PP szálból készített nemszőtt geotextilek és BOPP fóliák áteresztőképessége a feldolgozási körülmények függvényében

A műanyagoktól hol azt várjuk, hogy áteresszenek bizonyos közegeket, mint pl. a geotextilek a vizet, hol pedig azt, hogy megakadályozzák az áthatolást, pl. a csomagolóanyagok az oxigénét. A következőkben mindkét elvárás teljesítésének elősegítésére mutatunk be gyakorlati példát.

Tárgyszavak: polipropilén; geotextil; gyártástechnológia; vízáteresztés; BOPP fólia; oxigénáteresztés; végeselem-analízis.

PP szálból készített geotextilek vízáteresztése

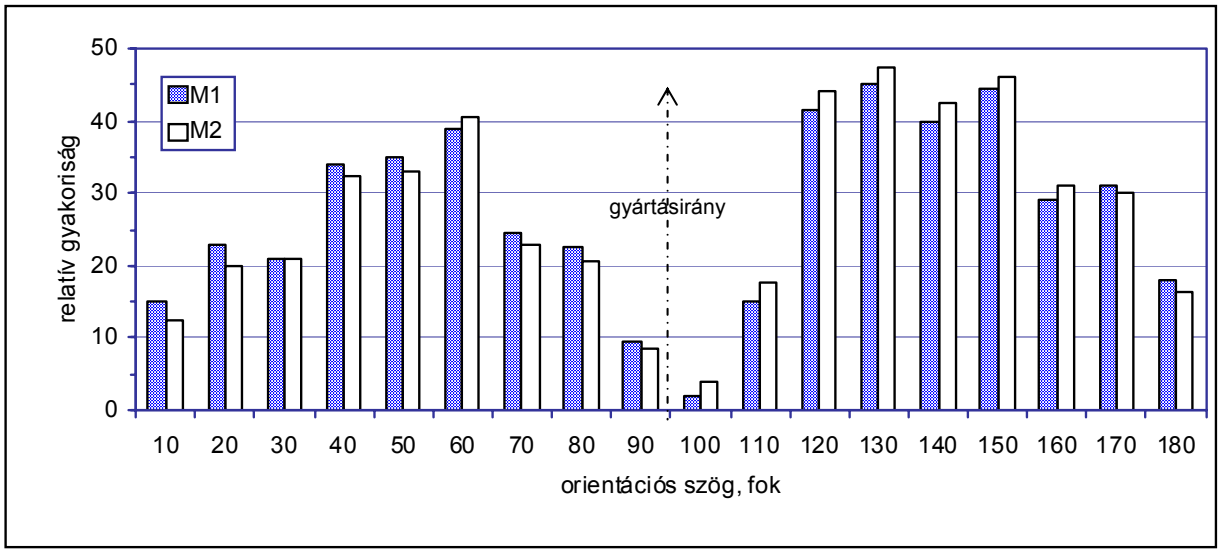
A PP szálból készített nemszőtt textileket széles körben alkalmazzák orvosi és higiéniai célra, szűrésre, elválasztásra, talajerősítésre, talajvíz elvezetésére stb. *Szinte valamennyi alkalmazásban azt a tulajdonságukat használják ki, hogy áteresztik a vizet.* Vízáteresztő képességüket elsősorban a bennük lévő pórusok mérete és eloszlása határozza meg. A víz ideális esetben egyenletes, sima áramlással, nyomásnövekedés nélkül folyik át rajtuk. Valójában a víznek bonyolult csatornarendszeren kell áthatolnia, amelyet a különböző irányban elhelyezkedő szálak alkotnak. A vizet csak a teljesen nyitott pórusok vezetik, a zárt pórusok egyáltalán nem vesznek részt a víz továbbításában, és a csak egyetlen nyílással rendelkező pórusok is „zsákutcát” jelentenek.

