

A biológiai degradáció és az erózió sebessége speciális polimerekben

Tárgyszavak: orvostechnika; gyógyszerhordozó; termogél; poloxamer; szintézis; vizsgálat; csomagolóanyag; fólia/filc kompozit; természetes öregítés; mesterséges öregítés; földbe ásás; vizes közeg.

Ha biodegradálható anyagokról beszélnek, többnyire arra gondolnak, hogy az eldobott vagy szemétkerékbe helyezett anyag viszonylag rövid idő alatt elemeire épül le, amelyek nyom nélkül elvegyülnek a talajjal. Valójában sokkal többről van szó. *Vannak olyan biodegradálható anyagok, amelyeket a gyógyításban használnak fel műtételnél vagy gyógyszereket visznek be segítségével a szervezetbe. Ezeknek az anyagoknak bizonyos, előre meghatározott ideig a szervezet azon részében kell kifejteniük hatásukat, ahova szánták őket, majd el kell bomolniuk, és mellékhatások nélkül ki kell ürülniük a szervezetből. A természetes körülmények között lebomló csomagolóanyagoknak sem mindegy, hogy milyenek a bomlás körülményei: földbe ássák, komposztálják őket, vagy pl. a szennyvíztisztítóba kerülnek.* A következőkben mindkét típusú biodegradálható műanyagokra mutatunk be példákat, ezúttal a szokásosnál nagyobb mélységben.

Gyógyszerhordozóként alkalmazható poliéter blokk-kopolimerek eróziós sebessége

Az egyik olyan terület, ahol a biológiailag lebontható polimereknek nagy jelentőségük van, a gyógyászat. A hőmérséklet-változásra reagálni képes, *injekcióban beadható termogélek* fejlesztése során számos különböző rendszert próbáltak ki, amelyekben a vízdoldhatóságot/duzzaszthatóságot poliéterszakszok [polietilénglikol, (PEG); polipropilénglikol, (PPG)] bevitelével (blokk-kopolimerizációval, ojtással) érik el. Ezeket a poliétereket idegen szóval *poloxamereknek* is szokták nevezni. A szol-gél átmenet hőmérsékletét különböző kopolimerek esetében más-más mechanizmusok határozzák meg, de általánosságban elmondható, hogy ez alapvetően a hidofil/hidrofób egyensúlytól (az összetételtől és a blokkok hosszától) függ. Különösen sok *hőre gélesedő vizes poloxamer oldatot vizsgáltak injektálható gyógyszerhordozóként és mes-*

terséges szövetalapanyagként. Mivel maguk a poloxamerek biológiailag nem degradálhatók, viszont gyorsan erodálódnak, csak részleges sikereket értek el (pl. 3–4 napos proteinalapú gyógyszerhordozókkal). Hosszabb idejű gélstabilitást és kisebb kritikus gélkonzentrációt (CGC) sikerül elérni úgy, hogy a poloxamert ráójtották poliakrilsavra (*Smart Gel rendszer*). A nagy molekulatömeg miatt az ójtott kopolimer CGC értéke a Smart Gel esetében 15%-ról 0,1%-ra csökken. A nem degradálható makromolekulák használata azonban a gyomor-bél rendszeren kívüli (parenterális) bevitel esetében súlyos mellékhatásokat okozhat. *Ahhoz, hogy gyógyszerbevitelre használhassák őket, a poloxamereket tervezhető élettartammal kell előállítani.*

Az alábbiakban olyan biodegradálható *multiblokk-poloxamerekről (BMP)* lesz szó, *amelyeket degradálható észtercsoportokkal kapcsolnak össze. Ezáltal a degradációt 1 naptól több hétig terjedő időtartamra lehet beállítani* úgy, hogy a multiblokk-kopolimerek blokkjainak molekulatömegét 4000 és 40 000 között változtatják. A keletkezett makromolekula, amelynek poloxamer blokkjai nem bomlanak könnyen, az észterkötéssel kapcsoló csoportok beiktatásával válik degradálhatóvá. A kritikus micellakonzentrációt, a micellaméretet és a CGC értéket a skálakoncepció alapján lehet közelíteni a molekulatömeg függvényében az alábbi egyenletek segítségével:

$$P \propto M^{\beta}$$

vagy

$$\log P \propto \beta \log M$$

ahol P a számított tulajdonság, M a molekulatömeg, β a skálaexponens, amelyet a $\log P - \log M$ összefüggésből lehet megállapítani. Az M értéket a következőben a szám szerinti átlag molekulatömeggel (M_n) közelítették.

