

# **Circular Economy and Environmental Protection**

*Bilingual scientific journal / Kétnyelvű tudományos folyóirat*

## **Körforgásos Gazdaság és Környezetvédelem**



*Official Journal of the  
Environmental and Process Engineering Research  
Group and Institute of Chemistry*

### **Volume 4, Issue 2, 2020**

## **EDITORIAL INFORMATION**

**Editor-in-Chief:** Mizsey, Peter

**Editorial Advisory Board:**

Kraslawski, Andrzej

Mika, Laszlo Tamas

Nagy, Tibor

Plesu, Valentin

Reti, Gabor

Stawski, Dawid

Szlavik, Janos

Toth, Andras Jozsef

Valentinyi, Nora

Vatai, Gyula

Viskolcz, Bela

**Journal Editor:** Racz, Laszlo (sr)

**Assistant Editors:**

Andre, Anita

Farkas Szoke-Kiss, Anita

Fozer, Daniel

Haaz, Eniko

**Publisher:**

Environmental and Process Engineering Research Group, and Institute of Chemistry – Mizsey, Peter

ISSN 2560-1024

**Contact, manuscript submission:** [ceep@envproceng.eu](mailto:ceep@envproceng.eu)

## **CONTENTS / TARTALOM**

### **Editorial preface / Szerkesztői**

előszó.....p. 4.

### **Environmental Protection / Környezetvédelem**

**Barabás, Csenge – Tóth, András József: A COVID-19 járványhelyzet környezetre gyakorolt hatásai.....pp. 5–34.**

### **It is worth knowing / Információk**

**Rác, László (sr): Educational materials on circular economy.....pp. 35–36.**

## **EDITORIAL PREFACE / SZERKESZTŐI ELŐSZÓ**

Tisztelt / Kedves Olvasó,

Negyedik évfolyamunk következő számában szakcikkünk az életünket 2020-ban teljesen átalakító COVID-19-es járvánnyal foglalkozik.

A járványhelyzet fizikai korlátozásait, egészségügyi és gazdasági hatásait minden nap érezzük. Ezzel szemben jelenleg még a krízishelyzet környezetre gyakorolt hatásait kevésbé érzékeljük. A folyóiratban

olvasható szakcikk ezekre ébreszt rá minket. Jelentősnek mondható a fertőtlenítőszeres környezetre kifejtett hatása, illetve fontos kiemelni, hogy komoly problémát jelent jelenleg is a drasztikusan megnövekedett műanyag hulladékmennyiség kezelése.

Jelenleg a világon a környezeti problémák detektálása zajlik, azonban már elindultak a kezelésük irányába a törekvések. Ezek eredményeképpen, az egészségügyi krízishelyzet megoldása után bízunk benne, hogy minimalizáljuk a környezetre gyakorolt utólagos hatásokat is.

Budapest, 2020. december 7.

Tóth András József

## **A COVID-19 járványhelyzet környezetre gyakorolt hatásai**

**Barabás Csenge, Tóth András József\***

BME-VBK Kémiai és Környezeti Folyamatmérnöki Tanszék, 1111, Budapest,  
Műegyetem rkp. 3.

\*andrasjozseftoth@edu.bme.hu, +36 1 463 1494

*Beküldve: 2020. december 01.*

*Közlésre elfogadva: 2020. december 15.*

### **KIVONAT**

Tanulmányunkban összefoglaljuk a COVID-19 világjárvány környezetre gyakorolt hatásait. Sajnos ki kell jelentenünk, hogy az egészségügyi és a gazdasági hatásai mellett jelentős a világjárvány környezetre gyakorolt hatása is. Főként a megnövekedett fertőtlenítőszer használat és az egyszer használatos védőeszközök fertőzésveszély miatti eldobása jelent környezeti kockázatot. A fertőtlenítőszerekben lévő kemikáliák és az eldobott műanyagok alapú hulladékok komoly terhelést okoznak a feldolgozószektornak, a vízhálózatba kerülve a szennyvíztelepeknek, illetve a hulladékkezelő üzemeknek.

### **ABSTRACT**

In our study, the effects of the COVID-19 pandemic on the environment is summarised. Unfortunately, it has to be stated that, in addition to its health and economic effects, the impact of the pandemic on the environment is also

significant. In particular, increased use of disinfectants and disposal of disposable protective equipment due to the risk of infection pose an environmental risk. Chemicals in disinfectants and waste based on discarded plastics place a heavy burden on the processing sector, entering the water network, sewage treatment plants and waste treatment plants.

### **A COVID-19 MEGJELENÉSE**

A 'Coronavirus Disease 2019' – röviden COVID-19 – nevű betegséget a kínai Wuhanban jegyezték fel először, 2019 decemberében. A betegség gyorsan elterjedt a világban, 2020. január 30-án nemzetközi aggodalomra okot adó népegészségügyi vészhelyzetnek (PHEIC), majd 2020. március 11-én világjárványnak nyilvánítottak (WHO, 2020).

A vírus (SARS-CoV-2) magas fertőzőképessége gyakorlatilag lehetlenné teszi a betegség terjedésének rövid időn belüli megfékezését, ami

globális egészségügyi vészhelyzetet és széles körű félelmet eredményez (Cohen, J. & Kupferschmidt, K. (2020)).

A SARS-CoV-2 pozitív, egyszálú RNS vírus, amely a Betacoronavirus nemzetséghez tartozik. A filogenetikai elemzésből kiderült, hogy a SARS-CoV-2 szorosan összefügg (88–89% hasonlóság) két denevér eredetű SARS-szerű koronavírusal, nevezetesen a denevér-SL-CoVZC45 (GenBank csatlakozási szám: MG772933.1) és a denevér-SL-CoVZXC21 (GenBank csatlakozási szám: MG772934.1), ugyanakkor ezek távolabb állnak a SARS-CoV-től (körülbelül 79% hasonlóság) és a MERS-CoV-től (~50% hasonlóság) (Ullah, H. et al. (2020)).

## **A TRANZMISSZIÓ ÚTVONALA**

A SARS-CoV-2 terjedése a szoros ember-emberérintkezésből és cseppfertőzés során következik be. A vírus RNS-e kimutatható felületeken és anyagokon, beleértve a műanyagot és az acélt is. Az irodalom szerint jelenleg a SARS-CoV-2 betegek a vírusfertőzés terjedésének fő forrásai. A SARS-CoV-2 betegeknél a kilélegzett cseppek a fő átvitel útjai, beleértve a légi úton történő transzfert is, ugyanakkor a kezdeti vírusinkubációs periódus alatt a gazdatest játszik főszerepet a vírus továbbításában. Ezen felül, terjedhet vírussal szennyezett étellel és érintési felületekkel, ahol vírus kimutatható, illetve jelen van. Mindemellett beszámoltak arról, hogy a koronavírusal diagnosztizált anyától született újszülött is megfertőződött, ezáltal feltételezhető, hogy

a terjedés vertikálisan is megtörténhet anyáról az újszülöttre (Ullah, H. et al. (2020)).

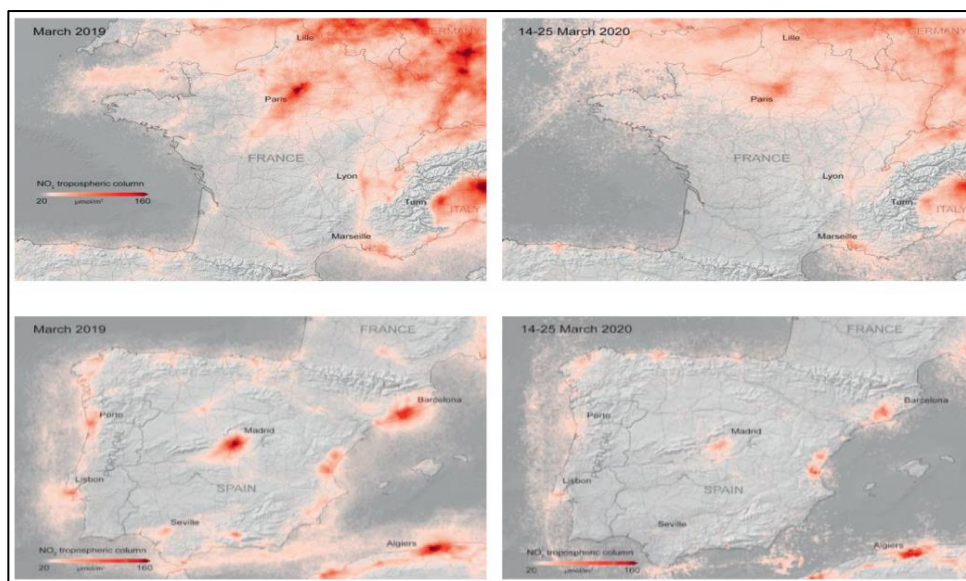
## **A COVID-19 KÖZVETETT HATÁSA A KÖRNYEZETRE**

Az új koronavírus (SARS-CoV2) példátlan hatást váltott ki a világ legtöbb országában. A vírus a bolygó szinte minden országát érintette, több mint 60 millió ember fertőzött meg, és körülbelül 1,4 millió ember halálát okozta. Jelenleg a legtöbb ország nagymértékű szűrővizsgálatokkal (antigén gyors tesztek, PCR tesztek) és a köztudatban „social distancing”-ként elhíresült távolságtartás bevezetésével és ösztökélésével próbálja leküzdeni a vírus terjedését. Egyértelmű, hogy jelen esetben a prioritást az emberek egészsége élvez, emiatt a vírus környezetre gyakorolt közvetett hatásairól igen kevés elemzést végeztek. Az első tanulmányok a környezetre gyakorolt pozitív, közvetett hatást vizsgálták (Zambrano-Monserrate, M.A., Ruano, M.A. & Sanchez-Alcalde, L. (2020)).

Egyrészt az éghajlati szakértők azt jósolják, hogy az üvegházhatást okozó gázok (ÜHG) kibocsátása olyan arányra csökkenhet, amelyet még soha nem láttak a második világháború óta (Global Carbon Project (2020)). Ez az eredmény elsősorban a kormányok által a pandémia megjelenését követően szorgalmazott szociális távolságtartásnak (social distancing) köszönhető (Zambrano-Monserrate, M.A., Ruano, M.A. & Sanchez-Alcalde, L. (2020)).

Másrésről a világ egyes részein, például Európában a légszennyezés drámaian csökkent, mióta az országok kormányai az állampolgárok kijárási korlátozását rendelték el az új koronavírus terjedésének elkerülése érdekében. A fő iparágak, valamint az egyéb rendszeres tevékenységek ennek hatására leálltak.

redukálódott, ami az üvegházhatást okozó gázok csökkenését vonta maga után. Az 1. ábra egyértelműen szemlélteti az NO<sub>2</sub>-koncentráció erőteljes csökkenését olyan országokban, mint Franciaország, Németország, Olaszország és Spanyolország (Zambrano-Monserrate, M.A., Ruano, M.A. & Sanchez-Alcalde, L.



Például az autóhasználat jelentősen (2020)).

**1. ábra.** NO<sub>2</sub>-koncentráció változás ((Zambrano-Monserrate, M.A., Ruano, M.A. & Sanchez-Alcalde, L. (2020))

## VÉDEKEZÉS A SARS-COV-2 ELLEN

Jelen állás szerint nincs tényleges gyógymód a SARS-CoV-2 ellen, így a legjobb módja, hogy elkerüljük a koronavírus fertőzést, az, ha elkerüljük magával a vírussal való érintkezést. A WHO ajánlott néhány megelőző intézkedést, mint például a távolságtartás (1.5–2 méter), maszk használata, rendszeres kézmosás, illetve, ha folyóvíz nem áll rendelkezésre, kézfertőtlenítő szer használata, amely minimum 60% alkoholt tartalmaz. Továbbá tanácsos tartózkodni a

szem, orr, illetve a száj érintésétől, kézmosás, illetve fertőtlenítés előtt. A fentiek mellett ajánlott, ha bármilyen légúti fertőzésben szenved az illető, használjon hagyományos vagy eldobható szövetből készült zsebkendőt és tartsa be a mindenkori 'köhögési etikettet'.