A geotextilek egyik gyakori fajtájában a szálakat nem rögzítik egymáshoz, csak összekuszálják őket, és a textilt a szálak súrlódása tartja össze. Ilyenek az *ún. tűzött vagy tűnemezelt textilek,* amelyek gyártásakor a kártolt (a szálak lazítása és részben párhuzamosítása) szálakból kialakuló fátylakat egymásra merőlegesen rétegezik, majd horgolótűszerű kampós tűkkel átszúrják. A tűk visszahúzáskor egyes szálakat magukkal húznak, és „átszövik”, ezáltal megszilárdítják a rendszert. A tűzés módja befolyásolja a textil pórusszerkezetét, mert az ilyen szálak elzárhatják a pórusok bejáratát, vagy kisebbekre oszthatják az eredetileg nagyobb pórusokat.

A dél-afrikai **Nelson Mandela Egyetemen** (Port Elisabeth) éppen ezt az utóbbi jelenséget vizsgálták PP-szálakból készített geotextileken. 60 mm hosszú, átlagosan 17 µm átmérőjű, 6,6 dtex finomságú göndör szálakat használtak, amelyeken cm-ként átlagosan 10 perdületet számoltak meg. Tűzéskor a tűk behatolási mélysége a szálhalmazba 4, 6 vagy 8 mm volt (a kapott mintákat ugyanilyen sorrendben M1, M2 és M3-ként jelölték), a tűzés frekvenciája 256/min volt. A geotextilek egységnyi felületre eső

névleges tömege egységesen 120 g/m^2. *Vízáteresztő képességüket EN ISO 11 058* szabvány szerint, a felületre merőlegesen álló 67,8 mm átmérőjű hengerből kifolyó víz áthatolásával mérték.

A *pórusszerkezetet* az ún. *folyadékkiszorításos eljárással* vizsgálták. Ennek lényege, hogy a textilt alkalmas, jól nedvesítő folyadékkal telítik, majd levegővel szorítják ki azt. Az alkalmazott nyomásból és a kiszorított folyadék térfogatából következtetni lehet a pórusok méretére és a pórustérfogatra. A szálorientációt az ún. „*Imázselemző program*" „*Analízis 3.2.*" változatával számították ki. Végeselemes módszerrel a mérés mellett ugyancsak számítógépen becsülték meg a várható vízáteresztést, és ezt összehasonlították a mért eredményekkel. Az M1 és M2 minta szálorientációját és annak eloszlását az *1. ábra*, mindhárom minta mért (és számított) értékeit az *1. táblázat* mutatja.



1. ábra A nemszőtt geotextilek szálainak a gyártásiránnyal bezárt szög szerinti gyakorisága

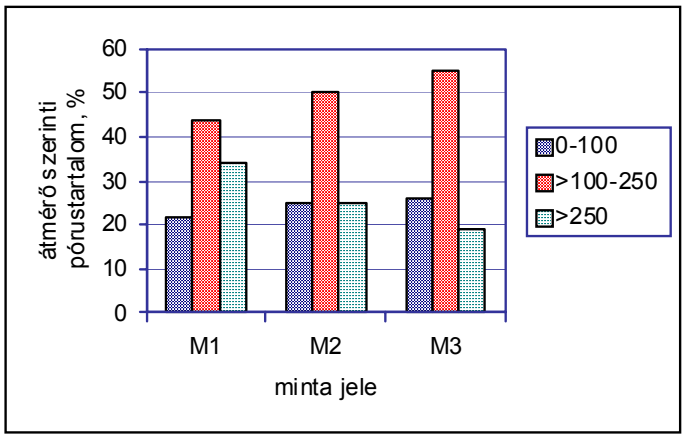
1. táblázat

A geotextilek mért (és számított) jellemzői

Minta jele	Vastagság	Pórusméret, µm			K_{20}	Sebesség[1/]	Sebesség[2/]	Korreláció
	mm	min.	átlag	max.	m/s.10^{-2}	mm/s	mm/s	R^2
M1	2,4	53,37	215,62	367,81	1,25	125	105	0,84
M2	2,0	40,51	189,10	331,73	1,09	109	93	0,87
M3	1,7	24,64	163,23	291,12	0,97	97	80	0,85

K_{20} = áteresztőképesség 20 °C-os vízzel mérve.
[1/] mért érték.
[2/] végeselemes modellből számított érték.

