jelentkeznek. Ugyanakkor ez önmagában még nem elég. A francia és luxemburgi példa is mutatja, hogy az adó mellett a választási lehetőség megléte is sokat számít. Ilyen módon hasonlóan jó eredményeket értek el, mint Írországon. Azonban a tartós sikerhez ki kell építeni hatékony hulladék-visszagyűjtő és újrahasznosító rendszereket, melyek a többi műanyag termékre kivetett betétdíjjal együtt lehetőséget adnak és érdekeltté is teszik a felhasználót, hogy ne kidobja vagy eldobja, hanem összegyűjtse és visszavigye a feleslegessé vált műanyagokat.

Környezeti oktatás

A 1970-es években vált nyilvánvalóvá az egész Földre kiterjedő ökológiai válság, többek közt az 1968-ban alakult Római Klub munkásságának következtében. Je-

lentéseiben (pl. Meadows *et al.* 1972, Mesarovic & Pestel 1974) rávilágított arra, mennyire fenntarthatatlan és veszélyes az emberiség jelenlegi életformája, amin sürgősen változtatni kellene. Azóta összességében nemhogy javultak volna, hanem inkább romlottak kilátásaink. A környezeti nevelés is csak az ENSZ 1972-es stockholmi világkonferenciáján vált világpolitikai kérdéssé. Külföldön, a nyugati országokban az 1980-as években, míg Magyarországon az 1990-es években jelentek meg az első ilyen képzések (Kiss & Zsíros 2006).

Annak ellenére, hogy a környezettudatosság növekvő tendenciát mutat, a tengeri műanyagszennyezés csökkenésében ez a hatás nem jelentkezik. Ennek egyik oka az lehet, hogy sokan távolinak érzik a problémát, nem tudnak eleget róla, nem tudják, milyen nagy szerepet játszanak benne, vagy a hozzájuk elvált hírek azt a látszatot keltik, hogy mások már foglalkoznak ezzel a problémával, nem az ő hatáskörükbe tartozik (Thiel *et al.* 2011). Fokozottan igaz ez a tengerek elszennyezésére. Sajnos az emberek csak akkor hajlandók cselekedni, ha a probléma egyre közelebbi, kézzelfoghatóbb. Remélhetőleg a Dunáról készült 2014-es felmérés is nagyobb nyilvánosságot kap majd, és folyóvédelmi intézkedéseket indít el, ezzel is csökkentve a Fekete-tengerbe kerülő évi 1500 tonna műanyag hulladék mennyiségét (Lechner *et al.* 2014).

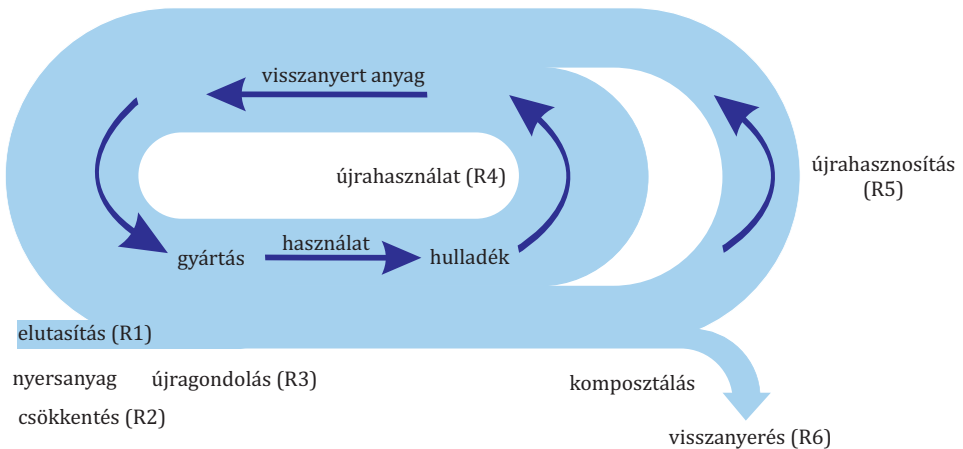
Az emberek informálásával és figyelemfelhívó akciók szervezésével azonban jó eredményeket érhetünk el. Leghatékonyabb már gyerekkorban elkezdni a környezeti nevelést. Chilében például a helyi önkormányzat rendszeresen szervez – szakmai és civil szervezetekkel együttműködve – parttisztítási kampányokat a helyiek és az iskolások bevonásával. Közben oktatási tevékenységet folytatnak. A környezetvédelem nem csak pénz kérdése. A tanulók vagy professzionális művészek a tengeri szemétből szobrokat formáznak, kreatív kompozíciókat alkotnak, a médián keresztül a nagy nyilvánossághoz eljutva ötletes módon hívják fel a szennyezésre a figyelmet. A felnőttek számára is érdemes informáló kampányokat szervezni. A perui paracasi tengeri rezervátumban 2000-ben nagyszabású szórólapozási kampány indult a tengeri szemét negatív környezeti hatásairól, hogy motiválják az embereket a partok tisztán tartására. Jó ötlet volt egy védett területen elkezdni a felvilágosítást, hiszen a látogatók a környezet iránt érdeklődve jönnek ide. Ennek eredményeképp egy év alatt szignifikánsan csökkent az egész rezervátum területén lévő tengerpartok antropogén szennyezettsége (Thiel *et al.* 2011).