A WHO oldalán megtalálhatunk különböző ajánlásokat az arcmaszk otthoni, közösségi és egészségügyi központok használatára vonatkozóan. Egyéb érdekességeket is tartalmaz az oldal, mellyel Európában igen



ritkán találkozunk, viszont globális szinten sajnos előfordul, többek között az, hogy nem csupán kézfertőtlenítő, de egyes esetekben még szappan, sőt folyóvíz sem áll rendelkezésre. Ezeken a területeken alternatív módokat javasolnak, hogy elkerülhető legyen a koronavírus terjedése. Meglehető, elsősorban furcsának tűnhet, de jobban belegondolva, bizonyára kevésbé terhelő megoldás a környezetre nézve.

### **Kézfertőtlenítők összetevőinek hatása emberre és a környezetre**

*Az ember egészségére gyakorolt hatás*  
 2020 decemberében is elmondható, hogy a

COVID-19 fertőzés mértéke szerte a világon drasztikusan növekszik napról napra. Kizárólag megelőző intézkedések, illetve az egészséges életmód az immunrendszer hatékony működéséért, adhatnak védelmet a WHO szerint a COVID-19 elleni küzdelemben.

A WHO alkohol alapú kézfertőtlenítőt ajánl, ha nem áll módunkban kezet mosni, amelyek főleg etanolból, izopropil alkoholból, hidrogén-peroxidból vagy ezek kombinációjából állnak. Ezek a termékek károsak az emberi egészségre és a környezetre, ha helytelenül használjuk. Az 1. táblázat a kézfertőtlenítők fő hatóanyagainak lehetséges akut és krónikus toxicitását foglalja össze.

<b>Aktív összetevő</b>	<b>Akut toxicitás</b>	<b>Krónikus toxicitás</b>
Etanol	Központi idegrendszer és légzési depresszió tejsavas acidózis ketoacidózis hányinger	Szívrítmus zavar Akut májkárosodás, Myoglobinuria Hipokalémia Hypomagnesémia Hipokalcémia Hi99pofoszfátémia Szívleállás Halál
Isopropanol	Központi idegrendszer és légzési depresszió bőr és nyálkahártya irritáció	Ketózis Osmolal gap ketonémia Rabdomiolízis Myoglobinuria Akut veseelégtelenség Halál
3% H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Enyhe gyomor-bél és nyálkahártya irritáció hányás bőrirritáció	Légembólia Halál (ritka esetekben)

**1. táblázat.** Hatóanyagok akut és krónikus toxicitása



Az alábbi összefoglalás célja, hogy kiemelje az emberi egészségre és a környezetre gyakorolt káros hatásokat és súlyos egészségügyi kockázatokat a gyakran használt alkoholos alapú kéz-higiéniai termékek esetén. A kézfertőtlenítő fokozott használata, mint COVID-19 megelőző intézkedés, nem környezetbarát és káros lehet az ember egészségére.

#### *A környezetre gyakorolt hatás*

##### 1. Etanol

Az etanolt széles körben használják az iparban és az otthonokban egyaránt, azonban az emberekre és a környezetre gyakorolt hatása továbbra is vitatható. Számos kísérletet végeztek az etanol különböző fajokra gyakorolt hatásainak meghatározására, mely eredmények igen változatosak. A New England Interstate Water Pollution Control Commission (NEIWPCC) (2001) kiértékelte az akkor rendelkezésre álló adatokat, és meghatározta az etanolhasználat vízminőségi referenciaértékeit.

A kiértékelte adatok azt mutatják, hogy a vízi gerinctelenek, például a *Daphnia* fajok, szivárványos pisztráng és a *Pimephales promelas* (tűzcselle) esetében a referenciaszint az akut és krónikus expozíció esetén 564 mg/L, illetve 63 mg/L. HSDB (Hazardous Substances Data Bank (2012)) az oktanol / víz megoszlási együtthatót (Kow) az etanolra 0,49-nek találta, ami azt jelzi, hogy valószínűtlen, hogy az etanol biológiailag akkumulálódjon vagy biokoncentrálódjon a

zsírszövetekben a várhatóan magas anyagcsere mértéke miatt.

##### 2. Izopropanol

Nagy mennyiségű izopropanol talajra kerülésekor képes beszivárogni, ezáltal szennyezni a talajvizet. Maga az izopropanol tulajdonságait tekintve képes oxidálódni a levegőben lévő fotokémiai anyagok hatására, így a légkörben kevésbé van jelen. Továbbá jó biológiai lebomlásának köszönhetően nem képes felhalmozódni, ugyanakkor részt vesz az ózon és a fotokémiai szmog képződésében, hasonlóan más illékony szerves vegyületekhez.

Ezzel szemben, ha magas koncentrációban kerül a vizekbe, okozhat környezeti károkat, mivel nagymértékben képes kimeríteni az oxigéntartalmat. Ellenben a véletlen szennyezéssel, a normál körülmények között használt izopropanolnak nincs káros környezeti hatása (Mahmood, A. et al. (2020)).

##### 3. Hidrogén-peroxid

Az Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR) (2002) szerint a hidrogén-peroxid nem károsítja a környezetet, mivel más vegyületekkel gyorsan elreagál. Gyors ütemben lebomlik a vízben és a talajban, valamint nem képes felhalmozódni a táplálékláncban sem. A hidrogén-peroxidra vonatkozó európai (EU) kockázatértékelés nem talált abiotikus felezési időt sem a vízben, sem a talajban, a környezetben való rövid jelenlétének köszönhetően. A légkörben várható felezési idő 24 óra. A hidrogén-peroxidra

vonatkozó uniós kockázatértékelés rövid-távú toxicitási adatokat talált halakról, gerinctelenekről és a vízi környezetből származó algákról.

A legalacsonyabb, hosszú-távú toxicitási eredmény az algák esetében volt megfigyelhető, mindössze NOEC 0,1 mg/L értékkel (No observed effect concentration). Az algákkal folytatott tanulmányok mellett további adatok állnak rendelkezésre a zebra kagylókról is. Ezt követően számszerűsíthető kockázatértékelést végeztek a vízi szervezetek és a mikroorganizmusok esetében. Az eredmény azt mutatta, hogy nincs szükség további információra, sem tesztekre a hidrogén-peroxiddal kapcsolatban, az üledékben, a földi és a légköri régiókban sem (HERA (2005)).

## **A FERTŐTLENÍTŐSZEREK KÖRNYEZETI HATÁSA**

### **Felület-fertőtlenítő szerek**

A fertőtlenítés a SARS-CoV-2 fertőzés megelőzésére általánosan alkalmazott gyakorlat a háztartásokban, közösségekben és intézményekben egyaránt. A járvány megfékezésére tett kísérlet során a legtöbb országban teherautó-, drón- és mini-tartályhajók flottáit telepítették ki nagy mennyiségű fertőtlenítőszer permetezésére a városi közterületein.

Az alkalmazott fertőtlenítőszeres többségének aktív összetevői káros és maró kémiai vegyületek, beleértve a klór felszabadító szereket, az oxidálószereseket és a kvaterner ammónium-kationokat. Bár a

városok lakói elkerülhetik az érintkezést ezekkel a vegyi anyagokkal, ha otthon maradnak, de a városi szervezetek közvetlenül vagy közvetve ki vannak téve a fent említett vegyi anyagok hatásainak.

Az emberek mellett a városi élővilág is mérgező antropogén vegyi anyagoknak van kitéve. Többek között a klórtartalmú fertőtlenítőszeres akut mérgezést okoznak mind a szárazföldi (madarak és emlősök), mind a vízi állatoknál, légúti és emésztőrendszeri elváltozásokat vagy akár halált. Másrészt a klórtartalmú fertőtlenítők bioakkumulációja a táplálék láncban is előfordulhat. A közelmúltban 17 különböző fajhoz (pl. közönséges feketeterítő, szibériai menyét) tartozó több száz szabadon élő állat halt meg a fertőtlenítőszeres túlzott használata miatt a kínai Chongqingban. Figyelembe véve, hogy a fertőtlenítőszeres többsége (pl. nátrium-hipoklorit, NaClO) irritatív és maró hatású a légzőszervi és emésztőrendszer nyálkahártyájára, az ilyen vegyi anyagok nagy mennyiségű, válogatás nélküli alkalmazása városi környezetben közvetlenül vagy közvetve jelentős veszélyt jelent a városi élővilágra.

Tekintettel arra, hogy nincsenek tudományos iránymutatások a fertőtlenítőszeres kültéri városi környezetben történő széles körű alkalmazásához, kulcsfontosságú stratégiák kidolgozása az e gyakorlat által okozott környezeti szennyezés minimalizálása érdekében. Három lehetséges stratégiát javasolt követni az olyan közegészségügyi kihívásokra, mint például a COVID-19, a városi környezet és az élővilág károsítása nélkül.

Először is a fertőtlenítés időzítéséhez és módjához (mikor, hol és hogyan, valamint milyen fertőtlenítőszerrel kell használni) teljes mértékben figyelembe véve a közegészségügyet és a környezetbiztonságot is. Például ahelyett, hogy válogatás nélkül nagy mennyiségű fertőtlenítőszerrel permeteznének a biológiai sokféleségben gazdag területeken, mint a városi parkokban, vizes élőhelyeken és zöldterületeken, előnyösebb lenne felfüggeszteni az emberi tevékenységet.

Másodszor, mivel a fertőtlenítőszerrel nagy mennyiségű városi környezetben történő alkalmazásának ökológiai következményeivel kapcsolatos információk korlátozottak, sürgősen további kutatásokra van szükség a városi szervezetekre gyakorolt toxikus hatások, valamint a városi környezetet és a biológiai sokféleséget fenyegető lehetséges veszélyek témáiban.

Harmadszor, sürgősen szükség van alacsony kockázatú vagy nem toxikus, de hatékony fertőtlenítőszerrel kifejlesztésére is, amelyek alkalmasak arra, hogy széles körben alkalmazzák kültéri városi

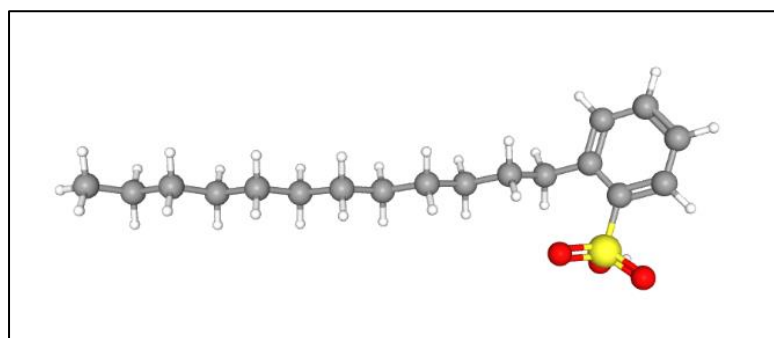
környezetben a hirtelen és váratlan járvány kezelésére (Nabi, G. et al. (2020)).

### **A koronavírus ellen használt fertőtlenítőszerrel leggyakoribb hatóanyagai**

Az USA States Environmental Protection Agency jelenleg 515 szerrel nyilváníta COVID-19 elleni fertőtlenítőszerrel (List N). Ezek különböző hatóanyagokat, vagy azok kombinációit tartalmazzák, azonban ezek közül is az egyik leggyakoribbak a dodecylbenzothiosulfonate, hidrogén-peroxid, kvaterner ammónium-sók.

#### *Dodecylbenzothiosulfonate*

A 2-dodecylbenzothiosulfonate a dodecylbenzothiosulfonate osztályába tartozik, olyan benzothiosulfonate, amelyben a fenilgyűrű 2. helyzetében lévő hidrogénatom helyett dodecylcsoport található. Állati metabolitként is szerepet játszik. A dodecylbenzothiosulfonate színtelen folyadék, vízben oldódik. Maró hatású a fémekre és a szövetekre. Többnyire mosószerrel készítésére használják (PubMed Chemical Data Sheet). 3D szerkezetét a 2. ábra mutatja.