A BMP minták szintéziséhez a BASF P85 és F127 poloxamerjeit, tereftaloil-kloridot és vízmentes toluolt használtak. A minták molekulatömegét a poloxamerdiolok és a tereftaloil-klorid arányának megválasztásával állították be (*1. táblázat*). A toluol és a poloxamer oldatából azeotrópos desztillációval távolították el a maradék vizet, ezután adták hozzá a tereftaloil-kloridot és a trietilamin katalizátort. Az *1. táblázatban* feltüntetett reakciótermékeket frakcionált kicsapással tisztították, majd $^1\text{H-NMR}$, IR (infravörös) spektroszkópiával és GPC-vel jellemezték. Az utóbbihoz PEG (polietilén-glikol) standardokat és tetrahidrofurán oldószert használtak. A tiszta poloxamerekből és a BMP mintákból 30%-os vizes oldatot készítettek, 37 °C-on inkubálták, majd PBS (foszfátos savas puffer) oldatot adtak hozzá és rázatták (60 1/perc, 37 °C). A PBS oldatot naponta cserélték. Az erózió sebességét a géloszlop magasságának (tömegének) változásával jellemezték.

A kritikus micellakonzentrációt (CMC) ún. festékoldási kísérlettel határozták meg. A festék (1,6-difenil-1,3,5-hexatrién, DHP) metanolos oldatát hozzáadták a polimeroldathoz (0,05–5%), majd 12 órán át 4 °C-on inkubálták, végül

megmérték a látható ultraibolya (UV-VIS) spektrumot 200 és 600 nm között, és a 377 nm-es abszorbanációt ábrázolták a koncentráció logaritmusának függvényében. A görbe két egyenes szakaszának metszéspontja szolgáltatta a CMC értéket. A micellák méretét lézeres fényszórással állapították meg egy látszólagos diffúziós együttható közbeiktatásával. A szol-gél átmenet hőmérsékletét dinamikus mechanikai analízissel mérték (1 rad/sec), és azt a hőmérsékletet vették az átmenetnek, ahol a dinamikus modulus (G^*) valós (G') és képzetes (G'') része numerikusan megegyezik.

1. táblázat

A biodegradálható multiblokk poloxamer (BMP) minták és az előállításukhoz használt poloxamer blokkok összetétele és molekulatömege. [A számátlag molekulatömeget GPC-vel (gélpermeációs kromatográfia) határozták meg. Az EG, PG és PH sorrendben az etilénglikol, propilénglikol és tereftálsavészter rövidítése]

A minta jele	Számátlag molekulatömeg g/mol	Polidiszperzitás	A monomeregységek száma
P85	4000 (4600 ^a)	1,1	EG ₅₂ PG ₄₀ PH ₀
F127	10 000 (12 000 ^a)	1,2	EG ₂₀₀ PG ₆₅ PH ₀
BMPI	9000	1,4	EG ₁₁₇ PG ₉₀ PH ₁
BMPII	22 000	1,9	EG ₂₈₆ PG ₂₂₀ PH ₅
BMPIII	31 000	2,0	EG ₄₀₃ PG ₃₁₀ PH ₇
BMPIV	40 000	2,3	EG ₂₅₀ PG ₄₀₀ PH ₉

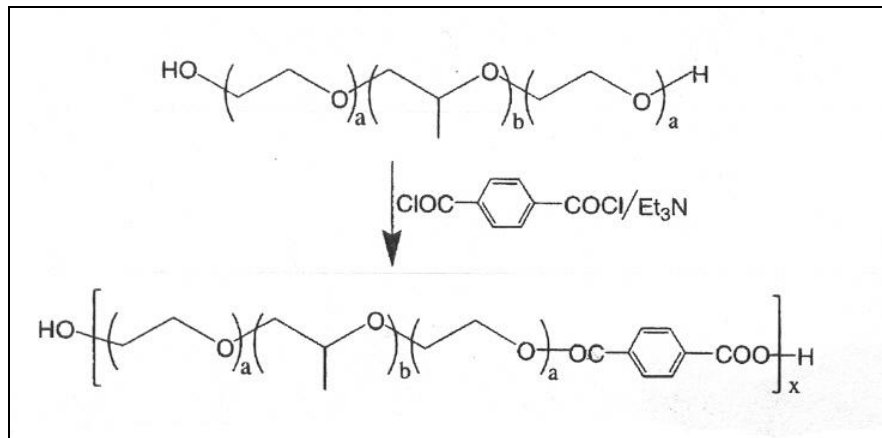
^a Gyártói adatok.

