

MŰANYAGFAJTÁK, KOMPOZITOK, BIOMŰANYAGOK

Fenntartható fa-műanyag kompozitok (WPC) készítése és jellemzése a települési szilárd hulladékból (MSW), újabb hulladékanyagok hasznosítása

A települési szilárd hulladék (MSW) olyan műanyag hulladékokat tartalmaz, amelyek fenntartható zöld helyettesítőként használhatók fel az olajlábnyom, a CO₂-kibocsátás és a környezetszennyezés csökkentésére (ökológiai lábnyom). A cikk célja megismertetni a műanyag, fa és egyéb szerves hulladék újrahasznosítását műanyag mátrixú kompozitokban, valamint ezen kompozitok mechanikai és egyéb tulajdonságainak javítási lehetőségeit adalékok, kapcsolószerkezetek és kenőanyagok használatával.

Tárgyszavak: fenntartható vegyészet, fa-műanyag kompozit, WPC, kompozit anyagok, települési szilárd hulladék, extrudálás, fenntartható polimerek

1. A települési szilárd hulladék (MSW) mennyisége egyre nő

A települési szilárd hulladék (MSW) egyre növekvő mennyisége a világ környezetvédelmi problémáinak egyike. A Világbank statisztikai adatai szerint 1,3 milliárd tonna MSW keletkezik világszerte, és ez várhatóan 2,2 milliárd tonnára fog növekedni 2025-ig, és 2050-re elérheti a 3,4 milliárd tonnát. Körülbelül 6,5 milliárd tonna műanyag hulladék keletkezik világszerte minden évben eldobott polietilén zacskók, dobozok és vizes palackok formájában.

Jelenleg a műanyagok környezetszennyezése csökkenthető az újrafeldolgozással, a lebomló műanyagok fejlesztésével, a hulladéklerakók és az égetési folyamatok felhasználásával. Ezek a módszerek azonban hulladékmaradványaikkal újabb környezetszennyezést okoznak. Másrészt hatalmas mennyiségű fahulladék keletkezik a gyárakban világszerte a feldolgozás során, ezeket általában hulladéklerakókba helyezik; a bomlási folyamat azonban jelentős mennyiségű időt igényel. Ez az oka annak, hogy ma a kutatók érdeklődése egyre inkább fordul a fa- és műanyag-hulladék újrafelhasználása felé (amely globálisan a szilárd hulladék legnagyobb hányadát teszi ki az MSW-ből), égés vagy lerakás helyett.

Az 1990-es évek elején sok országban elkezdtek használni a hulladék műanyagokat WPC-gyártáshoz. A kutatások eredményeként a WPC kompozitból megfizethető termékek gyárthatók a környezeti fenntarthatóság érdekében. A kompozitok 40–70% falisztból és 25–55% polimer mátrixból (polivinil-klorid, polipropilén, polietilén) állnak. Az ezekből készült újrahasznosított anyagok ugyanúgy rögzíthetők és megmunkálhatók, mint a fa.

Újrahasznosíthatósága és költséghatékonyasága egyre nagyobb vonzerőt jelent az autó- és a repülőgépiparban, valamint a sport-, háztartási gépek és infrastrukturális alkalmazásokban.

A WPC-k természetes szálból/növényi rostból és polimer mátrixból állnak Alacsony költsége miatt a növényi rostok állnak a kutatók fókuszában, a biológiailag lebomló tulajdonságok mellett jó mechanikai és fizikai tulajdonságokkal rendelkeznek.

A mechanikai tulajdonságok javíthatók az alapanyagok megfelelő méretű megválasztásával, valamint adalékok, kötőanyagok, pigmentek beépítésével a teljes folyamat során. A megnövekedett hőmérséklet és a nedvességnek való kitettség azok a fő tényezők, amelyek befolyásolják a WPC mechanikai tulajdonságait a környezeti feltételekre adott változó reakciók miatt. A műanyag mátrix és a faliszt részecskék közötti vízduzzadási arány csökkentése jobb mechanikai tulajdonságokat eredményezett. Az elkészített WPC anyagok felületi és keresztmetszeti morfológiáját pásztázó elektronmikroszkóppal (SEM) vizsgálták, amely a kompozit anyagai közötti adhéziós kölcsönhatást mutatott, jelentősen erősítve a WPC mechanikai tulajdonságait.

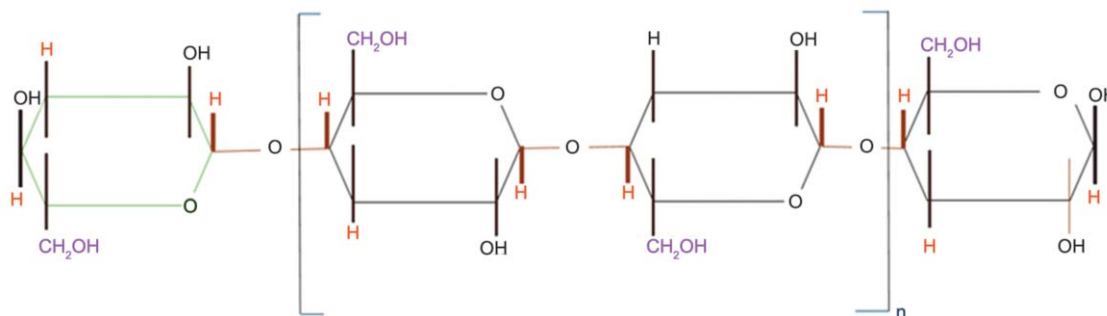
2. A fa-műanyag kompozitok (WPC) összetétele

A fa- és műanyag hulladékból készült WPC csökkenti a települési szilárd hulladék (MSW) mennyiségét, csökkenti a műanyag rész árát, mivel nem frissen gyártott anyagot használunk és összességében javítja a kompozit tulajdonságait, mint amikor a természetes szálát műanyaggal keverik.

2.1. Farostok, faliszt

A faliszt nagyon bonyolult, érzékeny összetevő, amely hatással van a hőre lágyuló műanyagra. A lignin, a cellulóz és hemicellulóz tartalom erősen befolyásolja a kompozit mechanikai tulajdonságait.