**2. ábra.** Dodecylbenzothiosulfonate 3D szerkezet (https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/)

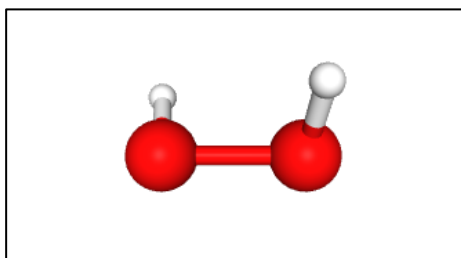
### *Hidrogén-peroxid*

A hidrogén-peroxid fertőtlenítő, vírusellenes és antibakteriális hatású peroxid és oxidálószer. Közvetlen helyi alkalmazás után a hidrogén-peroxid kifejti oxidáló hatását és szabad gyököket termel, ami a fehérjék és a membrán lipidjeinek oxidatív károsodásához vezet. Ez inaktiválhatja és elpusztíthatja a kórokozókat, és megakadályozhatja a fertőzés terjedését.

A hidrogén-peroxid vizes oldatban molekuláris oxigént ad le. Ez reagál a mikroorganizmusok sejtjeinek a fehérjéivel (denaturálódás). A folyamatban a vízen és az oxigéneken kívül nem marad más anyag

hátra. További előnye, hogy oldatai szagtalanok (Biró, G. (2014)). Ezek a vegyületek gyorsan bomlanak, előnyös, hogy bomlástermékeik nem toxikusak. Bár antimikrobás hatásuk széles spektrumú, de nagy mennyiségű mikroba meggátolhatja nem túl erős mikrobicid hatásukat (Gyires, K. & Fürst, Zs. (2011)).

Halványkék színű, oldatban színtelen, sűrű, szagtalan, keserű, nem éghető folyadék, gőze irritálja a szemet és az orrot. Fertőtlenítésre a szervesetlen hidrogénperoxidot ( $H_2O_2$ ) alkalmazzák (Gyires, K. & Fürst, Zs. (2011)). 3D szerkezete a 3. ábrán látható.



**3. ábra.** Hidrogén-peroxid 3D szerkezete (<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/>)

### *Kvaterner ammóniumkation (QAC)*

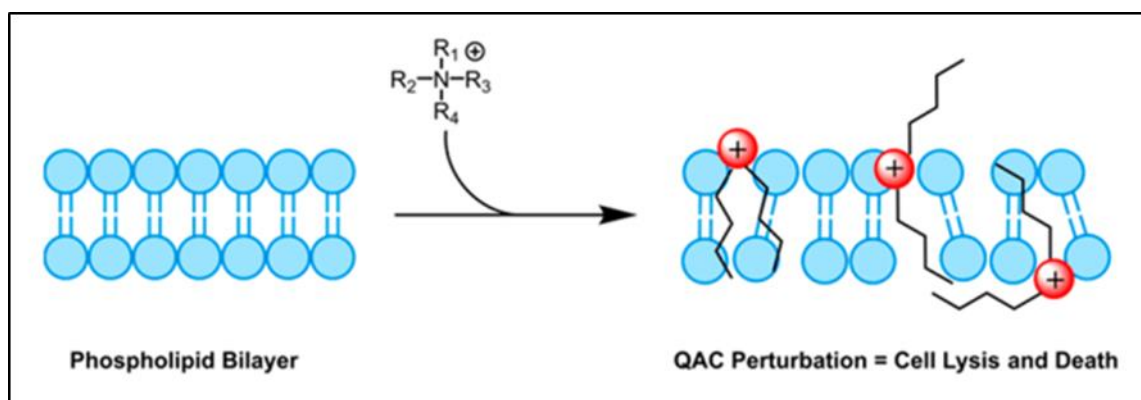
A QAC-okat először hexametilén-tetramin származékként vezették be, és ezeknek a sóknak a baktericid tulajdonságait számos publikációban tanulmányozták. Csak 1935-ben kezdődött a QAC-ok szélesebb körű alkalmazása a benzalkil-dimetil-ammónium-klorid (ADBAC vagy benzalkónium-klorid vagy BAC), amelyben az alkilcsoport 8–18 szénatomot tartalmazó lánc lehet. Az új felületi fertőtlenítőszer Zephirol néven forgalmazták (az Egyesült Államokban Zephiran, Roccal vagy BTC néven

forgalmazzák). Az 1940-es évekre a QAC-okat egyre inkább felületaktív anyagként és detergens fertőtlenítőszerként használták. A javasolt és a tényleges alkalmazások az edények és üvegáruk fertőtlenítésétől, a közétkeztetési és katonai megbetegedések terjedésének megakadályozásáig, a katonai környezetben és a kórházakban a fertőzés visszaszorításáig, különösen a gyógyszer-rezisztens baktériumtörzsek leküzdéséig terjedtek. A tejiparban a tőgyek mosására és a fejőgépek, a feldolgozó és pasztörizáló berendezések, valamint a tej szállítására használt tejtartályok és kannák

fertőtlenítésére használták. A BAC-ok mellett a QAC-ok másik fő osztálya az ATMAC és a DADMAC. Egyéb általánosan használt QAC-ok közé tartozik a Cetavlon vagy a CTAB (cetiltrimetil-ammónium-bromid) és a DTDMAC (ditallow-dimetil-ammónium-klorid), amely gyakori textillágyító összetevő volt az önkéntes kivonásig, hogy egy kevésbé hidrofób, biológiailag könnyebben lebontható felületaktív anyaggal való helyettesítsék (Hora, P.I. et al. (2020)).

A kvaterner ammóniumvegyületek (általában quats vagy QAC néven ismertek)

kationos felületaktív anyagok, amelyek a baktericid és virucid (általában burkos vírusokra hatásos) aktivitásukat jó detergens, ezáltal tisztító képességgel ötvözik. Bár más felületaktív anyag típusok, mint például az anionos, nemionos és az amfoter felületaktív anyagok rendelkeznek bizonyos antimikrobiális aktivitással, a kationos felületaktív anyagok (és néhány amfoterikus szer) rendelkeznek a legnagyobb antimikrobiális aktivitással. Ilyen például a *hexadecil-trimetil-ammónium* (cetrimid), *klórhexidin* (CHG) és *benzalkónium-klorid* (BAC) (McDonnel, G. (2009)).



4. ábra. QAC hatásmechanizmus (Schrank, C.L., Minbiole, K.P.C. & Wuest, W.M. (2020))

A sejtmembránokkal szembeni szerkezet- / funkciókárosítási, általában baktericid és fungicid aktivitást mutatnak, a burkos vírusok ellen további aktivitás figyelhető meg (l. 4. ábra). Az antimikrobiális aktivitás fő célpontja a sejtmembrán és különösen a CHG hatását tanulmányozták részletesen. Mivel pozitív töltésűek, gyorsan vonzódnak a sejtfal felületéhez, a kezdeti felületi szerkezet megbontva bejutnak a sejtmembrán szerkezetébe, hozzákapcsolódnak foszfolipidekhez ami

szerkezet- / funkciókárosodáshoz vezet (ideértve a citoplazmatikus komponensek szivárgását is). Ezek a hatások a sejthalállal és a burkos vírusok életképességének elvesztésével járnak (Hora, P.I. et al. (2020)).

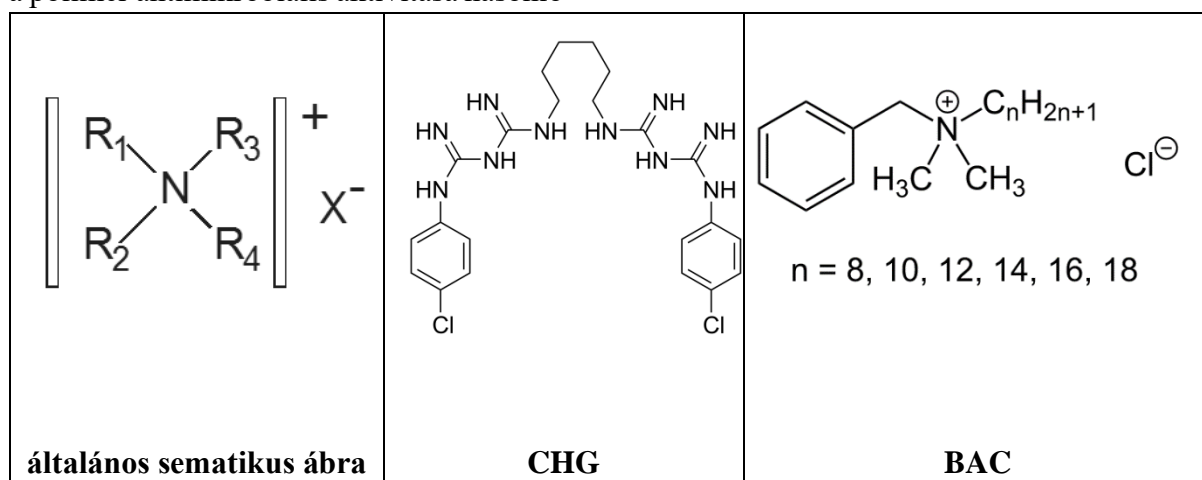
A QAC-ok kellemes szagúak, a felületet nem károsítják és kis toxicitásúak. Széles körben használják tisztítószerként / fertőtlenítőszerként általános, nem érzékeny felületeken. A QAC-okat és más

felületaktív anyagokat tartósítószerként is használják (például festékekben és kozmetikumokban). Néhány QAC-t és amfotereiket kis koncentrációban antiszeptikumként is alkalmazzák. A legelterjedtebbek a biguanidok, különösen a klórhexidin (klórhexidin-glükonát, CHG) és a polimer biguanidok (pl. Vantocil). A CHG-t olyan termékekben használják, mint antimikrobiális szappanok (pl. Hibiclen), szájvizek, sebkötözők és kontaktlencse-tároló oldatok. Ezekben a termékekben a közvetlen antimikrobiális aktivitás mellett a CHG további előnye a kis irritáció, a bőrhöz és a nyálkahártyához való kötődés, valamint az alkalmazás után kis, bakterisztikus koncentrációban való megmaradása is megfigyelhető (hosszabb távú vagy 'érdemi' antimikrobiális védelmet nyújt). Az antiszeptikus alkalmazások mellett a polimer bioguanidokat általános fertőtlenítőszerként és vízfertőtlenítésre (klór alternatívaként) is használják (McDonnel, G. (2009)).

Összességében elmondható, hogy a CHG és a polimer antimikrobiális aktivitása hasonló

a többi QAC-hoz, de önmagukban korlátozott fungicid aktivitással rendelkeznek, amely javítható a készítményben, de kis koncentrációban fungisztikus és sporisztikus (McDonnel, G. (2009)).

Ebben a csoportban szintén fontos fertőtlenítőszer a kationos felületaktív szerek, például a benzalkónium-klorid, a benzetónium-klorid és a metil-benzetónium-klorid, valamint a cetil-piridinium-klorid. A benzalkónium-klorid alkil-dimetil-benzil-ammónium-kloridok keverékéből áll. A hidrofób alkilcsoportok paraffinos láncok, 8–18 szénatommal. A benzalkónium-kloridot tartósítószerként használják az orrspray-k szuszpenzióiban és oldataiban, valamint szemcseppekben. Az oldat koncentrációjától függően helyi irritáló hatások léphetnek fel. Mellékhatásként az orrspray-k súlyosbíthatják a náthát, szemcseppekben pedig irritációt vagy keratitist okozhat (Aronson, J.K. (ed.) (2016)). Az 5. ábra a QAC képletét mutatja be.



5. ábra. A QAC képlete

#### *A QAC környezeti hatása*

Jelenleg a kvaterner ammóniumvegyületek (QAC) a kationos felületaktív anyagok egyik fő osztályát képezik, és textilöblítők, antisztatikumok, fertőtlenítőszer, biocidok, detergensok, fázistranszferek és kozmetikai termékek, például hajápolási termékek összetevőjeként használatosak. Szerkezetük alapján legalább egy hidrofób szénhidrogénláncot tartalmaznak, amely egy pozitív töltésű nitrogénatomhoz kapcsolódik, továbbá más alkilcsoportokat, amelyek többnyire rövid láncú szubsztituensek, például metil- vagy benzilcsoportok. Ez a szerkezet segíti, hogy könnyen felszívódjanak a szennyvíztisztító telepeken, a talajban és az üledékekben, amelyek túlnyomórészt negatív töltésűek. A természetes környezetben a három leggyakrabban jelen lévő QAC-ok a dialkil-dimetil-ammóniumvegyületek (DADMAC, alkillánc hossza C8-tól C18-ig), alkil-trimetil-ammóniumvegyületek (ATMAC, C12 – C18) és benzil-alkil-dimetil-ammóniumvegyületek (BAC, C12 – C18).