Szerkezet–tulajdonság összefüggések

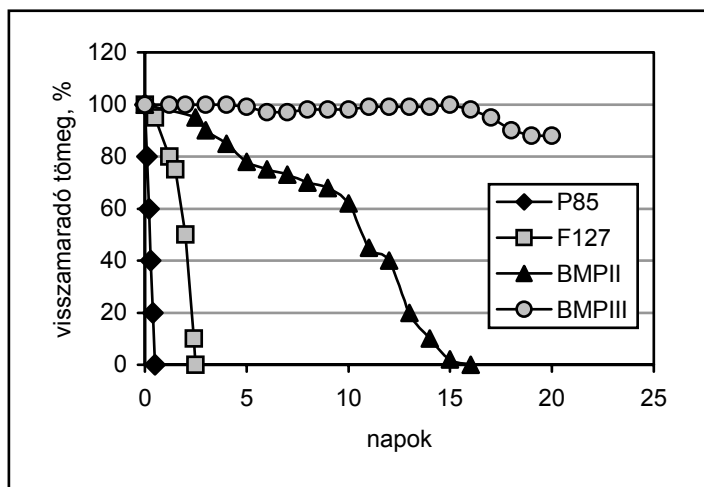
A poloxamer olyan makrodíol, amelynek mindkét végén hidroxilcsoport található. Ennek szerkezetét és a reakció eredményeként létrejövő struktúrát az 1. ábra mutatja. Az észteresítési reakció végbemenetelét a GPC és a spektroszkópiai mérések igazolták. A reagensek aránya szabta meg a létrejövő polimer molekulatömeget. A molekulatömeg meghatározásakor az is kiderült (lásd az 1. táblázatot), hogy minél nagyobb a molekulatömeg, annál nagyobb a polidiszperzitás (a molekulatömeg-eloszlás szélessége, amelyet a tömeg szerinti és a szám szerinti molekulatömeg arányából lehet meghatározni). A P85 poloxamer esetében a polidiszperzitási index 1,4, a BMPIV esetében pedig már 2,3.

Az *in vitro* eróziós sebességet 30%-os koncentráció mellett mérték meg (2. ábra). Tekintettel arra, hogy a kiindulási poloxamerek gyors eróziós sebes-

sége akadályozta felhasználásukat hosszú távú alkalmazásokban, a BMP hidrogélek hosszabb élettartama jelentős javulást mutat. A nagyobb molekula-tömegű poloxamer (F127) esetében is kb. 3 nap alatt teljes az erózió, a növekvő molekulatömeeggel ez több hétre is elnyújtható. A nagyobb molekulatömegű gélekben jelentős lehet a micellák közötti térhálósodás.



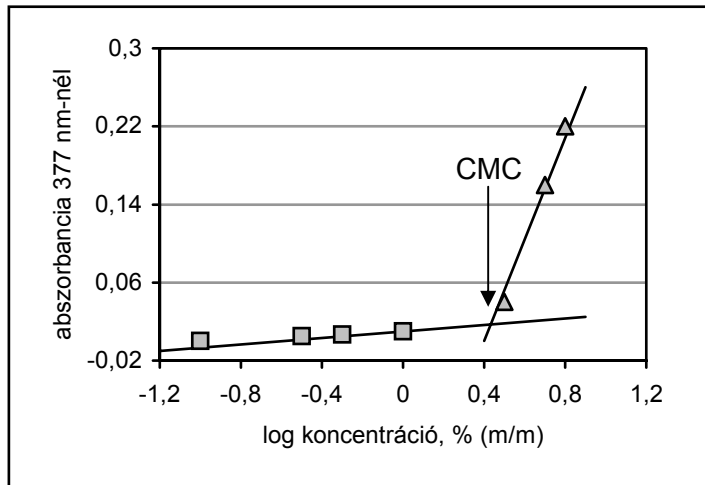
1. ábra A poloxamerek és a belőlük létrejövő biodegradálható multiblokk-poloxamerek szerkezete



