

Műanyagok antimikrobiális felülettel

A műanyag tárgyak felületén érintés útján megtapadt baktériumok vagy gombák könnyen viszik át a fertőzést egyik emberről a másikra. A háztartások és az emberi test túlzott fertőtlenítését az orvosok ugyan nem ajánlják, ez nagyon is indokolt az orvosi és kórházi eszközök alkalmazásakor. A műanyagokba kevert fémionok és más hatóanyagok folyamatosan biztosítják az antimikrobiális felületet és szükségtelessé tehetik a felület további fertőtlenítését. A piacon egyre növekszik az antimikrobiális hatóanyagok, mesterkeverékek és kompaundok választéka, és fejlesztésük is töretlen. A tervek között szerepel a vegyi anyag nélkül, nanoszerkezetéből adódóan baktériummentes felület kialakítása is.

Tárgyszavak: gyógyászat; orvosi eszközök; fertőtlenítés; antimikrobiális; hatóanyag; műanyagkompaund; nanostruktúra.

A műanyagok mikroorganizmusok elleni védelmét eleinte élettartamuk meghosszabbítására alkalmazták. A felületen megtapadó és ott növekedő baktériumok vagy gombák ugyanis foltosodást, leépülést, szilárdságcsökkenést, szigetelőképeség-változást, kellemetlen szagot okozhatnak. *Bizonyos műanyagokon a mikrobák könnyen megtelepednek.* Ilyen pl. a lágy PVC, amelynek lágyítója tápanyagforrásuk lehet, és ilyenek a farosttal erősített műanyagok. Kedvelik a poliuretánokat is, a poliuretánhab nyitott pórusszerkezete ideális lakóhely számukra; az észteralapú típusokat jobban kedvelik, mint az éteralapúakat.

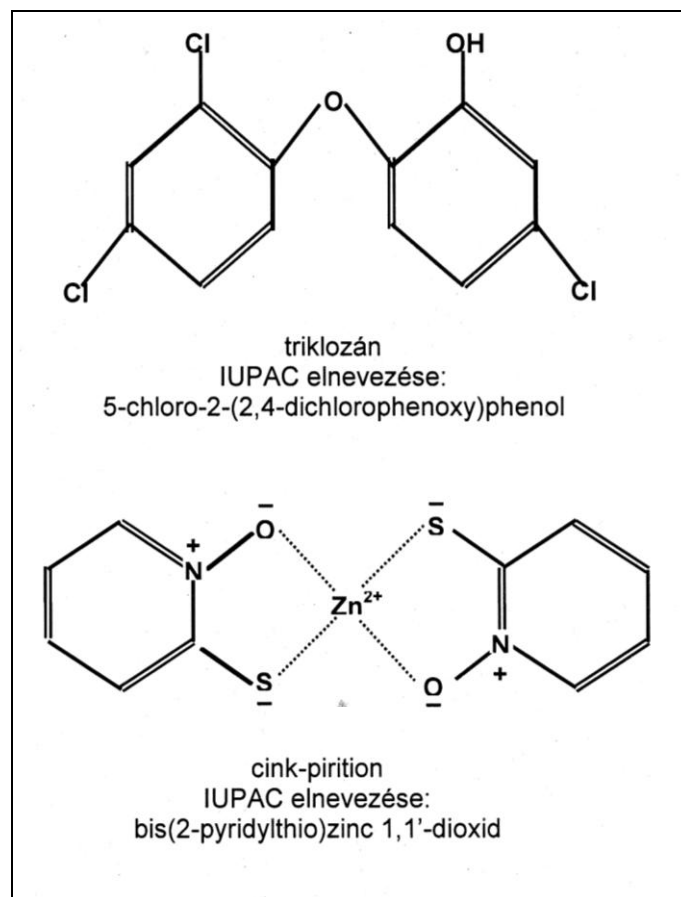
Az antimikrobiális hatású adalékok újabb és erősen fejlődő alkalmazási területe a fertőzések megelőzése. A gyógyászatban egyre több műanyagból készített eszközt alkalmaznak, és azokat, amelyek a betegek szervezetével közvetlenül érintkeznek (kanülök, katéterek, implantátumok stb.) sterilizálják ugyan, de a levegőből, a személyzet és a páciens kezéről, bőréről, óhatatlanul kerülhet felületükre valamilyen csíra vagy kórokozó. Normális esetben a szervezet megküzd ezekkel, de pl. egy frissen műtött beteg, akinek legyengítették az immunrendszerét, már kevés kórokozó hatására fertőzést szenvedhet.