A QAC-okat széleskörűen használják háztartási és ipari termékekben, ezért jelentős mennyiségben jutnak el a szennyvíztisztító telepekre. A környezetbe kerülő QAC-ok fő forrásai a szennyvíztisztító telepekből származó szennyvíz és iszap. A QAC-okat általában az iszap rendszerben biológiailag lebonthatóknak tartják, ez azonban a QAC koncentrációjától, kémiai szerkezetétől, az anionos felületaktív anyagokkal történő komplexképzéstől, a mikrobiális akklimatizációtól függően változik. A szennyvíztisztító telepek QAC tartalmát

90%-ban képesek eltávolítani. Valójában sajnos az adszorpció általában meghaladja a biodegradációt. Ha a QAC homológok alkiláncai hosszabbak, megnő az iszapra való adszorpciós hajlam, a biológiai lebomlásuk korlátozottá válik, így megnövekszik a mennyiségük a szennyvíztisztító telepeken. A QAC magas koncentrációja hátrányosan befolyásolja az anaerob emésztési folyamatot a metanogenezis gátlásával, ami metángátlást és az illékony zsírsavak (VFA) felhalmozódást eredményez, ezáltal hatással van az aktív iszaprendszerek teljesítményére, csökkentve a rendszer hatékonyságát. Továbbá a QAC-ok gátolhatják az algák tápanyagfelvételét, ami alacsonyabb tápanyag-eltávolítási hatékonyságot eredményezhet a szennyvíztisztító telepeken. Ezenkívül nem lehet figyelmen kívül hagyni a szennyvíz-kezelésben kinyert QAC-tartalmú bioszilárd anyagok szárazföldi újrahasznosulásának kockázatát sem. Bár a kockázatértékelési eredmények azt jelezték, hogy ezek nem befolyásolják az ember egészségét, hosszú távú kutatásokra van szükség a biztonság és a fenntarthatóság érdekében.

A környezetbe kerülő szennyvíz a tengeri üledékek QAC-okkal való szennyeződését eredményezheti és sok szervezetre mérgező hatású lehet. A QAC-ok toxicitása a vízi szervezetekre magasabb volt, mint az anionos felületaktív anyagoké. Ezenkívül a QAC biocidok és fertőtlenítőszer fokozott használata a baktériumok érzékenységének és a biocid-hatékonyság csökkenéséhez vezethet.



Továbbá a mikrobaközösségek QAC-ok általi hosszú távú expozíciója nem csak a QAC-rezisztens baktériumok, hanem az antibiotikum-rezisztens baktériumok szelektálódását is növeli, melyek elterjedése potenciálisan káros lehet mind az emberi, mind a környezeti egészségre (Zhang, C., et al. (2015)).

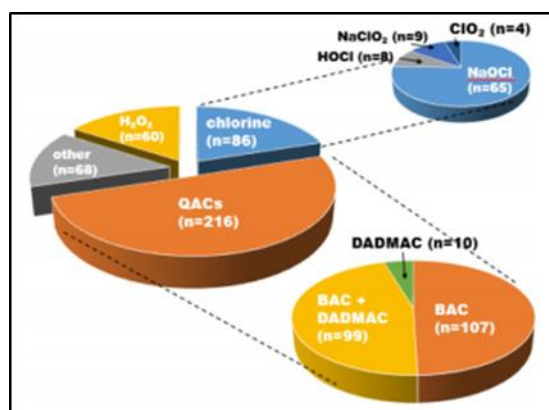
#### Toxicitás és kockázatértékelés

A QAC mérgező a vízi szervezetekre, például halakra, vízibolhákra (*Daphnia*), a kerekesszervekre (*Rotifera*), az algákra, az állati jellegű egysejtűekre (Protozoon), valamint sok mikroorganizmusra. A QAC-ok biocid mechanizmusa szerkezetük szerint különbözhet. Jellemzően a QAC-ok úgy pusztítják el a baktériumokat, hogy behatolnak alkiláncaikba a mikroorganizmus membránján belül, és megváltoztatják a foszfolipid kettősréteget, ezáltal membránmegszakadást okozva, amely az intracelluláris alkotóelem szivárgását eredményezi.

A QAC-ok vízi toxicitását számos szakirodalom tanulmányozta. A QAC-tartalmú iszapnak a talaj mikrobiális aktivitására gyakorolt toxicitása azonban szintén fontos, mivel a szennyvíziszap földterületen történő elhelyezése számos országban az egyik fő ártalmatlanítási útvonallá vált. Ezek a QAC-tartalmú bioszilárd anyagok és sok más szennyező anyag potenciális kockázatot jelent a talaj organizmusaira nézve, mivel hosszú felezési idejük miatt idővel felhalmozódhatnak a talajban (Zhang, C., et al. (2015)).

#### QAC a SARS-Cov-2 ellen

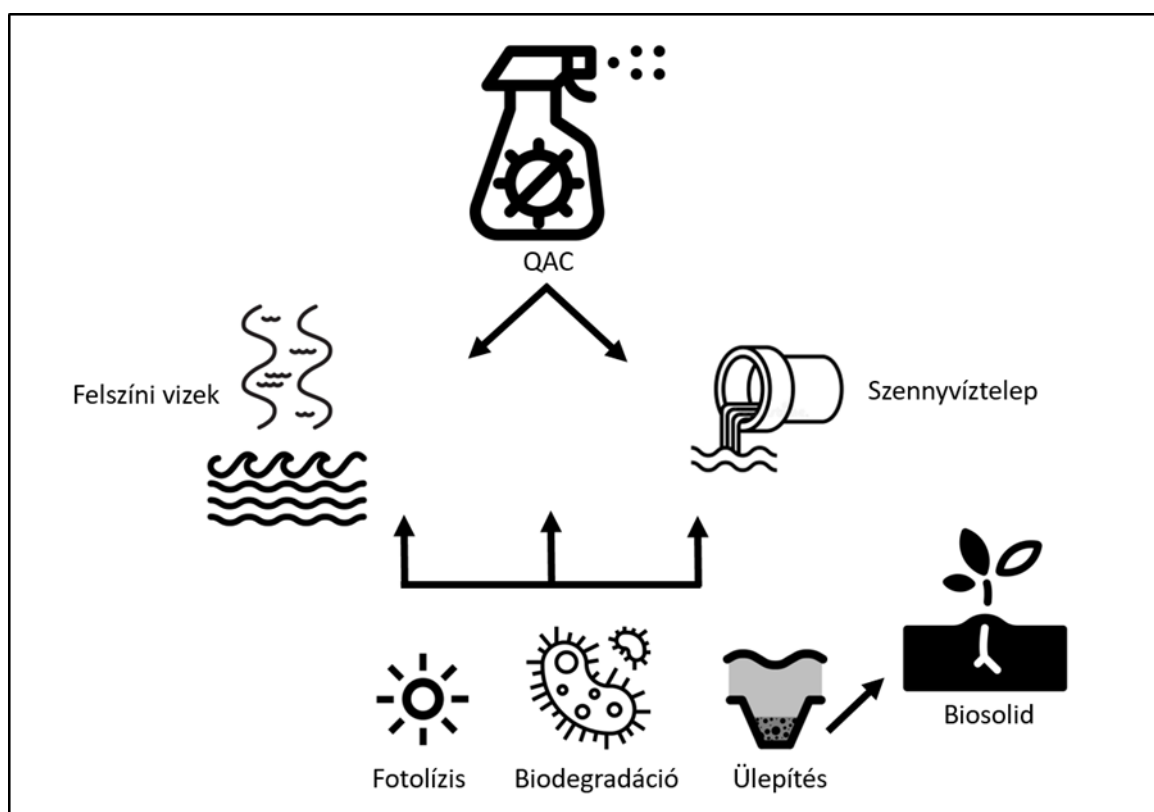
Ismert, hogy a QAC-ok képesek hatékonyan inaktiválni burkos vírusokat, mint a SARS-Cov-2. Az Environmental Protection Agency (EPA) N listáján ('A SARS-CoV-2 elleni fertőtlenítőszer') szereplő termékek közül 216 tartalmazza, mint aktív hatóanyagokat (l. 6. ábra).



6. ábra. Az EPA N listáján szereplő termékek hatóanyagai (2020. június, [https://www.epa.gov/sites/production/files/2020-06/documents/sars-cov2\\_listn\\_06122020.pdf](https://www.epa.gov/sites/production/files/2020-06/documents/sars-cov2_listn_06122020.pdf))

A felhasznált QAC-ok többsége a szennyvíztisztító telepekre kerül (l. 7. ábra), így ez az egyik olyan hely, ahol különböző hatásokat fejthetnek ki. A QAC-ok jelen vannak a szennyvízben, illetve az iszapba ülepedve, ami két utat jelenthet a környezetbe, ha bioszilárd anyagokat használnak talajmódosításra. Ha külterületen, vagy közlekedési eszközökön növekszik a használatuk, az ezeket érintő

csapadék QAC-okat is hordozhat. Valószínű, hogy a közvetlen és belátható jövőben megnő a szennyvíztisztító telepek terhelése, a szennyvizet fogadó felszíni vizekbe történő kibocsátás és a közvetlen környezetbe jutás. Továbbá aggodalomra ad okot a klóramin révén képződő N-nitrózaminoknak a vízi területekre gyakorolt toxikus hatása.



7. ábra. A QAC útja a környezetben (Hora, P.I. (2020))  
(Biosolid – bioszilárd anyag)

Noha a QAC-ok a szokásos szennyvízkezelés során a bioszilárd anyag szorbciója és a biológiai lebontás kombinációja révén távoznak a folyadékáramból, ezek a vegyületeket még mindig kimutathatóak a vízi környezetben,

nagyobb koncentrációban a településeken lévő szennyvíztisztító telepek szennyvíz kibocsátás utáni helyein, valamint a kórházi és ipari (pl. mosoda és élelmiszerfeldolgozás) szennyvizekben. A megnövekedett környezeti koncentráció

oka – annak ellenére, hogy a szennyvíztisztításban a folyadékáramból a QAC-ok ~90% -kal eltávolítják – az, hogy a QAC-ok nagy termelést igénylő vegyi anyagok, mivel növekszik irántuk a globális igény, ezáltal a vegyületek egyre gyakrabban kerülhetnek a környezetbe pontforrás-szennyezés, a bioszilárd anyagok szárazföldi felhasználása és az ipari szennyvízkibocsátások révén.

A felszíni vizekben és a szennyvízben világszerte kimutatott QAC-koncentrációk kisebbek, 1 µg/L és körülbelül 60 µg/L között mozognak, valamint megállapították, hogy a beáramló szennyvízben ennek a tízszerese mutatható ki.

Az ATMAC, a BAC és a DADMAC homológjainak összkoncentrációja 1,12 és 505 mg/kg száraz tömeg között változott az önkormányzati bioszilárd anyagokban Kínában. A különböző homológok közül a C8-C18-DADMAC-okat, a C12-C18-ATMAC-okat és a C12-C18-BAC-kat azonosítják a leggyakrabban a környezetben. Bár sok jelentés van a BAC kimutatásáról, csak minimális információ áll rendelkezésre azokról az etil-benzalkil-dimetil-ammónium vegyületekről, amelyek a 6. ábra szerinti BAC-tartalmú termékek alkotórészét képezik; annak ellenére, hogy ezeknek a vegyületeknek a környezeti szintjéről érdemes lenne tanulmányt folytatni. A benzetónium-klorid egy másik QAC hatóanyag az EPA-listában szereplő néhány szilárd felületű fertőtlenítő termékben, amelyről szintén igen kevés környezeti adat lelhető fel, így további tanulmányok indokolhatóak lennének.

