

ALTERNATÍV ZÁRÓRÉTEGEK A FENNTARTHATÓSÁG JEGYÉBEN

TIEFBRUNNER Anna

Óbudai Egyetem Rejtő Sándor Könnyűipari és Környezetmérnöki Kar,

Médiatechnológiai Intézet

Könnyűipari mérnöki szekció

Kivonat: Fenntarthatónak mondható a csomagolás, ha a legmagasabb szintű termékvédelem mellett minimális az ökológiai lábnyoma és lehetővé teszi az anyagok maximális körforgásban tartását. A három feltétel együttes teljesítését megnehezíti, hogy az egynemű csomagolóanyagok a legritkább esetben képesek önmagukban ellátni a termékvédelem sokrétű feladatát. Különösen igaz ez az élelmiszeripari csomagolásokra, ahol az alkalmazott műanyagok többnyire csak társítva tudnak megfelelni és hosszú minőségmegőrzési időt biztosítani az élelmiszernek. Az ilyen társított anyagok azonban ma még nem vagy csak korlátozottan újrahasznosíthatók, ezért meg kell találni azokat az összetételeket, melyekkel elérhető a teljesen hulladéktelen körforgás. Jelen cikk az élelmiszeripari fóliák záróképségét fokozó műanyagalapú, illetve szervetlen bevonatokat tekinti át az anyagában történő hasznosítás szempontjából.

Kulcsszavak: záróképség, fémgőzölés, szilíciumoxid bevonat, alumíniumoxid zárórétteg

BEVEZETÉS

Az Európai Unió 2015-ben elindított, a körforgásos gazdaságra való átállás felgyorsítását segítő cselekvési tervének elveit követve a bécsi Alkalmazott Tudományok Egyeteme (University of Applied Sciences FH Campus Wien) szakértői kidolgoztak egy iránymutatást a tervezőknek ahhoz, hogy a csomagolások a lehető legnagyobb mértékben újrahasznosíthatók legyenek. Az évről-évre bővülő, frissülő tanulmány⁵ elkészítését és terjesztését a Csomagolási Világszövetség (WPO) és a fogyasztási cikk szektor beszállítóinak és kereskedőinek közös platformja, az ECR is támogatja. Kiadványukban a szerzők csomagolóanyag típusonként, illetve csomagolóeszköz változatonként értékelik a különböző technológiai megoldások megfelelőségét és kijelölik a környezeti szempontból legkedvezőbbeket. Minden anyagfajtánál kitérnek az alapanyag összetételére, az adalékokra, az alkalmazott záróréttegre, a nyomtatás, jelölés módjára, a csomagolóeszköz zárására. Az egyes járulékos anyagokat, beavatkozásokat megfelelő, korlátozottan, valamint kevésbé megfelelő csoportokba osztják és ezt táblázatban jelenítik meg. A besorolt összetevőkről, adalékokról kevés további információ érhető el,

⁵ Circular Packaging Design Guideline - Design Recommendations for Recyclable Packaging

ezért jelen cikkben az egyik legnehezebben értelmezhető területen, a zárórétegek körében szeretnénk kicsit bővebb ismereteket nyújtani a csomagolástervezőknek.

MŰANYAG FÓLIÁK ZÁRÓRÉTEGÉNEK ÉRTÉKELÉSE

Az érzékeny, gyorsan romló élelmiszerek hosszú minőségmegőrzési időt biztosító csomagolása megköveteli magas záróképeségű, minimális mennyiségű és gazdaságos csomagolóanyagok gyártását. Ugyanakkor a nagysebességű csomagológépek kiszolgálása további kihívást jelent az anyag tulajdonságait illetően. A speciális elvárásoknak – gáz- és aromazárás, vízgőzzárás, esetenként áteresztés, mélyhúzhatóság, zsugorodóképesség, döfőszilárdság, hegeszthetőség, fényzárás – önmagukban azonban az egynemű műanyag fóliák nem képesek megfelelni, a többféle feladat ellátásához társított csomagolóanyagokra van szükség. A csomagolóanyagok záróképesége különböző szerves és szervetlen bevonatok segítségével jelentősen javítható. A permeabilitás csökkentése mellett a kialakított zárórétegek sokszor migrációs problémákat is megoldanak és védik a csomagolt terméket idegen ízekkel, szagokkal szemben.