2. ábra
A poloxamer minták eróziós sebessége a kiindulási blokkokéhoz képest

A CMC meghatározásához használt festékes módszer alapját az képezi, hogy a 377 nm-s elnyelés sokkal gyengébb vízben, mint hidrofób oldószerben. Állandó DPH-(festék)koncentráció mellett változtatva a poloxamer koncentrációját meghatározható, hogy hol jelennek meg az apoláris környezetet biztosító micellák (3. ábra). A skálatörvény szerinti illesztést elvégezve a β értékre – 0,23 adódott a vizsgált tartományban, vagyis a növekvő molekulatömeggel csökken a CMC értéke. A P85 alappolimer esetében dinamikus fényszórás

méréssel is meghatározták a CMC értéket, és jó egyezést kaptak a festék-szolubilizációs módszerrel kapott értékkel. A tendencia számos tényezővel magyarázható. A molekulatömeggel csökken a translációs szabadsági fok, ami megkönnyíti a micellaképződést. Az apolárisabb PPG szegmensek koncentrációja a micellák belsejében könnyebben végbemegy a blokk-kopolimerek esetében. A poloxamer szegmenseket összekapcsoló tereftaloilcsoportok is apolárisak, és az észterképződés csökkenti a poláris hidroxil végcsoportok számát, márpedig minél apolárisabb a molekula, annál kisebb lesz a CMC.



3. ábra

A BPIV polimer kritikus micellakonzentrációjának (CMC) meghatározása DPH festék használatával. A két egyenes szakasz metszéspontja adja meg a CMC értéket

A micellák dinamikus fényszórással meghatározott átmérője esetében az illesztéssel kapott β értékre 0,64 adódott, ami jól egyezik a blokk-kopolimerekre elméletileg jóslt 2/3 értékkel. A poloxamerek hidrofílebb PEG és hidrofóbabb PPG egységeket tartalmaznak. Az előbbieket inkább a micella határán, az utóbbiak inkább annak belsejében helyezkednek el. A micellák mérete 10 nm és 45 nm között változik a 4000–40 000 közötti molekulatömeg-tartományban.

Ahogy az amfifil polimerek koncentrációja nő, a micellás szerkezetű oldat átrendeződik, és a folyadékkristályokra emlékeztető szerkezetű gélfázis alakul ki. Ez a szol-gél átmenet jelentős modulusnövekedéssel jár. Ha a polimeroldat koncentrációja nagyobb 10%-nál, a szol-gél átmenet a hőmérséklet függvényében is kialakul. A szol-tartományban a tárolási modulus (G' , a modulus valós része) 0,1 Pa körül van, a gélesedési hőmérséklet fölött azonban megemelkedik egy ennél jóval nagyobb értékre, ami függ a polimeroldat koncentrációjától. Minél nagyobb a polimeroldat koncentrációja, annál alacsonyabb a gélesedési hőmérséklet, és annál nagyobb az ún. platómodulus, amire G' a gélesedési hőmérséklet fölött emelkedik.

A polimerömlédek és a koncentrált oldatok mechanikai viselkedése csak az ún. viszkoelasztikus modellel írható le. A gélfázisban a modulus valós

része (G') dominál, szolfázisban pedig a viszkózus komponens (G'' , az ún. veszteségi modulus). A szol-gél átmenet hőmérsékletét többféle módszerrel meg lehet határozni. Itt, mivel a dinamikus mechanikai analízist használták, a legcélszerűbb volt azt a hőmérsékletet használni, ahol $G'=G''$. A kritikus gélkonzentráció (CGC) az a legkisebb koncentráció volt, ahol a gélfázis ($G'>G''$) egyáltalán megjelenik. A CGC molekulatömeg-függését is le lehetett írni a skálátörvénnyel, és β értékére $-0,21$ adódott. A CGC értéke a 4000 és 40 000 közötti molekulatömeg-tartományban 16%-ról mintegy 8%-ra csökken. A jelenség azzal magyarázható, hogy a multiblokkos szerkezet valószínűleg kedvez a micellák közötti térhálósodásnak. A nagy molekulatömegű multiblokk-kopolimerek esetében egy molekula valószínűleg több micellában is jelen van, ami megkönnyíti a gélesedést. A csökkenő transzlációs szabadsági fok és a növekvő hidrofobicitás ugyancsak ebbe az irányba mutat. A CGC csökkenését a növekvő hidrofobicitással már más blokk-kopolimereknél is megfigyelték.