Nagyon felszaporodhatnak a kórokozók a szellőztető és klímaberendezések műanyag vezetékében, légszűrőiben is, ahol a hideg és meleg levegő váltakozása páralecsapódást okoz, a meleg és nedves környezet pedig kedvez a mikroorganizmusok elszaporodásának. Egy ilyen elhanyagolt, takarítatlan klímaberendezés akár halálos betegséget, ún. *legionárius betegséget* is okozhat, amelyre már volt példa, elsőként az USA-ban. A kórokozók fogantyúkról, csatlakozókról, műszaki berendezésekről is át-

kerülhetnek az egyik emberről a másikra. Mikroorganizmusok elszaporodására a fürdőszoba is optimális hely lehet.

Ezért egyre nagyobb az igény az olyan műanyagok iránt, amelyek felületén a csírák és a kórokozók elpusztulnak vagy legalábbis nem képesek fejlődni. A sterilizálás megöli a mikroorganizmusokat, de emellett gondoskodni kell arról, hogy ezt a műveletet követő alkalmazás alatt se lehessenek életképes baktériumok vagy gombák a felhasznált tárgyon.

Vannak olyan teljesen szerves vagy szerves fémvegyületek, amelyeknek baktérium- vagy gombaölő hatásuk van. Ilyenek a kvaterner ammóniumvegyületek, a triklozán, a szerves fémvegyületek között pl. a cink-pirithion (1. ábra).



1. ábra A triklozán és a cink-pirithion kémiai képlete

Közismerten erős antibakteriális hatása van az ezüstnek, amelyet kolloid vagy ezüstsók formájában (pl. porózus SiO₂ szemcsékben vagy zeolitban adagolva; komplexként vagy ezüstiont tartalmazó ioncsereelő gyantákkal, esetleg nanoezüstként) kevernek hozzá a polimerekhez. *Nagyon jó hatásfoka miatt a jelenleg elérhető antimikrobiális szerek legtöbbje ezüstöt tartalmaz.* Ezek könnyen bedolgozhatók a műanyagömlékbe. Hátrányuk, hogy pl. a nanoezüst erős színező hatása miatt ún. fehéráruban nehezen alkalmazható.

Baktériumölő, gombaölő (antifungicid vagy antimikotikus) és algapusztító hatása van a réznek. *A rézvegyületek előnye, hogy olcsóbbak az ezüstvegyületeknél, és hogy a réz esszenciális (a szervezet számára életfontosságú) elem, ezért az ezüsttel szemben biokompatibilis.* Algaölő hatása miatt viszont veszélyeztetheti a természetes vizeket. Saját színe miatt világos színű műanyagokban nem alkalmazható.

Baktériumokat és gombákat pusztítanak vagy gombák növekedését gátolják a *szerves cinkvegyületek* is. Ezek az ezüst- és rézvegyületeknél is olcsóbbak. A cink ugyancsak esszenciális elem, és a sebgyógyulást is serkenti. Magasabb koncentrációban fejt ki az ezüsthöz vagy a rézhez hasonló hatást. Színes kompaundokban is alkalmazható.

Mivel a különböző hatóanyagok nem egyenértékűek (az ezüst pl. gombák ellen hatástalan), a gyakorlatban legtöbbször több hatóanyag keverékéből készítene a védelemhez „testreszabott” adalékokat. *Az utóbbi időben terjed a rézet és cinket tartalmazó biokompatibilis készítmények alkalmazása.*

A hatóanyagokat önmagukban is forgalmazzák, de azokat gyakran kompaundálók vásárolják meg, akik mesterkeverék formájában adják tovább a műanyag-feldolgozóknak, vagy olyan műanyagkeverékeket készítenek, amelyeket pl. a fröccsüzemben csak be kell tölteni a gép tölcserébe.

Piaci forgalomban kapható antimikrobiális adalékok, mesterkeverékek, kompaundok és termékek

A műanyagokba bekevert adalékoknak sok feltételt kell kielégíteniük, különösen, ha az élelmiszeriparban is alkalmazzák azokat, és még szigorúbbak az előírások, ha az egészségügynek szánják őket. Néhány országban csak élelmiszerekkel közvetlenül nem érintkező műanyagtermékekbe szabad antimikrobiális adalékot bekeverni. Alkalmazásukhoz az USA-ban az FDA (Food and Drug Administration), Európában EC regisztráció szükséges.

Akár stabilizálás, akár fertőtlenítés céljából visznek be ilyen adalékot egy műanyagba, alapvető követelmény, hogy

- előállítás és alkalmazása alatt ne veszélyeztesse az emberi és állati egészséget és a környezetet,
- egyszerűen lehessen felhasználni,
- elviselje a feldolgozás körülményeit és összeférjen a többi adalékkal,
- ne gyengítse a műanyagtermék egyéb tulajdonságait, tárolhatóságát és élettartamát.

Az antimikrobiális hatóanyagokat vagy mesterkeverékeket gyártó cégek többségének a központja az USA-ban van, az európai országok közül az Egyesült Királyságban, Svájcban és Németországban vannak ilyen hatású adalékokat kínáló cégek. Legtöbbjük tevékenysége globális, és Európában (esetleg Magyarországon is) van gyártórészlegük vagy képviselőjük. A nagy műanyaggyártó cégek némelyike már közvetlen feldolgozásra alkalmas antimikrobiális műanyagkompaundokat is kínál vásárlóinak. A következőkben – a teljesség igénye nélkül – bemutatunk néhány fontosabb hatóanyag-, mesterkeverékgyártót és kompaundálót.

