

Fa töltőanyagú műanyag kompozitok és termékek gyártása I.

Garas Sándor* műanyagipari szakértő

1. Bevezetés

A fa-műanyag kompozitok (Wood Plastic Composites – WPC) és a belőlük készült termékek a fafeldolgozás hulladékanyagaiból polimerrel kötött, időállóbb, fához hasonló anyagok. Így a kompozitok egyik anyaga megújuló forrásból származik, és aránya a kompozitban elérheti a 70–80%-ot is. Ezek az anyagok újrafeldolgozhatók, sőt magasabb értékű újrafeldolgozásuk (upcycling) is lehetséges.

2010-ben mintegy 220 000 tonna WPC-t állítottak elő Európában, ebből 100 000 tonnát gyártott Németország. A teljes mennyiség legnagyobb része az európai piacra került, mintegy 50 000 tonnát rendelt az autóipar, ahol a WPC-t többnyire sajtolással továbbfeldolgozzák, míg a maradékból 167 000 tonna a teraszpado-, a kerítés- és a burkolatpiacra készült [1].

Az iparági optimizmus egyáltalán nem meglepő, ha megnézzük az Egyesült Államok és Kína termelését. Az USA továbbra is a világ legnagyobb WPC gyártója 1,5 millió tonnával. Azonban a NOVA-INSTITUT (Hürth, Németország, www.nova-institut.de) rámutatott, hogy az itteni növekedés lelassult az elmúlt években, mivel számos minőségi panasz nyomán több amerikai WPC gyártó került bíróság elé. Részben a jogi lépések miatt, az észak-amerikai WPC gyártók száma 27-ről 16-ra csökkent, de ezzel párhuzamosan a kimeneti minőség ismét javult [1].

Ma Kína WPC ipara a második legnagyobb a világon. A fejlődés azt követően kezdődött, hogy az amerikai vállalatok megkezdték a WPC termelést ebben az országban [2]. Kínában mintegy 700 000 tonna WPC-t állítottak elő 2010-ben. Ez a kibocsátás várhatóan 5 millió tonnára fog nőni 2015-re, ami – a NOVA-INSTITUT szerint – Kínát a világ legnagyobb WPC termelőjévé tenné [1].

Jelen cikk alapvetően a különféle fa hulladék anyagokkal (puha- vagy keményfa, részletesebben fenyő, bükk, nyárfá, juhar, tölgy stb.) töltött kompozitokkal foglalkozik. A cégek azonban évek óta fejlesztik az egyéb növényi szálakkal, rostokkal, lisztekkel (len, kender, kukoricacsutka, bambusz, rizs stb.) töltött műanyag kompozitgyártást.

2. A fa-műanyag kompozitok alapösszetevői

A kompozitok összetevőit három nagy csoportba so-

rolhatjuk. A mátrixanyag valamilyen polimer: Európában elsősorban a polipropilén (PP), Észak-Amerikában a nagy sűrűségű polietilén (HDPE), Kínában a poli(vinilklorid) (PVC). Ezeken a polimereken kívül van kompozitgyártás polisztirol (PS), akrilnitril-butadién-sztirol (ABS), poli(oxi-metilén) (POM) és politejsav (PLA) alapon is. Utóbbi természetes, lebomló polimer, tehát a kompozitja is annak tekinthető. A polimerek aránya a kompozitban akár 20%-ra is csökkenthető, természetesen a szilárdsági jellemzők rovására. Részben originál, részben újrafeldolgozott polimerek az alapok, a gyártóktól, a termékek felhasználási céljaitól, az elvárt jellemzőktől függően.

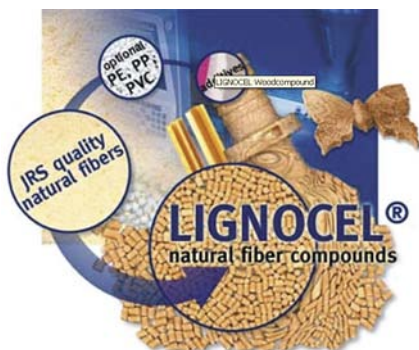
A töltőanyag, a fa, önmagában egy összetett, háromdimenziós, polimer kompozit, amely elsősorban cellulózból, hemicellulózból és ligninből épül fel: 40–50%-ban cellulóz, 15–25%-ban hemicellulóz rostokból áll, melyek közé a lignifikáció (fásodás) során 15–30% lignin rakódik. Tartalmazhat még gyantát, zsírokat, olajokat, viaszt, csersavat, színes és ásványi anyagokat. A cellulóz a földön előforduló leggyakoribb szerves anyag, mert a növények vázanyagának nagy része ebből áll. A hemicellulóz a cellulózkísérő anyagok gyűjtőneve. Kémiai felépítésük hasonló a cellulózéhoz. A lignin bonyolult felépítésű, térhálós szerkezetű óriásmolekula, mely a megvasztódó sejttal középső rétegének üregeibe épül be, körbeveszi, szilárdítja, merevíti a rugalmas cellulózfonalakat [3].