A farost előnyös az ökológiai jellemzők, a lebonthatóság, az alacsony költség és az alacsony energiafogyasztás szempontjából. A cellulóz a növényi rostok mechanikai tulajdonságainak fő biztosítója. Valamennyi növényi rost hasonló kristályos szerkezetű, körülbelül 65–70%-ban cellulózt tartalmaz. A cellulóz természetes, egyenes láncú poliszacharid, az 1. ábrán látható a kémiai szerkezete.



1. ábra. A cellulóz kémiai szerkezete.

2.2. Polimer mátrix

Az 1. táblázatban bemutatott eredeti és újrahasznosított frakcionált műanyagokat a folyási indexek (MFI) szerint osztályozzák: magas, közepes vagy alacsony folyási indexűekre, amelyek az MSW-ben találhatóak, típus szerint PP-ből, PE-ből, PVC-ből és egyéb polimerekből állnak. A jobb minőségű műanyagok elérése érdekében előkezelésük kiterjedt méretcsökkentésre, mosásra, fémes elemek eltávolítására és újra őrlésre épül. Egyes típusok jobb rétegeközi szilárdsággal, rövid feldolgozási idővel, jó vegyszerállósággal, kúszással és nagyobb termikus stabilitással rendelkeznek, kevesebb nedvességet szívnak fel és ütésállóak.

Az eredeti és frakcionált újrahasznosított polimerek tulajdonságai

Polimerek	Olvadási hőmérséklet [°C]	MFI 230 °C-on [g/10 min]
Polipropilén (PP) eredeti, MH418	163	4,50
Polietilén (PE) eredeti, I 668	134	5,5 (190 °C)
Polipropilén (PP) homopolimer közepes MFI	164	7,30
PP homopolimer magas MFI	165	22,10
PP töltött kerti frakció magas MFI	162	11
Polivinil-klorid (PVC)	163	7,27
Polisztirol (PS)	240	2,0–16
Politejsav (PLA)	150–160	4–8

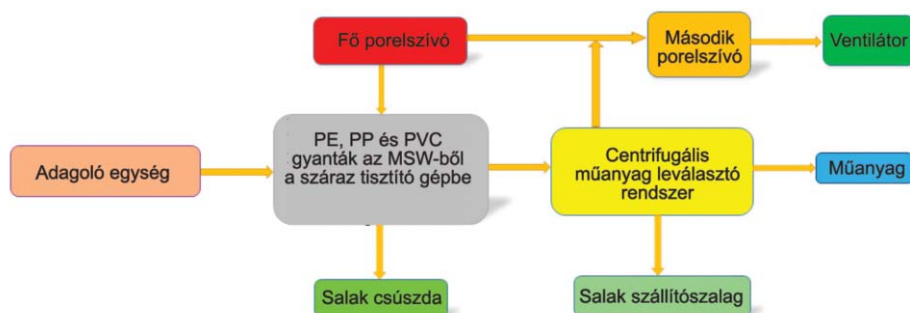
2.3. Határfázis a WPC kompozitokban

A hőre lágyuló műanyagok és a fa töltőanyagok közötti inkompatibilitás gyenge határfelületi kötésekkel eredményez, ami a kompozitok rossz mechanikai tulajdonságaihoz vezet. Kapcsolószert használata kémiai kötésekkel, polimer molekuláris összefonódást és mechanikai kapcsolatokat hozhat létre a kompozitban. Az irodalomban közölt WPC-k esetében a természetes időjárási viszonyok a határfelületi szilárdság csökkenését, a vízfelvétel és a mechanikai tulajdonságok változását okozzák. A kompozitok mechanikai tulajdonságai a fafajtától, a kompaundálás gépeitől, a feldolgozási hőmérséklettől és a nyomásviszonyoktól függenek. Különböző kutatók leírták a különböző növényi szálaból előállított WPC-k közötti különbségeket, a növényi rostok vagy cellulózrostok kémiai összetevőit, mechanikai és fizikai tulajdonságait (2. táblázat).

3. A WPC kísérleti és gyártási folyamatai

A gyártási folyamatot többféle gépegység végezte: nagy sebességű keverőberendezés (Shr-50a) után őrlés és keverés, majd egy egyirányban forgó ikercsigás extruder következett, hogy a keveréket pelletekké alakítsák. A WPC gyártási folyamat magában foglalja még a fahulladék darabolását, szárítását, aprítását, töltését, keverését, és végül a fröccsöntési és az extrudálásos formázási eljárásokat is.

A természetes szálak a bútorgyártásban gyűjtött fahulladékból származtak. Az eljáráshoz használt polimerek a polietilén (PE), a polipropilén (PP) és a poli(vinil-klorid) (PVC) voltak, amelyeket egy szeméttelapról szereztek be, ahol a települési szilárd hulladékokat gyűjtik össze. A műanyag hulladék tisztítása a 2. ábrán látható eljárással történt. A folyamat egy adagoló



2. ábra. MSW-ből kinyert polimer összetevők előkészítési folyamatábrája.