A minősítésre került társítások

A bevezetőben említett tanulmány a polipropilén és polietilén fóliáknál alkalmazott zárórétegek közül az 1. táblázatban szereplő anyagokat sorolja be az általa meghatározott csoportokba függetlenül attól, hogy azok az ipari gyakorlatban mennyire elterjedtek. Ettől eltérő a PET fóliákra vonatkozó ajánlás, mivel a hajlékony falú csomagolásokhoz használt poliészter fóliákhoz jelenleg nincs hasznosítási technológia. [1]

1. táblázat: Különböző záróképes rétegek besorolása az újrahasznosítás szempontjából

Teljes név	A tanulmányban szereplő név	Besorolás
Szilíciumoxid	SiO _x	jó
Alumíniumoxid	Al ₂ O ₃	jó
Szénplazma bevonat	Szénplazma bevonat	jó
Poli(etilén-vinilalkohol)	EVOH	korlátozottan kevésbé
Alumínium fémgőzölés	Alumínium fémgőzölés	korlátozottan
Alumíniumfólia	Alumínium réteg	kevésbé
Poliamid	PA	kevésbé
Poli(vinilidén-klorid)	PVDC	kevésbé

Nem megfelelőnek tartott záróképes rétegek

A táblázatból kitűnik, hogy a hagyományosnak tekinthető alumíniumfólia, PA és PVDC zárórétegek a jövőben kerülendők lesznek. Az alumíniumfólia kiváló vízgőz-, gáz- és aromazáró tulajdonságú és tökéletes fény elleni védelmet is képes nyújtani az arra érzékeny termékeknek. Az újrahasznosítás szempontjából azonban hátrányos, hogy 5 µm-nél nagyobb vastagságban megzavarja az anyagfajtánkénti válogatást. Ennek oka az, hogy az alumínium elkülönítésére szolgáló örvényáramú leválasztó a vékony fémréteget mágnesezhetővé téve a hulladékdarabot eltéríti és a műanyagok helyett

az alumíniumdarabok közé juttatja, ahol azok szennyezőjeként a továbbiakban el kell távolítani. Az alkalmazás tiltása alól lehetnek kivételek, de azokat minden esetben tesztelni kell.

A poliamid réteg, ami például a vákuumcsomagolásra alkalmazott, koextrudált PE-PA társítások összetevője, hulladékként nem választható el a polietilén alapfóliától. Megjegyzésként hozzátéve azt, hogy a koextrúziónál a két műanyag egyesítéséhez szükséges egy tapadásközvetítő réteg, ami egy harmadik műanyag megjelenését jelenti a társításban. Ilyen köztes réteg lehet például a poli(etilén-vinilacetát) vagy egy ionomer típusú műanyag.

A poli(vinilidén-klorid) jellemző felhasználási területe az oldószeres vagy diszperziós bevonás és egyedülállóan kedvező barrier tulajdonságokkal rendelkezik. Esetében a mellőzés igénye nem új, hiszen klórtartalma miatt – a PVC-hez és a klórtartalmú kopolimerrekhez hasonlóan – már évek óta a kerülendő műanyagok között szerepel a csomagolásban.