Hatóanyagok, mesterkeverékek

A *Biosafe Inc.* új *Biosafe HM-4100* márkanévű adaléka kristályos, szilánbázisú polimer kationos kvaterner ammóniumsó, amelynek nincs mérgező hatása és a környezetre sem ártalmas. A cég hasonló célú korábbi folyékony adalékával szemben ez a por alakú készítmény könnyen bekeverhető sokféle hőre lágyuló polimerbe, és elviseli az extrudálás vagy a fröccsöntés körülményeit. Nem okoz elszíneződést és nem migrál a felületre. A Biosafe cég egy kompaudáló céggel, az RTP Co-val (Winona, Minnesota, USA) kötött együttműködési szerződést, amely a HM-4100 adalékot mesterkeverék formájában kínálja majd a feldolgozók számára. Ezt az adalékot az FDA orvosi eszközök módosítására alkalmas anyagként regisztrálta.

A *Microban International Ltd.* *Microban* márkanévű készítményei elsősorban konyhák, fürdőszobák, háztartási és egyéb használati eszközök fertőtlenítésére szolgálnak, de a termékválasztékban fertőtlenítő hatású kozmetikai szerek is vannak. (Meg kell jegyezni, hogy az orvostársadalom a háztartások és főleg az emberi test túlságos fertőtlenítését nem ajánlja, mert ez nemcsak a „rossz”, hanem a „jó” mikroorganizmusokat is megöli, amelyek védő hatásának hiánya is megbetegedést eredményezhet.) A cég készítményeinek hatóanyagait nem publikálja, feltételezések szerint ezek szerves biocidok, pl. klorozán és kvaterner ammóniumvegyületek. A cég 2009-ben nem kizárólagos megállapodást kötött az egyesült királyságbeli *Matrix Plastics Limited* céggel (Slough, Berkshire, UK) gyártmányai európai forgalmazására és mesterkeverékek előállítására. A Microban cég a közelmúltban a tisztítószerket gyártó W.M. Barr cég (Memphis, Tenn. USA) leányvállalata lett, de ez tevékenységét és termékválasztékát nem érinti.

Az *AgIon Technologies* szabadalommal védett *Agion* technológiája ezüstionok baktériumölő tulajdonságán alapszik. A polimerbe kevert fémionok lassú, egyenletes sebességgel vándorolnak a műanyag tárgy felületére, és annak teljes élettartama alatt védelmet nyújtanak a baktériumos fertőzés ellen. Az ezüstionokat zeolit pórusaiba építve viszik be a keverékbe. A cég technológiája vízzel és élelmiszerekkel érintkező műanyagok gyártására is zöld utat kapott az EPA-tól (Environmental Protection Agency, az USA környezetvédelmi hivatala) és az EFSA-tól (European Food Safety Association, Európai Élelmiszer-biztonsági Szövetség). Az AgION cég exkluzív megállapodást kötött a BASF-fel, amelynek keretében antimikrobiális sztirolkompaundokat készít ezüstionos technológiájának felhasználásával.

Az *Addmaster Ltd.* az Egyesült Királyságban a növekedő kórházi fertőzések többségét okozó MRSA (methicillin/oxacillin-rezisztens *Staphylococcus aureus*, ún. húsevő baktérium) ellen vette fel a harcot. Ez a baktérium számos ember bőrén, az egészséges emberek 20–30%-ának orrában mutatható ki anélkül, hogy megbetegedést okozna, de más emberekre kerülve enyhébb bőrelváltozást vagy súlyos, életveszélyes tüdőgyulladást okozhat. Ennek a baktériumfajtának számos törzse elpusztítható a szokott antibiotikumokkal, de vannak olyan törzsek, amelyek ellenállóak a kórházakban alkalmazott methicillinalapú készítményekkel szemben. Az Addmaster Ltd *Biomaster* márkanévű mesterkeverékei olyan ezüstionokat tartalmaznak, amelyek a szabadalommal védett technológia révén szabályozott sebességgel jutnak ki a felületre, ahonnan mosással nem

távolíthatók el. Emberre mérgező hatást nem fejtenek ki, de elpusztítják az MRSA baktériumokat. Biomaster készítményeiket ajánják kórházi padlók és falborítások fedőrétegeihez, veszélyes orvosi hulladékot tároló edényekhez, orvosi kesztyűkhöz és textilekhez, orvosi eszközökhöz, írószerekhez, cipőkhöz és különféle hordozható eszközökhöz. A *VacSax* cég (Plymouth, Egyesült Királyság) testfolyadékot leszívása alatt használt textiliákat készít ki antimikrobiális Biomaster hatóanyaggal. A *BactiClear* márkanévű textilek hozzájárulnak a fertőzések csökkentéséhez és valamennyi brit kórházban szívesen alkalmazzák őket. Az Addmaster Ltd. egy disztribútorcsoportot, a *Bang & Bonsomert* (Helsinki, Finnország) bízott meg azzal, hogy Biomaster készítményeit Oroszországban és a balti államokban forgalmazza. Ugyanez a csoport szolgálja ki a finnországi, ukrainai, kazahsztáni és fehéroroszországi vevőket is.

