Tapadásjavító adalékok alkalmazása természetes szállal erősített hőre lágyuló műanyagokban

Tárgyszavak: kompozit; PP; természetes szálak; lenrost; szizálrost; gyártástechnológiák; tapadásjavító adalék; tulajdonságok.

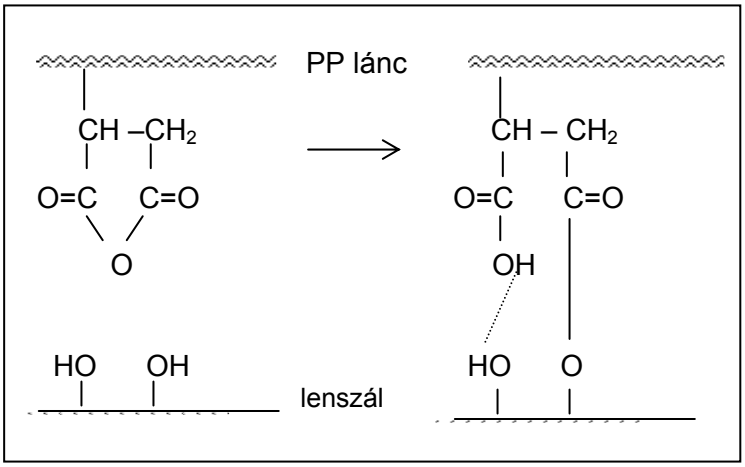
A természetes szálakkal végzett erősítés előnyei és hátrányai

A természetes szálak alkalmazása ma már nem újdonság. Az autóipar különösen nagy mennyiségben használ ilyen erősítőanyagot. Az üvegszálakkal szemben a természetes szálaknak olyan előnyei vannak, mint az olcsóbb ár és a kedvezőbb munkaegészségügyi környezet. Az erősítőanyag előnyei azonban csak akkor érvényesülnek, ha elég jó a tapadás a szál és a mátrix között. Ez különösen fontos a természetes szálaknál, amelyek nem érik el az üvegszálak mechanikai jellemzőit. A jó tapadás más tulajdonságok – ezen belül a vízfelvétel – szempontjából is kritikus, különösen dinamikus terhelés és váltakozó hőmérséklet mellett. A természetes szállal erősített hőre lágyuló műanyagok eltérő kémiai tulajdonságai miatt különösen nehéz megfelelő adhéziót kialakítani. A gyakran alkalmazott polipropilénmátrix pl. olyan apoláris anyag, amely semmiféle kémiai kötést nem tud kialakítani a cellulóztartalmú szálakkal, ezért tapadást javító adalékokat kell alkalmazni.

Tapadásközvetítőként számításba jönnek ugyan bizonyos szilánok és izocianátok, de gyakorlati szempontból mégis a maleinsavval ojtott rövidebb és hosszabb láncú polipropilének (PP-MAH) a legfontosabbak. A kialakuló kötést sematikusan az *1. ábra* mutatja. A valóság azonban ennél lényegesen bonyolultabbnak bizonyult. A hőre lágyuló műanyagok természetes szálakhoz való tapadását sokan vizsgálták, elsősorban különböző tapadásközvetítőket hasonlítottak össze. Az elméleti lehetőségek jól ismertek, de kevesebb munka jelent meg arra vonatkozóan, hogy miként lehet jól bevinni a tapadásközvetítőket a rendszerbe, és milyen hatással van a bedolgozás módja a tapadás minőségére.

A PP és a cellulózszálak közti tapadás javítására nem túl sok mechanizmus létezik (toxikus anyagokat, oldószereket és nedves eljárásokat nem célszerű alkalmazni), gyakorlatilag a PP-MAH felhordása az egyetlen iparilag is

alkalmazható módszer. A továbbiakban néhány kereskedelemben kapható PP-MAH típus összehasonlító vizsgálatára vonatkozó adatokat tekintünk végig a feldolgozási módszerek függvényében a gyakorlati alkalmazhatóság szempontjából.



