

## **Az újrahasznosítás a fa-műanyag (WPC) és az elektromos/elektronikai (E+E) termékeknél is napirenden van**

A műanyag hulladékok újrahasznosítását számos területen már megoldották. A WPC termékek elterjedésével a használat utáni termékek sorsa is napirendre került. A legegyszerűbb megoldásnak a friss anyaghoz adagolás tűnik, ehhez azonban vizsgálni kell az elhasznált WPC hatását az új kompozíciók tulajdonságaira. Az E+E hulladékok újrahasznosítása összetett feladat, hiszen a műanyagokon kívül fémeket és más anyagokat is tartalmaznak.

*Tárgyszavak: műanyag-feldolgozás; hulladék-újrahasznosítás; elektromos/elektronikai (E+E) hulladék; fa-műanyag (WPC) hulladék; műanyagok vizsgálata.*

## **Használat utáni fa-műanyag kompozitok (WPC) hatásának vizsgálata a frissen extrudált WPC termékek tulajdonságaira**

Az utóbbi években folyamatosan nő a farosttal erősített polimerkompozitok (WPC) felhasználása, ezért az élettartamuk utáni újrahasznosításuk is egyre aktuálisabbá válik. A WPC termékeket főleg kültéren, teraszok padlójaként, homlokzatok és kerítések elemeként használják, de megtalálhatók az épületek belsejében is padlóburkolatok és ablakkeretek anyagaként.

A WPC elemek gyártása során keletkező hulladékok visszavezetése a termelési folyamatba általában megoldott, de a többéves használat során öregedett, szennyeződött hulladékok újrahasznosítása nehezebb feladat. Ennek megoldására a Fraunhofer Fakutatási Intézet és a Wilhelm Klauditzi Intézet (WKI) végzett kísérleteket, amelynek célja az volt, hogy a használat utáni hulladékból újra extrudált profilokat állítsanak elő és vizsgálják az elérhető tulajdonságaikat. A kísérletsorozathoz PE, PP és PVC alapú, nagyüzemben gyártott padlóelemeket használtak, amelyek az 1. ábrán láthatók, összetételüket az 1. táblázat mutatja.

A WPC elemek egy részét a gyártók a többéves használathoz hasonló körülmények között 4-5 évig szabadtéren öregítették. Ezek újrafelhasználhatóságát vizsgálták a friss darabokkal összehasonlítva. A kapott padlóelemeket – az újakat és az öregítetteket is – egészen finomra őrölték, majd a kétféle anyagból többféle összetételben négykamrás padlóprofilokat állítottak elő, mégpedig ellenirányban forgó kónikus kétcsigás extruderben (típus: *Minibex 54-C*, gyártó: Battenfeld-Cincinnati Germany GmbH). Az

így előállított mintadarabok tulajdonságait, összetételét a 2. táblázat mutatja. A poliolefinekkel szemben a PVC-nél csak 20% friss anyagot tartalmazó mintát vontak be a kísérletbe, mivel a gyártók eddigi tapasztalata szerint PVC alapú WPC esetében már akkor is megfelelő tulajdonságok érhetőek el, amikor csak 20% friss polimert használnak. Az extrudált profilokat részben közvetlenül az előállítás után, részben 17 hónapos szabadtéri öregítés után vizsgálták be.



1. táblázat  
A vizsgált WPC  
padlóelemek összetétele

Polimer	Farost %(m/m)
PP	kb. 55
PE	kb. 70
PVC	kb. 50

1. ábra Az, ipari gyártásból származó vizsgált WPC teraszelemek (szélesség: 120 mm, vastagság: 24 mm, falvastagság: 4 mm).