Vízi környezetben a QAC-oknak három fő koncentráció-csökkentési mechanizmusa van: fotolízis, biodegradáció és szuszpendált részecskékké történő szorpció, majd ülepítés. Általában a QAC-ok stabilok vagy viszonylag lassan lebomlóak hidrolízissel, fotolízissel vagy mikrobiális aktivitással szemben. Noha az etil-benzalkil-dimetil-ammónium vegyületek nem kaptak külön figyelmet, várhatóan hasonlóak más QAC-hoz. A QAC-ok fotokémiai feldolgozását a környezetben korlátozott kapacitással tárták fel. A QAC-ok, mint a különböző BAC-k és DADMAC-ok, korábban viszonylag hosszú fotolízis felezési idővel rendelkeztek vizes közegben és talajban. A közelmúltban elkészült – QAC-ok közvetett fotolízisével foglalkozó – tanulmány, amely két BAC-homológot, egy DADMAC-ot, egy ATMAC-ot és benzetónium-kloridot vizsgált a felszíni vizekben, 12 és 94 nap közötti felezési időről számolt be. A QAC-ok biológiai lebonthatóságának legtöbb vizsgálatát aktív iszap vagy dúsító kultúrák alkalmazásával végezték, ugyanakkor van néhány tanulmány, amely azt állítja, hogy a tengeri baktériumok 5–10 nap alatt képesek lebontani az ATMAC-okat és BAC-okat. A korábbi tanulmányok olyan QAC-rezisztens baktériumok fajokat azonosítottak, amelyek lebontják, sőt széndioxiddá mineralizálják a QAC-okat. Ide tartoznak a *Pseudomonas*, *Xanthomonas*, *Aeromonas*, *Stenotrophomonas* és *Achromobacter* törzsek. Különböző tanulmányok szólnak a BAC mikrobiális lebontásáról *Pseudomonas nitroreducens*, *Aeromonas hydrophila* és *Bacillus niabensis* fajokkal.

A szerves és szervesetlen részecskék iránti erős affinitásuk miatt a QAC-ok nagy részét ülepitással távolítják el a felszíni vizekből. Ezt a tulajdonságukat kihasználva a környezetben fellelhető QAC-ok azonosításakor különböző felszíni üledékmintákban (Austria, USA – New York, Minnesota), az összes QAC-koncentráció 1 ng/g ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) és 74  $\mu\text{g}/\text{g}$  ( $\text{mg}/\text{kg}$ ) között mozgott. A BAC- és DADMAC-koncentrációk általában jóval magasabbak, mint az ATMAC-koncentrációk, C12-BAC (3,6  $\mu\text{g}/\text{g}$ ), C14-BAC (7,2  $\text{mg}/\text{g}$ ), C18-DADMAC (26  $\mu\text{g}/\text{g}$ ), és C22-ATMAC (6,8  $\mu\text{g}/\text{g}$ ). New York-ban a szennyvíz által érintett torkolatok felületi üledékmintái különösen magas QAC-koncentrációt mutatnak, az átlagos QAC-koncentráció mediánja körülbelül 25-ször magasabb volt, mint az azonos helyen lévő policiklusos aromás szénhidrogének mediánja. A legnagyobb QAC értéket 1960–1980 között mértek, számszerűsítve 0,7–400  $\mu\text{g}/\text{g}$ -ot. Az üledékkoncentrációk később csökkentek, valószínűleg a jobb háztartási és ipari szennyvízkezelés megvalósításának köszönhetően (Hora, P.I. et al. (2020)).

A legnagyobb QAC értéket 1960–1980 között mértek, számszerűsítve 0,7–400  $\mu\text{g}/\text{g}$ -ot. Az üledékkoncentrációk később csökkentek, valószínűleg a jobb háztartási és ipari szennyvízkezelés megvalósításának köszönhetően (Hora, P.I. et al. (2020)).

A COVID-19 járvány során megnövekedett használatuk azonban az üledékekben lévő koncentráció növekedéséhez vezethet ismét, annak ellenére, hogy jelenleg igen kevés adat áll a rendelkezésünkre a QAC-ok biohasznosulásáról. Egy tanulmány szól annak kimutatásáról, hogy a BAC-k és az

ATMAC-k teljes tömege 39–55%-kal csökkent két azonos helyről származó, 12 év különbséggel vett üledékmagban, jelezve az ATMAC-k és BAC-ok (különösen rövid láncúak) in situ lebomlását. A QAC-ok másik útja a környezetbe a talajba történő bevitel a bioszilárd anyag módosulásokkal. A QAC-ok környezeti koncentrációja a bioszilárd anyagokkal módosított talajban magas,  $\mu\text{g}/\text{kg}$ -tól  $\text{mg}/\text{kg}$ -ig terjed, de ez az állati trágyából is származhat a bioszilárd anyagok helyett (Mulder, I. et al. (2018)).

A világjárvány hatására a felhasznált fertőtlenítőszer mennyisége igen megnőtt, az egyik gyártó 2020 májusában a teljes 2019-es évnél megfelelő gyártásról számolt be, míg az Egyesült Államokban a fertőtlenítő törlőkendők eladása 146%-kal volt magasabbak, mint tavaly tavasszal. Noha nem jelenthetjük ki előre, hogy fennmarad ez a szint, egyes higiéniai és tisztítószer gyártó cégek tartós változásokra számítanak a fogyasztói magatartásban és a megnövekedett keresletben, miután a COVID-19 járvány véget ér. A felület fertőtlenítőszer globális piacának előrejelzése szerint 2020-tól 2027-ig 9,1%-os éves növekedési ráta várható. Így számítani kell arra, hogy a felhasznált és a környezetbe kibocsátott QAC mennyisége szintén nőni fog. Mivel a QAC-ok biológiailag aktív vegyületek, számos lehetséges környezeti hatást figyelembe kell venni a fokozott használat miatt a COVID-19-járvány idején, valamint ezeket ki kell egyensúlyozni a termék hatékonyságával. Ráadásul ezek a nem várt hatások fennmaradhatnak vagy fokozódhatnak, ha az emberi viselkedés (kézmosás, felületfertőtlenítés) és a termékvásárlási szokások hosszú távon

megváltoznak. Valamennyi biológiailag aktív vegyületnél potenciális akut toxicitás és krónikus, alacsony dózisú felvétel okozta problémák is felmerülhetnek. Ha rövid távú, nagy koncentrációjú dózisok kerülnek egy szennyvíztisztító telepre, például kórház vagy épület tisztításából, akkor a funkcionális folyamatokat, például az aktív iszap medencéit vagy az anaerob emésztőket negatívan befolyásolhatja a QAC-ok jelenléte a rendszerben. Mivel a QAC-ok felületaktív anyagok, a vegyületek beáramlása hozzájárulhat vagy súlyosbíthatja a szennyvíztisztító telepeken már meglévő habzási problémákat, amelyek átmenetileg megzavarhatják vagy csökkenthetik a kezelés hatékonyságát.

Valószínű, ahogy az idő múlásával folyamatosan növekszik a QAC-koncentráció, az a mikrobiális közösségek változásaihoz is vezet, antibiotikum-rezisztenciát előidézve, különösen a szennyvíztisztító telepek után. A felszíni vizekben, az üledékekben és a talajban a bioszilárd anyagok alkalmazásának következtében megemelkedett QAC-szintek következményei azt mutatják, hogy a vízi, a víz fenekén élő (bentikus) és a talaj organizmusoknál tovább kell vizsgálni a krónikus toxicitást a lehetséges hatások jobb értékeléséhez. Ehhez az alacsony szintű QAC-kitettséghez kapcsolódó ökológiailag releváns kockázatok jobb megértésére van szükség.

A QAC jobb eltávolítását és lebomlását elősegítheti a kezelés javítása, a környezeti kibocsátások korlátozása és a környezeti hatások minimalizálása, mint a kiterjesztett levegőztetés (hosszabb szilárd anyag visszatartási idő, SRT), a tiszta oxigénnel

vagy membrános rendszerekkel történő levegőztetés. A vizes élőhelyek kezelése, amely elősegíti a kiterjedt biodegradációt, a fotolízist és a részecskék ülepítéssel történő eltávolítását, szintén hozzájárulhat a QAC-eltávolításhoz (Hora, P.I. et al. (2020)).

## **A CSOMAGOLÓANYAGOK KÖRNYEZETI HATÁSAI**

A COVID-19 egészségügyi válságként kezdődött, azonban hamar átcsapott gazdasági, társadalmi és környezeti fenyegetéssé is. Mivel a közegészségügy jelenleg kiemelt fontosságú, a gazdasági és társadalmi hatások szoros figyelemmel kísérése mellett a COVID-19 környezeti hatásait továbbra is nagyrészt alul értéklik. A nem kezelt műanyag hulladék, különösen a természetes ökoszisztémákra, valamint a közegészségügyre gyakorolt hatása miatt aggodalomra adhat okot.

Annak ellenére, hogy a COVID-19 járványról szóló publikációk száma az elmúlt 3 hónapban növekedett, a környezettudományi tanulmányok száma (<3%) lényegesen kisebb, mint más területeken, például az orvostudományban és az egészségügyben (65%). A környezettudományhoz kötődő közlemények körülbelül 20%-a foglalkozott a COVID-19 járvány hulladék- és műanyagszennyezésre gyakorolt hatásával.

Első pillantásra úgy tűnhet, hogy a COVID-19 járvány közvetett módon hozzájárul az ENSZ 2030-ra kitűzött fenntartható fejlődési céljai teljesítéséhez (nevezetesen a 11, 12, 13, és 15 fenntartható fejlődési célokhoz, SDG-hez) azáltal, hogy növeli a

városok általános egészséges környezetét az üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentésével, a környezeti zajszint redukálásával (ideértve a csökkentett tengeri szállítási tevékenységek miatti víz alatti zajt is), a szárazföldi és a vadon élő állatok nyugalmanak növelésével. Mindazonáltal valójában kudarcot vall, ha figyelembe vesszük a gyenge beltéri levegőminőséget, az egyszer használatos műanyagok (beleértve az egyéni védőeszközöket is) megnövekedett felhasználását-fogyasztását, miközben a COVID-19 pozitív hatásai a környezetben

'szüneteltetett' antropogén tevékenység következményei. Azonban ez a pandémia után hamarosan újra terítéken lesz, míg a negatív, rövid távú hatások (amelyek többnyire a műanyag használatával, a fogyasztással és a hulladékkezeléssel kapcsolatosak) kiegészítik a jelenlegi környezeti problémákat, sőt súlyosbítva azok hatását a természetes ökoszisztémákban. A 2. táblázat összefoglalja a COVID-19 járvány környezetre gyakorolt pozitív és negatív hatásait.

Pozitív hatás	Negatív hatás
Javuló kültéri levegő minőség	Romló beltéri levegőminőség
Csökkenő szennyező zaj	Megnövekvő orvosi hulladék
Csökkenő háztartási élelmiszer-pazarlás	A hulladék újrafeldolgozásának csökkenése az égetés és a hulladéklerakók számának növekedésével
Csökkenő energiafogyasztás és ÜHG-kibocsátás	Fokozott fertőtlenítési rutin veszélyes vegyi anyagokkal háztartási és kültéri környezetben
A vadon élő állatok globális kereskedelmének csökkenése	A fertőtlenítőszer használata miatt megnövekedett ökológiai kockázat a természetes ökoszisztémákra
Az erdőirtás csökkenése	
A felszíni víz minőségének javulása	

**2. táblázat.** A COVID-19 járvány pozitív és negatív hatásai a környezetre

**Műanyagszennyezés a világon**

A műanyagszennyezés a COVID-19 járvány előtt már fokozódott a szárazföldi, a vízi és a légköri környezetben. Becslések szerint 4,8–12,7 millió metrikus tonna (Mt) a szárazföldön keletkezett rosszul

kezelt műanyag hulladék, ami 2010-ben került a tengeri környezetbe. Ennek nagy részét (1,2–2,4 millió Mt) a folyók szállították oda. Eriksen és mtsai tanulmánya (Eriksen, M. et al. (2014)) számolt be arról, hogy a világ óceánjain becslések szerint több mint 5 billió műanyag törmelék (mikroműanyag darab) lebeg. Azonban még ez a megdöbbentő szám is kisebb a San Francisco-öbölbe

évente belépő becslések szerinti 7 billió műanyag törmeléknél. Az ajánlott N95/FFP2 maszkok olyan műanyagokból készülnek, mint a polipropilén (PP) és a polietilén-tereftalát (PET). Hasonlóképpen, a műtési kesztyűk és maszkok nemszőtt anyagokból készülnek, amelyek gyakran tartalmaznak más polimereket, például polietilént (PE), PP-t és PET-et. Az ilyen maszkok lebomlás során valószínűleg kisebb mikroműanyag darabokra bomlanak, így szabad területeken történő eldobása előidézi műanyagok 'soha véget nem érő történetét' a környezetben.