1. ábra
A maleinsavanhidriddel ojtott polipropilén (PP-MAH) és a cellulózszál közti kötés kialakulásának vázlata

Lenrosttal erősített PP

A tapadásjavító adalék bevitele

A természetes szálakkal erősített műanyagok legtöbbször félkész termékek (paplanok, nemezek, filcek), *természetes szálból és polipropilénszálból készített hibrid szerkezetek, amelyekből sajtolással állítják elő a végterméket. Ilyenkor a tapadásközvetítőt por formájában lehet a nemezre rászórni. Ennél még elegánsabb az a módszer, ahol eleve olyan PP-szálat használnak, amely már tartalmazza a tapadásjavító adalékot – így nem léphetnek fel adagolási és elegyedési hibák a nemez előállításakor.* Az utóbbi esetben az adalék eloszlása mind a szálban, mind a kompozitban sokkal egyenletesebb, és a maleinsavanhidriddé való átalakulás (gyűrűzáródás) a kétlépéses hőkezelés (szálhúzás és préselés) során teljessé válik. Bár a gyakorlatban egyáltalán nem alkalmazzák, *elvben lehetséges a természetes szálból álló nemez és a PP-fólia rétegelése is a kompozitok előállításakor.* A módosító adalékot itt is por alakjában lehet felszórni vagy a PP-fóliába bedolgozni. *Számításba jön még a PP-MAH tartalmú vizes diszperziók ráporlasztása is,* aminek az az előnye, hogy a hatóanyag egyenletesen oszlik el, és mélyen behatol a kompozit belsejébe. Hátránya viszont, hogy préselés előtt minden vizet el kell távolítani a rendszerből, és a természetes szálak szárítása igen lassú és drága. A porlasztás mégis gazdaságos technológia lehet olyankor, amikor csak a nemez felületét kell beszórni (így a szárítási energia korlátozott marad), vagy ha a felszórás során többféle adalékot is bejuttatnak a rendszerbe (pl. égésgátlót a

tapadásközvetítő mellett). Az eddigi tapasztalatok azt mutatják, hogy PP-MAH diszperziókkal ugyanolyan jó eredményeket lehet elérni, mint porok felszórásával.

A technika mai állása szerint a leggyakrabban alkalmazott feldolgozási módszer a hibrid nemezek készítése és ezek préselése végtermékké – de ennek a módszernek megvannak a maga korlátjai. Ha *bonyolultabb alakú, változó falvastagságú* terméket akarnak előállítani, a préselés nem alkalmas eljárás, vagy nagyon bonyolult előformát igényel. Ilyen *termékekhez jobban megfelel a fröccsöntés* vagy az extrúzióval kombinált préselés. Végtelen profilokat is csak extrúzióval lehet előállítani, préseléssel nem – *ehhez azonban szálerősített granulátumra van szükség. Természetes szállal erősített granulátum viszont jelenleg nincs kereskedelmi forgalomban. A thüringiai Textil- és Műanyagkutató Intézet (TITK) kifejlesztett egy olyan technológiát, amely lehetővé tenné ilyen granulátumok előállítását.* A természetes szállal erősített műanyagok fröccsöntése viszont csak akkor válhat iparilag elfogadott módszerré, ha jelentősen sikerül javítani a mátrix-szál határfelület tapadását. A hibrid nemezhez hasonlóan itt is lehetőség van arra, hogy a PP-MAH-t már a PP-szálba bedolgozzák, ilyenkor a granulátum már eleve tartalmazza a tapadásjavító adalékot. A PP-MAH adalék a tapadás növelése mellett javítja a granulátum csigás plasztifikálását is. Ez jó hatással van a termék tulajdonságaira, mert a kisebb viszkozitás miatt a természetes szálak kevésbé tördelődnek.

A tapadásjavító adalék tulajdonságainak hatása

Németországi kutatók *lenrosttal erősített PP kompozitokon* vizsgálták a tapadásjavító adalék hatását. A vizsgálatokba mind a nemezes, mind a granulátumos technológiát bevonták. A nemezes technológián belül kipróbálták mind a hibrid nemez előállítását, mind a lenszálból készített nemez rétegelését PP-fóliával. Mindkét esetben préselték a terméket, a lenszál/PP arány 50–50 %(m/m) volt. A fröccsöntéshez a TITK-nál működő, az Arburg cég segítségével összeállított kísérleti sort alkalmazták, amellyel 30 %(m/m) száltartalmú granulátumot állítottak elő. A felhasznált tapadásjavító adalékokat az *1. táblázat* foglalja össze. Valamennyi kapható kereskedelmi forgalomban. A feldolgozási módszerek jelölésére használt rövidítéseket a *2. táblázat* tartalmazza. Két anyagjellemző (az adalék MAH-tartalma és molekulatömege) és a technológia függvényében vizsgálták a húzómodulust és a szakítószilárdságot. Arra számítottak, hogy a MAH-tartalommal nő a tulajdonságok relatív változásának mértéke – de ez rendkívül csekély volt. Az 1%-nál kisebb MAH tartalmú mintákon ugyanis kicsi a változás, a többi – összevethető – mintánál pedig gyakorlatilag egy szinten vannak az eredmények. (A tapadásjavító anyag mennyisége a kompozitokban mindig 2% volt.) Ez valószínűleg azzal van összefüggésben, hogy a PP-MAH előállításakor a MAH részben saját magával polimerizá-

lódik az ojtás helyett, ami csökkenti a tapadásjavítóban jelen levő aktív csoportok számát. Ugyanakkor vannak bizonyos felismerhető irányzatok:

– *a fröccsöntött minták szilárdságnövekedése lényegesen nagyobb, mint a nemezes eljárással készített mintáké. Ez a hatás a modulusnál is látható, de kisebb mértékű. Mivel a fröccsöntött próbatestek száltartalma kisebb, mint a nemezeké, kizárható, hogy a tapadásközvetítő hatása nő a száltartalommal,*
– *a szilárdság növekedése általában nagyobb, mint a modulusé* (*2. és 3. ábra*).

1. táblázat

Az alkalmazott tapadásjavító adalékok áttekintése

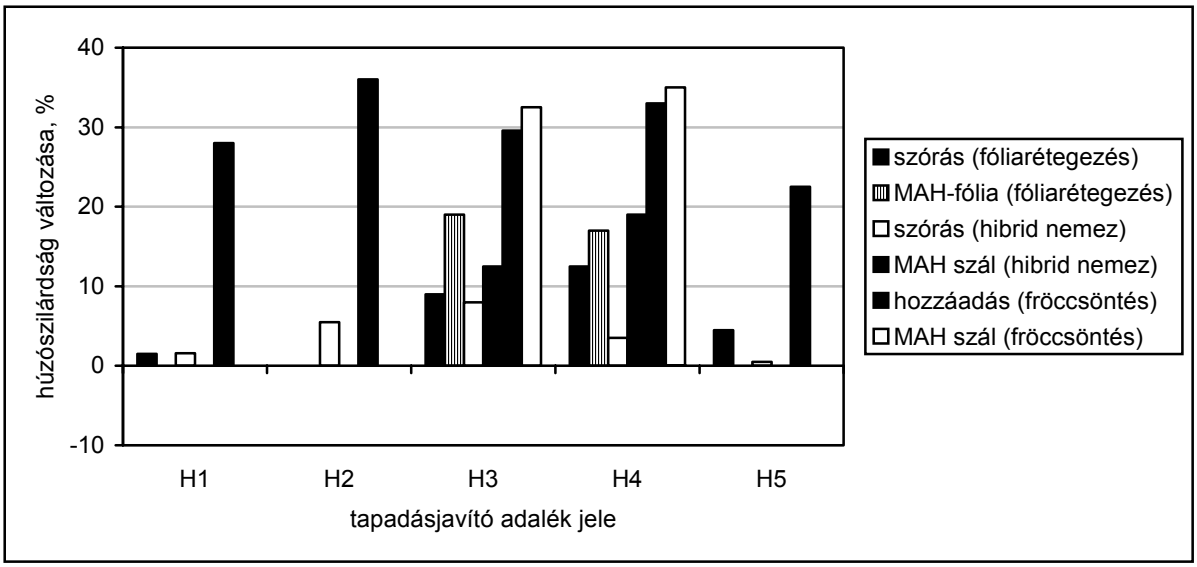
Jel	**Terméknév**	**Gyártó**	**MAH-tartalom**	**Molekulatömeg M_w, Dalton**
H1	Polybond 3150	Uniroyal/Velox	0,5	102 800
H2	Epolen G 3015	Eastman Chem.	2,3	45 900
H3	Epolen E 43	Eastman Chem.	7,9	10 100
H4	Exxelor PO 1020	Exxon	0,7	59 700
H5	Exxelor PO 1015	Exxon	0,4	76 000