Társadalmi és gazdasági változás

A tartós megoldást a műanyagciklus minél hatékonyabb bezárása, valamint a fogyasztói gondolkodásmód és magatartás alapvető megváltoztatása jelentené. A jelenlegi műanyagipar hulladéktermelésre van berendezkedve (Wurpel *et al.* 2011).

Minden második műanyag terméket egyszeri használatra terveznek. A hulladékot elégetve veszélyes anyagok és üvegházgázok keletkeznek, tengeri környezetbe kerülve pedig globális problémát okoznak. A fosszilis alapú műanyagok életciklusa minden esetben nagy terhet jelent a környezet számára. A műanyagipart fenntarthatóvá lehetne tenni, ha minél jobban megközelítené az ideális, zárt anyagciklusú modellt a 6R elve alapján (1. ábra).

Ennek értelmében először meg kell szüntetni az egyszer használatos, olcsó, eldobható, nem lebomló, ugyanakkor, ha drágábban is, de helyettesíthető felhasználói műanyagok gyártását (R1, refuse). Itt a politikai szabályozáson van a hangsúly, mit lehet gyártani és mit nem. Másodsor: csökkenteni kell az előállított mennyiséget (R2, reduce). Nemcsak mást és máshogy, de kevesebbet is kell termelni, még



1. ábra. A fenntartható, nulla szennyezésű műanyag életciklus modellje (ábra forrás: Wurpel *et al.* 2011).

akkor is, ha a termék környezetbarát, lebomló. A termelés ugyanis nem feltétlenül környezetbarát. Feleslegesen sok műanyag zacskót, poharat, csomagolást vagy palackot használnak az emberek. Harmadszor: már gyártás előtt, tervezéskor arra kell törekedni, hogy minél könnyebben újrahasználgató, újrahasznosítható vagy lebomló legyen a termék, teret engedve az innovatív mérnöki megoldásoknak, ösztönözve azokat (R3, rethink). Jelenleg 90%-a a műanyagoknak nem megújuló forrásból származik és nem bomlik le. Már léteznek lebomló, glükóz alapú, hasonló minőségű termékek, és ipari gyártásuk is megoldott. Amennyire csak lehet, mellőzni kell a mérgező anyagok használatát. Negyedszer: sok esetben eredeti formájában is tovább hasznosítható az adott termék, ez a fogyasztók kreativitásán múlik (R4, reuse). Műanyag joghurtos dobozokba például lehet palántázni vagy

a csomagolóanyag, mely sokszor szép és mintás, többször is felhasználható ajándékozáshoz. Ötödször: anyagában és energiájában is újrahasznosíthatjuk a műanyagot (R5, recycle). A fogyasztóktól visszagyűjtött és újraolvasztott műanyagot másodnyersanyagként lehet felhasználni további termékek előállításához. Ha ez nem lehetséges, például az anyagfáradás miatt, akkor energetikailag is használhatjuk a biopolimereket. Az égetés során keletkezett értékes energiát áramtermelésre vagy fűtésre használhatjuk, miközben klímasemleges szén-dioxid¹ keletkezik. Egy ideális, növényi vagy glükóz alapú műanyag ipar ezért nem erősítené a klímaváltozást az égetéssel. Hatodszor: a biológiailag lebomló műanyagokat kiválóan lehet komposztálni (R6, recover). Ilyen módon is használhatjuk anyagukat táptalaj, energiájukat pedig biogáz formájában (Wurpel *et al.* 2011 és Do Sul & Costa 2014 alapján).

Egy jól kigondolt rendszerben már a gyártási oldalon csökkenthető a műanyag hulladék mennyisége, veszélyessége és növelhető a visszaforgathatóság aránya. Ehhez természetesen megfelelő infrastruktúrát is ki kell építeni (visszagyűjtés, szállítás, tárolás), növelni kell a fogyasztók tudatosságát (oktatás, média, kampányok) és érdekeltté kell tenni őket (adók, betétdíjak). Törekedni kell a helyben történő előállításra, hogy kevesebb konténerszállító kereskedelmi hajó járja a világ óceánjait, kevesebb rakományt elhagyva.