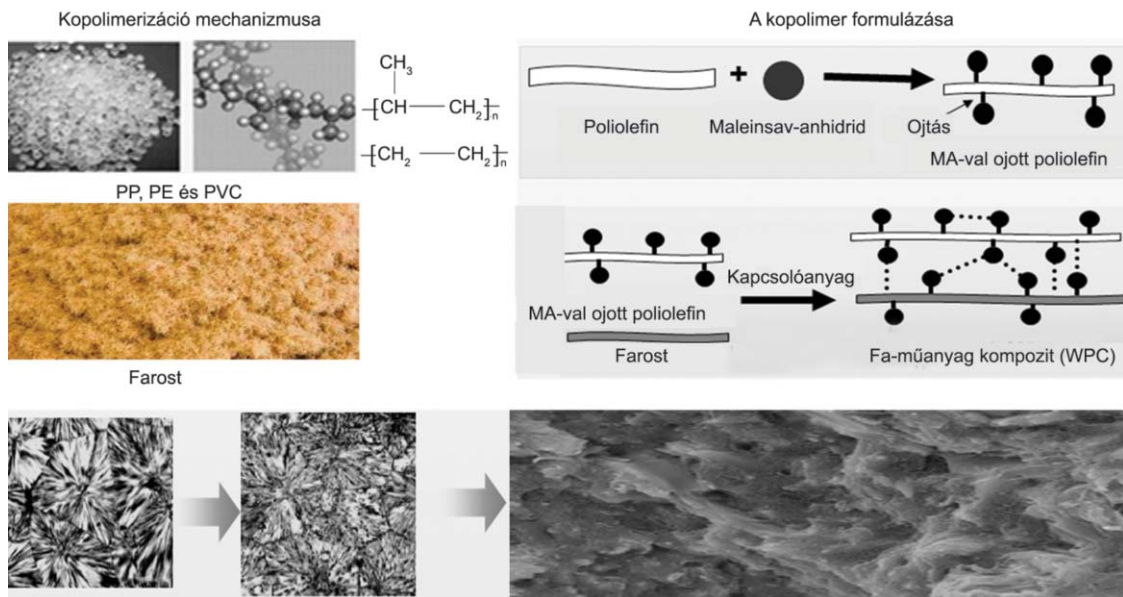
2. táblázat.

A növényi alapú vagy természetes cellulóz szálak kémiai, fizikai és mechanikai tulajdonságai.

Szálak	Kémiai összetétel			Fizikai tulajdonságok			Mechanikai tulajdonságok		
	Cellulóz [wt%]	Hemicellulóz [wt%]	Lignin [wt%]	Nedvesség-tartalom [wt%]	Sűrűség [g/cm ³]	Átmérő [μm]	Húzószilárdság [MPa]	Young modulus [GPa]	Szakadási nyúlás [%]
Arabica	56-63	20-25	7-9	5-10	1,5	150-180	430-980	12	3-10
Bagasse (kipréselt cukornád)	55,2	16,8	25,3	20-28	1,2	320-400	20-290	19,7-27,1	1,1
Bambusz	26-43	30	21-31	11-17	0,9	10-30	250-850	9,8	5,6-8,6
Banán	63-64	17-19	3-5	8-10	1,35	160-200	355	33,8	53
Kóruszrost	36-43	0,15-0,25	40-45	8	1,15-1,46	100-460	131-220	4-6	15-40
Gyapot	82-90	5,7	-	7,85-8,5	1,5-1,6	12-38	287-800	5,5-12,5	7-8
Len	71	18,6-20,6	2,2	8-12	1,5	40-600	88-1500	27,6	2,7-3,2
Kender	70,4-74,4	17,9-22,4	3,7-5,7	6,2-12	1,47	25-500	550-900	70	1,6
Henequen (szizál)	58-60	28-30	7-8	10-12	1,4	160-180	430-580	15-20	3-4,7
Juta	61-71,5	13,6-20,4	12-13	12,5-13,7	1,3-1,49	25-200	393-800	13-26,5	1,16-1,8
Kapok (jávai gyapot)	35,5	22-45	21,5	9,86	0,29	30-36	50-90	2-5	1,8-4,3
Kenaf	35-57	21,5	15-19	6,2-12	1,2	30-50	295-930	53	1,6-6,9
Olajpálma	45-48	32-35	16-18	12-15	0,7-1,55	150-500	248	3,2	25
Ananász	70-83	-	5-12	14	1,5	105-300	170-1672	82	1-3
Szizálkender	67-78	10-14,2	8-11	10-22	1,45	50-200	468-700	9,4-22	3-7
Ramie (kínai fű)	68,6-76,2	13,1-16,7	0,6-0,7	7,5-17	1,55	35-60	400-938	61,4-128	1,2-3,8
Rizs	41-57	33	8-19	14	0,9-1,5	15-25	100-160	0,3-2,6	5,4-10,6
Búza	39-45	15-31	13-20	18-20	1,1-1,3	20-40	90-150	0,2-2,2	3,5-6,6

berendezéssel kezdődik. A MSW-ből származó PE, PP, PVC polimerek a száraz vegytisztító gépbe, majd a műanyag leválasztó rendszerbe kerülnek, közben a szennyeződések leválasztják

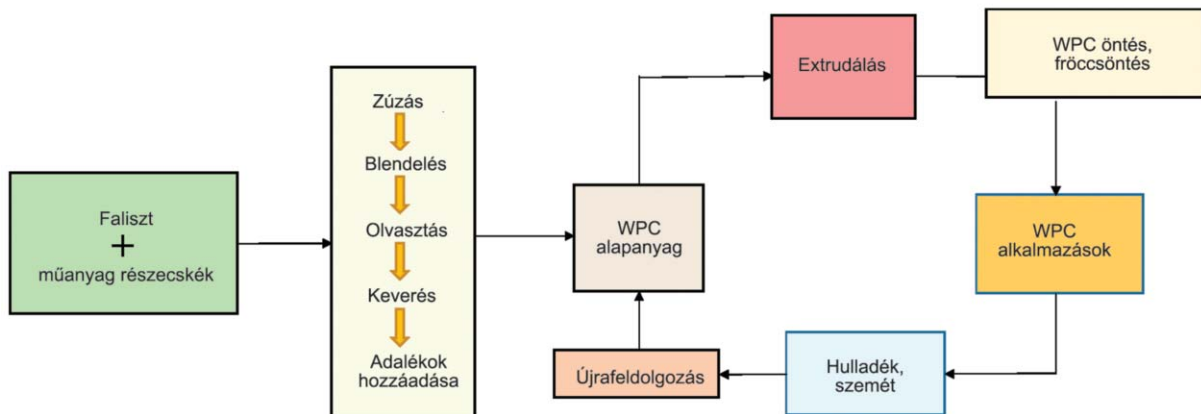
A 3. ábra fa- és műanyag hulladékból előállított WPC-t mutat be 40–70%-os farészecske tartalommal, darálva, 25–55%-os polimer mátrixszal (PP/PE és PVC) keverve. Az összetevők közti kompatibilitás segítésére három tömegszázalékos SILANE KH-550 kapcsolószert használtak, valamint három tömeg% maleinsav-anhidridet tartalmazó, ojtott poliolefin keverték be, hogy javítsák a töltőanyag és a polimer mátrix közötti határfelületi kötést. Ezzel növelhetik a kompozit hajlító- és rugalmassági modulusát, és nyilvánvalóan javítják a WPC szilárdságát, merevségét, ütésállóságát. A kapcsolószert hídként működik, amely reakcióba lép a farost és az ojtott poliolefin hidroxiljaival. A poláris faliszt és a nem poláris műanyag kombinációja így egy jobb határfelületi kötést mutat.