2. táblázat

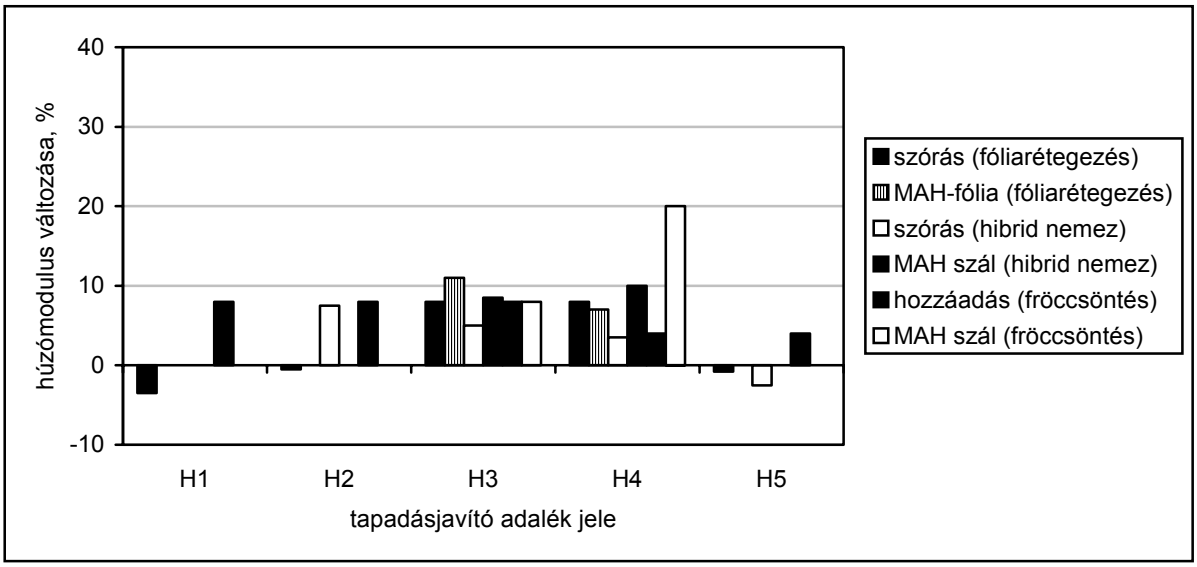
Az ábraszövegekben alkalmazott és a feldolgozási eljárásra utaló rövidítések

Jelölés		**A folyamat, a PP-MAH adalék hozzáadása**
Szórás	fóliarétegezés	a lenszálnemezre felszórva → fóliarétegezés
MAH-fólia		a PP-fóliába bedolgozva → fóliarétegezés
Szórás	hibrid nemez	a hibrid nemezre felszórva
MAH-szál		a PP-szálba bedolgozva → hibrid nemez
Hozzáadás	fröccsöntés	a fröccsöntés során a hosszú szálas granulátumhoz közvetlenül hozzáadva
MAH-szál		a PP-szálba bedolgozva → hosszú szálas granulátum → fröccsöntés

A tapadásjavító adalék másik fontos jellemzője a molekulatömeg, amely elsősorban az adalék viszkozitását határozza meg (minél nagyobb a molekulatömeg, annál kisebb a viszkozitás). Mivel a sajtolás és a fröccsöntés feldolgozási ciklusideje is viszonylag rövid, a viszkozitás lényegesen befolyásolja, hogy milyen jól oszlik el az adalék, illetve, hogy milyen jól hatol be a szálak közé. Az adatokból azt lehet megállapítani, hogy az adalék molekulatömegének növekedésével valamelyest csökken annak hatékonysága – ami bizonyára a nagyobb viszkozitással van összefüggésben.



2. ábra A különböző technológiákkal előállított minták szakítószilárdságának változása



3. ábra A különböző technológiákkal előállított minták húzómodulusának változása

A technológia hatása

Megállapítható azonban, hogy *az adalékanyag jellemzőinél jóval nagyobb hatása van az alkalmazott technológiának* (ld. a 2. és 3. ábrát, amelyek elsősorban a technológiák hatását hivatottak ábrázolni). A következő tendenciák állapíthatók meg:

– *a granulátumot előállító eljárásnak erősebb a hatása, mint a nemezes eljárásé,*
– *a modulus növekedése minden esetben kisebb, mint a szilárdságé,*
– *a várhatóan homogénebb adalékeloszlást eredményező technológiák (ahol a tapadásjavító adalékot bedolgozták a szálba ill. a fóliába) nem minden esetben hoznak nagyobb mértékű tulajdonságjavulást*.

A magyarázat abban rejlik, hogy az erősítőszál hossza (ha eltérő mértékben is) befolyásolja a kompozit szilárdságát és modulusát. A hatás a szilárdság esetében kifejezettebb. Elméletileg kimutatható, hogy a szilárdság növekedését kiváltó kritikus szálhossz csökken a javuló határfelületi adhézióval. Ez a hatás jóval erősebben befolyásolja a rövid lenszálakat tartalmazó fröccsgranulátumokat, mint a hosszú szálakat tartalmazó nemezeket. Emellett az elméleti megfontolás mellett legalább olyan fontos szerepe van annak, hogy a fröccsgranulátumok feldolgozásakor fellépő feldolgozási körülmények sokkal inkább kedveznek az adalék homogén eloszlásának, mint a nemez préselése során fellépő viszonyok.