Ezüstionok adják a *Momentive Performance Materials* cég *StatSil* márkanévű szilikonelasztomerjének baktériumölő hatását is. Az ugyancsak szabadalmaztatott technológiával gyártott elasztomert kifejezetten orvosi célokra fejlesztették ki.

A *Sanitized AG* ezüsttartalmú hatóanyagait nagyon kis szemcseméretű üvegkerámia hordozóanyagba zárja, ahonnan ezek nagyon kis koncentrációban nagyon rövid idő alatt szabadulnak ki, és gyorsan hatnak. Kis szemcsemérete miatt ez az adalék nem változtatja meg a bevonatok átlátszóságát és szépségét. A hatóanyag számos baktériumot képes megölni, és 500 °C felett is megőrzi hatékonyságát. Az adalék számos polimerrel összefér, főleg poliolefinekkel, sztirolpolimerekkel és poliuretánokkal. Az orvosi és kórházi alkalmazás mellett a cég bútorok és PVC-padlók, textilszálak, szőnyegek, ágynemű, matracok, párnatöltetek, autóüléshuzatok, utastéri felületek, csomagolófóliák, takarítóeszközök (seprűk, mosogatórongyok, portörölők), fogkefék, fürdőszobák és WC-k fertőtlenítésére is ajánlja antimikrobiális készítményeit.

A *Santicized* cég orvosi alkalmazásra kifejlesztett ezüsttartalmú *MedX* hatóanyagaira alapozta a *Clariant* cég *Mevopur* márkanévű mesterkeverékeit. Ezeket katéterek, csőcsatlakozók, inline szűrők gyártására ajánlják, amelyekkel meg lehet előzni a másodlagos fertőzést. Olyan gyógyszeresomagoló eszközökben is hasznosak lehetnek, mint az inhalátorok vagy a szemcseppentő fiolák. A mesterkeverékeket polietilénbe, polipropilénbe vagy polikarbonátba lehet bekeverni. A mesterkeverékeket kívánságra színes formában is elkészítik. Átlátszó vagy áttetsző polimerhez ezzel hasonló törésmutatójú alappolimerrel alkalmaznak a mesterkeverékben, hogy a végtermék átlátszóságát ne csökkentse. A mesterkeverékből a kívánt védőhatással arányos mennyiséget kell bekeverni a Sanitized cég iránymutatása szerint. A mesterkeveréket tartalmazó polimerből készített tárgyak használat alatt további felületi kezelést nem igényelnek.

A *Rohm & Haas* a farosttal töltött műanyagok védelmére fejlesztett ki egy szilárd és egy nagy koncentrációjú folyékony antimikrobiális mesterkeveréket a Dow cég *Vinyzene* márkanévű gombaölő szereinek felhasználásával, amelyek hatóanyaga diklór-oktil-izotiazolinon (DCOIT). Ezt a védendő termék felületi rétegébe viszik be. A két védőanyag a piacon az első színes biocid hatású mesterkeverék farosttal erősített műanyagokhoz. Hasonló színes mesterkeveréket ugyanerre a célra a *Teknor Apex* is kifejlesztett, ugyancsak Vinyzene felhasználásával

Feldolgozásra kész kompaundok és feldolgozott termékek

A *Bayer MaterialScience* két kísérleti polikarbonátot (jelzésük *DPI-1868* és *DPI-1869*) mutatott be, amelyek szervesen ezüst nanoadalékot tartalmaznak. A polimereket kifejezetten orvosi célra szánják. A nagyon finom, emiatt nagyon nagy felületű ezüst rendkívül jó hatásfokkal pusztítja el mind a Gram-pozitív (bacillus, lisztéria, stafillokokkusz), mind a Gram-negatív (*E-coli*, szalmonella) baktériumokat. Potenciális alkalmazási területük az intravénás és urológiai eszközök, továbbá a diagnosztikai és kórházi készülékek házáinak gyártása.

A *Ticona* (Florence, KY, USA; ill. Kelsterbach, Németország) antimikrobiális acetálcsoportot fejlesztett ki, amelynek tagjait *Anti-Crobe* márkanevvel forgalmazza. Vannak közöttük fröccsönthető és extrudálható változatok. Ezek eleget tesznek a mikroorganizmusok szaporodásának ellenőrzését előíró japán JIS Z 2801 szabvány követelményeinek; az FDA élelmiszerekkel közvetlenül érintkező, az EPA ivóvízzel érintkező műanyagtermékek adalékaként is engedélyezte.