Az M1 és M2 minta szálorientációja hasonló volt, és ugyanilyen volt az ábrán fel nem tüntetett M3 mintáé is. Látható, hogy a gyártásirányba csak nagyon kevés szál rendeződött, ami a keresztirányban rétegezett fátylak szálirányultságából adódott. A táblázatból az is látható, hogy a tűzés mélységével csökken a pórusméret és ezáltal a vízáteresztő képesség is. A mélyebbre hatoló tű ugyanis hosszabb úton bolygatja meg a szálakat, erősebben kuszálja össze azokat, ezáltal több pórust zár le vagy oszt kisebb üregekre. A pórusokat átmérőjük szerint három csoportra (0–100 µm, >100–250 µm és >250 µm) osztották. A minták póruseloszlását a három csoport figyelembevételével a *2. ábra* mutatja. Ezen is látható, hogy a mélyebben tűzött geotextilben több a kicsi és kevesebb a nagy pórus. A >250 µm-es pórusok akkor kívánatosak, ha a víznek nyomás nélkül, könnyen kell áthatolnia a textilen. Ha az a feladata, hogy visszatartsa a folyadékot vagy biztonságosan kiszűrje a szennyezést, előnyösebbek lehetnek a kisebb méretű pórusok.



2. ábra
A minták pórusainak µm-ben kifejezett átmérő szerinti megoszlása

Két irányban nyújtott polipropilénfóliák oxigénáteresztése

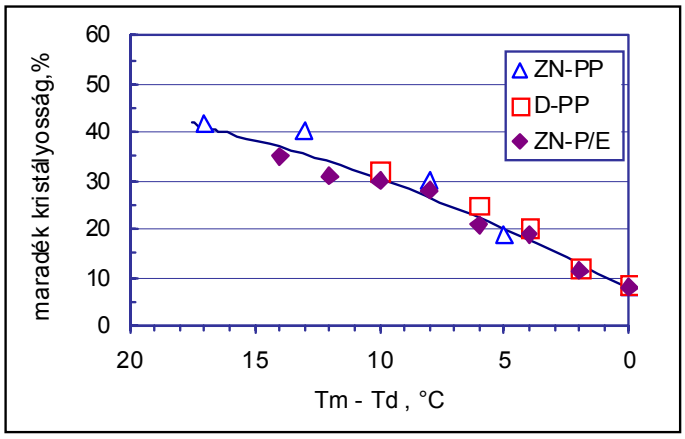
A két irányban nyújtott polipropilénfóliák (BOPP vagy helyesebben PP-BO fóliák) kedvelt csomagolóanyagok. Az ilyen fóliák gázáteresztő képessége – különösen élelmiszerek csomagolásakor – fontos jellemző, mert erősen befolyásolják az élelmiszerek eltarthatóságát. Az USA-ban egy clevelandi egyetemen (**Case Western Reserve University**) azt vizsgálták, hogy hogyan befolyásolják a fóliák oxigénáteresztő képességét a gyártásukhoz használt alapanyag és a fólia nyújtásának körülményei.

A kutatók háromféle alapanyaggal dolgoztak, valamennyi a **Dow** cég gyártmánya. Az egyik Ziegler-Natta katalizátorral készített PP homopolimer (*ZN-PP*, termékjele *Dow 5D98*)), a másik posztmetallocén katalizátorral előállított kísérleti PP homopolimer (*D-PP*), a harmadik ZN-katalizátorral kapott propilén-etilén kopolimer (*ZN-P/E*, termékjele *Dow 6D20*) volt. A granulátumokból 190 °C-on 0,6 mm vastag lapokat sajtoltak, az ezekből kivágott minták termikus tulajdonságait differenciál termikus kaloriméterben (DSC) elemezték. Ugyancsak a sajtolt lapokból kivágott 85x85 mm-es lapokat nyújtóberendezésben hossz- és keresztirányban 400%/min sebességgel 5x5, 6x6, 7x7 vagy 8x8-szoros arányban megnyújtották. A nyújtás hőmérsékletén 1

percig tartották a mintát nyújtás előtt. Nyújtás közben mérték a szükséges erőt, a felületre rajzolt rács torzulásából pedig meghatározták a nyújtás egyenletességét.