A húzó- és hajlítószilárdság mellett fontos jellemző az ütésállóság is. A természetes szálakkal erősített hőre lágyuló kompozitok ütésállósága jellemzően 10 és 40 kJ/m^2 között van (ami kisebb az üvegszállal erősített hasonló kompozitok 30–110 kJ/m^2 értékénél). *A nemezek ütésállósága harmadik komponens hozzáadásával javítható. A harmadik komponens lehet egy nagyobb szilárdságú szál* (pl. üvegszál) vagy közepes szilárdságú, de nagy szakadási nyúlású szál (pl. poliészter vagy Lyocell szál). Ezen a módon az ütésállóság 60–70 kJ/m^2 értékre javítható – bár többnyire a merevség rovására. Mi a hatása ebben az esetben a tapadásjavító adaléknak? A hosszú szálas (nemez) kompozitok estében a tapadásjavító adalék csökkenti az ütésállóságot, rövid szálas fröccstermékek esetében azonban a hatás pozitív is lehet. A TITK technológiájával előállított, hosszú szálas granulátumból készült fröccsöntött próbatestek ütésállósága a két szélső érték között van.

A tapadásjavító adalék hatása a kompozit más jellemzőire

A mechanikai jellemzőkön kívül más fontos paraméterek is vannak, amelyek meghatározzák a természetes szálakkal készült kompozitok használhatóságát és versenyképességét az üvegszálas kompozitokkal szemben. A természetes szálakat tartalmazó kompozitok könnyen vesznek fel nedvességet, és ennek hatására mechanikai jellemzőik romlanak. *A tapadásjavítók* (ha jól működnek) *csökkentik a nedvesség hatását.* Ezt alátámasztották a DIN 52351 szerinti vizsgálatok, bár hosszú nedves tárolás során valamelyest csökken a tapadásközvetítő közeg hatása.

Jól ismert a természetes szálak korlátozott hőállósága is – már *200 °C-on* (ami a PP feldolgozásához feltétlenül szükséges) *megkezdődik a szálak degradációja, és ez tükröződik a romló termékparaméterekben is.* Érdekes volt

megvizsgálni, hogy miként befolyásolják a tapadásjavító adalékok ezt a viselkedést. Az eredmények azt mutatták, hogy ha különböző mértékben is, *bizonyos mértékű javulást okoz a tapadásjavító adalékok használata*. *Ha rövidebb feldolgozási időket kombinálnak magasabb hőmérsékletekkel, még kedvezőbb hatást érnek el a PP-MAH tartalmú termékek gyártásakor.* A magasabb hőmérséklet viszont minden esetben növeli az emissziót, ami előnytelen.

Az üvegszálak természetes szálakkal való helyettesítésének egyik fő oka a tömegcsökkentés, amelyet még fokozni lehet bizonyos mértékű porozitással. Ez a nemezes technológiánál nem teljes feldolgozással, fröccsöntött termékeknél pedig habosítószerek alkalmazásával érhető el. Emiatt természetesen romlanak a termék mechanikai jellemzői, de remélhető, hogy a tapadásjavító adalék hatására csökken a romlás mértéke. Ennek bizonyítására a fröccsöntéskor 2,5, ill. 5% *Hydrocerol 741* (**Clariant** gyártmány) habosítót tartalmazó mintákat is előállítottak, amivel a sűrűséget 6%-kal, ill. 8%-kal csökkentették. Nagyobb sűrűségcsökkentés már nem célszerű az adott alkalmazásban. A *3. táblázatból* látható, hogy noha (várható módon) a porozitás rontja a szilárdsági jellemzőket, a tapadásjavító adalék csökkenti a romlás mértékét.

3. táblázat

A tapadásjavító adalék hatása porózus fröccstermékekben

Habosítószer, %	Tapadásjavító	Szakítószilárdság, MPa	Szakadási nyúlás, %	Húzómodulus, MPa	Sűrűség, g/cm^3
nincs	nincs	37,3	2,19	5071	0,991
nincs	2% PP-MAH	48,1	2,08	5187	0,991
2,5	nincs	34,5	2,06	4737	0,934
2,5	2% PP-MAH	41,1	1,88	4485	0,928
5,0	nincs	33,0	1,91	4529	0,915
5,0	2% PP-MAH	39,2	1,84	4453	0,918