A fahulladékokból különböző formájú, méretű töltőanyagokat állítanak elő (szálak, chipek, szemcsék, porok, lisztek) sokféle célra. Műanyagipari felhasználásuk már régi keletű. A műanyaggyártás kezdetén, az ásványi anyagok mellett, a faliszt is széles körben használt töltőanyag volt, mindenekelőtt a hőre keményedő gyantákban. Az utóbbi évtizedekben, Amerikából indulva, nemcsak a falisztet, hanem számos, eddig csak a textiliparban használt növényi rostot is sikerrel próbáltak ki erősítő- vagy töltőanyagként hőre lágyuló műanyagokban.

Európában az egyik legnagyobb kínálattal rendelkezik a JRS RETTENMAIER & SÖHNE GMBH+CO KG német cég, amelynek világszerte 21 gyártó létesítménye kínál a nemzetközi piacon facellulózt, gyümölcs- és gabonarost termékeket különböző formákban (szálak, porok, granu-

*sandplast48@gmail.com

látumok, chipsek és agglomerátumok) *Lignocel*[®], *Arbo-cel*[®] márkaneveken (1. ábra) [4].



1. ábra. JRS Rettenmaier & Söhne GmbH + Co KG [4]

A JELU-WERK JOSEF EHRLER GMBH & CO. KG cég *Jeluxyl* néven kínál farostokat és lisztfinomságú porokat, kész kompaundokat (2. ábra) [5].



2. ábra. Jelu minták [5]

A LA SOLE EST SRL olasz cég szintén kínál faliszteket is és kész kompaundokat PP alapon (3. ábra) [6].



3. ábra. La Sole minták [6]

Természetesen vannak más faliszt gyártók is, de a legnevesebbek megszerezték egyrészt a FOREST STEWARDSHIP COUNCIL (FSC) független szervezet tanúsítványát, amely szavatolja, hogy az ezzel rendelkező erdőgazdaságok, faipari üzemek, bútorgyárak stb. elfogadják

és betartják az FSC szigorú szabványait és előírásait, és az általuk forgalmazott termékek megfelelnek a környezettudatos és társadalmilag felelős termelés, gyártás feltételeinek. Ezenkívül a PEFC logó garancia a vásárlónak arra, hogy a faanyag – legyen az nyersanyag vagy késztermék – fenntarthatóan kezelt erdőből származik, azaz nem lopott, a kivágott fa helyére új csemetét ültetnek, a faállomány ápolása során vigyáznak a talaj állapotára csakúgy, mint az erdei élővilág háborítatlanságára (4. ábra) [7].



4. ábra. Környezettudatos termelés tanúsítványainak logói

A fa töltőanyag egyik nagyon fontos jellemzője a nedvességtartalma és annak egyenletessége. A nedvesség valamekkora része mind az egylépcsős, mind a kétlépcsős gyártási eljárásban eltávolítható az extruder ömledékzónájából. A faliszt gyártók megadják gyártmányuk nedvességtartalmát és biztosítják annak egyenletességét, de csak korlátozott ideig. Ha mégis szükség van szárításra, akkor be kell iktatni egy szárítási munkafázist speciális berendezésben. Többféle ipari eszközt is kifejlesztettek erre a célra, számos kapacitással, biztosítva, hogy porrobbanás vagy tűz nem következhet be a szárítás folyamán.

Természetesen fontos jellemző a töltőanyag szemcsmérete, szálhossza (alaki tényezője) és egyenletessége is.

A harmadik anyagcsoport az adalékok, amelyek nélkül nem lehet minőségi kompozitot előállítani, és a kompozit tulajdonságait biztosítani.

3. A fa-műanyag kompozitok adalékanyagai

A fa és a műanyag nem egyedüli komponensei a fa-műanyag kompozitoknak. Ezek tartalmazznak olyan kis mennyiségben hozzáadott anyagokat is, amelyek befolyásolják a fa-műanyag kompozitok feldolgozását, teljesítményét és jellemzőit. Bár a receptúrák nagyon védet-

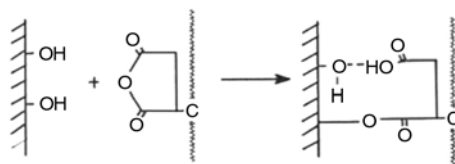
tek, az adalékok, mint például a kapcsolóanyagok, fénstabilizátorok, pigmentek, csúsztatók, gombaölők, égésgátlók és habosító anyagok, bizonyos fókig ismertek. Néhány adalékanyag gyártó meg is célozza ezek kifejlesztését a WPC ipar részére.

Egy-egy felhasználási területre, egy-egy termékhez számos adalékanyag bekeverésével lehet elérni a kívánt jellemzőket, tehát nagyon komoly és időigényes fejlesztés kell egy-egy fa-műanyag kompozit előállításához.