Biológiailag lebontható fólia/filc kompozitok

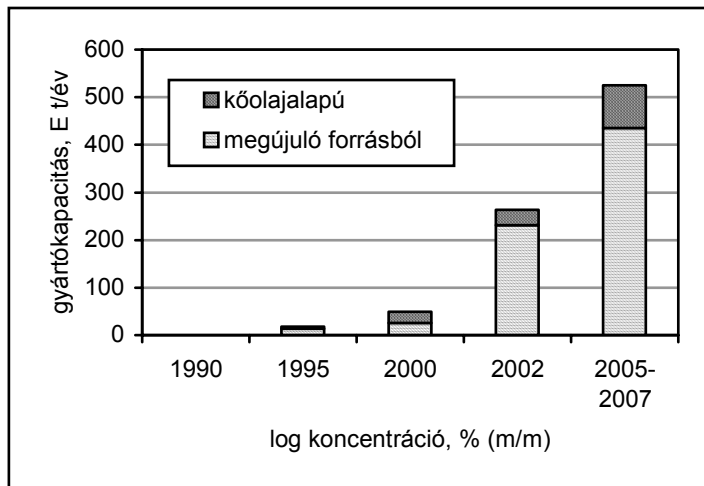
A másik fontos terület, ahol a biológiailag lebontható műanyagok keresettek, az egyszer használatos termékek (pl. csomagolások, higiéniai eszközök) családja. Műszaki textilekben is gyakran kombinálják a műanyag textíliákat a fóliákkal. A fólia általában nem vízáteresztő, a textil pedig egyrészt erősítésül szolgál, másrészt felveszi a kiváló nedvességet. Az ilyen rendszerekből keletkező hulladékok ártalmatlanításakor problémát jelent, hogy rendszerint egyik komponens sem bontható le biológiailag. Ez a rövid élettartamú (orvosi, higiéniai) alkalmazásokban nagy hátrányt jelent. Néhány éve megjelentek a piacon a biológiailag lebontható hőre lágyuló műanyagok, amelyek megoldást jelenthetnének a fenti problémára anélkül, hogy a műszaki jellemzőkben kompromisszumokat kellene kötni. A biológiailag lebontható polimerek elfogadását egyrészt a magas ár korlátozza, másrészt pl. ilyen kompozitoknál keveset lehet tudni arról, hogy miként alakulnak a rendszer szilárdsági és egyéb, a felhasználhatóságot meghatározó jellemzői az idő függvényében. Ezt a hiányosságot próbálta pótolni egy Németországban elvégzett vizsgálat, amely arra keresett választ, hogy különböző modellkörnyezetekben hogyan alakul a biológiailag lebontható komponenseket tartalmazó műanyag fólia/textília kombinációk tulajdonságprofilja.

A biológiailag lebontható polimerek választéka

A biológiailag lebontható polimerek többsége a hőre lágyuló műanyagok kategóriájába tartozik, amelyek a hagyományos műanyag-feldolgozási módszerekkel különféle termékekké alakíthatók. Ilyen polimereket különböző nyersanyagokból lehet előállítani:

- megújuló, természetes forrásból származó polimerek felhasználása (pl. keményítő, cellulóz),
- megújuló, természetes forrásból származó monomerek polimerizációjával [pl. politejsav, cellulózszármazékok, poli(hidroxi-vajsav)],
- fosszilis nyersanyagból származó monomerek polimerizációjával [pl. poliészterek, kopoliészterek, poli(észter-amido)k és poliuretánok].

Ilyen polimereket akkor használnak, ha csak időlegesen van szükség az adott funkciók ellátására, vagy pl. ha a hulladékártalmatlanítás miatt a lebonthatóság kimondottan szükséges. A jelenleg alkalmazásba kerülő polimerek 64%-ának (higiéniai cikkek, élelmiszer-csomagoló edények, karton, fólia) tervezett élettartama kevesebb, mint 2 év, 24% esetében (geotextiliák, háztartási eszközök és a tartósnak szánt háztartási csomagolások) 2–10 év, és csak 12% esetében (csővezetékek, épületelemek, háztartási eszközök, hulladékátroló szigetelések) nagyobb 10 évnél.



4. ábra

A biológiailag lebontható polimerek termelési kapacitásának alakulása a világon. (1990-ben a kőolajalapú anyagok gyártókapacitása 100 t/év, a megújuló forrásból származóké 350 t/év volt.)