A nyílt (szárazföldi vagy vízi) környezetben történő szemetelés, az egyéni védőeszköz, a műanyag hulladék képesek elzárni a szennyvízrendszert a városokban (különösen a fejlődő országokban), és negatívan befolyásolják a vízszivárgást és a mezőgazdasági talajok levegőztetését is, visszahatva a föld termelékenységére. Ezenkívül, a műanyagszennyezés tovább bomlik mikro- és nano-méretű műanyag részecskékre.

A mindenhol jelen lévő műanyag törmelék tartóssága, mely kapcsolatban áll a polimer típusával, alakjával és nagyságával köztudottan komoly veszélyeket jelent a biológiai sokféleségre nézve, mivel ezek könnyen lenyelhetők és fizikai károkat (például belső horzsolásokat és eltömődéseket) is okozhatnak. Bár a műanyagszennyezést jellemzően biokémiaiilag inertnek tekintik, a gyártási folyamatok során műanyag adalékokat építenek be a tulajdonságok javítása érdekében.

Ezenkívül a műanyagszennyezés különböző szennyezők, invazív fajok és kórokozók, például a SARS-CoV-2 vektoraként is működhet. A műanyag adalékanyagok, illetve felszívódott szennyező anyagok kimosódhatnak és átjuthatnak a környezetbe, rontva a talaj és a víz minőségét, káros hatásokat okozva a szárazföldi és vízi élővilágra, a biológiai szerveződés különböző szintjein. A nyílt környezetben, különösen a vízi területeken történő szemetelés szaporodási felületet teremthet az állatról emberre terjedő fertőző (zoonotikus) betegségek, például az *Ázsiai tigrisszúnyog* hordozta dengue- és a Zika-vírus számára, ami szintén veszélyeztetheti az általános közegészséget és biztonságot.

#### *Megnövekedett orvosi hulladék a járvány során*

A nagy COVID-19 esetszámmal küzdő városok az egészségügyi létesítmények orvosi hulladéktermelésének drámai növekedésének kezelésével is harcolnak.

Például a jordániai King Abdullah Egyetemi Kórház tízszer több orvosi hulladékot termelt (~ 650 kg/nap, ha 95 COVID-19 beteg ápolását veszik figyelembe), mint 'normál' működés esetén. Az orvosi hulladék drasztikus növekedéséről a világ más részein is beszámoltak, például Katalóniában, Spanyolországban és Kínában, 350%-os, illetve 370%-os növekedéssel. Az orvosi hulladék drasztikus növekedése túlterheli az egyes országok vagy önkormányzatok kapacitásait. A SARS-CoV-2 vírust tartós és magas fertőzőképessége miatt sok ország az összes kórházi hulladékot fertőzőként



sorolja be, amelyet magas hőmérsékleten kell elégetni, lehetővé téve a sterilizálást. Míg néhány ország vagy település képes lesz alternatívan kezelni a hulladékot, mások (kisebb gazdasági és hulladékgazdálkodási erőforrással) kénytelenek egyéb, nem megfelelő kezelési stratégiákat alkalmazni, ami valószínűleg káros hatással lesz a környezetre, miközben felvetheti a járvány további hullámának lehetőségét. Példaként említhetjük, hogy a kínai Wuhan lakosai (~11 millió ember) egyetlen napon (2020. február 24-én) 200 tonna orvosi hulladékot termeltek, ami négyszer nagyobb, mint amit a város egyetlen létesítménye elégethet, és ami arra

kényszerítette a hatóságokat, hogy mobil létesítmények telepítsenek a megnövekedett szemét kezelésére (l. 8. ábra). Ezzel szemben néhány indiai önkormányzat nem megfelelő rendszert követ az orvosi hulladék ártalmatlanításában és kezelésében, amelyek többnyire hulladéklerakókra, illetve helyi égetési stratégiák vonatkoznak. A javarészt műanyagból készült orvosi hulladék nem ellenőrzött elégetése nem ajánlott, mivel hozzájárul az üvegházhatást okozó gázok, valamint más potenciálisan veszélyes vegyületek, például nehézfémek, dioxinok, PCB-k és furánok kibocsátásához.



**8. ábra.** Orvosi hulladék nyitott parkolóban történő elhelyezése (Wuhan)  
(<https://news.cgtn.com/news/2020-02-26/Medical-waste-handlers-in-Wuhan-brave-all-to-dispose-infected-waste-OoDB2wNVe0/index.html>)

### *Az egyszer-használatos műanyagok iránti megnövekedett kereslet*

Az egyéni védőeszközökkel kapcsolatos megnövekedett hulladékképződés kiegészül az egyszer-használatos műanyagok (single use plastic, SUP) fokozott használatával. A műanyag iránti kereslet várhatóan 40%-kal nő a csomagolások tekintetében és 17%-kal egyéb területeken, beleértve az orvosi felhasználást is. A COVID-19 során a szupermarketekben történő vásárlással kapcsolatos aggodalmak miatt, a fogyasztók és a szolgáltatók előnyben részesítették a műanyag tárolókba csomagolt friss élelmiszereket (az élelmiszerek szennyeződésének elkerülése és az eltarthatóság meghosszabbítása érdekében), illetve az egyszer használatos élelmiszer-csomagolások, mint műanyag zacskók használatát élelmiszerek szállítására. A vásárlók aggályainak csökkentésére és biztonságuk érdekében a szupermarketek további egészségügyi intézkedéseket hajtottak végre, többek között távolságtartási, tisztasági előírások alkalmazásával és bizonyos esetekben akár házhoz szállítással vagy átvételi szolgáltatással.

Ezeket felhasználva a műanyagipar kétséget ébresztett a kormányzati vezetőkben, hogy a többször használatos edények és zacskók nem felelnek meg az élelmiszerbiztonsági, a higiéniai és a keresztszennyeződés elkerülési követelményeknek a járvány során. Ezt sikeresen kamatoztatták korábban, ugyanis több helyen elérték, hogy visszavonják a SUP tiltását, illetve csökkentseék a díjakat.

Például New Yorkban és Maine-ben a SUP-tilalmat 2020. május 15-ig, illetve 2021. január 15-ig megszüntették, valamint Massachusetts és New Hampshire újra bevezette az SUP-t, sőt megtiltotta az újrafelhasználható bevásárló táskák használatát a munkavállalókat és az vásárlókat fenyegető potenciális egészségügyi veszélyek miatt. Az életképes SARS-CoV-2 vírus hosszabb ideig marad életben a műanyag felületeken, mint más anyagokon, például a kartonon, így azt lehetne állítani, hogy a SUP-tilalmak visszavonása korai lehet, mivel sok fogyasztó már alkalmazkodott a nem műanyag alapú alternatívák használatához. Emellett nem világos, hogy az újrafelhasználható vásárlótáskák, a ruhákhoz vagy cipőkhöz képest hogyan járulhatnak hozzá jobban a kockázathoz úgy, hogy néhány egyszerűbb tisztítási eljárással a rajtuk lévő kontamináció mérsékelhető. A COVID-19 során sok SUP hulladékkezelése keveredik a kommunális hulladékéval, mivel az újrahasznosítás jelenleg világszerte korlátozottan működik. Így, ahogy a COVID-19 betegség tovább terjed az egész világon, az orvosi és műanyag hulladék tömeges használata és helytelen kezelése polgárok milliárdjai által, gyorsan globális kérdéssé válhat.

### *Az egyéni védőeszközök iránti kereslet megnövekedése*

A vírusfertőzés megelőzése érdekében elengedhetlenné vált egyéni védőeszközök – például orvosi maszkok és kesztyűk – alkalmazása az orvosi személyzet és az egészségügyi dolgozók,

majd a hétköznapi polgárok számára. Az egyéni védőeszköz iránti igény világszerte jelentősen megnőtt. Havi 129 milliárd arcmaszk és 65 milliárd kesztyű használatára lenne szükség az állampolgárok védelme érdekében világszerte. A legtöbb esetben az egyéni védőeszközöket elővigyázatossági intézkedések nélkül eldobják, az üres kézi fertőtlenítő és szerves szilárd hulladékok mellett a rendes kommunális hulladékok

közé, vagy ami még rosszabb, a természetbe.

Kesztyűk és maszkok, valamint egyéb műanyag felszerelések a nem megfelelő ártalmatlanítás mellett egyre több nyilvános helyen található egyszerűen eldobálva. Például, civil szervezetek jelentős mennyiségű eldobható maszkot figyeltek meg egy 100 méteres szakaszon, a Soko szigetei strandon, Hong Kong-ban (l. 9. ábra).



**9. ábra.** Összegyűjtött maszkok a Soko strandon (<https://oceansasia.org/beach-mask-coronavirus/>)

### **Irányelvek a műanyag hulladék csökkentésére**

#### *A kommunális hulladékkezelés javítása*

A járványhelyzet során rendkívül fontos megbízható információt gyűjteni a hulladék mennyiségéről és típusáról (azaz a pontos

jellemzési adatokról), valamint arról, hogy mennyi anyagot lehet

újrafelhasználni vagy újrafeldolgozni (a megfelelő fertőtlenítést követően), hogy ezután megállapíthassák, mi is kerül égetésre vagy hulladéklerakókra. A hulladékgazdálkodás a járvány idején

különösen fontos a kórokozók átterjedésének kockázata és a megnövekedett háztartási hulladéktermelés miatt. Hasonlóképpen kötelezővé kell tenni és meg kell erősíteni az egyéni védőeszközök használatát a hulladékgazdálkodással foglalkozó munkavállalók számára. Ezért a hulladék begyűjtéséért és kezeléséért felelős önkormányzatoknak iránymutatásokat és eljárásokat kell kidolgozniuk a hulladékcsökkentésre, a védőintézkedésekre, a gyűjtés gyakoriságára és a hulladék életciklusának tekintetében.

#### *Orvosi hulladékok biztonságos újrahasznosítása*

A járvány idején az egészségügyi hulladékot és az egyéni védőeszközöket a szakszemélyzetnek gondosan ellenőriznie kell az egészségbiztonság garantálása érdekében. A fertőtlenítési technológia, beleértve az UV, ózon vagy biomérnöki megközelítéseket, fenntartható stratégiát kínálhat a hulladék és a szennyvíz kezelésére. A megfelelő fertőtlenítési technológia kiválasztásának a hulladék mennyiségén, a hulladék típusán, a költségeken és a karbantartáson kell alapulnia. Nagy mennyiségű fertőző orvosi hulladék esetén (>10 t/nap) továbbra is az égetés a legjobb megoldás, mivel az alkalmazott magas hőmérséklet (800 °C feletti) teljesen elpusztítja a kórokozókat. Ha az orvosi hulladék mennyisége nem túl nagy (<10 t/nap), kémiai fertőtlenítés (azaz vegyi fertőtlenítőszer használata) vagy fizikai fertőtlenítés (mikrohullám vagy magas hőmérsékletű gőz alkalmazása) lehetséges.

A megfelelő védelem fenntartása, valamint a kiterjesztett, újrahasználati és újrafeldolgozhatósági lehetőségek előmozdítása mellett hasznos lehet az egyéni védőeszközök fertőtlenítése, beleértve az arcvédőket, a műtős és az N95-ös maszkokat. A nemszőtt textíliák újrahasználatossága, amelyekből a legtöbb védőeszköz készül, még mindig nagyon korlátozott. Úgy tűnik, hogy az UV-C fény, az ózongáz, az ionizált hidrogén-peroxid, valamint a mikrohullámú és a hőalapú alapos fertőtlenítési módszerek alkalmazhatók a PPE és N95 maszkokra, javítva azok újrafelhasználhatóságát és csökkentve a hulladéktermelést.