3. ábra. A határfelületi kötés javítása ojtott kopolimerrel.

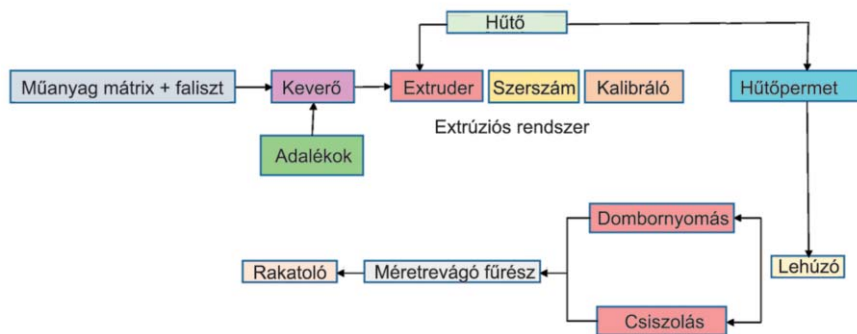
3.1. Kompaundálás és a WPC termék készítés lépései

A WPC kompaundálás és termékgyártás egy vagy két lépésben történik, a kétlépéses gyártás főbb részleteit a 4. ábra mutatja.



4. ábra. WPC kompaundálása és feldolgozása extrudálási és öntési eljárással.

A WPC extrudálás folyamatábrája az 5. ábrán látható. Az összegyűjtött faliszt anyagot először kemencében 60 °C-on szárították, majd szárítás után egy tartályban összekeverték talkummal és műanyaggal. A fa-termoplaszt keveréket az extruder tartályába továbbították, és onnan a maximum 200 °C-os extruderbe engedték, mivel a magasabb hőmérséklet ronthatná a fizikai tulajdonságait. Amikor a keverék belép a kezdeti extruder zónába, a csigák felmelegítik és megolvasztják. Az olvadékot egy extruderfejen nyomják ki, hogy elnyerje kívánt formáját. Az extruderből kinyomott formázott, kívánt alakú meleg anyagot vízpermettel lehűtötték, amikor távozott az extruderből, majd végleges hosszra vágták. A hosszra vágott termék felületét még tovább is lehet alakítani dombornyomással, csiszolással.



5. ábra. A WPC gyártási folyamatának folyamatábrája extrúziós rendszer esetén.

3.2. A WPC mechanikai tulajdonságainak javítása

A WPC mechanikai tulajdonságai a fa és a hőre lágyuló műanyagok közötti kölcsönhatástól függenek, a kölcsönhatás javítása érdekében adalékként kapcsolószert használnak.

A WPC-vizsgálatban PP/PE anyagokat használtak, 90% feletti tisztasággal. A kompozitban kb. 70%-ban különböző faliszt (fenyő és bambusz) részecskéket és polimer mátrixként 25–30% PP/PE-t, PVC-t, adalékanyagként például színezékeket, stabilizátorokat, 1,2%-ban erősítőszereket, acetont és etilént, kenőanyagként 0,1%-os paraffinvaszt használtak. A szín védelmére, a napfény UV-sugárzásától való védelemre fotokémiai ultraibolya (UV) stabilizátorokat alkalmaztak.

Antibakteriális cink-borítót kevertek be favédőszerként, hogy megvédjék a kompozitokat a gombásodástól. Égésgátló vegyszereket kevertek be a WPC égési hajlamának csökkentésére. Kapcsolószerként 3% SILANE KH-550-et használtak, amely korlátozottan fokozta a kompozitok anyagai közötti kölcsönhatást. Felhasználtak még 2,5% talkumot és 1,5–3 tömegszázalék kalcium-karbonátot. Sztearinsavat és sztearinsavas ólom-kenőanyagokat kevertek be 0,8%-ban az olvadt WPC-keverék feldolgozhatóságának javítására az extrudálási eljáráshoz. Antioxidánsként kormot és színezékként pigmenteket alkalmaztak.

4. A határfelületi módosítás hatása

4.1. Hatás a WPC mechanikai tulajdonságaira

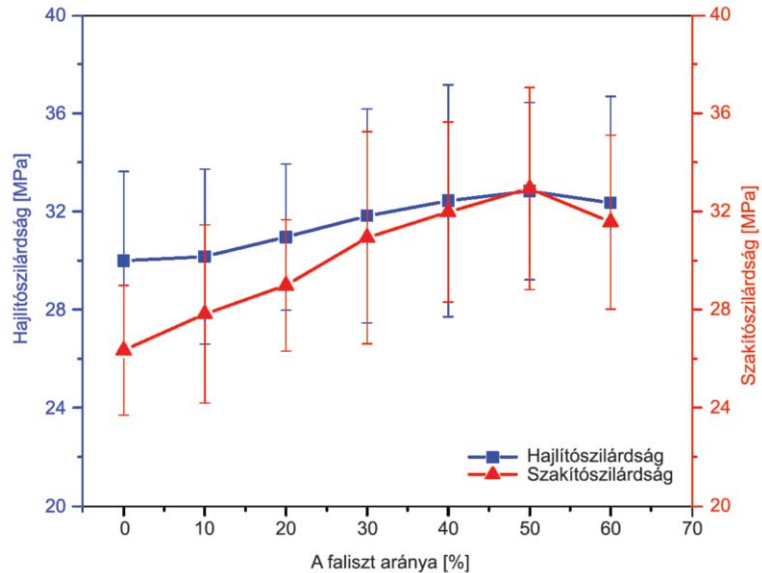
A WPC teljesítményének értékelése szakító-, hajlító- és ütőszilárdsági tesztekkel történt. A gyártási folyamat során a mechanikai tulajdonságokat befolyásoló paraméterek a fafajták, a formázási hőmérséklet és a nyomásviszonyok voltak. A mechanikai tulajdonságok a különböző faliszt arányokkal változnak. Összességében az egyes kompozit anyagok jobb mechanikai tulajdonságokat mutatnak, a jó minőségű WPC 50%-ban tartalmaz falisztet. Az eredmények azt mutatják, hogy a WPC szilárdsága függ a szál-mátrix kölcsönhatástól és a szilárdságjavításban szerepet játszó farost felületi kémiájától. A szálrészecskék hosszának és méretének is van hatása a mechanikai tulajdonságokra.