Az egyik legfontosabb adalékanyag a kompatibilizáló vagy kapcsolóanyag, amelynek a feladata a polimer (apoláros) és a töltőanyag (poláros) közötti kapcsolatot, a felületi adhézió javítása, és ezzel számos jellemzőre hatással van, pl. a szilárdságra, a kisebb vízfelvételre, a polimer mechanikai jellemzőinek megtartására vagy csak minél kisebb mértékű csökkenésére. Mivel a PVC szintén poláros, ezen polimer esetén kevésbé van szükség kapcsolóanyagra.

A legáltalánosabban használt kapcsolóanyagok a maleinsav-anhidriddel módosított poliolefinok (PEgMA, PPgMA). Újabban a metallocén katalizátorral előállított viaszokkal mutattak ki jó eredményeket (*Licocene*[®]).

A PPgMA kovalens kötést létesít a cellulóz hidroxil csoportjaival (5. ábra).

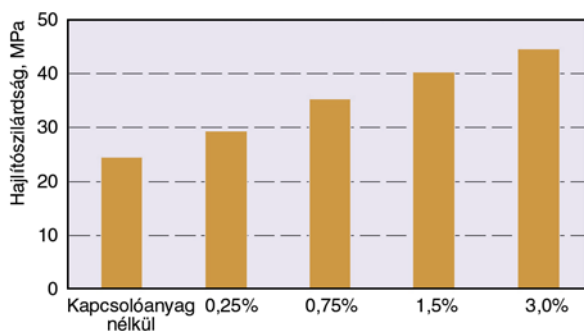


5. ábra. Cellulóz és PPgMA összekapcsolódása

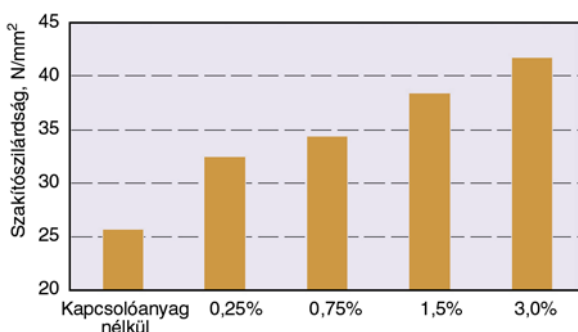
A CLARIANT *TP Licocene*[®] PE MA 4351 kapcsolóanyagának hatásait mutatja a 6–8. ábra, 30%-x% kapcsolóanyagú PE mátrixban, 70% faliszt töltés esetén. A kompozit *TP Licocene*[®] PE MA 4351 tartalmának növelésével egyértelműen növekszik a hajlítószilárdság. Három százalék kapcsolóanyaggal már közel kétszeres a növekedés.

A *Licocene*[®] PP MA 6452 TP típus a korábbi fejlesztés, a *Licomont*[®] AR 504 utódja, helyettesítője, amely jobb jellemzőket biztosít (70% faliszt-x% kapcsolóanyag, 30% PP mátrix). Az új típus hatásosságát nagyon jól mutatják a az egyes összetételeknél mért szilárdsági jellemzők (9–11. ábra).

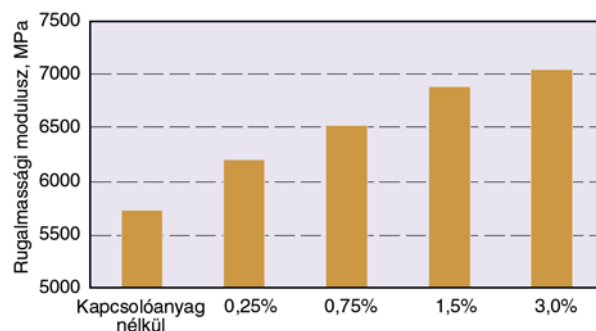
A szakítószilárdság növekedése már 0,5% új kapcsolóanyagnál is nagyobb, mint amikor régiből 3–5%-ot használtak (9. ábra). A rugalmassági modulusz a *Licocene*[®] PP MA 6452 TP-ből már 1,5%-kal eléri a *Licomont*[®] AR 504 5%-kal biztosított 8000 MPa-os értékét (10. ábra). A kompozit üttő-hajlító szilárdsága 5% *Licomont*[®] AR 504 bekeverésével éri csak el az új kapcsolóanyag 0,5%-osan mutatott értékét (11. ábra).