A polimerek *kristályosságát* és a nyújtás hőmérsékletén *megmaradt kristályosságát* a DSC berendezésben mért olvadáshőből számították ki. A maradék kristályosság mérésekor a mintát 80 °C/min sebességgel a nyújtási hőmérsékletig melegítették fel, 1 percig ezen tartották, majd 10 °C/min sebességgel 190 °C-ig tovább melegítették. A maradék kristályosságot a második felmelegítéskor a nyújtási hőmérséklet és 190 °C közötti görbeszakasz endoterm csúcsából számították ki. Mérték a fóliák *sűrűségét*, *oxigénáteresztését*, a benne lévő *üregek szabad térfogatát* (PALS, pozitron annihilációs spektroszkópiával) és *dinamikus mechanikai termikus analízis*nek (DMTA) vetették alá őket. Az oxigénáteresztő képességet [a fólián áthatoló oxigénáramot, J(t)] 0% relatív nedvesség , 1 bar nyomás és 23 °C mellett a **Mocon** cég (Minneapolis, MN, USA) *OX-Tran 2/20* jelű készülékén határozták meg, és $P(O_2) = Jl/p$ mérőszámmal adták meg, ahol p a nyomás, l a fólia vastagsága. [Egysége a barrer; 1 barrer = 10^{-11}(cm^3 O_2).cm/cm^2.s.mmHg vagy 846 ml.mm/cm^2.nap.bar. A barrert a mérési módszer kidolgozójáról, Richard Barrer-ról nevezték el. A módszert elsősorban kontaktlencsék oxigénáteresztésének vizsgálatára használják. A szerkesztő megjegyzése.]

A ZN-PP olvadáspontja 165 °C, a D-PP-é 147 °C, a ZN-P/E-é 144 °C; olvadáshőjük ugyanilyen sorrendben 93 J/g (56% kristályosság), 92 J/g (56% kristályosság), 84 J/g (51% kristályosság). A maradó kristályosságot az olvadáspont és a nyújtási hőmérséklet különbségének függvényében a *3. ábra* mutatja. Látható, hogy a háromféle polimer maradék kristályossága nagyon hasonló, és az értékek annál jobban közelítenek egymáshoz, minél közelebb van a nyújtás hőmérséklete az olvadásponthoz.



3. ábra
A vizsgált polimerek maradék kristályossága a nyújtás hőmérsékletén az olvadáspont (T_m) és a nyújtási hőmérséklet (T_d) különbségének függvényében