A maleinsav-anhidriddel ojtott polipropilén (MAPP) beépítésével a vízfelvétel és a duzzadás jelentősen csökkenthető. A kapcsolószer jelentőségét számos tanulmányban bemutatták: javítja a WPC mechanikai tulajdonságait, valamint az alak- és méretstabilitását. Kis molekulatömegű kapcsolóanyag használatával a szakítószilárdság növelhető. Ez azonban a hajlítószilárdság kismértékű csökkenését okozta.

4.2. Hatás a hajlító- és szakítószilárdságra

A 6. ábra azt mutatja, hogy a WPC-ben a faliszt optimális mennyiségét 50%-nak vehetjük. Az anyag szakítószilárdsága mintegy 25%-kal nőtt, 26,1-ről 32,8 MPa maximális értékre. Ugyanennél a faliszt százaléknál a hajlítószilárdság 8,1%-kal nőtt.

A WPC hajlító- és szakítószilárdságának növekedése a MAPP kapcsolószer használatának köszönhető, amely javítja a hidrofób polimer és a hidrophil faliszt közötti határfelületi kötést, ami a kompozitok jobb mechanikai tulajdonságait eredményezi.



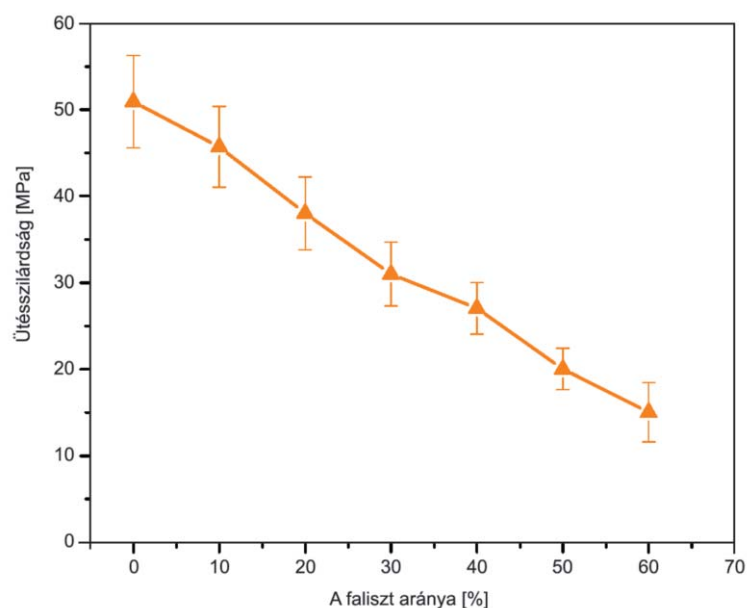
6. ábra. Hajlító- és szakítószilárdság különböző faliszt arányoknál.

4.3. Hatás az ütőszilárdságra

A 7. ábrán látható ütőszilárdság értékek drasztikusan csökkentek a faliszt tartalom 0-ról 60%-ra növelése során, mivel a fa részecskék és a polimer közötti gyenge határfelületi kapcsolat tovább csökkent a faliszt tartalom növelésével. A mérési eredmények szerint az ütőszilárdság több mint 17 MPa, ha a faliszt aránya 50%.

A természetes rostok fő hátrányának tekintik a nagy vízfelvételt, mivel méretbeli instabilitást okoz. A vízfelvétel és ezzel együtt a duzzadási arány csökkentése a jobb fizikai és kémiai kötődés révén összefügg a jobb mechanikai tulajdonságokkal.

Egyes kutatók kimutatták, hogy epoxigyanta hozzáadása a falisztes kapcsolóanyag keverékhez és speciális csigás extrudálást végezve, javította a kompozitok mechanikai tulajdonságait. A víz adszorpciójának csökkentésére és a kompozitok