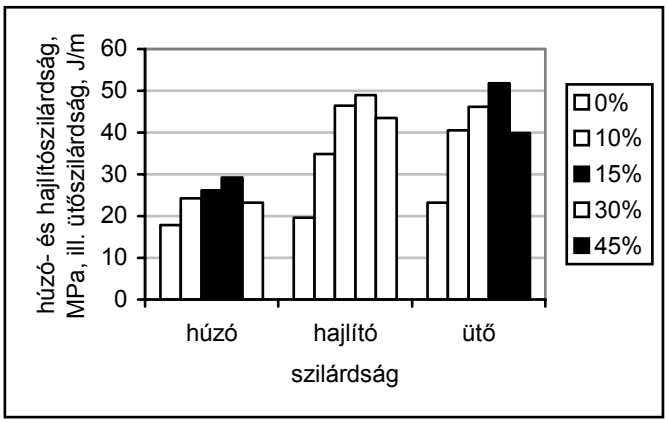
A PP-MAH adalék hatása szizálrosttal erősített PP kompozitokra

Érdemes összevetni a fenti eredményekkel azokat az adatokat, amelyeket indiai tudósok mértek lenszál helyett *szizálrostokkal erősített, PP-MAH alapú tapadásjavítót tartalmazó kompozitokon*. Az alkalmazott szizálrostok szilárdsága 400–700 MPa, sűrűsége 1,5 g/cm^3. A tapadásjavító PP-MAH típusok az **Eastman Chemicals** cég termékei voltak (*Epolene G 3015 és Hostaprime HC$_5$*). A természetes szálakat méretre vágás előtt 2%-os detergensoldatban mosták 70 °C-on, majd ugyanezen a hőmérsékleten szárították. Az 50 mm-re vágott szálakat 5%-os NaOH oldatban kezelték (30 °C, 1 h), ismételten mos-

ták, híg savval semlegesítették, végül szobahőmérsékleten és 100 °C-on szárították. A szálakból előállítottak cianoetilezett szálakat (akrilnitrilt, acetont és piridint tartalmazó oldatokban), és PP-MAH-vel kezelt szálakat is (0,3; 0,5, 1 és 2%-os toluolos oldatból vitték fel a tapadásközvetítőt 3, 5 és 10 perces bemártással). A kezeletlen szálból 10, 15, 30 és 45%-ot, a kezelt szálakból 30%-ot vittek be polipropilénbe gyúrókamrában (190 °C, 10 perc, 25/min rotorfordulatszám mellett). A keverékekből 3 mm-es lemezeket sajtoltak. Mérték a húzási és hajlítási jellemzőket és az Izod ütésállóságot. Vizsgálták a vízfelvételt (24 h, szobahőmérsékletű desztillált víz), a gyorsított fotooxidációs öregedést (Xenotest készülékben) és az olvadási jellemzőket (DSC készülékben). A morfológiai jellemzőket pásztázó elektronmikroszkópia segítségével hasonlították össze.

A szálak mennyiségének hatása, a felületkezelés és az adalék mennyiségének hatása

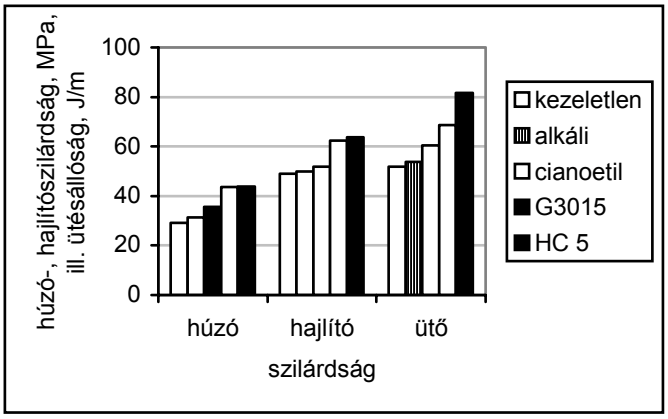
A *4. ábrán* látható a kezeletlen szizálszálak mennyiségének hatása a húzó- és hajlítószilárdságra, valamint az Izod ütésállóságra. Minden adatnál *30%-ig (csökkenő mértékű) javulás mutatkozik, afelett azonban romlanak a mechanikai jellemzők.* A túl nagy száltartalom korlátozza a PP mozgékonyságát, ami rontja a határfelület minőségét és szilárdságát. A szizálszálban jelen levő poliszacharidok (cellulóz, pektin) alapvetően hidrofil jellegűek, ezért nem tapadnak jól az apoláris polimermátrixhoz. A felületen levő hidroxilcsoportok kémiai reaktivitása miatt azonban lehetőség nyílik a felület kémiai módosítására.