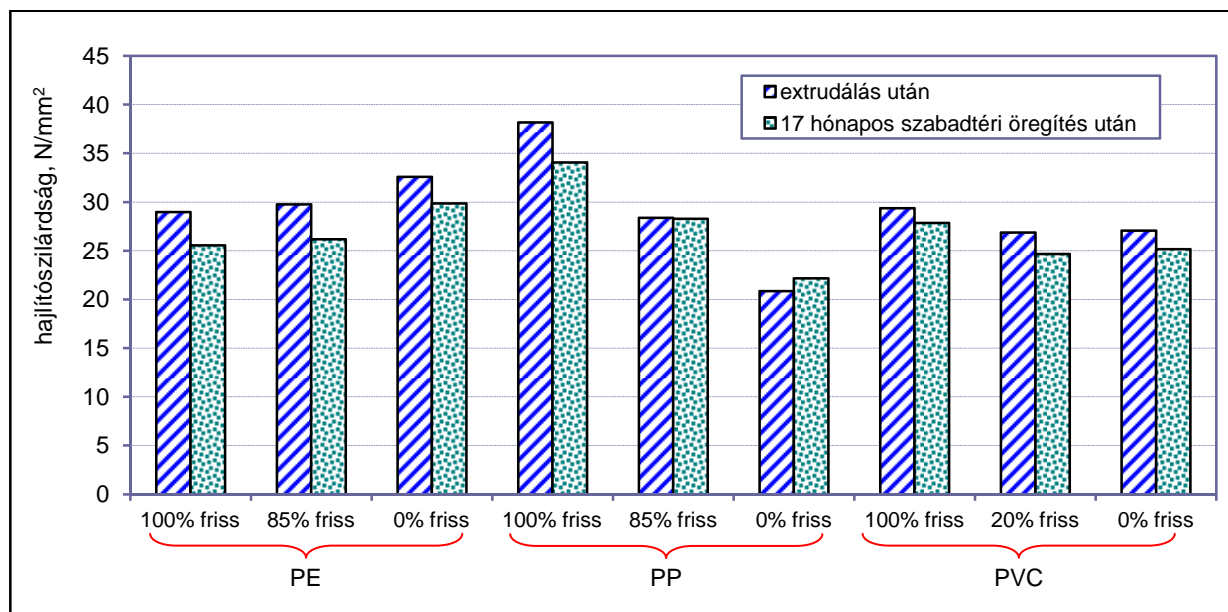
2. táblázat

A minták összetétele

Sor-szám	Polimer	Friss WPC aránya,% (m/m)	Szín
1	PE	100	szürke
2		95	
3		85	
4		0	
5	PP	100	szürke
6		95	
7		85	
8		0	
9	PVC	100	barna
10		20	
11		0	

## Mechanikai tulajdonságok

A hajlítószilárdság értékei az 2. ábrán láthatók. Az eredményekből kitűnik, hogy a 17 hónapos öregítés hatására a minták hajlítószilárdsága viszonylag kis mértékben csökken. A mérésekből az a meglepő eredmény adódott, hogy PE esetén a „használt” anyag bekeverése gyakorlatilag nem rontja a hajlítószilárdságot, sőt a legjobb eredményt a teljesen visszanyert anyagból álló minta adta. A PP alapú kompaundoknál a várakozásoknak megfelelően a friss anyagból készült mintának van a legnagyobb hajlítószilárdsága, és a friss anyag arányának csökkenésével romlanak a mechanikai tulajdonságok. A teljesen „használt” anyagból készült minta szilárdsága  $28,4 \text{ N/mm}^2$  a friss anyagból készült minta  $38,2 \text{ N/mm}^2$  értékével szemben. A PVC alapú mintánál igazolódott az, hogy csak kis mértékben ( $29,4$ -ről  $27,1 \text{ N/mm}^2$ -re) csökkenti a hajlítószilárdságot az előzetesen öregített anyag hozzáadása.