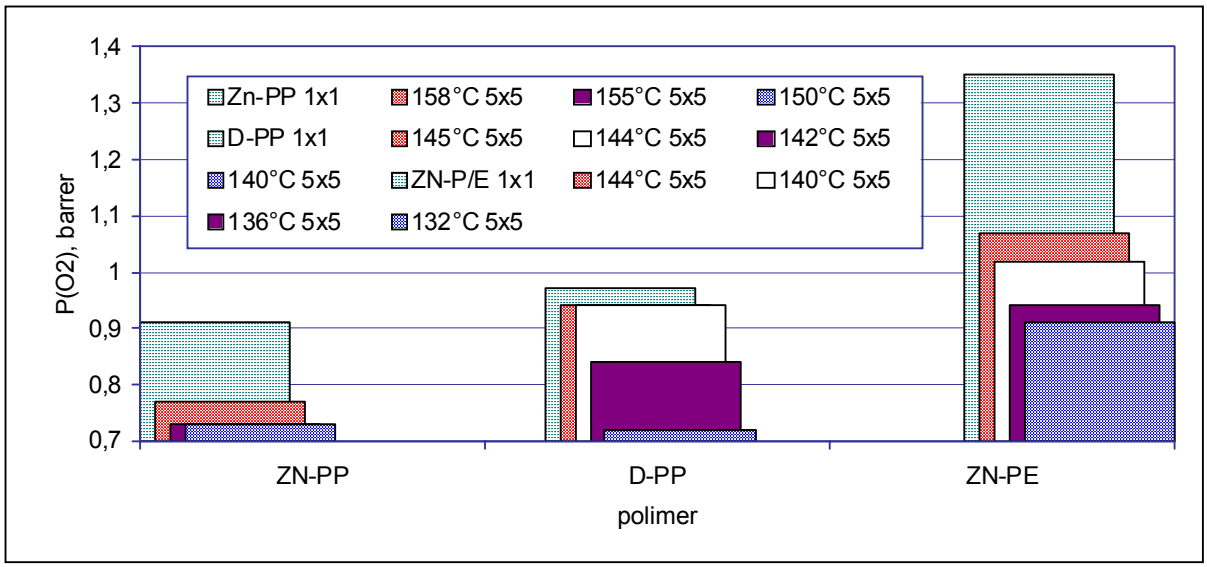
A polimerek nyakképződésre való hajlama következtében egyenletesen nyújtott filmet csak akkor kaptak, ha mindkét irányban legalább ötszörösére nyújtották a mintát. A nyújtáshoz szükséges erőből felrajzolták a feszültség-nyúlás görbéket. Mindhárom polimeren megfigyelhető volt a folyáshatáron megjelenő csúcs, az ezt követő „plató", majd a szakadás előtti feszültségnövekedés. A feszültség a folyáshatáron a nyújtás hőmérsékletének emelésekor csökkent; csökkenése párhuzamos volt a maradék kristályosság csökkenésével.

A nyújtás egyenletességét a szemrevételezés mellett a nyújtott minta közepén egy 30 cm átmérőjű kör mentén mért kettős töréssel is ellenőrizték. A fólia orientációjára jellemző Δn értéket a kettős törésből a következő módon számították ki:

$$\Delta n = \frac{n_x + n_y}{2} - n_z \text{, ahol}$$

n_x és n_y a két nyújtásirányban, n_z az azokra merőleges irányban mért kettős törés. Ez az érték az 5x5-szörösére nyújtott mindhárom polimer fóliáiban nagyon hasonló volt és csökkent a nyújtási hőmérséklet emelésével.

A különböző polimerekből készített nyújtatlan és különböző hőmérsékleten 5x5-szörösére nyújtott fóliák oxigénáteresztését a *4. ábra* mutatja. A két irányba nyújtás egyértelműen csökkentette az oxigén áthatolását, de nem volt értékelhető összefüggés a Δn-nel kifejezett orientációval. Nagyon határozott összefüggést állapítottak meg azonban a DMTA görbék alapján mért ß-relaxáció intenzitásával. Arra a következtetésre jutottak, hogy *az oxigén áthatolása az amorf fázist képező és a kristályos részeket összekötő molekulák mozgásától függ.* Nyújtáskor ezek a molekulák megfeszülnek, mozgékonyságuk csökken, ami a ß-relaxáció intenzitásának csökkenésében nyilvánul meg, és gátolja az oxigén áthatolását a fólián.



4. ábra A vizsgált polimerekből készített fóliák oxigénáteresztése nyújtás nélkül (1x1) és különböző hőmérsékleten végzett 5x5-ös nyújtás után

Összeállította: Pál Károlyné

Patanaik, A.; Anandjiwala, R.D.: Water flow through the polypropylene-based geotextiles. = Journal of Applied Polymer Science, 108. k. 6. sz. 2008. p. 3876–3880.
Dias, P.; Lin, Y. J. stb.: Effect of chain architecture on biaxial orientation and oxygen permeability of polypropylene film. = Journal of Applied Polymer Science, 107. k. 3. sz. 2008. p. 1730–1736.