A *BASF* többféle alappolimer ezüstionokon alapuló antimikrobiális változatát illesztette be termékválasztékába. Közös márkanevük *Hy Gentic*. A *Hy Gentic TPU* orvosi eszközökhöz ajánlott antimikrobiális hőre lágyuló poliuretán-elasztomer, elsősorban csövek és katéterek gyártására. A *HY Gentic SA* átlátszó sztirol/akrilnitril kopolimer, keménysége hasonló a polikarbonátéhoz. Orvosi eszközök háza, csőcsatlakozók gyártására ajánlják. A *HY Gentic SBC* alappolimerje sztirol/butadién kopolimer; ebből inhalátorok házai, szellőzőberendezések szűrői készülhetnek. A *HY Gentic PA* fröccsönthető üvegszál poliamid orvosi eszközök kezelőelemeihez. Valamennyi kompaund eredményesen gátolja számos baktérium és mikrogomba elszaporodását. A cég vállalja testre szabott antimikrobiális műanyag típusok összeállítását, egyúttal szavatolja azok feldolgozhatóságát. Saját munkacsoportja vizsgálja az egyes készítmények hatásfokát egy-egy adott mikroorganizmusra, közöttük MRSA baktériumokra is. A cégnél vizsgálják a szerves és szervesen antimikrobiális hatóanyagok kombinációinak szinergetikus hatását is, és megfigyeléseiket kompaundjaik elkészítésekor hasznosítják.

A *Sabic Innovative Plastics* ezüst hatóanyagot tartalmazó kilenc antimikrobiális kompaundot mutatott be a 2013 februárjában megrendezett orvostechikai kiállításon az USA-ban (Medical Design & Manufacturing West trade show, Anaheim). A kompaundok négy saját polimerfajtából készülnek; ezek: ütésálló Lexan EXL kopolimer, átlátszó Lexan polikarbonát, Xenoy PC/poli(butilén-tereftalát), PP (üvegszál és szálerősítés nélküli). Gyakran megérintett és/vagy hordozható orvosi eszközök; kórházi ágyak kerekai, keretei, rácsai gyártására ajánlják őket.

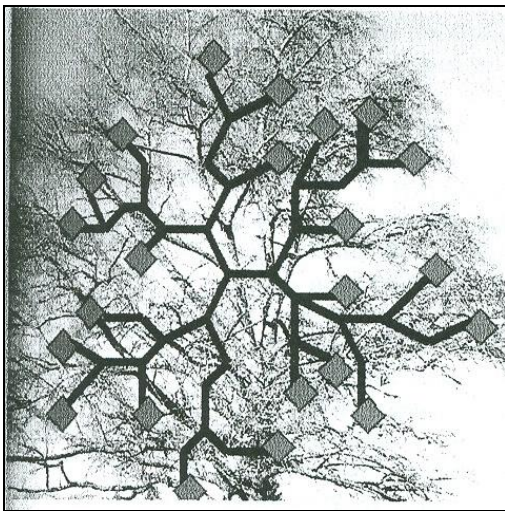
A *Sonderhoff Chemicals* (Köln, Németország) klímaberendezések vagy más légttechnikai berendezésekhez speciális tömítéseket állít elő. A *Formapor* márkanevű tömítések felületén mikroorganizmusok – pl. penész vagy gombaspórák – egyáltalán nem szaporodhatnak. Megvédik a klímatechnikai berendezések alkatrészeit (légszűrőket, rácsokat, porlasztókat, áteresztőszelepeket stb.) a baktériumok növekedésétől is. A tömítések kevés nedvességet vesznek fel, bonyolult háromdimenziós helyzetben is jól zárnak. Mivel csak kevésbé tapadnak, szétszereléskor könnyen eltávolíthatók, lakkozott vagy ráolvasztott porbevonaton azonban tapadásuk optimális.

További fejlesztések

Hiperelágazású polimerek mint hatóanyag-hordozók

Az antimikrobiális hatású fémek nanoméretű részecskéinek hatásfoka sokkal nagyobb, mint a szokásos nagyobb szemcseméretű adalékoké, de a készítményekben ezt a jó hatásfokot nem mindig sikerül elérni. Ennek oka lehet a nem megfelelő diszpergálás, a rosszul megválasztott egyéb adalékok vagy a nanorészecskék szabályozatlan felszabadulása és felületre migrálása. Fontos szerepe van a jó eredményben a műanyagmátrixnak is, amelynek hidrofil vagy kristályos jellege befolyásolja a fémrészecskék vándorlását. Ha a felületre túlságosan sok antimikrobiális fém kerül ki, annak toxikus hatása is érvényesülhet.