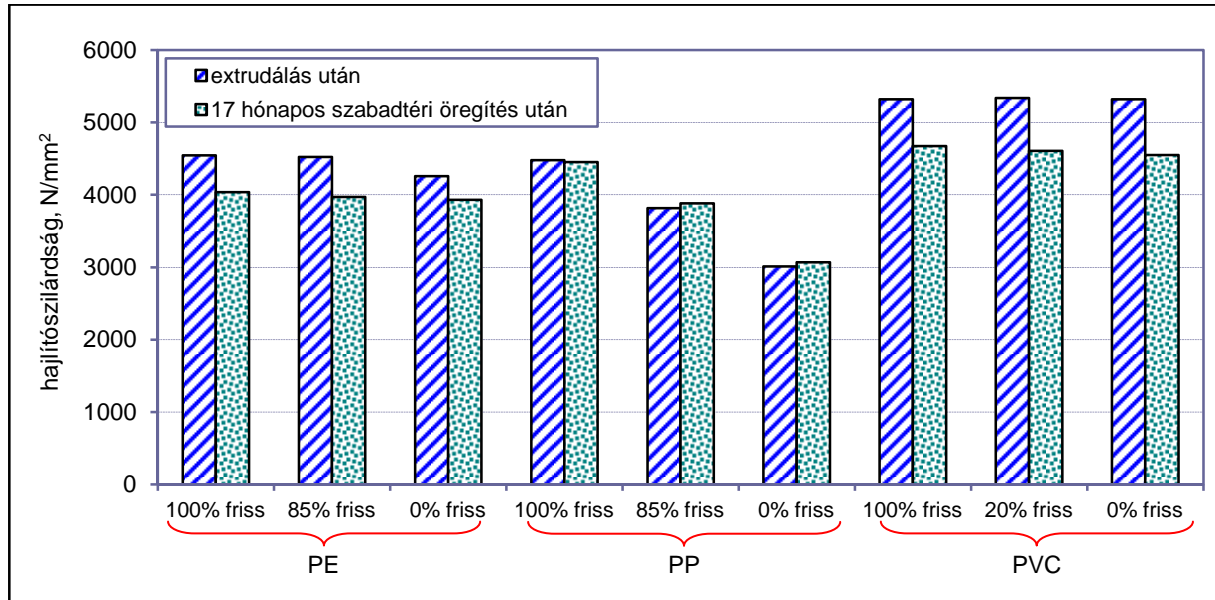


2. ábra Különböző arányban kevert frissen extrudált és öregített profilok hajlítószilárdsága

A 3. ábrán a hajlítómodulus értékei láthatók. A PVC mintáknak egyértelműen magasabb a modulusuk, mint a poliolefineké. A modulusértékeknél a 17 hónapos öregítés mind a PVC, mind a PE alapú kompozitoknál 11-12% csökkenést okoz, míg a PP-nél az öregítés alig változtatja a modulusot. Ugyanakkor a PP-alapú kompozit elemek modulusértékei jelentősen csökkennek a friss polimer arányának csökkentésével.

A teraszoknál a padozat elemeinek ki kell elégíteniük a *DIN EN 15534-4* szabványt. Ennek előírása szerint a kompozitlécek lehajlása 500 N terhelés mellett legfeljebb 2,5 mm lehet, illetve a lehajlási értékek átlaga nem lehet nagyobb 2,0 mm-nél. A mérések szerint ezt a követelményt valamennyi vizsgált minta kielégítette még a 17

hónapos öregítés után is. Az ütésállóságot ejtődárdás vizsgálattal értékelték. Valamennyi vizsgált kompozit – frissen és öregítés után is – teljesítette azt a követelményt, hogy tíz vizsgált mintából egyiknél sem keletkezhet 10 mm-nél hosszabb repedés vagy 0,05 mm-nél mélyebb benyomódás.