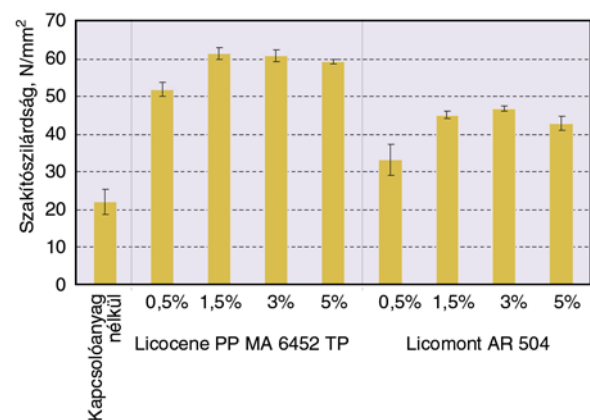
6. ábra. *TP Licocene*[®] PE MA 4351 hatása a hajlítószilárdságra [8]



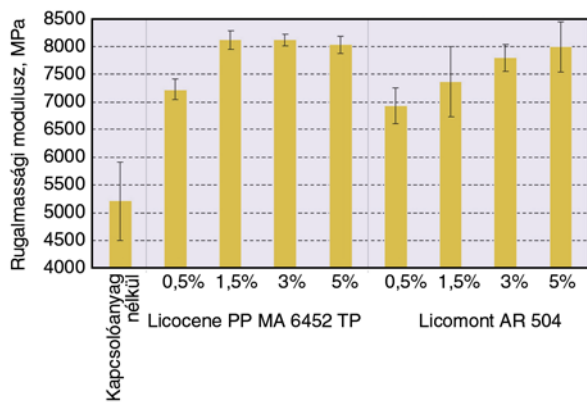
7. ábra. *TP Licocene*[®] PE MA 4351 hatása a szakítószilárdságra [8]



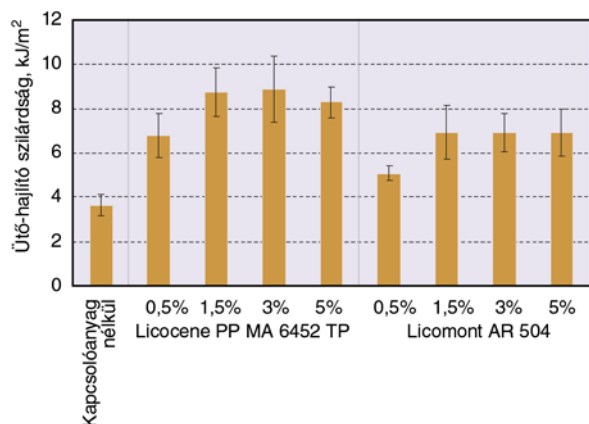
8. ábra. *TP Licocene*[®] PE MA 4351 hatása a rugalmassági moduluszra [8]



9. ábra. A két kapcsolóanyag hatása a szakítószilárdságra [8]



10. ábra. A két kapcsolóanyag hatása a rugalmassági moduluszra [8]



11. ábra. A két kapcsolóanyag hatása az ütés-hajlító szilárdságra [8]

További szilárdságnövelés érhető el a *Licocene*® PP MA7452 TP használatával (12. ábra), valamint a rugalmassági modulusz és a nyúlási jellemzők is jelentősen javulnak a puhafa töltésű PP esetében (13. ábra).

A 14. ábrán a CLARIANT kapcsolóanyagok vízfelvétel csökkentő hatása látható.

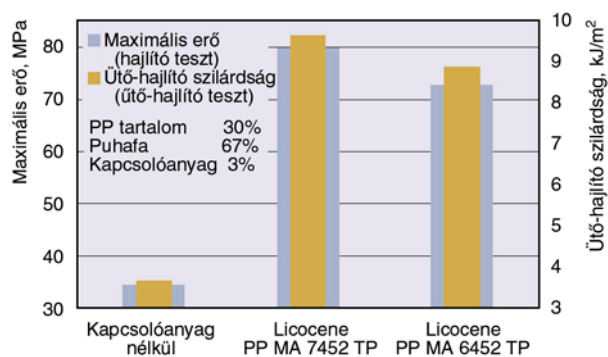
A CLARIANT cégen kívül a nevesebb gyártók márkaneveit sorolja fel az 1. és 2. táblázat.

Az egyes gyártók kapcsolóanyagainak hatása nagyon eltérő lehet (15. ábra).

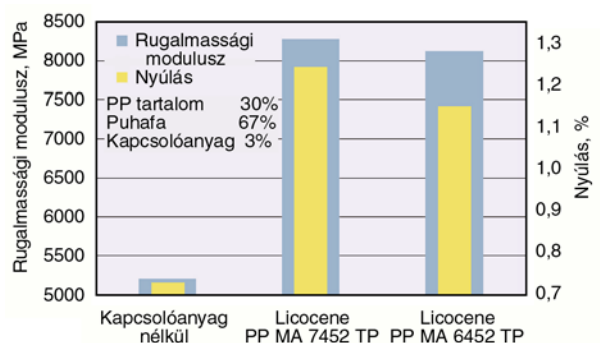
A hatásokat számos tényező befolyásolhatja, összehasonlítani csak a teljesen azonos összetevőjű, azonos feldolgozási körülmények között, azonos gépen gyártott kompozitokból kivett mintákon (azonos helyről, azonos irányban stb.) végzett mérési eredményeket szabad.