A migrálás kézbe tartására hordozóként teljesen újszerű megoldást adhatnak az ún. hiperelágazású polimerek (HBP, hyperbranched polymers), amelyeket nanoméretű fémek vagy fémionok hordozóiként próbálnak alkalmazni. Ilyenek a lombos fához hasonló módon elágazó ún. dendritikus polimerek. A nagy molekulatömegű, gömbszerű polimermolekulákból polimeranalóg módosítással ún. „nanoreaktorokat” vagy „dendritikus boxokat” lehet készíteni, amelyekbe viszonylag egyszerű technikával vihetők be nanorészecskék, fémionok vagy más hatóanyagok. A biotechnikában pl. DNA, peptid- vagy kelátsoportot tartalmazó és fémionokkal könnyen komplexet képező HB-poliaminokat transzfekciós műveletek (tisztá DNA bevitele szövettenyészet sejtjeibe) elvégzésére.



2. ábra Lombos faként elágazó dendritikus molekula sematikus ábrázolása (az elágazó polimerláncok végén a négyszögek a végcsoportokat képviselik)

A piaci forgalomban beszerezhető HBP-kre alapozva és ennek a polimercsaládnak különleges tulajdonságait felhasználva próbálnak hatóanyagokat, pl. gyógyszereket szabályozott módon felszabadítani az élő szervezetben vagy antimikrobiális fémrészecskéket juttatni a műanyagok felületére. Az ilyen molekulák (2. ábra) hordozóként nemcsak nagyon kicsi és nagyon azonos nanoméretű fémrész-

szecskék létrehozását teszik lehetővé, hanem megkönnyítik a műanyagmátrixban az adalékok egyenletes eloszlását is.

A dendritikus polimerhordozó célirányos felépítése révén beépül a műanyagmátrixba, és rögzített helyéről szabályos ütemben enged szabaddon a hatóanyagot, pl. az antimikrobiális fémrészecskéket. Mivel helyéről nem tud elmozdulni, kivérzése, kimosódása nem lehetséges. HBP hordozóra felvitt antimikrobiális ezüsttel, rézzel és cinkkel végzett kísérletek igazolták, hogy a hordozó felépítésével széles tartományban lehet befolyásolni a fémek kioldhatóságát, stabilitását és összeférhetőségét a műanyagmátrixszal. A HBP hordozóból és hatóanyagból álló készítményt „hibrid adaléknak” nevezték el.

Egy németországi textil- és műanyagkutató intézet (TITK, Thüringisches Institut für Textil- und Kunststoff-Forschung e.V., Rudolstadt) ilyen hibrid adalékokat állított elő. Fontos szempont volt, hogy ezeket a szokásos keverő és formaadó eljárásokkal (kompaundálás, extrudálás, fröccsöntés) tudják feldolgozni. Kísérleteikben műanyagmátrixként ütésálló polipropilént (C705-44NA, Dow), termoplasztikus SEBS elasztomert (Badaflex TPE-S 70A, Bada), poliamid 6/66-ot (Ultramid C33, BASF) használtak a kompaundáláshoz, a BASF könnyen oldódó Ultramid 1C jelzésű poliamidkopolimerjéből pedig bevonatot készítettek. A biokompatibilitás és a biológiai hatásfok vizsgálatát a jénai Friedrich-Schiller-Egyetem bőrgyógyászati klinikájának laboratóriuma végezte.

A 3/A. ábrán látható a hibrid adalékot tartalmazó kompaundált műanyagok antimikrobiális hatásfoka ISO 22196 szabvány szerint 37 °C-on végzett 24 h inkubálás

Az ISO 22196 szabvány szerint az antimikrobiális hatásfok

$$R = (U_t - U_0) - (A_t - U_0) = U_t - A_t$$

ahol

U_0 = a kezeletlen próbatestről visszanyerhető életképes baktériumok számának átlagos 10 alapú logaritmusának közvetlenül a beoltás után, csíra/cm²-ben

U_t = a kezeletlen próbatestről visszanyerhető életképes baktériumok számának átlagos 10 alapú logaritmusának 24 óra után csíra/cm²-ben

A_t = az antimikrobiális kezelést kapott próbatestről visszanyerhető életképes baktériumok számának átlagos 10 alapú logaritmusának 24 óra után csíra/cm²-ben

után. A bal oldali oszlopok módosítatlan, a jobb oldali oszlopok ezüsttel módosított adalékot tartalmazó kompaundok eredményeit jelzik. A próbatesteket *Klebsilla pneumoniae* baktériumtörzsszel oltották.