A biológiailag lebontható polimerek gyártásának dinamikáját a 4. ábra mutatja. Eddig többnyire az alapanyagok előállítására és azok jellemzőinek meghatározására fordították a legtöbb erőfeszítést. Ma már arról lehet beszélni, hogy megkezdődött az alkalmazástechnikai optimalizálás is. Ezzel kapcsolatban felmerül az a kérdés, hogy különböző környezetekben meddig maradnak felhasználhatóak a biológiailag lebontható műanyagokból készült tárgyak. Az itt vizsgált fólia-textil kompozitokban a 2. táblázatban felsorolt biológiailag lebontható polimereket használták fel a fóliakomponens előállítására.

Modellkompozitok és modellkörnyezetek

A textilkomponens (pontosabban nemszőtt kelme, szálpaplan, filc) szokásos viszkózszálakból (3,3 dtex, 60 mm hosszúság) készült tűnemezeléssel. A

kétféle filc jellemzőit a 3. táblázat foglalja össze. A filc és a fólia közti erős kapcsolatot egy kéthengeres laborkalander segítségével hozták létre, amelynek egyik hengerpárja fűtött, a másik hűtött volt. A kapcsolódás szempontjából lényeges volt a filc 160–165 °C-on végzett előszárítása. A hőrogzítás feltételeit a használt fólia jellemzői alapján választották meg. A felső henger hőmérsékletét 80–145 °C, az alsóét 190–200 °C között állították be. A hengerlés sebessége 0,5 m/min, a hengerek közti távolság 0,5–0,8 mm, a hengernyomás 1 bar volt. Tekintetbe véve az összes fóliafajtát és a kétféle sűrűségű filcet, összesen 30-féle minta állt rendelkezésre a vizsgálatokhoz.

2. táblázat

A fólia/textil kompozitokban felhasználható, biológiailag lebontható fóliatípusok

Jelölés	Gyártó	Polimer
Bioceta	Radici Plastics GmbH & Co. KG	cellulóz-diacetát
Ecoflex F BX 7011	BASF AG	alifás/aromás kopoliészter
Eastar Bio Copolyester 14766	Eastman Chemical B.V.	alifás/aromás kopoliészter
Biopar	BIOP Biopolymer GmbH	burgonyakeményítő, szintetikus poliészter, lágyító
Mater BI Z10U	Wentus Kunststoff GmbH	kukoricakeményítő, szintetikus poliészter, lágyító
Biomer	Biomer GmbH	poli(L-laktát), L9000 (politejsav polimer)
PIA Cargill	Cargill Dow Polymers LLC	polilaktát (politejsav polimer)
Összehasonlító anyag: hagyományos PP fólia UV stabilizátor nélkül!	GEFO fóliaüzem	50/50 kopolimer/homopolimer

3. táblázat

A textil/fólia kompozitok előállításához használt filcek adatai

Jellemző	Egység	I. filc	II. filc
Egységnyi felület tömege	g/m ²	250	600
Vastagság	mm	2,63	4,16
A filc sűrűsége	kg/m ³	98,20	150
A tűzés sűrűsége	1/cm	150	150
A filc szélessége	mm	600	600

Az öregítési hatásokat a 4. táblázat foglalja össze. Az öregedés mértékét szakítóvizsgálatokkal (DIN EN ISO 13934), a vízzáró képességgel (DIN EN ISO 20811), a területtömeg mérésével (DIN EN ISO 12127), vastagságméréssel (DIN EN ISO 9073-2) határozták meg. A sűrűséget az egységnyi terület súlyából és a vastagságból számították. Az így számított sűrűségek megfeleltek az adatlapokon megadott értéknek. A szakítóvizsgálatot előkísérletek alapján választották ki, mint ami kellőképpen jellemzi a tönkremenetelt.

4. táblázat

A környezeti öregedést szimuláló vizsgálatok

Vizes tárolás, belső szabvány a folyóvizekre jellemző biológiai és kémiai viszonyok figyelembevételével
Földben történő tárolás az EN ISO 11721-1 szerint
Laboratóriumi időjárás-állósági vizsgálat EN ISO 4892-2 szerint
Kültéri időjárás-állósági vizsgálat DIN 53386 szerint, tekintetbe véve a globális sugárzást, az UV-sugárzást, a nedvességet, a hőmérsékletet és az eső mennyiségét
Respirométeres (oxigénfelhasználási) vizsgálat a DIN 54900-2 szerint – a biológiai lebonthatóság vizsgálata a biokémiai oxigénfelhasználás függvényében max 1300 órás tárolás után (néhány kiválasztott minta esetében, kezdeti stádium)

Az adatok értékeléséhez célszerű néhány általános megjegyzést fűzni.