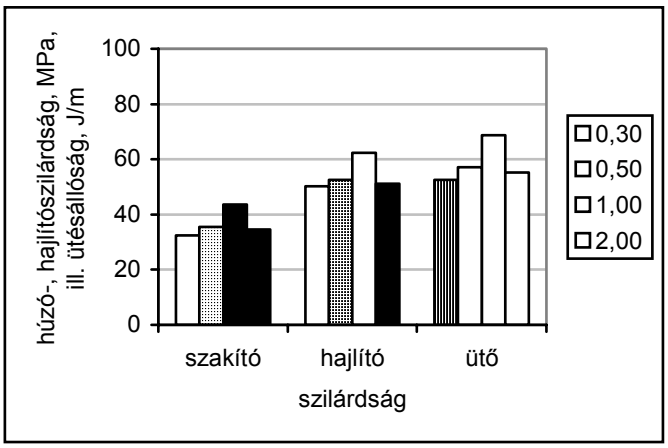
4. ábra
Különböző mennyiségű 6 mm-es kezeletlen szizálszálat tartalmazó PP minták húzó- és hajlítószilárdsága, ill. Izod ütésállósága

A kezeletlen szálnál talált 30%-os optimumot és 6 mm-es szálhosszat alkalmazva az *5. ábra* mutatja a *felületkezelés hatását a mechanikai tulajdonságokra.* Az adatokból nyilvánvaló, hogy a kezelések javítják a kompozitok szilárdságát és ütésállóságát, feltehetőleg a határfelületi adhézió javítása révén. Az lúgos kezelés hatása minimális. Ez valószínűleg annak tudható be, hogy a

lúg hatására a lignin egy része kioldódik, a cellulózszálak még erősebben aggregálódnak, és nehéz egyenletesen eloszlatni a szálakat a mátrixban. A szálak felületének „kráteresedését” a NaOH kezelés hatására az elektronmikroszkópos felvételek is igazolták. A cianoetilezés hatása is mérsékelt. A –CN csoportok bevitele csökkenti a hidrogénhídak kialakulását, de ezek a csoportok maguk is meglehetősen polárisak, nem kompatibilisek az apoláris mátrixszal. Ennek ellenére az eloszlás homogenitása javult, és 10-20%-os javulás következett be a mechanikai jellemzőkben. A cianoetilcsoport apoláris etilénrészlete mindenesetre javíthatja a mátrixszal a van der Waals kölcsönhatást. *A legjelentősebb javulást a PP-MAH adalék alkalmazása hozta* (1% koncentrációban, 5 perces kezelést alkalmazva). A két PP-MAH adalék közül a HC_5 jelű valamivel nagyobb növekedést eredményezett. A PP-MAH adalékok hatására a kezeletlen mintához képest 30–60%-os tulajdonságjavulás következett be. A feltételezett ojtási reakciót az 1. ábra mutatja, amelynek hatására a módosított felületű szál kompatibilissé válik a PP mátrixszal.



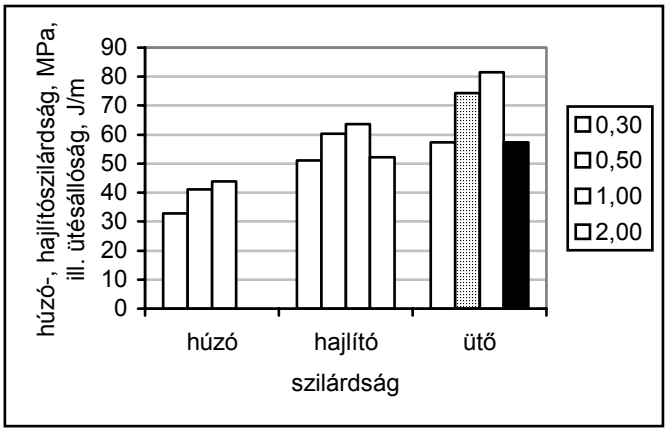
5. ábra
A különböző felületkezelések hatása a 30% 6 mm-es szizálszálat tartalmazó PP kompozitok húzó- és hajlítószilárdságára, ill. Izod ütésállóságára



6. ábra
A G-3015 jelű PP-MAH adalék mennyiségének hatása a 30% kezelt szálat tartalmazó kompozitok húzó- és hajlítószilárdságára, ill. Izod ütésállóságára. (A jelmagyarázat számértékei a szálkezelő oldatban mutatják a hatóanyag százalékos koncentrációját.)