„Megtűrt” zárórétegek

A záróréteget képező polimerek közül a poli(etilén-vinilalkohol) feltételekkel továbbra is alkalmazható. Polietilén fólia esetében a tanulmány által hivatkozott RecyClass (Plastics Recyclers Europe) 5% alatti arányt határoz meg, míg polipropilénnél nincs mennyiségi megkötés a további korlátozott alkalmazásra. [2] [3]

A vinil-alkoholt 60% (mol/mol) koncentrációt meghaladó mennyiségben tartalmazó EVOH-kopolimerrek száraz állapotukban kiváló gázzáró tulajdonságúak, de permeabilitásuk vízgőz hatására erősen megnő. A fólia vízgőzzáró képessége kedvezőtlenebb, mint a PVDC vagy a poliolefinnek hasonló jellemzője és mértéke függ a környezet relatív légnedvesség-tartalmától. Ennek kiküszöbölésére az EVOH réteget jellemzően két polietilén réteg közé ágyazva alkalmazzák. Másik módszerként a nedvesség hatására bekövetkező oxigénáteresztő képesség változás mértékét a fólia nyújtásával és hőkezelésével csökkentik. Feldolgozhatósága az etilén részarányának növelésével javítható, speciális típusai mélyhűzhetőek. Különösen hűtött és gyorsfagyasztott termékekhez, valamint módosított légterű csomagolások kialakítására alkalmas.

Az újrahasznosítás szempontjából hátrányos, hogy az EVOH jelenléte a műanyag hulladékban savas vegyületek képződéséhez vezethet az extrudáláskor, amivel csökkentheti az anyag belső sűrűségét, megnehezítve az anyag egyenletes felmelegedését és megömlését.

Burgonyaszirmok és más, fényre és avasodásra hajlamos termékek tömlőtasakos, védőgázos csomagolására a metalizált poliészter, illetve metalizált orientált polipropilén alapú összetételek a legáltalánosabbak. A fémgőzöléssel felvitt nagy tisztaságú alumínium csekély fémfelhasználás mellett ($<0,1 \text{ g/m}^2$) biztosítja azt, hogy a csomagolóanyag zárási tulajdonságai lényegesen javulnak, a bevonat megakadályozza a foto-oxidációt és csillogó, ezüstszerű felületet kölcsönöz a csomagolásnak. Mivel a gőzöléssel felvitt záróréteg ultravékony, a fóliát a feldolgozás során fellépő mechanikai sérüléstől egy további fóliaréteggel védik, az egyesítést kasírozással vagy extrúziós bevonással oldják meg. Az utóbbi eljárás előnye, hogy a műanyagolvadék – a fém kiváló hővezető képességének köszönhetően – gyorsan megszilárdul az alumínium rétegen, ami késlelteti a műanyag kristályosodását, ezzel növelve a kötés szilárdságát.

A tanulmány abban az esetben, ha a fémgőzölés nem rontja az anyagspecifikus válogatást, azaz a műanyag közeli infravörös spektroszkópiás azonosítását, továbbra is elfogadhatónak minősíti. A

gyakorlatban ez azt jelenti, hogy az alumíniumgőzölés a laminált szerkezeten belül legyen, például egy fóliatasak belső felületén. [1]

Az újrahasznosítás szempontjából megfelelő szervesetlen bevonatok

A csomagolóanyag áteresztésének legnagyobb mértékű csökkenését – azonos vastagság mellett – szervesetlen záróképes anyagok alkalmazásával lehet elérni. Ilyen eljárások az alumíniumgőzölés, a szilíciumoxidok, valamint fénoxidok bevonó anyagként történő alkalmazása. A létrehozott vékony bevonat ugyan nem mutat hagyományos értelemben vett rétegtulajdonságokat, ennek ellenére javítja a fólia záróképeségét gázokkal szemben, mivel sem a gázok, sem az aromaanyagok nem oldhatók a fémbe. Azonban a felhordáskor keletkező, illetve a tovább-feldolgozás során, például az anyag nyújtásakor megjelenő réteghibák mérete és mennyisége meghatározza a zárás minőségét. A tanulmány a szilíciumoxidos, az alumíniumoxidos, valamint a plazmabevonást tartja a jövőben elfogadható záróképeség-javító eljárásnak.