#### *Az egyéni védőeszközök fenntartható és ésszerű felhasználásának megvalósítása*

A WHO számos ajánlást javasolt a rendelkezésre álló egyéni védőeszközök optimalizálására. Fontos továbbá a jó minőségű egyéni védőeszközök kiválasztása, azaz, hogy fertőtleníthetőek és újrafelhasználhatóak legyenek. Az anyagok ésszerű használata az orvosi hulladék termelésének csökkenéséhez is vezethet.

#### *A fenntartható és biztonságosabb műanyag-fogyasztási és -termelési szokások támogatása*

A járvány ellen bevezetett intézkedések az eldobható műanyagok felhasználásának és fogyasztásának drámai növekedéséhez vezettek. Például a szépségszalonok és fodrászatok elővigyázatossági intézkedéseket vezettek be a vásárlók biztonságának biztosítása érdekében a COVID-19 ellen. Ilyen intézkedés többek között a munkavállalók és a vásárlók kötelező maszkhasználata, valamint az eldobható műanyag felszerelésekhez



(lábvédők és kabátok) kapcsolódó egyedi szabályok. E felszerelések részben, vagy teljesen olyan polimereken alapulnak, mint a PE, PA, PP és PET. Az ilyen polimerek (nem megújuló) fosszilis tüzelőanyagokból származnak és igen lassan bomlanak le a környezetben. Ezenkívül a szárazföldi és tengeri törmelékekben található leggyakrabban előforduló polimerek közé tartoznak, mikroméretükben (1  $\mu\text{m}$ –5 mm) számos vízi fajra káros hatást váltanak ki. Az egyszer használatos műanyagok használatának előnyét az újrahasználatos alternatívákkal szemben a tudományos szakirodalom valójában nem támasztja alá, amikor a megfelelő higiéniai és sterilizálási eljárásokat mérlegeli a SARS-CoV2 életképességének kiküszöbölése során. Ezért ösztönözni kell az újrahasználatos alternatívák előnyben részesítését.

A gazdaságban a bioalapú műanyagok (részben vagy teljesen biomasszából származó polimerek) a fenntartható, de rövid távú alternatívaként jelentek meg a hagyományos műanyagok mellett, a fosszilis tüzelőanyagok megújuló erőforrásokkal való helyettesítésével. A biobázisú műanyagok emellett csökkenthetik a szénlábnyomot, növelhetik az újrafeldolgozási lehetőségeket (például az otthoni komposztálást) és a hulladékgazdálkodás hatékonyságát, ezáltal csökkentve a hagyományos műanyag hulladék okozta gazdasági és környezeti károkat. A biológiai alapú, biológiailag lebontható anyagok enzimikus vagy biológiai aktivitás útján képesek lebomlani a környezetben. Az alifás poliészterek (pl. politejsav, PLA és polihidroxi-alkanoátok, PHA) és furán-

alifás poliészterek (polietilén-2,5-furandikarboxilát, PEF és polietilén-2,5-furandikarboxilát-ko-politejsav, PEF-co-PLA) termofizikai tulajdonságaik és állítható lebomlási arányuk miatt különösen fontosak az egyéni védőeszközök és más egyszer használatos műanyagok építőelemeiként.

Jelenleg a biobázisú műanyagok a világ műanyagtermelésének továbbra is kis százalékát képviselik (~7,4%, 348 millió Mt 2017-ben). Ennek okai elsősorban a földhasználat iránti intenzív igény, a kapcsolódó pénzügyi beruházások, és a kiépítetlen újrahasznosítási és ártalmatlanítási utak. Továbbá a biológiai lebomlásuk a környezetben és toxikológiai hatásai ismeretlenek. Néhány biobázisú műanyagot is tartósnak és mechanikusan ellenállóknak terveztek, bár a fosszilis tüzelőanyag-alapú társaikkal összehasonlítva, az egyetlen előnyük az alapanyaguk és a kisebb szén-dioxid-kibocsátásuk a gyártás és használat során. A biobázisú megoldás jó lehetőség, de a fenntartható megoldás felé történő előrehaladás érdekében további innovációra és új technológiákra van szükség.

Továbbá, a bioműanyagoknak biztonságosnak, környezetbarátnak és veszélyes vegyi anyagtól és adaléktól mentesnek kell lenniük. Mindemellett az irányelveknek a műanyag szennyezés megelőzését és az általános csökkentést kell előtérbe helyezniük (Silva, A.L.P. et al. (2020)).

## **KÖRNYEZETBARÁT FERTŐTLENÍTŐ ADAGOLÓK**

A fertőtlenítő adagolókat általában eldobható tartályokkal töltik fel. A német gyógyszerterek és a kórházi gyógyszerterek törvényesen engedélyezik ezek újratöltését a német gyógyszertervtörvény bekezdése alapján, de csak az ellátási megbízás keretein belül. (Az orvosi rendelőkben és a kórházakban nincs szükség a gyártási engedélyre a személyzet számára a kézfertőtlenítő-szerek dekantálására (újratöltésére), ha ezeket kizárólag a létesítményben belül használják.) Mivel ezeknek a fertőtlenítőszereknek a létesítményben történő használata nem jelenti azt, hogy azokat bármilyen módon forgalomba hozták, a betöltött fertőtlenítőszerre nem vonatkozik az előírt kötelező jóváhagyás. Ennek ellenére, az illetékes felügyeleti hatóságot értesíteni kell az újratöltésről.

Az újratöltés előfeltétele az átfogó minőségbiztosítás. Ez magában foglalja többek között a fertőtlenítőtartályok újratöltés előtti tisztítását és sterilizálását, aszeptikus körülmények között történő újratöltését, valamint a megfelelő címkézést, amely tartalmazza az újratöltési és a lejárat dátumot, valamint a tételes dokumentációt, amelyet nagyon nehéz kivitelezni orvosi rendelőkben. Ha felelősségi ügy merül fel, a fordított bizonyítási teher a munkát végző személy kizárólagos felelőssége, vagyis felelősséggel tartozik az újratöltés minőségért. A termék szennyeződése egyéb higiéniai hibákkal összefüggésben akár bírósági ügyhöz vezethet.

Általános célkitűzés a mikrobiális szennyeződés megelőzése a lehető legkönnyebb használat mellett, abban az esetben, amikor az adagolót kézfertőtlenítővel vagy kézmosó készítménnyel töltik meg az eldobható tartály szennyezés nélküli cseréjével.

A fenntarthatóság érdekében szintén fontos az adagolók számára környezetbarát megoldások létrehozása. A költségek megtakarítása érdekében az eldobható edényeknek egyetemesen alkalmazhatóknak kell lenniük.

Az alkoholos fertőtlenítőszerekben továbbra is fennáll a spórákkal való szennyeződés kockázata (bár alacsony), mivel az alkoholok nem spóraölő hatásúak. A szennyeződés kockázata sokkal nagyobb a kézmosó készítményeknél, beleértve az antiszeptikus kézmosó készítményeket, például amelyek aktív hatóanyaga a klórhexidin-diglukonát.

A német Commission for Hospital Hygiene and Infection Prevention, röviden KRINKO ajánlásban a következő igényeket fogalmazták meg a kézfertőtlenítő szerek és a kézmosó készítmények adagolóira vonatkozóan, a gyártótól és az adagoló típusától függetlenül:

- nem újratölthető tartályokkal (eldobható tartályokkal) legyenek ellátva
- különböző gyártók tartályai legyenek használhatók
- használat közben elkerülhető legyen a pumpafej mikrobiális szennyeződése

- működés közben ellenőrizhető legyen a töltési szint
- a termék első használatának dátuma vagy a lejáratí idő legyen dokumentálva
- mind a kézfertőtlenítők, mind a kézmosó készítmények tartályai esetében ajánlott a könnyebb kezelés érdekében, hogy eldobhatók legyenek
- az automatikus működtetésű adagolórendszereket előnyben kell részesíteni a szennyeződés alacsonyabb valószínűsége miatt, valamint a használatukra vonatkozó pozitív hatásuk miatt (mivel sokkal könnyebben használhatók), továbbá
- az instabil edényből szájon át történő bevitelnek nehéznek kell lennie, így alkalmassá válhatnak például pszichiátriai osztályokon stb., valamint börtönökben történő használatra is.

Ideális esetben az adagolót orvosi fertőtlenítőszerként kell jóváhagyni, mint orvostechikai eszközt, mert ebben az esetben a gyártó köteles tájékoztatást adni a megfelelő újrafeldolgozásról.

Mivel a kézmosó készítmények és krémek adagolói nem tekinthetők orvosi eszköznek, a felhasználóknak maguknak kell kidolgozni az újrafeldolgozási lépéseket.

### **A KRINKO-ajánlás végrehajtásáról**

#### *Univerzális használhatóság*

A különböző gyártók adagolóinak illeszkedniük kell a kézfertőtlenítők, kézmosószeresek vagy krémek eldobható tartályához, vagyis az eldobható tartályokat

ugyanazon technológiai elv szerint kell megtervezni.

#### *Szennyezésbiztos eldobható tartály*

Eldobható tartályként rugalmas, átlátszó tasakokat javasolnak, amely minden oldalon átjárhatatlan a kórokozók számára. Ennek számos előnye van a merev eldobható tartályokkal szemben. Minél inkább csökken a tartalom, annál jobban zsugorodik a zsák, amíg teljesen ki nem ürül. Ez azt jelenti, hogy a kitöltési szint mindig jól látható. Negatív nyomás gyakorolható légmentesen a zacskóra. Ez szükségtelenné teszi az első használat dátumának vagy a lejáratí idő dokumentálását. A zsákban lévő negatív nyomás a fertőtlenítőszer a kézre engedi, és nincs szükség pumpás fejre. Ez kiküszöböli a pumpás fej újrafeldolgozásának szükségességét, ideértve a pumpa rugójának cseréjét is. Az üres zacskót a kiöntő résszel együtt kell eldobni. Ez kiküszöböli az adagoló újrafeldolgozásának szükségességét. Mivel a működéshez nem kell levegőt beszívni, mint a pumpás mechanizmus esetében, hanem a negatív nyomás szabadítja fel a belső fertőtlenítőszer, így a levegő nem lehet potenciális szennyeződés. Ugyanakkor a teljesen zárt rendszer miatt az alkohol alapú kézfertőtlenítők koncentrációja nem változik a párolgás miatt.

#### *Működés*

Az adagolótól függően lehetővé kell tenni, hogy a fertőtlenítőszer manuálisan, vagy érintés nélkül eltávolítható legyen.



### *Ökológiai szempontok*

Anyagmegtakarítás érhető el a merev adagoló rendszerhez képest, ha az új rendszert gondosan tervezik. Biológiailag lebomló vagy legalábbis újrahasznosítható műanyagot kell használni az eldobható tartályokhoz. A pumpás rendszer kiküszöbölése és a tasakos rendszer vékonyabb falvastagsága miatt feltételezhető, hogy a hulladék mennyisége csökken a korábbi eldobható tartályokhoz képest. A pumpa fejet és az adagolót nem kell újra feldolgozni, ami további ökológiai előny. Az a tény, hogy a fertőtlenítőszer negatív nyomáson adagolják, biztosítja a tasak teljes kiürülését, ami hozzájárul a gazdaságos fogyasztáshoz.

### *Egyéb megfontolandó szempontok*

Az ilyen kialakítás miatt a tartályok újratöltése lehetetlen. Kézműves készítmények és krémek vásárlásakor ellenőrzendő, hogy a gyártó a terméket potenciálisan patogén, mikroorganizmusoktól mentesnek nyilvánította-e, mivel a szennyezett termékek fertőzésveszélyt is jelenthetnek (Kramer, A. (2020)).