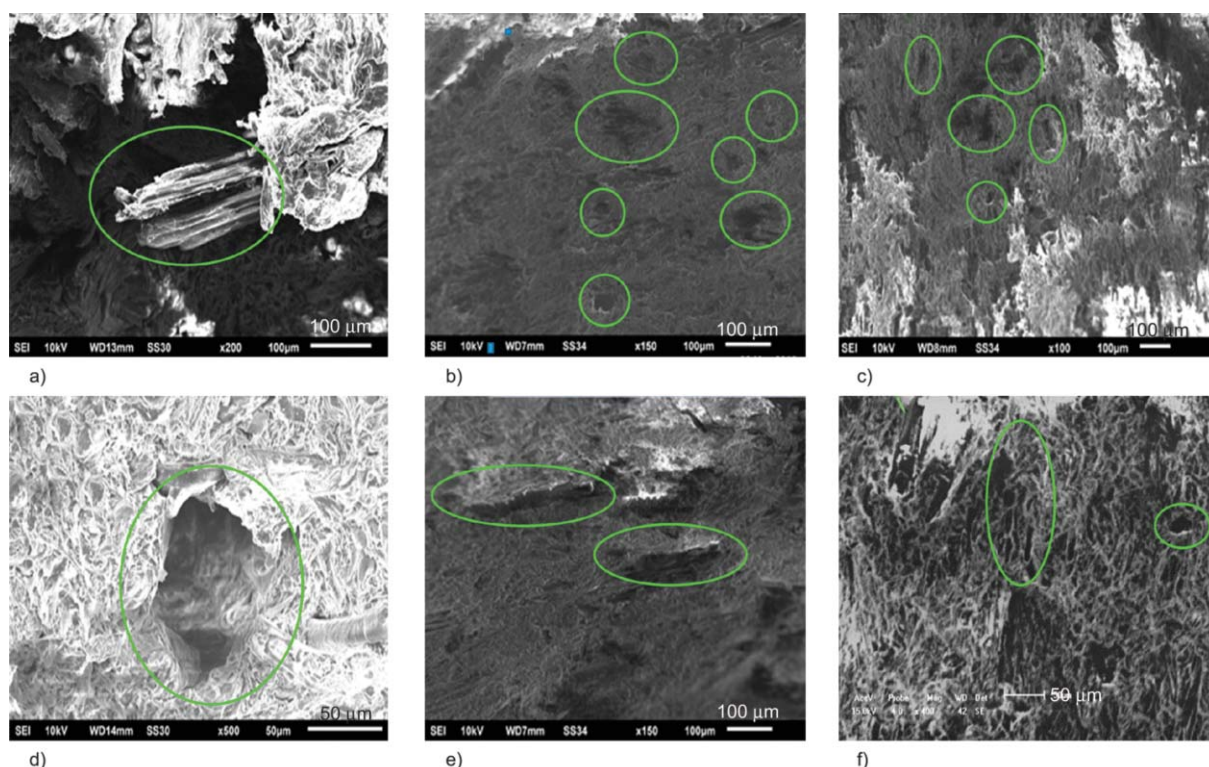


7. ábra. Ütőszilárdság különböző faliszt arányok esetén.

rugalmassági modulusának javítására számos technikát javasoltak, például préselést, extrudálást és fröccsöntést.

4.4. A WPC törésfelületének mikroszkópos elemzése

A SEM képek (8. ábra) mélyreható mikroszkópos elemzése határfelületi adhéziót mutat a hidrofíli bambusz liszt és a hidrofób polimer mátrix különböző részecskéi között. A polimer mátrix és a bambusz részecskék közötti távolság döntő szerepet játszik a kompozit fizikai és mechanikai tulajdonságaiban. A polimer és a bambusz részecskék közötti teret, üregeket nagy mérete megfigyelhető volt a SEM-felvételeken. Különböző méretű üregek képződnek, amelyek a hőmérséklettel változnak. A szabad víz tárolóhelyeivé válnak, amely beindítja a növényi rost bomlását. Az alkalmazott kapcsolóanyag javíthatja a rost töltőanyag és a polimer mátrix közötti anyagfelület kompatibilitását, ami növelheti a WPC szilárdságát, merevségét, ütésállóságát, valamint alakjának és méretének stabilitását.

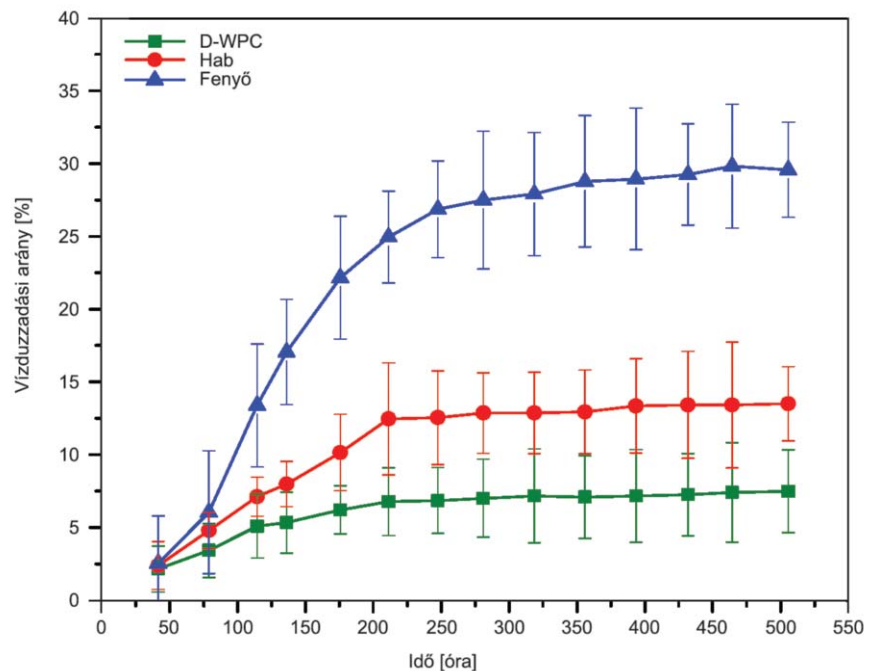


8. ábra. A határfelületi adhézió SEM képeken a faliszt és a polimer mátrix között.

A 8a. ábrán látható, hogy kapcsolószer hozzáadása nélkül a poláris fa és a nem poláris műanyagrészecskék közötti kölcsönhatás nagyon gyenge. A 8b. ábra mutatja a nagyobb bambuszpor méret hatását, jelzi, hogy a bambuszpor és a műanyag hordozó közötti határfelületi kapcsolat viszonylag jó, így az anyag mechanikai tulajdonságai viszonylag magasak. A 8c. ábra 3 tömeg% kalcium-karbonát töltőanyag, a 8d. ábra 1 tömeg% kapcsolószer hozzáadása esetén keletkező kép. A 8e. ábrán a nagy sűrűségű polietilénhez tapadó 1,5–2 tömeg% kapcsolószer okozta változás látható. A 8f. ábra 2,5–3 tömeg%-os kalcium-karbonát hozzáadásának hatásait mutatja be; agglomerációt képez az anyagban, ami tönkreteszi a kompozitok közötti határfelületi kölcsönhatást és sok feszültségkoncentrációs pontot képez.