A köznyelvben „üvegfóliának” nevezett, átlátszó szilíciumoxidos bevonat nem új a csomagolóanyagoknál, már évtizedek óta létező megoldás. Kiváló funkcionális tulajdonságai ellenére Európában csak szűk körben alkalmazzák, ami elsősorban azzal magyarázható, hogy a mechanikai igénybevételek, ha kismértékben is, de rontják a fólia oxigénzáró képességét, például mélyhűzéses csomagológépen csak korlátozott formamélyiségig alkalmazható. Azonban a szilíciumoxiddal bevont fóliák sem sérülékenyebbek a mechanikai igénybevételek hatására, mint a fémgőzölt fóliák. Ugyanakkor az EVOH záróréteget tartalmazó társításokkal ellentétben nem érzékenyek a levegő nedvességtartalmára, ami különösen 80% nedvességtartalomnál szembetűnő. Az üvegfólia sterilizálható anélkül, hogy záróképesége megváltozna, ez a tulajdonsága konzervipari felhasználásra, készételek csomagolására is alkalmassá teszi.



1. ábra: Szilíciumoxid bevonatú állóképes tasak

A szilíciumoxiddal történő bevonást plazma előkezelést követő elektronsugaras eljárással végzik, a bevonatok vastagsága 0,02 μm körüli. Az alapfólia lehet PET, PA, BOPP, PLA, a kezelt csomagolóanyagból tömlő-, lapos- és állótasak egyaránt készíthető, de alkalmas fedőfólia és társított anyagú, félmerev falú dobozok gyártására is. Az 1. ábrán szilíciumoxid bevonatú, BOPP anyagú talpas

tasak látható, a társítás szabványos körülmények között mért oxigénáteresztése $0,10 \text{ cm}^3/(\text{m}^2 \text{ bar } 24 \text{ h})$ alatti. [4] A gyártó által megadott értékből látható, hogy az önmagában nagy oxigénáteresztésű orientált polipropilén záróképesége a nagyon jól záró EVOH-PET kombináció szintjére hozható SiO_x bevonat alkalmazásával, míg poliésztert bevonva kiemelkedő záróképeség érhető el.

Alumíniumoxidok felhasználásával szintén készíthetők szervesetlen zárórétegek, alkalmazásukat polietilén és polipropilén tasakok, zacskók esetében a tanulmány szintén megfelelőnek tartja. Alumíniumoxid bevonattal a poliolefineken kívül poliamid és poliészter fóliák és készíthetők. A mai ipari gyakorlatban, annak ellenére, hogy az újrahasznosítása még nem megoldott, a poliészter a legáltalánosabb alapfólia. Ezt indokolja, hogy az alumíniumoxid bevonatú PET fólia nagy átlátszóságú, fényes felülete dekoratív csomagolás előállítását teszi lehetővé, emellett nagyteljesítményű gépi feldolgozásra is alkalmas. Friss élelmiszerek minőségmegőrzési idejének jelentős meghosszabbítása érhető el a megfelelő vízgőz- és gázzáró képességnek köszönhetően, hiszen egy alumíniumoxid bevonatú, $12 \mu\text{m}$ vastagságú poliészter fólia szabványos körülmények között mért oxigénáteresztése $1,5 \text{ cm}^3/(\text{m}^2 \text{ bar } 24 \text{ h})$ (2. ábra). [5]



2. ábra: Alumíniumoxid bevonatú, poliészter anyagú állóképes tasak

A szilíciumoxidos bevonással összehasonlítva, az alumíniumoxid bevonatú műanyagfólia kismértékű nyújtásnál jelentősen kisebb áteresztőképesség-változást mutat, azonban a helyzet nagyobb mértékű nyúlásnál megfordul. Ez az jelenti, hogy az így kezelt fóliák sem viselik jól a nagymélységű melegalakítást. Alkalmazásuk mellett szóló érv lehet, hogy előállításuk költségoldalról kedvezőbb, mint a szilíciumoxid bevonatoké. A SiO_x és Al_2O_3 réteg PET és PA fóliákra egyidejűleg is felvihető, az így előállított csomagolóanyag stabilabb, nagyobb rugalmassággal és jobb zárási tulajdonságokkal rendelkezik, mintha a bevonat csak szilíciumoxidot tartalmazna.