Felhasználói oldalon a lakosság tájékoztatásának fontosságát nem lehet eléggé hangsúlyozni. Az egyre fokozódó műanyag mikroszennyezés ellen egy átlagos állampolgár is sokat tehet, éljen bárhol a világon, ha kerüli a mikroszemcsés tisztálkodószereket (pl. fogkrémek, samponok, bőrradírok), műszálás ruhákat, előnyben részesíti a többször használatos, lebomló műanyag termékek használatát, és ha lehetősége van rá, szelektíven gyűjti a műanyag hulladékot. Végezetül pedig megosztja ezeket az információkat másokkal is (Wurpel *et al.* 2011).

Bízató jövőkép?

A tengerek és óceánok műanyag szennyezésének hatása nem lokalizálható. Kiterjed térben: az áramlatokkal eljutva a világ tengerpartjaira és szigeteire. Kiterjed időben: akár évezredekken át tartó környezeti problémát okozva. Valamint kiterjed szektorálisan is: a tengeri élőlények mellett az egészségügyet, a gazdaságot és a társadalmat is érintve. Túlmutat a szemét látványa által okozott esztétikai értékromlason, az ökológiai rendszerek károsításán, az emberi egészséget fenyegető veszélyen vagy egy néhány szektort érintő pénzügyi veszteségen. A jelenlegi tár-

¹ Ez olyan típusú szén-dioxid, mely egy megújuló erőforrás fenntartható használatából származik, így nem okoz üvegházhatást, mert visszaépül a növényzetbe, ahonnan származik.

sadalmi és gazdasági rendszer válságát jelzi. Egy olyan gazdaság válságát, mely a korlátok nélküli növekedésen alapszik, igyekszik évről-évre minél többet termelni. Egy olyan társadalom válságát, mely a fogyasztás növekedésére alapozza jólétét. A „dobd el” társadalom (Náray-Szabó 2006) egyre több terméket használ egyre rövidebb ideig. Különösen igaz ez a műanyagokra. Ahogy a Római Klub 1978-es jelentésében fogalmaz: hulladékkorszakban élünk (Gabor *et al.* 1978). Amennyiben az emberiség nem változtat jelenlegi életmódján, a tengeri műanyagok okozta komplex globális válság még katasztrófálisabb következményekkel fog járni.

Bizalomra ad okot, hogy jelenleg paradigmaváltás zajlik a vezető szereppel rendelkező nyugati világban (Hawcroft & Milfont 2010). A modernitás korára jellemző neoklasszikus közgazdaságtan alapú gondolkodásmód kezd elhalványulni, helyet teremtve egy új, ökológiai paradigmának, melynek segítségével fenntartható módon fedezhetjük újragondolt igényeinket. Ez a folyamat hosszú évtizedekig is eltarthat. Addig azonban nem várathat magára a tengeri műanyag probléma megoldása, hiszen már eddig is jelentős károkat okozott. A tanulmányban ismerttettem azokat a fő cselekvési elveket, stratégiákat, melyekkel megelőzhető lenne, hogy még tovább súlyosbodjon a helyzet. Ezek közül többet mi magunk is azonnal alkalmazhatunk.

Megjegyzés: Intenzív kutatások zajlanak jelenleg is ebben a témában. Naprakész információkat az alábbi forrásokból lehet szerezni: 5gyres.org és algalita.org weboldalokról, valamint a Marine Pollution Bulletin folyóiratból (<http://www.journals.elsevier.com/marine-pollution-bulletin>). Készült egy német dokumentumfilm is 2013-ban az itt leírtakról, mely magyarul is elérhető „Műanyag: A tengerek valódi réme” címmel.

Irodalomjegyzék

- Andrady, A. L. (2011): Microplastics in the marine environment. – *Mar. Pollut. Bull.* **62**(8): 1596–1605. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.05.030>
- Convery, F., McDonell S. & Ferreira, S. (2007): The most popular taxi in Europe? Lessons from the irish plastic bags levy. – *Environ. Resource Econ.* **38**(1): 1–11. <http://dx.doi.org/10.1007/s10640-006-9059-2>
- Derraik, J. G. (2002): The pollution of the marine environment by plastic debris: a review. – *Mar. Pollut. Bull.* **44**(9): 842–852. [http://dx.doi.org/10.1016/S0025-326X\(02\)00220-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0025-326X(02)00220-5)
- Do Sul, I. J. A. & Costa, M. F. (2014): The present and future of microplastic pollution in the marine environment. – *Environ. Pollut.* **185**: 352–364. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2013.10.036>
- ECAS, European Commission Audiovisual Services (2013): Plastic bags – Ending our addictions. (<http://ec.europa.eu/avservices/video/shotlist.cfm?format=pdf&ref=I082012&sitelang=en>) Letöltés ideje: 2014.05.09.