- a viszkózfilc fokozatosan bomlik le az öregítés időtartama alatt,
- a fóliák is bomlanak, de a fólia típusától függően a tönkremenetel sebessége lehet gyorsabb vagy lassúbb, mit a viszkózfilcé, esetleg azzal összemérhető,
- a tönkremenetel sebességét befolyásolja a fólia vastagsága, ill. a filc területtömege.

A kompozitminták szakításakor modellet kell alkotni, figyelembe véve azt a tényt, hogy összetett anyagú és szerkezetű mintáról van szó.

- A kompozitot használhatatlannak tekintették, ha akár a fólia, akár a filc szilárdsága mérhetetlenül alacsony értékre csökkent. (Vannak természetesen olyan alkalmazások, ahol elegendő, ha a fólia pl. megőrzi vízzáró képességét, de ezúttal ezektől eltekintettek).
- Annak ellenére, hogy itt nem erősítőszálakról és mátrixanyagról van szó, a kompozitokra kidolgozott keverékformulák bizonyos megkötésekkel alkalmazhatók, különösen akkor, ha a fólia szakadási nyúlása jóval kisebb, mint a filcé.

A kompozit szilárdságát az alábbi képlettel közelítették:

$$\sigma_k = \sigma_{filc} \phi_{filc} + \sigma_{fólia} (1 - \phi_{filc})$$

ahol σ jelzi a szilárdságot, ϕ a térfogattörtet. A számításoknál figyelembe veszik a kompozit vastagságváltozását is (pontosabban a filcét, mert a fóliáé elhanyagolható mértékű) egy exponenciális függvény segítségével:

$$\sigma_k = \frac{F_{filc}}{bd_{filc,0}} e^{-\alpha t} \phi_{filc} + \frac{F_{fólia}}{bd_{fólia,0}} (1 - \phi_{filc})$$

ahol F jelzi a szakadásnál mérhető erőt, b a minta szélességét, d a kiindulási vastagságot, α az exponenciális vastagságcsökkenés sebességi állandóját (1/nap egységben), t az öregítés idejét (nap egységben). Az eredmények kiértékeléséből az adódott, hogy a szilárdságcsökkenés sebessége arányos a szilárdsággal, amelyből integrálással az adódik, hogy a szilárdság exponenciálisan csökken az idővel:

$$\sigma_k = \sigma_{k,0} e^{-\alpha t}$$

ahol a a csökkenés sebességi állandója. Ezt a radioaktív anyagok bomlásához hasonlóan leírható „felezési idők” segítségével. Ebben a reprezentációban mutatja az eredményeket az 5. táblázat. Ha a különböző öregítési módokat általában hasonlítják össze, a legenyhébb a természetes időjárás-állósági vizsgálat, utána jön a vizes tárolás, majd a földbe ásás, és a legerősebb öregítő hatása a mesterséges időjárás-állósági vizsgálatnak van. Az egyes körülmények között a különböző fóliák rangsora más és más. Az egyes csoportokon belül mért értékek eléggé eltérhetnek egymástól, a legnagyobb és legkisebb felezési idők hányadosa 3-tól kb. 20-ig terjed (az utóbbi a földbe ásott mintáknál tapasztalható).

5. táblázat

A biológiailag lebontható különböző fóliákat és viszkózfilcet tartalmazó kompozitminták bomlását jellemző „felezési idők” (nap egységben) különböző öregítési körülmények között a fólia anyagának függvényében. (Figyelembe kell venni, hogy az összehasonlításként alkalmazott PP fólia nem tartalmazott UV stabilizátort!)

Természetes öregítés		Vizes tárolás		Földbe ásva		Mesterséges időjárás-állósági vizsgálat	
Keményítő*	239	Polipropilén	408	Cellulóz-diacetát	301	Polilaktát	13
Polilaktát	169	Polilaktát	141	Polipropilén	301	Keményítő*	8
Kopoliészter	165	Keményítő*	122	Polilaktát	122	Kopoliészter	5
Cellulóz-diacetát	89	Cellulóz-diacetát	84	Keményítő*	15	Cellulóz-diacetát	4
Polipropilén	77	Kopoliészter	78	Kopoliészter	14	Polipropilén	3

* Keményítőalapú keverék.

A bemutatott adatok is azt igazolják, hogy a biológiailag lebomló polimereket tartalmazó rendszerek fejlesztése új fázisba érkezett: egyrészt elég sokféle, különböző összetételű anyagot lehet egymással összehasonlítani, másrészt lehetőség nyílik nemcsak az alapanyagok, hanem a belőlük készült termékek (jelen esetben laminált kompozitok) minősítésére is.