A csúsztató adalékok segítik a feldolgozást, növelhető az extruder teljesítménye, beállítható velük a viszkozitás, csökkenthető a frikciós hő nagysága, javítható a termék felületi minősége, csökkenthető a tapadás a gyártó szerzőkhöz, valamint az energiafelhasználás, tehát sokféle hatás érhető el a kompaundokban való alkalmazással.

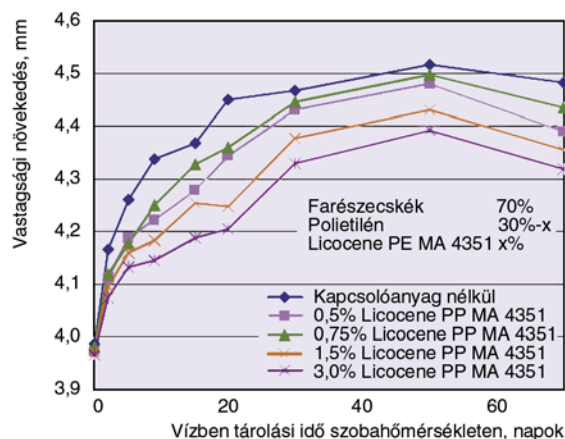
Ilyenek az oxidált PE viasz, a montánsav-észter bázisú



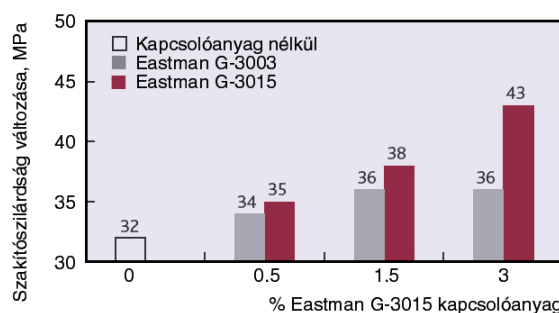
12. ábra. A hajlító és az ütés-hajlító teszt eredményei puhafa töltésű PP-nél [9]



13. ábra. A rugalmassági modulusz és a nyúlás puhafa töltésű PP-nél [9]



14. ábra. A kapcsolóanyagok hatása a vízfelvételre



15. ábra. Szakítószilárdság változása 40% falisztt töltésű PP kompaund esetén [14]

1. táblázat.

Néhány kapcsolóanyag PP-WPC-hez

PP mátrixú WPC-hez ajánlott kapcsolóanyagok	Gyártók
Liconene PP MA 7452 TP	Clariant
Liconene PP MA 6452 TP	Clariant
Licomont	Clariant
Oravec AR 504	Arkema
Polybond PB 3200	Chemtura (Crompton)
Epolene E-43	Westlake Chemical Corporation
Eastman G 3003	Eastman
Eastman G 3015	Eastman
Doverbond DB 4300	Dover
Bondyram 1001	Polyram
Bondyram 1004	Polyram
Scona TPPP 8112 FA	BYK-Chemie GmbH (Kometra)
Scona TPPP 8112 GA	BYK-Chemie GmbH (Kometra)
Fusabond MD-353D	DuPont

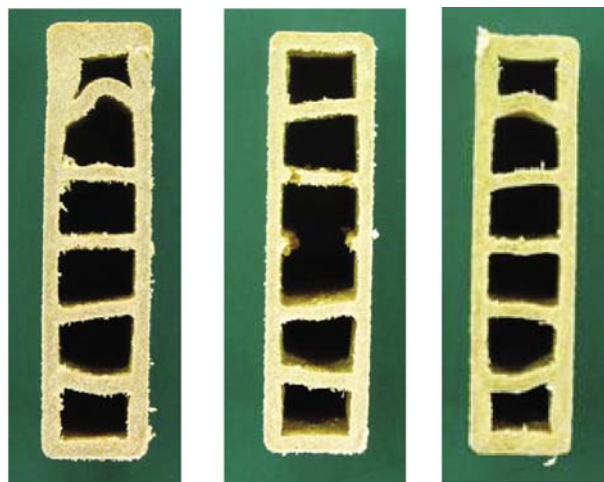
2. táblázat.

Néhány kapcsolóanyag PE-WPC-hez

PE mátrixú WPC-hez ajánlott kapcsolóanyagok	Gyártók
Liconene® PE MA 4351 TP	Clariant
Cesa-mix	Clariant
Fusabond MB-226D	DuPont
Fusabond E 100	DuPont
Epolene G-2608	Westlake Chemical Corporation
Bondyram 4001	Polyram
Bondyram 5108	Polyram
Polybond 3009	Chemtura (Crompton)
Polybond 3029	Chemtura (Crompton)
Polybond 3039	Chemtura (Crompton)

anyagok (*Licolub® H 12*, *Licomont® ET 141*) és az amid viasz (*Licolub FA 6 TP*) a CLARIANT-tól.