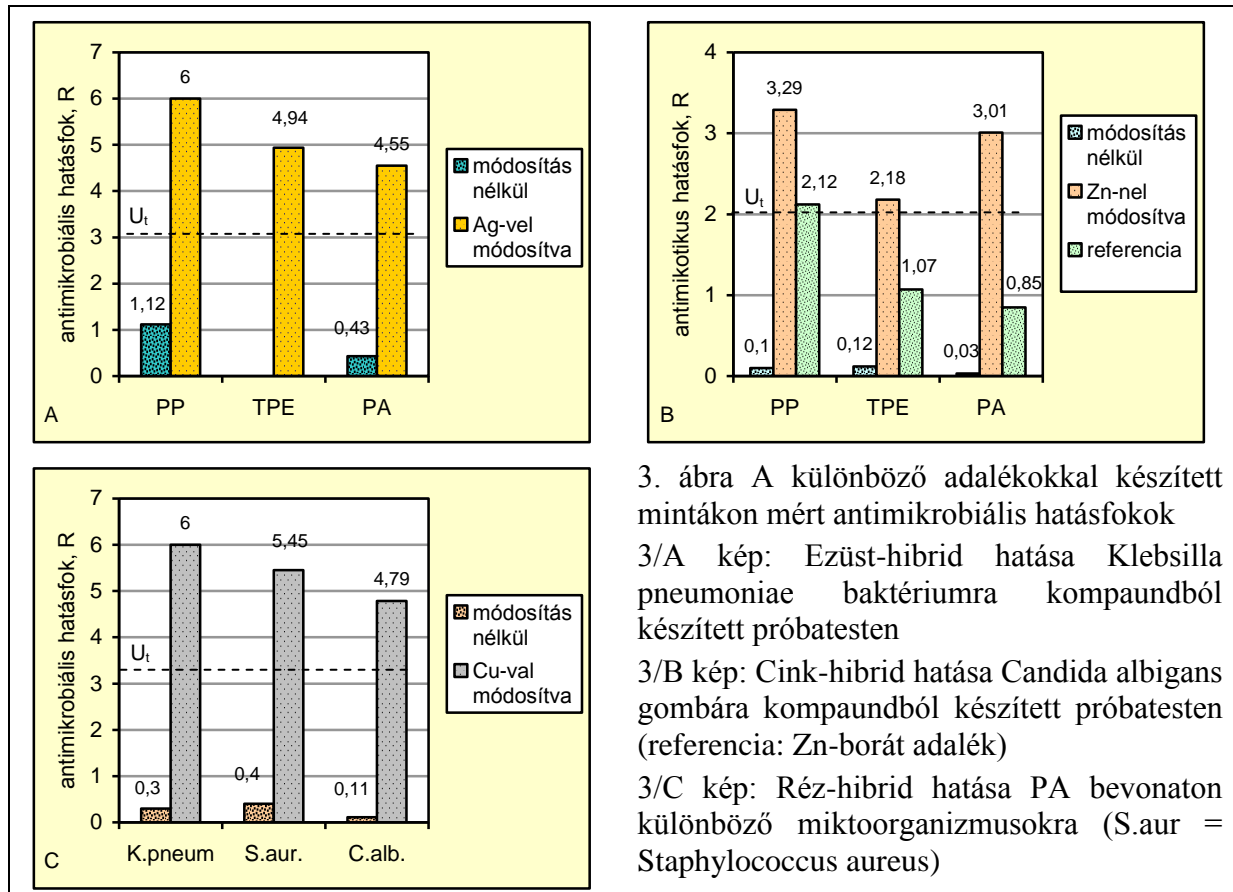
A 3/B. ábra hasonló módon vizsgálva hibrid adalék módosítatlan és cinkvegyülettel módosított változatával készített kompaundok gombaölő (antimikotikus) hatását érzékelteti. A referenciaanyag szervesen cinksót (cinkborátot) tartalmazott. A próbatesteket *Candida albicans* gombával oltották.

A 3/C. ábra egy módosítatlan, ill. rézzel módosított hibrid adalék antimikrobiális hatásfokát hasonlítja össze poliamidbevonaton különböző baktériumfajták jelenlétében. A vizsgálatot ISO 20743 szabvány szerint végezték, ugyancsak 37 °C-os, 24 órás inkubálás után.

Antibakteriális vagy antimikotikus hatásról akkor lehet beszélni, ha $R < U_t$.

Látható, hogy a csíraszám a felületek funkcionálása után különösen a 3/A ábrán csökkent drasztikusan; a 24 órás inkubálás után gyakorlatilag nem volt élő baktériumcsíra a műanyagok felületén. Az ezüst gombák ellen hatástalan, de réz- és cinkvegyületekkel sikeresen lehet védekezni ellenük. Réz- és cinkvegyületek kombinálásával jó eredményeket értek el csatornáknban, csővezetékekben képződő biofilmek képződésének gátlásában.

Az ábrán az is látható, hogy a módosított hibrid adalékok hatásfoka sokkal jobb, mint az azonos koncentrációban bekevert szervesetlen adalékoké, amelyek védőhatása még a kompatibilitástól is függ.