Dr. Bánhegyi György

Anh, J. S.; Suh, J. M.; Lee, M.; Jeong, B.: Slow eroding biodegradable multiblock poloxamer copolymers. = Polymer International, 54. k. 5. sz. 2005. 842–847.

Beckmann, E.; Mieck, K. P.; Lützkendorf, R.: Zeitabhängigkeit der Funktionalität biologisch abbaubarer Vlies/Kunststoffverbunde. = Gummi Fasern Kunststoffe, 57. k. 11.sz. 2004. p. 725–730.

Röviden...

Kevés az újrahasznosítható műanyag

A műanyagok újrahasznosításával foglalkozó cégeket tömörítő észak-amerikai szervezet (**APPR, Association Of Postconsumer Plastic Recyclers**) legutóbbi közleménye szerint összeomlás fenyegeti kiépített infrastruktúrájukat. Ennek elsődleges oka, hogy az összegyűjtött műanyag palackok és kannák száma drasztikusan csökken, ugyanakkor nő a Kínába exportált újrafeldolgozásra szánt hulladék mennyisége. Így fennáll annak a veszélye, hogy több cég kiszáll az iparágból, ami jelentős veszteséget jelenthet az amerikai piac számára. Az APPR ezért felvilágosító kampányba kezdett, amelyben tudatosítani kívánják az érintettek számára a problémát, és határozott fellépést szorgalmaznak a negatív folyamat megállítására. A szervezet felhívja a figyelmet, hogy az olyan hagyományos hulladékgyűjtő módszerek, mint a leggyakrabban alkalmazott lokális begyűjtés, nem eléggé hatékony, ezért a rendelkezésre álló mennyiség nem fedezi a szükségleteket. A cég javasolja a kanadai, ausztráliai, illetve európai hulladékkezelési minták tanulmányozását, amelyek mindeddig sikeresnek bizonyultak. A jelenlegi állapot kedvezőtlen alakulásához nagymértékben hozzájárult az is, hogy Kína felvásárolja a hulladék 35%-át, és ennek hatására az újrahasznosítható PET hulladékok ára emelkedik. Számítások szerint a rendszer fenntartható működéséhez évi mintegy 1,5 M t PET, illetve PE-HD palackra lenne szükség.

(Plastics Technology, 50. k. 6. sz. 2004. p. 61.)

A SIG értékesíti Kautex és Blowtec gyáregységeit

2004 májusában a svájci illetőségű **SIG Holding Ltd.** eladta fúvóformázással foglalkozó **Kautex** és **Blowtec** üzletágát, amelyet egy német befektető cég, az **Adcuram Beteiligungs AG** vásárolt meg. A SIG két eladott gyáregységét és a **Krupp Kunststofftechnik** céget négy évvel ezelőtt vásárolta meg azzal a céllal, hogy nagyobb hangsúlyt fektet a folyadékok csomagolására alkalmas PET és a többrétegű papírdobozok gyártásának fejlesztésére.

A **SIG Kautex** (Bonn, Németország) nagyméretű műanyag alkatrészek gyártására alkalmas gépekhez készít akkumulátorfejeket, a **SIG Blowtec** (Troisdorf, Németország) cég extrúziós fúvógépeket és fröccsöntött előformát nyújtva-fúvó egylépcsős gépeket gyárt.

(Plastics Technology, 50. k. 6. sz. 2004. p. 61.)

Három autóhűtőelem – egy poliamidtípus

A **BASF Ultramid A3HG** jelű poliamid 66-jából készül a Renault cég új kisteherautójának hűtőtankja, a hozzávezető csövek és a radiátor tartóbakja. Megelőzően ezeket az alkatrészeket PA 66-ból, öntött alumíniumból és üvegszál PP-ből gyártották. Az Ultramid A3HG képes a hosszú üvegszállal töltött PP-ből készített tartóbak merevségét és szívósságát biztosítani. A külső és belső öntött alumínium csövekre és a radiátor hideg- és hőállóságára, ill. hidrolízismentességére vonatkozó követelményeket az új poliamid szintén kielégíti. Azáltal, hogy három anyag helyett egy is elegendő ezen alkatrészek gyártásához, csökkennek a beruházási és szállítási költségek.

(Plastics Engineering, 60. k. 12. sz. 2004. p. 28.)