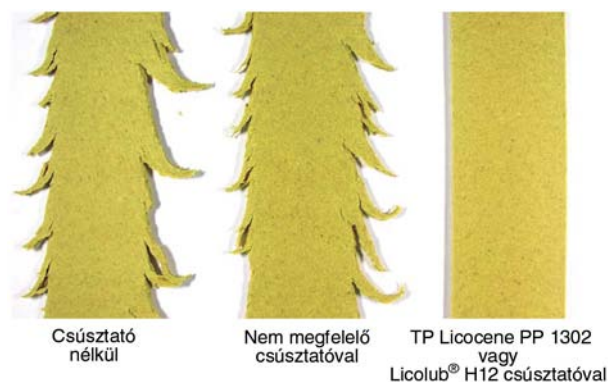
A csúsztatók kombinálásával egyre szabályosabb lesz az üreges profil (16. ábra). Jól látható, hogy milyen változás volt elérhető 60% farost, 1,5% *TP Licocene® PE*



16. ábra. Az egyes csúsztatók hatása az üreges profilra [8]

MA 4351 kapcsolóanyag mellett alkalmazott csúsztatók adagolásával, HDPE mátrix esetén (második profilnál: 1,5% *Hostastat® FE 2* és 1,5% *Licolub® FA 1*, a harmadik profilnál: 3% *Licolub® FA 6 TP*). Polipropilénhez a CLARIANT cég a *Licolub® H 12*, *Licomont® ET 141* csúsztatókat ajánlja [8].

A csúsztató megszünteti például az extrudált szalag szélének beszakadozottságát, tépettségét. A 17. ábrán látható a jelenség, amikor csúsztató nélkül, illetve nem megfelelő csúsztatóval dolgozunk. A megfelelő csúsztatók, illetve kombinációjuk esetén a szélek simák, épek lesznek (70% fa, 23% PP).



17. ábra. A csúsztató hatása az extrudált szalag szélének beszakadozottságára, tépettségére [9]

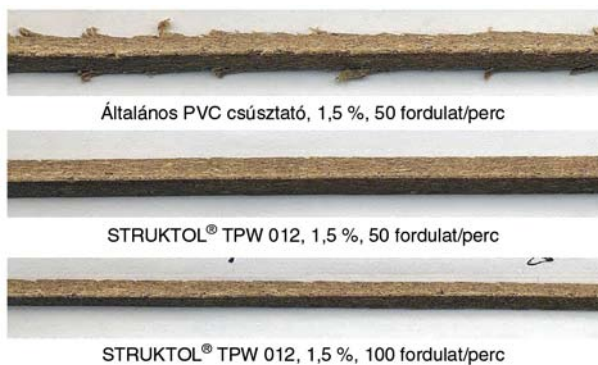
A fém-sztearátok hátránya, hogy a kapcsolószerből maleinsav-anhidridet hasítanak le, ami a csúsztatóanyag és a kapcsolószer hatékonyságát is jelentősen csökkenti, ezért ezt a párosítást el kell kerülni.

A STRUKTOL cég széles választékot kínál a fa-műanyag kompozitokhoz, attól függően, hogy mi a mátrix polimer. A *TPW 104* cink-sztearátot tartalmaz, ezért nem használható olyan kompaundhoz, amelyben maleinsav-anhidrides kapcsolóanyag van. Ilyen esetben pl. a *TPW 113* az alkalmas típus [11]. A STRUKTOL *TPW 604* és *TPW 613* széleskörűen használt típus a poliolefinekhez, a STRUKTOL *TPW 609* egy továbbfejlesztett variáció, amely optimalizálja a mechanikai és feldolgozási jellemzőket [12] (18. ábra).

Ezekon kívül még számos gyártó választékában találunk kifejezetten a WPC kompaundokhoz ajánlott csúsztatókat.

A termékek életútja során különböző hatásokat (feldolgozási, környezeti) kell a komponenseknek elviselni (hőmérséklet, nedvesség, fény, oxigén stb.). Ezek ismeretében kell a kompozit adalék összetevőit és mennyiségeiket kiválasztani, valamint figyelemmel lenni egymásra való hatásukra is.

A fotó- és termooxidáció hatására a pigmentek általában halványulnak, egyes esetekben sötétednek, a polimernél lánc tördelődés, ridegedés lép fel, a ligninrézecs-



18. ábra. TPW 012 hatása [12]

kék sárgulnak, a nedvesség hatására penészedés, gombásodás jön létre. Az adalékgyártók különféle antioxidánsokat (pl. *Hostanox® P-EPQ* a CLARIANT-TÓL, *PE Antiox 02625* a VIBA-tól), fénystabilizátorokat, gombásodás- és mikrobák elleni szereket (biocidok) kínálnak e hatások csökkentésére, kiküszöbölésére.

Fénystabilizátorként polipropilénhez *ANTI-UV PE 03774*-et, polietilénhez *ANTI-UV PE 03358*-at ajánl a VIBA cég (*HALS* stabilizátor). A CLARIANT típusai *Hostavin* márkanéven találhatók meg (*Hostavin N 321*, *Hostavin ARO 8*, *Hostavin 3326*, *Hostavin N 30* – beltérre, *Hostavin 3326* – kültérre). A többi adalékgyártó termékei is használatosak, illetve speciális adaléksomagokat ajánlanak, amelyekben a többcélú adalékok együttese található meg.