4.5. Vízduzzadási arány elemzése

Ezt a tesztet az ASTM D 570 szerint végezték el, meghatározva a vízfelvételt a minták rendszeres időközönkénti súlymérésével. A 9. ábra azt mutatja, hogy a WPC vízfelvétele elég alacsony a többi anyaghoz viszonyítva. A vízduzzadási arány az órák számához viszonyítva a különböző farostfajtáknál gyorsan növekszik 200 óráig. A fenyőliszt magasabb duzzadási arányt mutat, mint a felhasználásával előállított WPC. Ha a vízben a duzzadási arány magasabb, akkor ez nagyobb deformációhoz vezet, és korlátozza az alkalmazhatóságot a különböző iparágakban. A WPC vízfelvételi aránya kiváló eredményeket biztosít a mezőgazdaságban, az építőiparban és az ipari alkalmazásokban. Hosszabb időre van szükség ahhoz, hogy kialakuljon a gombok által okozott bomlás. A WPC-k vízfelvétele összefügg a farost tartalommal.



9. ábra. A vízduzzadási arányra gyakorolt hatás az idő függvényében különböző farostfajták esetén.

5. Újabb projektek és újabb hulladékanyagok hasznosítása WPC kompozitokban

A WPC-k terén elért közelmúltbeli fejlemények közé tartoznak a kompozitok különféle hulladéktermékekből történő előállításának új módszerei – beleértve az olajbogyó magokat, egy közönséges brazil gyümölcsöt és még a települési hulladékot is.

A fa-műanyag kompozitok (WPC) eredeti ötlete az volt, hogy hulladékterméket (alapesetben faforgácsot) építsenek be egy műanyag mátrixba. Ma az ipar továbbra is a legtöbbet ilyen kompozitokból gyárt. A páneurópai Basajaun projekt részeként a spanyol **Aimplas** egy sor bioalapú profilt fejleszt ki. A profilokat erdészeti termékekből származó gyantából pultrudálják – és természetes szálakkal erősítik meg. A 48 hónapos projektben 30 partner vesz részt Európaszerte, a projekt célja, hogy Finnországban és Franciaországban teljes körű bemutatóépületeket építsenek, amelyek bemutatják a projekt különböző részeit. A projekt további fejlesztései közé tartozik a hőszigetelés – megújuló forrásból készült hab felhasználásával –, valamint a fa-műanyag kompozitok (WPC) és a tűzálló kompozitok.

5.1. Olajbogyó mag

Az Aimplas az olajbogyó-termesztésből származó maradványokat kívánja felhasználni műanyagokban. Abból az előfeltevésekből indul ki, hogy a Földközi-tenger medencéjében a fás szárú

növények, köztük az olajbogyó, a lignocellulóz-maradványokat – a kompozitok és a forgácslapok lehetséges nyersanyagát – termelő fő növényi kultúrák. A világ olívaolaj-termelése megháromszorozódott az elmúlt 60 évben, és ez egy olyan iparág, amely jelentős mennyiségű hulladékot termel. Az olajbogyó-termesztésből származó lignocellulóz-maradványok mindegyike visszanyerhető kompozitok előállítására. Az Aimplas a spanyol **Olivarera los Pedroches** olívaolaj-termelővel egy olyan projekten dolgozik, amelyben a magokat visszanyerik, hogy új, biológiai alapú, biológiailag lebomló és komposztálható terméket fejlesszenek ki. Az *Oliplast* nevű új anyag bioműanyag mátrixban tartalmazza ezt az olajmagvakból származó töltőanyagot/erősítést (10. ábra).

Az olívamag rostjainak előkészítése a műanyagkeverékekbe való bedolgozásra nem egyszerű, és különféle kezeléseket igényel. A magok több tisztítási és őrlési lépésen mennek keresztül, mielőtt a kapott részecskemérettől függően különböző frakciókra osztanák őket. Ezek a különböző szemcseméretű eltérő tulajdonságú keverékeket eredményeznek.



10. ábra. Az Aimplas olívamagvakból származó töltőanyagok felhasználását vizsgálja az Oliplast projektben.

5.2. Háztartási hulladék a WPC-be

A törökországi kutatók fa-műanyag kompozitokat (WPC-eket) állítottak elő települési hulladékból. Az Izmiri Technológiai Intézet kutatói a WPC-t fogyasztás utáni, újrahasznosított műanyag és fa hulladékaiból hozták létre, amely hozzájárult a hulladék minimalizálásához és a természeti erőforrások megőrzéséhez. Öt különböző típusú polipropilén (PP) vagy polietilén (PE) alapú újrahasznosított műanyagot és fát – városi háztartási hulladékból – használtak fel az újrahasznosított WPC-k (r-WPC) előállításához. Mind az eredeti, mind az újrahasznosított WPC vegyületeket faliszttal és maleinsavanhidriddel ojtott kompatibilizátorral (MAPP vagy MAPE) állították elő, hogy értékeljék az újrahasznosított polimer típusának és a kompatibilizátornak a mechanikai tulajdonságokra gyakorolt hatását. A tanulmány megállapította, hogy az újrahasznosított PP-ből készült r-WPC-k szakítószilárdsága nagyobb, mint a vegyes poliolefinekből vagy újrahasznosított PE-ből készülté. A különböző összetételű r-WPC vegyületek szakító, ütési, hajlítási és vízszorpciós tulajdonságai alapján a kutatók meghatározták az r-WPC vegyületek optimális összetételét az ipari gyártáshoz.

A tört felületek felületi morfológiája – valamint az r-WPC vegyületek szakítószilárdsági, hajlítási és sűrűségi eredményei – azt mutatták, hogy a MAPP fokozta a határfelületi adhézióra gyakorolt hatást r-WPC-kben.