## **ÖSSZEGZÉS**

A COVID-19 járvány fenyegetése során elsőbbséget és védelmet kell biztosítani az emberek egészségének és biztonságának. A világjárványra adott válasz részeként a QAC használata egyre növekszik. A környezetvédelemmel foglalkozó mérnököknek és tudósoknak szükséges a QAC-ok környezeti hatásainak mihamarabbi elemzése, méghozzá úgy, hogy kimagasló figyelmet szentelnek arra,

hogy megvizsgálják a különböző hatásokat más területeken is, beleértve a szennyvízkezelést.

A szennyvíztisztító telepeken, a felszíni vizekben és az üledékekben a QAC-ok jelenlétének fő forrása a QAC-tartalmú termékek ipari és háztartási használatán alapszik. Általában a szennyvízben és a felszíni vizekben a QAC-ok szennyezettségi szintje ng/L és µg/L közötti, míg az iszapban az üledék QAC-szintje µg/kg és mg/kg (szárazanyag, dw) közötti tartományban van. Bár a QAC-ok képesek biológiailag lebomlani aerob körülmények között, szorpciójuk gyorsabb, mint a lebomlás. Ezért a QAC-ok nagy mennyiségben halmozódhatnak fel a környezetben, különösen az anoxikus / anaerob részeken.

Ironikus módon a vírus elleni küzdelem fokozhatja az antibiotikumokkal szemben rezisztens baktériumok okozta fertőzéseket, ha a megnövekedett QAC-expozíció felborítja az antibiotikum-rezisztencia terjedését. Szerencsére a QAC-tartalom növekedésének hatására bekövetkezett változás a különböző környezeti rendszerekben nem okoz meglepetést, ugyanakkor jelen körülmények között kellő gondossággal kell jelenlétüket figyelemmel kísérni, az aggodalomra okot adó koncentrációkra ügyelve.

Ezért szükség van a szennyvíztisztító telepeknél – különösen az aktív iszaptól – a QAC-ok eltávolításának javítására, még mielőtt azok a környezetbe kerülnének, valamint szükség esetén orvoslására szolgáló technológiák kifejlesztésére és bevezetésére.

Összefoglalva, hatékony biológiai és környezeti, biztonsági, értékelési és megelőzési rendszert kell kidolgozni az élőlények és a biológiai sokféleség egészséges környezetének védelmére, különösen a jövőbeli globális közegészségügyi kihívások kezelésének érdekében.

Végül, de nem utolsósorban szükséges megemlíteni, a kémiai oldaltól eltekintve egy másik környezetet terhelő tényezőt, a járvány során felhalmozódott hulladékot. Óriási mennyiségű műanyag hulladék keletkezik (beleértve az orvosi hulladékot is) globális szinten. A többség hulladéklerakókba vagy elégetésre kerül (amelyek kedvezőtlenebbek, nagyobb negatív környezeti hatásokkal járnak), kisebb részét pedig újrahasznosítják. Jelenleg még inkább fontos a biológiailag lebomló műanyagok technológiáinak fejlesztése, illetve halaszthatatlanná vált a kormányok akciótervének kidolgozása a COVID-19 hulladékának kezelésére.

## **KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS**

A publikáció a Bolyai János Kutatási Ösztöndíj, az NTP-NFTÖ-20-B-0095, illetve az 128543-as és az 131586-os számú OTKA pályázatok támogatásával készült. A kutatómunka az Európai Unió és a magyar állam támogatásával, az Európai Regionális Fejlesztési Alap társfinanszírozásával, a GINOP-2.3.4-15-2016-00004 projekt keretében valósult meg, a felsőoktatás és az ipar együttműködésének elősegítése céljából. A jelen publikációban megjelenő kutatások az ITM NKFIÁ által nyújtott TKP2020 NKA

támogatásból, az NKFIH által kibocsátott támogatói okirat alapján valósultak meg (projekt-azonosító: TKP2020 BME-NKA).

## **FELHASZNÁLT IRODALOM**

Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR) (2002), viewed 1 Dec., 2020, <https://www.atsdr.cdc.gov/>.

Aronson, J.K. (ed.) (2016): *Meyler's Side Effects of Drugs (Sixteenth Edition) The International Encyclopedia of Adverse Drug Reactions and Interactions*, Elsevier Science, 2016, pp. 843–844.

Biró, G. (2014): *Élelmiszer-higiéncia*, Agroinform Kiadó, Budapest.

Cohen, J. & Kupferschmidt, K. (2020): Strategies shift as coronavirus pandemic looms, *Science*, 2020 Feb 28;367(6481):962-963. doi: 10.1126/science.367.6481.962.

Eriksen, M., Lebreton, L.C.M., Carson, H.S., Thiel, M., Moore, C.J., Borerro, J.C., Galgani, F., Ryan, P.G. & Reisser, J. (2014): Plastic Pollution in the World's Oceans: More than 5 Trillion Plastic Pieces Weighing over 250,000 Tons Afloat at Sea, *PLoS ONE* 9(12): e111913. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0111913>.

Global Carbon Project (2020): viewed 1 Dec., 2020, <https://www.globalcarbonproject.org/>.

Gyires, K. & Fürst, Zs. (2011): *A farmakológia alapjai*, Medicina Könyvkiadó Zrt., Budapest.

- Hazardous Substances Data Bank (2012): viewed 1 Dec., 2020, <https://www.nlm.nih.gov/databases/download/hsdb.html>.
- HERA (2005): Human & Environmental Risk Assessment on ingredients of household cleaning products – HERA Hydrogen Peroxid version 1.0 April 2005, [https://www.heraproject.com/files/36-F-05-Shor\\_H2O2\\_version1.pdf](https://www.heraproject.com/files/36-F-05-Shor_H2O2_version1.pdf).
- Hora, P.I., Pati, S.G., McNamara, P.J. & William, A.A. (2020): Increased Use of Quaternary Ammonium Compounds during the SARS-CoV-2 Pandemic and Beyond: Consideration of Environmental Implications, *Science of the Total Environment*, 2020 Jun 26 : acs.estlett.0c00437., Published online 2020 Jun 26. doi: 10.1021/acs.estlett.0c00437.
- Kramer, A. (2020): Requirements for hygienically safe, environmentally friendly dispensers for hand disinfectants and hand washing preparations, *GMS Hyg Infect Control*. 2020; 15: Doc02. Published online 2020 Feb 19. doi: [10.3205/dgkh000337](https://doi.org/10.3205/dgkh000337).
- Mahmood A., Eqan, M., Pervez, S., Alghamdi, H.A., Tabinda, A.B., Yasar, A., Brindhadevi, K. & Pugazhendhi, A. (2020): COVID-19 and frequent use of hand sanitizers; human health and environmental hazards by exposure pathways, *Science of the Total Environment*, 2020 Nov 10;742:140561. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.140561.
- McDonnell, G. (2009): Encyclopedia of Microbiology (Third edition), Sterilization and Disinfection, 2017: 929–944., Published online 2017 Mar 31. doi: 10.1016/B978-0-12-805299-0.00059-2.
- Mulder, I., Siemens, J., Sentek, V., Amelung, W., Smalla, K. & Jechalke, S. (2018): Quaternary Ammonium Compounds in Soil: Implications for Antibiotic Resistance Development, *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, vol. 17, pp. 159–185.
- Nabi, G., Wang, Y., Hao, Y., Khan, S., Wu, Y. & Li D. (2020): Massive use of disinfectants against COVID-19 poses potential risks to urban wildlife, *Environmental Research*, 2020 Sep; 188:109916, Published online 2020 Jul 9. doi: 10.1016/j.envres.2020.109916.
- New England Interstate Water Pollution Control Commission (NEIWPCC) (2001): viewed 1 Dec., 2020, [https://www.neiwpcc.org/neiwpcc\\_docs/NEI\\_ResourceGuide.pdf](https://www.neiwpcc.org/neiwpcc_docs/NEI_ResourceGuide.pdf).
- Schrank, C.L., Minbiole, K.P.C. & Wuest, W.M. (2020): Are Quaternary Ammonium Compounds, the Workhorse Disinfectants, Effective against Severe Acute Respiratory Syndrome-Coronavirus-2?, *ACS Infectious Diseases*, 2020, 6, 7, 1553–1557.
- Silva, A.L.P., Prata, J.C., Walker, T.R., Armando C. Duarte, A.C., Ouyang, W., Barcelò, D. & Rocha-Santos, T. (2020): Increased plastic pollution due to COVID-19 pandemic: Challenges and recommendations, *Chemical Engineering Journal*, 2021 Feb 1; 405:126683., Published online 2020 Aug 17. doi: 10.1016/j.cej.2020.126683.

Ullah, H., Ullah, A., Gul, A., Mousavi, T. & Khan, M.W. (2020): Novel Coronavirus 2019 (COVID-19) Pandemic Outbreak: A Comprehensive Review of the Current Literature, *Vacunas*, 2020 Oct 14. doi: 10.1016/j.vacun.2020.09.009.

Zambrano-Monserrate, M.A., Ruano, M.A. & Sanchez-Alcalde, L. (2020): Indirect effects of COVID-19 on the environment, *Science of the Total*

*Environment*, vol. 728, 138813., doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.138813.

Zhang, C., Cui, F., Zeng, G.-M., Jiang, M., Yang, Z.-Z., Yu, Z.-G., Zhu, M.-Y. & Shen, L.-Q. (2015): Quaternary ammonium compounds (QACs): A review on occurrence, fate and toxicity in the environment, *Science of the Total Environment*, 2015 Jun 15;518-519:352-62. doi: 10.1016/j.scitotenv.2015.03.007.

## Some educational materials on circular economy

In December, 2019, authors from Aalborg University (Denmark) and Laboratório Nacional de Energia e Geologia (Amadora, Portugal) published a document titled 'Product-Service Development for Circular Economy and Sustainability Course: Training Modules: **Introduction to the circular economy**'

([https://www.researchgate.net/publication/337907452\\_Product-](https://www.researchgate.net/publication/337907452_Product-Service_Development_for_Circular_Economy_and_Sustainability_Course_Training_Modules_Introduction_to_the_circular_economy)

[Service\\_Development\\_for\\_Circular\\_Economy\\_and\\_Sustainability\\_Course\\_Training\\_Modules\\_Introduction\\_to\\_the\\_circular\\_economy](https://www.researchgate.net/publication/337907452_Product-Service_Development_for_Circular_Economy_and_Sustainability_Course_Training_Modules_Introduction_to_the_circular_economy)). This module is part of the training materials developed in the KATCH\_ e Project, Knowledge Alliance on Product-Service Development towards Circular Economy and Sustainability in Higher Education and co-funded by the Erasmus + Programme of the European Union. Main chapters of the 74-page publication, following the introductory parts are the following:

- The global sustainability challenge and why we need a new approach
- Defining circular economy, underlying principles and related strategies
- Circular economy and sustainability
- Design and innovation for a circular economy
- Circular economy requires new business models
- Main challenges and drives in shifting to a circular economy

- EU policy and legislation for circular economy
- Sustainable production and consumption
- *Circular economy in the construction and furniture sectors*
- Tools for introducing circular economy, and
- The Ten KATCH\_ e Essentials of circular economy.

The authors defined the ten essentials of the circular economy as follows:

1. Think circularity already in the design phase
2. Think of functionality instead of products
3. Analyse where value is created and destroyed
4. Circular solutions should be sustainable
5. Keep a life cycle perspective
6. Involve stakeholders in developing new solutions
7. Lead the transition to a circular economy
8. Understand new consumer practices
9. Make the circular solutions attractive, and
10. Consider the local, social value.

Another, 162-page publication was issued in June 2020, called '**Educational materials on sustainability, circular economy and bioeconomy** for schools, colleges and universities' in the frame of the project 'Bio-based strategies and roadmaps for enhanced rural and regional development in the EU' ([https://be-rural.eu/wp-content/uploads/2020/07/BE-Rural\\_D3.2\\_Educational\\_materials\\_reduce](https://be-rural.eu/wp-content/uploads/2020/07/BE-Rural_D3.2_Educational_materials_reduce)

d.pdf). This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme. Its Annex V incorporates a review of 100 free online educational resources (on bioeconomy, circular economy &

sustainable development goals– SDGs), while Annex IX contains power point slides and notes on 'Bioeconomy and the circular economy'.

*Rácz, László (sr)*