- EPRS, European Parliamentary Research Service (2014): At a glance, plenary, 10/04/2014. (http://www.europarl.europa.eu/RegData/bibliotheque/briefing/2014/140800/LDM_BRI%282014%29140800_REV1_EN.pdf) Letöltés ideje: 2014.05.09.
- Gabor, D. Colombo, U., King, A. & Galli, R. (1978): Beyond the Age of Waste. – Pergamon Press, 254 p.
- Harrison, J. P., Sapp, M., Schratzberger, M. & Osborn, A. M. (2011): Interactions between microorganisms and marine microplastics: a call for research. – *Mar. Technol. Soc. J.* **45**(2): 12–20. <http://dx.doi.org/10.4031/MTSJ.45.2.2>
- Hawcroft, L. J. & Milfont, T. L. (2010): The use (and abuse) of the new environmental paradigm scale over the last 30 years: A meta-analysis. – *J Environ. Psychol.* **30**(2): 143–158. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvp.2009.10.003>
- Interwies, E., Görlitz, S., Stöfen, A., Cools, J., van Breusegem, W., Werner, S., & de Vrees, L. (2013): Issue Paper to the International Conference on Prevention and Management of Marine Litter in European Seas. Link: http://www.marine-litter-conference-berlin.info/userfiles/file/Issue%20Paper_Final%20Version.pdf
- Kaposi, K. L., Mos, B., Kelaher, B. & Dworjanyan, S. A. (2013): Ingestion of microplastic has limited impact on a marine larva. – *Environ. Science Technol.* **48**(3): 1638–1645. <http://dx.doi.org/10.1021/es404295c>
- Kiss, F. & Zsíros, A. (2006): A környezeti neveléstől a globális nevelésig. – Oktatási segédanyag. (https://www.nyf.hu/ttik/sites/www.nyf.hu.ttik/files/doc/kornyezeti_neveles.pdf) Letöltés ideje: 2014.05.01.
- Lechner, A., Keckeis, H., Lumesberger-Loisl, F., Zens, B., Krusch, R., Tritthart, M., Glas, M. & Schludermann, E. (2014): The Danube so colourful: A potpourri of plastic litter outnumbers fish larvae in Europe's second largest river. – *Environ. Pollut.* **188**: 177–181. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2014.02.006>
- Meadows, D. H., Meadows, D. L., Randers, J., & Behrens, W. W. (1972): The limits to growth. – New York, 102 p.
- Mesarovic, M., & Pestel, E. (1974): Mankind at the turning point. The second report to the Club of Rome. – New York, 210 p.
- Náray-Szabó, G. (2006): Fenntartható a fejlődés? – Akadémiai Kiadó, Budapest. 130. p.
- Shah, A. A., Hasan, F., Hameed, A. & Ahmed, S. (2008): Biological degradation of plastics: a comprehensive review. – *Biotechnol. Advances* **26**(3): 246–265. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biotechadv.2007.12.005>
- Thiel, M., Bravo, M., Hinojosa, I. A., Luna, G., Miranda, L., Núñez, P., Aldo S. P. & Vásquez, N. (2011): Anthropogenic litter in the SE Pacific: an overview of the problem and possible solutions. – *RGCI–Revista de Gestão Costeira Integrada* **11**(1): 115–134. <http://dx.doi.org/10.5894/rgci207>
- Wurpel, G., Van den Akker, J., Pors, J. & Ten Wolde, A. (2011): Plastics do not belong in the ocean. Towards a roadmap for a clean North Sea. – IMSA Amsterdam. (http://www.plasticmarinelitter.eu/wp-content/uploads/2011/10/PML100_report-plastics-do-not-belong-in-the-ocean-DEF.pdf) Letöltés ideje: 2014.01.16.
- Zettler, E. R., Mincer, T. J. & Amaral-Zettler, L. A. (2013): Life in the 'Plastisphere': Microbial communities on plastic marine debris. – *Environ. Sci. Technol.* **47**(13): 7137–7146. <http://dx.doi.org/10.1021/es401288x>

Internetes hivatkozások:

http1: <http://greenfo.hu/hirek/2016/04/03/a-franciak-beintettek-a-muanyag-zacsokknak>

The complex impact of the plastic pollution in the seas and the oceans – part 2: Possible solutions

István Gubek

*Eötvös Loránd Tudományegyetem, Humanecology MA,
H-1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/A, Hungary*

e-mail: istvan.elte@gmail.com

The plastic pollution of seas and oceans is a more and more important search field in the recently years. It's a similar global environmental problem like climate change or the losses of biodiversity, nevertheless the publicity has much less information about it because this is a brand new area and it has not got a Hungarian literature yet. This is the first comprehensive article which was made by the detailed study of the international literature. In the first part I examined the complex impacts of plastics in the marine environment based on physical, chemical, biological, ecological, economical and social aspects. Now in the second, ending part, I expound the already exist possible solutions.

Keywords: seas, oceans, plastics, environmental pollution, sustainability, regulation, education, material cycles