A harmadik olyan eljárás, ami a műanyag fóliák újrahasznosítása szempontjából kedvezőnek minősíthető, a szénplazma bevonás. A technológia alapja az, hogy a vákuum alá helyezett felhordó egységbe acetilén gázt injektálnak és az elektromágneses hullámok formájában bevitt energia hatására a gáz ionok, elektronok, neutronok és fotonok többé-kevésbé disszociált halmazává változik, plazmaállapotot vesz föl. A gyorsan mozgó részecskék a kamrán átvezetett hordozó anyagnak ütközve veszítenek mozgási energiájukból, szilárd halmazállapotúvá alakulnak vissza, és vékony réteg

formájában lerakódnak a hordozóra. A csomagolásban a szénplazma bevonás ma még elsősorban a PET palackok záróképeségének fokozására terjedt el, de kiváló gáz- és aromazáró hatásának köszönhetően a jövőben sokkal szélesebb körű alkalmazása várható. A szénplazma bevonat hátránya, hogy átlátszó anyagok esetében elszíneződést okozhat.

ÖSSZEFOGLALÁS

Összességében elmondható, hogy a csomagolási célú polietilén és polipropilén fóliák újrahasznosíthatóságával szemben támasztott követelmények teljesíthetők a kedvező megítélésű záróképes bevonatok alkalmazásával úgy, hogy ugyanakkor a hulladékká váló élelmiszerek mennyisége se növekedjen. Az ipari gyakorlat számára nehézséget elsősorban az jelenthet, hogy az eddig nagy mennyiségben felhasznált poliészter alapfóliát ki tudják-e váltani poliolefin típusúval. A problémára igazi megoldást az jelentene, ha a polietilénen és a polipropilénen kívül a többi, fóliaként alkalmazott csomagolóanyag is lenne kidolgozott anyagában történő hasznosítási technológia.

HIVATKOZÁSOK

- [1] Gürlich, U., Kladnik, V., Hummelberger, D., Tacker, M.: *Circular Packaging Design Guideline - Design Recommendations for Recyclable Packaging*, FH Campus Wien Section Packaging and Resource Management, 2020.
- [2] Plastics Recyclers Europe: *Natural PE Flexible Films for Household and Commercial Packaging*, RecyClass (PDF, 2021. jún.) <https://recyclclass.eu/recyclclass/design-forrecycling-guidelines/> (megtekintve: 2022. okt. 26.)
- [3] Plastics Recyclers Europe: *Natural PP Flexible Films for Household and Commercial Packaging*, RecyClass (PDF, 2021. febr.) <https://recyclclass.eu/recyclclass/design-forrecycling-guidelines/> (megtekintve: 2022. okt. 26.)
- [4] CERAMIS® Ultra CPP-009 SILICON OXIDE-COATED (SiO_x) POLYPROPYLENE FILM, *Developmental Data Sheet* (PDF, 2021. ápr.), <https://www.celplast.com/family/ceramis/> (megtekintve: 2022. okt. 27.)
- [5] CAMSHIELD® T 12µm AlO_x-coated POLYESTER FILM *Typical Values AlO_x One Side, Corona Treat Other Side* (PDF, 2015. szept.), <https://www.celplast.com/family/camclear/> (megtekintve: 2022. okt. 27.)

Szerző:

TIEFBRUNNER Anna
Óbudai Egyetem, Rejtő Sándor Könnyűipari és Környezetmérnöki Kar, Médiatechnológiai Intézet
Magyarország, 1034 Budapest, Doberdó út 6.
Telefon: +36 1666-5984 E-mail: tiefbrunner.anna@uni-obuda.hu