A WPC anyagok fatartalma miatt szükséges, hogy a gombásodás, penészedés megakadályozására biocidokat is tartalmazzon a kompaund.

A cinkborát tipikusan használt adalékanyag, de számos speciális kombinációt is kidolgoztak. A CLARIANT a *Sanitized® PL 10-72* adalékot ajánlja a mikrobák elleni védelemre, flexibilis és merev PVC-hez [13]. A Dow *Vinyzene™* [14] márkanéven forgalmazza típusait. Az

INTERNATIONAL SPECIALTY PRODUCTS (ISP) amerikai vállalat *PlastiGuard™* konzerváló és gombaölő szer családját kifejezetten a WPC termékekhez fejlesztették ki, pellet, granulátum és folyadék formában. A THOR cég *Acticide* márkanévű biocidjei nehézfémmentesek, biológiailag lebomlók és oktil-izotiazolinon (OIT), dikloro-oktil-izotiazolinon (DCOIT) tartalmúak.

A termékek színezéséhez pigmenteket és mesterkeverékeket egyaránt használnak. Az alapnak tekinthető barna, fekete, szürke, sárga (19. ábra) színeken kívül megtalálhatók az élénk vörös, kék, zöld színek is (20. ábra).

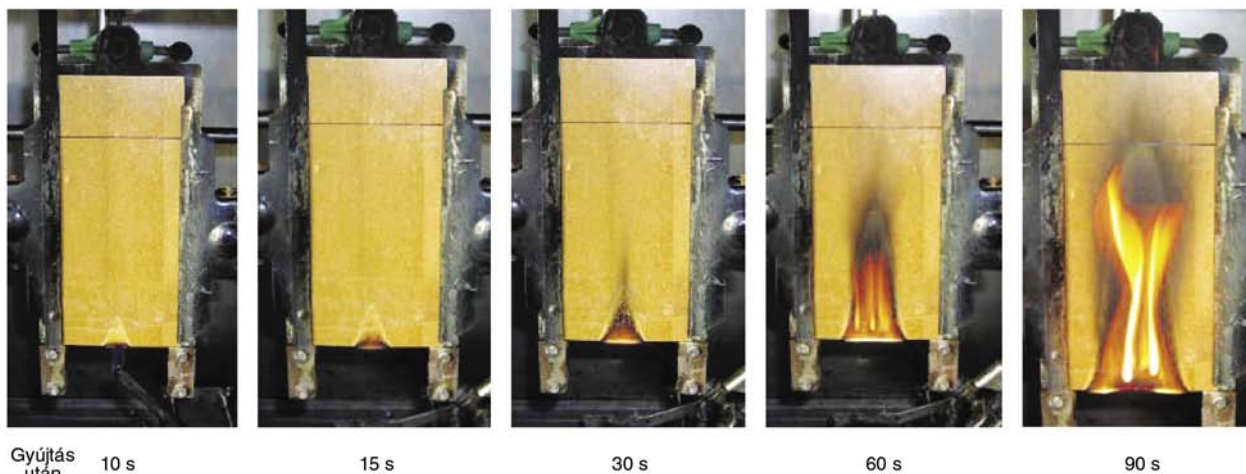


19. ábra. A főbb WPC színek

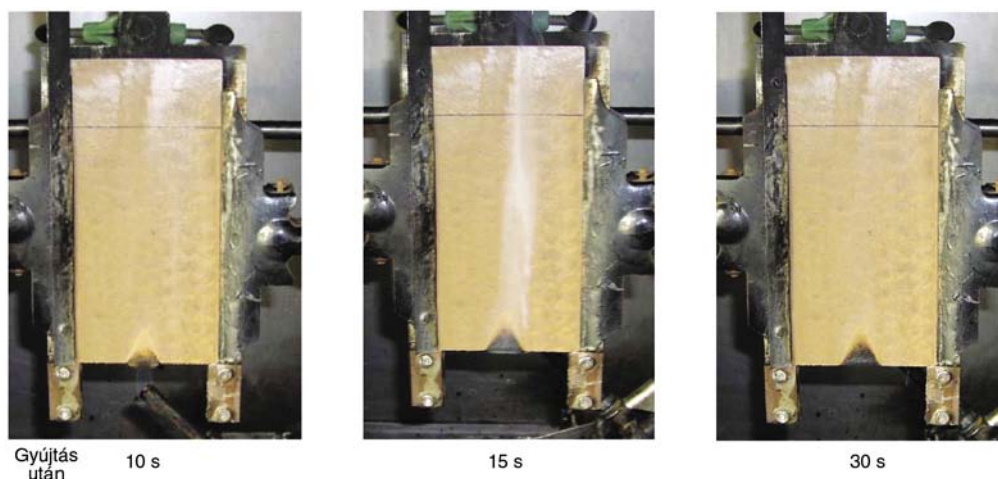


20. ábra. Dei®Wood WPC színek

Természetesen használhatók más színező mesterkeverék gyártók anyagai is (pl. CLARIANT *PV Fast®* [13]). Az egyéb, már említett adalékanyagoktól is függ, hogy a termék tényleges színe milyen lesz, illetve a szín hogyan