5.3. Gyümölcsrostok

Brazil kutatók PP-n és egy széles körben fogyasztott gyümölcs, a Tucuma rosthulladékán (Tucuma endocarp por – TEP) alapuló WPC-eket hoztak létre, de kapcsolószerek nélkül. Az anyagok 10–50 tömeg%-ban PP-vel kombinált TEP-ből álltak, és különböző módszerekkel vizsgálták, beleértve az elektronmikroszkópiát, infravörös spektroszkópiát, éghetőségi, vízabszorpciós és karcolási tesztek. Általában a TEP növelte a rugalmassági modulust és a dinamikus súrlódási

együtthatót, miközben csökkentette a WPC-k szilárdságát és égési sebességét. A 20 tömegszázalék TEP-ből készült kompozitok ígéretes anyagoknak tekinthetők a fenntartható mérnöki alkalmazásokhoz fa-műanyagként történő felhasználásra.

5.4. Időjárásállóság

Az indiai bangalore-i Fatudományi és Technológiai Intézet tudósai összehasonlító vizsgálatot végeztek a kapcsolószerek és a részecskeméret hatásáról a WPC-k időjárás viselkedésére. Az anyagok elkészítéséhez két különböző kapcsolószert – maleinsav-anhidriddel ojtott PP-t és m-TMI-vel (α,α -dimetil meta-izopropenil benzil izocianáttal) ojtott PP-t – használtak. A WPC-k egy évig voltak kitéve kültéri körülményeknek. A felület színének és mechanikai tulajdonságainak változását 2, 4, 8 és 12 hónapos természetes kihelyezés után mérték. Az első négy hónap során jelentős színváltozás volt megfigyelhető, a világosság növekedésével. A mechanikai tulajdonságok az első négy hónapban nagyrészt nem változtak, de később hanyatlásnak indultak.

Összességében a szakítószilárdság körülbelül 15%-kal, a hajlítószilárdság pedig 8%-kal csökkent egy év kihelyezés után. A hajlítási modulus is 10% körüli mértékben csökkent. A fa szemcsemérete befolyásolta a kompozit megjelenését és szilárdságát az időjárás hatására. A kapcsolószerek pozitív hatással voltak a mechanikai tulajdonságokra, de kültéri degradációra gyakorolt hatásuk nem volt észrevehető.

5.5. Cellulóz-érzékelők

A **Wood KPlus** osztrák kutatóintézet támogatást kapott olyan „fenntartható kompozitok” kifejlesztésére, amelyek „impregnált cellulóz alapú érzékelőket” tartalmaznak. Az I3Sense projekt egyike annak a hatnak, amely a Comet program részeként 12 millió eurós (14 millió USD) finanszírozásban részesül. Az ehhez hasonló projektek célja, hogy a magas kockázatú kutatásokat konkrét alkalmazásokká és termékekévé fejlesszék. A cél az, hogy magát az anyagot – például fát, erősítőszálakat vagy polimer mátrixot – „észrevehetetlen, beágyazott érzékelőrendszeré” alakítsák. Ez képes lesz mérni a páratartalom, a mechanikai igénybevétel és a hőmérséklet változásait anélkül, hogy befolyásolná a kompozit szerkezeti integritását. A kutatási célok a következők:

- annak megértése, hogy a különböző feszültségek hogyan változtatják meg a felhasznált anyagok elektromos tulajdonságait;
- annak feltárása, hogy ezek a tulajdonságok hogyan módosíthatók, és ezen ismeretek felhasználása az állapotváltozások valós idejű észlelésére;
- annak feltárása, hogy a módosítások hogyan lépnek kölcsönhatásba a mátrixszal, és hogyan változtatják meg a tulajdonságokat; és
- a szerkezeti integritás hosszú idejű monitorozása.

A projektben a faépítőipar, az autóipar és a repülőgépipar partnerei vesznek részt, és „kikövezi az utat a természetes alapú anyagok számára a high-tech alkalmazásokban” – mondta a szervezet.

5.6. Burkolatvédelem

Az egyesült államokbeli **Teknor Apex** időjárásálló adalékok sorozatát fejlesztette ki a sötét színű fa-műanyag kompozitok (WPC) védelmére. A cég szerint a *Weatherguard WG-9000* anyagai nagyobb tartósságot és karcállóságot biztosítanak, mint a széles körben használt konkurens vegyületek. 5000 órányi QUV gyorsított időjárás teszt után a poliolefin alapú anyagok színváltozása kisebb, mint 0,5 Delta E a sötétbarna szín esetében. A Teknor szerint öt-tízszeres ja-

vulást kínálnak a nyúlásban és az ütőszilárdságban a versenytársakhoz képest, miközben a szakítószilárdság tekintetében mindössze 15%-ot áldoznak fel. A *WG-9015 LG* minőség csökkenti a költségeket, mivel 50%-os koncentrátumként és frakcionált olvadási indexű polietilénnel keverve használható. Azok a gyártók, akik olyan költséghatékony minőséget keresnek, amelyet nem kell keverni PE-vel, használhatják a *WG-9003 LG* minőséget. Mindkét minőséget előre színezve értékesítik, hogy megfeleljenek a végfelhasználó egyedi színpalettájának.

5.7. A jövő építése

Az amerikai székhelyű **Trex** teraszgyártó meg fogja nyitni harmadik gyártóüzemét az arkansasi Little Rockban, a fa teraszok piacán elért eddigi sikeres részesedésük bővítése érdekében. Az építkezés 2022 elején kezdődik, az első termelés 2024-ben várható.



11. ábra. A Teknor Apex időjárásálló adalékai védik a sötét színű fa-műanyag kompozitokat (WPC).



12. ábra. A teraszburkolatokat gyártó Trex harmadik amerikai gyártóüzemet nyit Arkansasban.

Összeállította: Garas Sándor

Shahani S., Gao Z., Qaisrani M.A., Ahmed N., Yakoob H., Khoshnaw F., Sher F.: Preparation and Characterisation of SustainableWood Plastic Composites Extracted from Municipal Solid Waste. *Polymers*, 13.k., 2021, 3670.

Waste not, want not: advances in WPCs, *PIPE & PROFILE EXTRUSION*, November/December 2021, 13-18.