Az *PP-MAH adalékanyag koncentrációjának hatását* a *6*. és *7. ábra* mutatja. *A tulajdonságok a 0,3–1% tartományban javultak*, a HC_5 jelű adalék va-

lamivel hatékonyabbnak bizonyult, mint a G-3015. Megvizsgálták még az oldatos kezelés időtartamának hatását, és azt találták, hogy *5 perces kezelésig javultak, 10 perces kezelésnél már romlottak az eredmények*. A szálhossz hatását vizsgálva azt találták, hogy a 3–10 mm tartományban a 6 mm-es szálak alkalmazása volt a legeredményesebb.



7. ábra
A HC_5 jelű PP-MAH adalék mennyiségének hatása a 30% kezelt szálat tartalmazó kompozitok húzó- és hajlítószilárdságára, ill. Izod ütésállóságára. (A jelmagyarázat számértékei a szálkezelő oldatban mutatják a hatóanyag százalékos koncentrációját).

Az eredményekből az látszik, hogy viszonylag kis számú kísérlettel megállapíthatók azok a technológiai paraméterek, amelyek mellett az optimális tulajdonságú kompozitok előállíthatók.

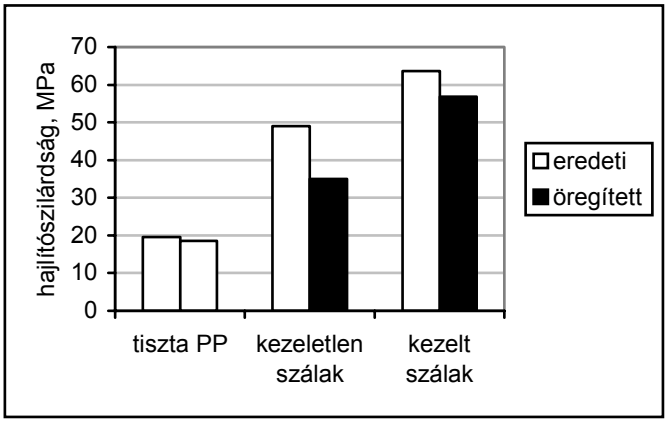
Egyéb jellemzők változása

A PP-mátrix és a kompozitok *olvadási jellemzőinek* összehasonlításából az derült ki, hogy a szálak hozzáadása jelentősen növelte a maximális hőelnyeléshez tartozó hőmérsékletet (az olvadáspont 147 °C-ról 163 °C-ra nőtt). A PP-MAH-vel kezelt szálakkal a *nedvességfelvételt* is jelentősen (kb. 60%-kal) korlátozni lehetett.

A minták *öregedésállóságát* 100 órás xenonlámpás (Xenotest) öregítés után végzett hajlítási vizsgálatokkal hasonlították össze. Az eredmények a *8. ábrán* láthatók. a tulajdonságok romlása mögött az áll, hogy a PP metil oldalcsoportjai és a főlánc metiléncsoportjai oxidálódnak, és láncszakadás is kialakulhat. A legkevésbé a tiszta PP tulajdonságai romlanak, ami részben azzal van kapcsolatban, hogy apoláris jellege miatt a nedvesség kevésbé tud behatolni és romboló hatást kifejteni. Az is látható, hogy *a PP-MAH adalékot tartalmazó minták tulajdonságromlása kisebb mértékű, mint a kezeletlen szálat tartalmazó kompozitoké*, ami valószínűleg itt is a kisebb mértékű vízfelvétellel van kapcsolatban.

Összefoglalásképpen elmondható, hogy *a természetes szálakat tartalmazó PP kompozitok fizikai tulajdonságai jelentősen javíthatók tapadásjavító adalékokkal, amelyek közül leghatékonyabbnak a maleinsavanhidriddel ojtott PP-k*

(PP-MAH) bizonyultak. A kapott eredményeket befolyásolja az alkalmazott adalék típusa, mennyisége, a kezelés időtartama stb., de a legnagyobb hatása a felvitel és a feldolgozás módjának van.



8. ábra
Tiszta PP, kezeletlen és PP-MAH-vel kezelt szizálszálakat tartalmazó PP-kompozitok hajlítószilárdsága100 órás xenotestes kezelés előtt és után

Dr. Bánhegyi György

Nechtwatal, A.; Reussmann, Th. stb.: Was leisten Haftvermittler im praktischen Prozessen? = Kunststoffe, 94. k. 12. sz. 2004. p. 156–161.

Mohanty, S.; Nayak, S. K. stb.: Effect of MAPP as coupling agent on the performance of Sisal-PP composites. = Journal of Reinforced Plastics and Composites, 23. k. 18. sz. 2004. p. 2047–2063.