3. ábra A különböző adalékokkal készített mintákon mért antimikrobiális hatások

3/A kép: Ezüst-hibrid hatása *Klebsilla pneumoniae* baktériumra kompaundból készített próbatesten

3/B kép: Cink-hibrid hatása *Candida albicans* gombára kompaundból készített próbatesten (referencia: Zn-borát adalék)

3/C kép: Réz-hibrid hatása PA bevonaton különböző mikroorganizmusokra (*S.aur* = *Staphylococcus aureus*)

Antibakteriális felület vegyi anyag nélkül

Megfigyelték, hogy a delfinek bőrének antibakteriális hatása van, amit a bőrfelület speciális nanomintázatának köszönhetnek. Egy szingapúri kutatóközpont nanonyomtatással foglalkozó részlege [Industrial Consortium on Nanoimprint (ICON) at Singapore's Science, Technology and Research (A*STAR)] arra vállalkozott, hogy ezt utánozva nanotechnológiával állítson elő szintetikus, vegyianyagmentes antibakteriális felületeket. Ilyen felületen a kórokozók, mint pl. a *Staphylococcus aureus* fertőző hatása csökken. Ha a szokásos műanyagokon létre tudnának hozni hasonló

nanostruktúrát, veszélyes fémionok, vegyi anyagok, nanorészecskék vagy UV-besugárzás nélkül készíthetnének baktériummentes orvosi eszközöket.

1. táblázat

Antimikrobiális műanyagadalékokat kínáló cégek

Cég neve és fő telephelye	Adalék márkaneve
Addmaster Ltd., Stafford, Egyesült Királyság	Biomaster
AgION Technologies LLC, Wakefield, MA, USA	Agion
Akros Chemicals, New Brunswick, NJ, USA	Intercide
Arch Chemicals, Alpharetta, GA, USA	Omadine; Vanquish
Bayer MaterialScience, Leverkusen, Németország	Makrolon Antimicrobial
BASF, Ludwigshafen, Németország	Antimicrobial Styrene
Biosafe, Inc. Pittsburgh, PA, USA	Biosafe
Clariant International Ltd. Masterbatches, Muttenz, Svájc	Mevopur
Ciba Specialty Chemicals, Basel, Svájc	Irguard
Ferro Corporation, Cleveland, OH, USA	Micro-Chek
Heppe Medical Chitosan GmbH, Halle, Németország	Chitoscience, Chitoceuticals
International Specialty Products (ISP), Wayne, N.J. USA	PlastiGuard
Lanxess, Pittsburg, PA, USA	Metasol; Preventol
Matrix Plastics Limited, Slough, Berkshire, UK	Microban-tartalmú mesterkeverékek
Microban International Ltd., Huntville, NC, USA	Microban
Milliken Chemical, Spartanburg, SC, USA	Alphasan
Momentive Performance Materials, Columbus, OH, USA	StatSil Elastomer
Polychem Alloy Inc., Lenoir, NC, USA	Polysept
Rohm & Haas, Philadelphia, PA, USA	Vinyzene
Sanitized AG, Burgdorf, Svájc	Vinyzene
Teknor Apex, Pawtucket, RI, USA	TEK Deck Pro

Az A*STAR kutatóközpont anyagkutató intézetében (Material Research and Engineering, IMRE) eddig is alkalmazták a nanonyomtatást természetes felületek leképezésére, Ezzel sikerült lumineszcens, jól tapadó, víztaszító vagy fényvisszaverődést gátló felületeket készíteni. Munkájuk iránt a világ legnagyobb festék- és bevonatgyártója, az Akzo Nobel is élénken érdeklődik.

Összeállította: Pál Károlyné

Advances in antimicrobial additive technology = www.plastemart.com

Gaditz, M.: Oberflächen antimikrobiell ausrüsten = Kunststoffe, 102. k. 7. sz. 2012. p. 36–40.

Addmaster's new additive in the forefront of the fight against antimicrobial resistance = www.addmaster.co.uk

www.quattroplast.hu

PRW staff: Bang goes Addmaster's Russian deal = Plastics & Rubber Weekly, 2013. febr. 25. www. prw.com

Lauzon, M.: Antimicrobial additives firm Microban sold to W M Barr = Plastics News, 2012. jan. 12. www. prw.com

PRW staff: Supplier partnership – Masterbatch/compound/additive = Plastics & Weekly, 2013. okt. 4. www. prw.com

Copping, B.: Silver antimicrobials help hospital hygiene = Plastics & Weekly, 2012. júl. 20. www. prw.com

Hochleistungskunststoffe für die Medizintechnik = Medizintechnik, 19. k. 11. sz. 2013., www. k-zeitung.de

European Plastics news staff: Sabic touts anti-microbial materials = 2013. márc. 1. www. europeanplastics.com

Keine Chance für Bakterien oder Schimmelpilze = K-Zeitung, 2012. 04. 02. www. k-zeitung.de

Copping, B.: Nanotechnology mimics nature for antibacterial 'skins' = Plastics & Rubber Weekly, 2011. febr. www. prw.com