21. ábra. Égésgátló nélkül a 30% PP és 70% faliszt töltésű kompozitból készült próbatest éghetőségi próbája [9]



22. ábra. Éghetőségi próba 50% fa, 30 % PP és 20 % Exolit® AP 422 töltés esetén [9]

változik, különösen kültéren, az évek múlásával. Ennek közelítő meghatározására gyorsított időjárás-állóság vizsgálatokat kell végezni, mielőtt a terméket a piacra bevezetnék.

Ha a termék éghetőségével kapcsolatban is vannak elvárások, akkor égésgátló adalékok bekeverése is szükséges lehet. A PVC alapú WPC termékek egyik előnye az égésgátoltságban van, bár a faliszt mennyisége jelentősen ront a PVC alapvetően önkioltó égésgátlási jellemzőjén.

A DIN 4102 B 2 teszt szerint, égésgátló nélkül, a 30% PP és 70% faliszt töltésű kompozitból készült próbatest 90 másodperc után már erőteljesen ég (21. ábra).

A CLARIANT égésgátlók közül az Exolit® AP 422 az egyik ajánlott típus (22. ábra).

A farost-erősítésű kompozitok habosítása, ugyanúgy, mint a hagyományos műanyagok esetében, több előnnyel is jár: darabsúly és ciklusidő csökkenés, jobb felületi minőség, nagyobb feldolgozási sebesség, vetemedés és beszívódás csökkenés, jobb ömledék folyás, és méretstabilitás, egyes mechanikai jellemzők javulása, könnyebb vágás, szegelés.

Főleg a PVC mátrixú farosttal erősített termékeket habosítják endoterm és exoterm jellegű kémiai habosítókkal.

A CLARIANT a Hydrocerol® PLC típusokat ajánlja habosításra [13], de számos más gyártó is javasol mind exoterm, mind endoterm habosítókat (CHEMTURA, REEDY, BERGEN, ACCEL CORP. stb.).

4. Összefoglalás

A megújuló anyagok egyre nagyobb részét képezik a fa-műanyag kompozitoknak, akár 70–80%-át. A kompozitok fejlesztésére igény van, hiszen a WPC termékek piaca növekvő és egyre jobb minőséget vár el. A faiparban dolgozó cégek egy része a fa melléktermékekből nemcsak a fűtésre alkalmas pelletet állítják elő, hanem azokat a faliszt, farost típusokat is, amelyeket a mű-

anyagiparnak szánnak, sőt a legnagyobbak már saját gyártású kompozitokat is kínálnak, főként polipropilén mátrixanyaggal.

A fa-műanyag kompozitok számos adalékanyagot kell, hogy tartalmazzanak, mert csak így tudnak megfelelni elsősorban a kültéri alkalmazásoknak. Minél többféle adalékanyagra van szükség, annál drágább lehet a kész kompozit. Az árat az újrahasznosított polimerekkel, a feldolgozó gépek és technológiák fejlesztésével, teljesítményük növelésével lehet csökkenteni.

Források

- [1] www.plasteurope.com 'Fourth German Wood Plastic Composite' Congress, 13–14 December 2011. Cologne/Germany. Published on 18.01.2012.
- [2] Responding to Asian Imports Wood-Plastic Composites 2011, 8.–10.11.2011, Austria Trend Savoyen Hotel, Vienna, Austria. Asta Eder Composites Consulting.
- [3] [http://hu.wikipedia.org/wiki/Fa_\(anyag\)](http://hu.wikipedia.org/wiki/Fa_(anyag))
- [4] <http://www.jrs.de>
- [5] <http://www.jelu-werk.com/>
- [6] <http://www.lasole.it>
- [7] <http://www.alfoldfa.hu/tudastar>
- [8] Innovative Coupling Agents and Processing Aids based on MetalloceneCatalyzed Waxes for Wood Plastic Composites, BeateTreffler/Christian Lechner, Clariant Produkte (Deutschland) GmbH, 2007.
- [9] Public: Additives for WPC. BU Base Products, Technical Marketing Waxes (Copyright Clariant. All rights reserved.) 20.04.2009.
- [10] Eastman G™ maleated polyolefins
- [11] www.struktol.com
- [12] Engineered Process Additives for the Global Wood-Plastics Composites Market. Struktol Company of America, Juan Bravo, China, November 2007.
- [13] Additives for Natural Fibre Reinforced Plastics – Especially for WPC. Christian Lechner. Clariant Produkte (Deutschland) GmbH.
- [14] www.dowmicrobialcontrol.com