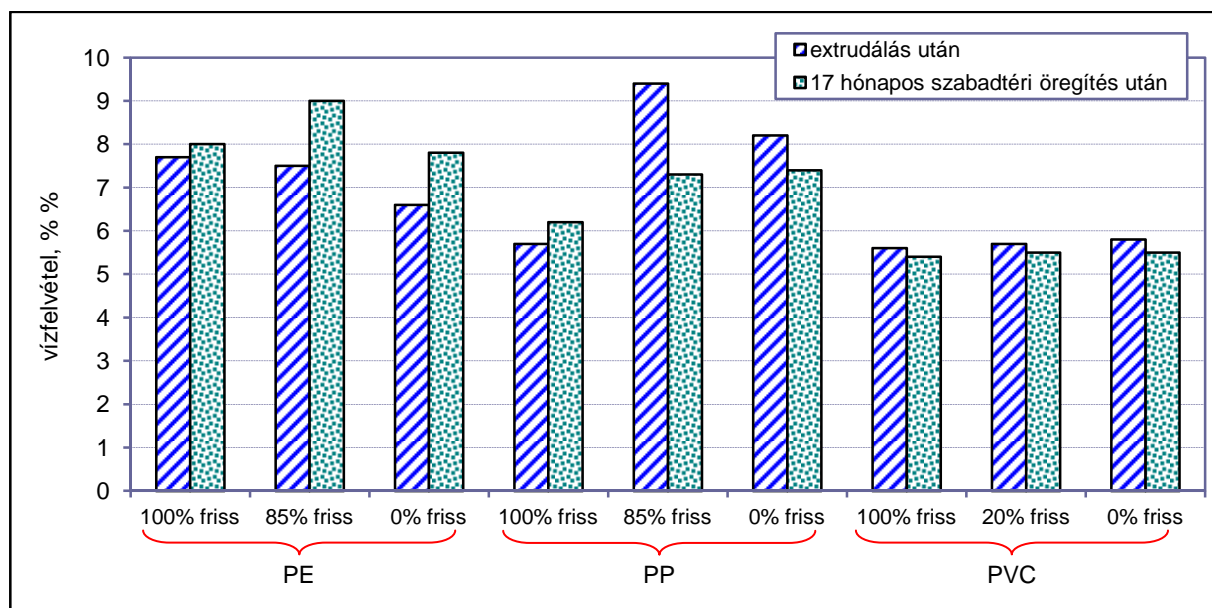


3. ábra Különböző arányban kevert frissen extrudált és öregített profilok hajlítómódulusa

### *Nedvességgel szembeni ellenállás*

A WPC kültéri alkalmazása szempontjából fontos a nedvességgel, ill. vízzel szembeni viselkedés. A kültéren használt elemekkel szemben a követelmény az, hogy 28 napos hideg vizes áztatás után a tömegnövekedés átlaga maximum 7% lehet. A 4. ábrán bemutatott vizsgálati eredmények szerint a legkisebb vízfelvételt a PVC alapú fakompozitok adták, mindegyikük kielégítette a 7%-os követelményt. A PP alapú kompozitok vízfelvétele csak 100% és 95% friss polimer felhasználása esetén marad az előírt 7% alatt. PE kompozitok közül azonban éppen a friss polimert nem tartalmazó minták adják a legjobb eredményt. 17 hónap után azonban ezen minták vízfelvétele is 7% fölé kerül. A vízfelvételt valószínűleg a követelményeknek megfelelő szint alá lehet csökkenteni a receptúra optimalizálásával, pl. tapadást fokozó szerekkel. A 17 hónapos öregítés hatására a PE kivételével általában nem nő, vagy egyenesen csökken a vízfelvétel. Hasonló eredményeket kaptak a különböző irányú duzzadás vizsgálatakor. A duzzadást vizsgálva a vastagság növekedésénél megengedett maximum 4%-ot valamennyi vizsgált kompozit kielégítette. A szélességre megadott 0,8% értéket a minták vagy nem, vagy csak nagyon kevéssel lépték túl, de a 17 hónapos öregítés után csak a PP alapú kompozitok duzzadása volt kisebb a határértéknél. Hosszirányban a

PE és a PVC alapú minták teljesítették a követelményt (max. 0,4%), de a PP-nél csak a 100 vagy 95%-ban friss polimerből készített darabok.



4. ábra Különböző arányban kevert frissen extrudált és öregített profilok vízfelvétele

### Színváltozás

Vizsgálták a minták színváltozását is 400 órás xenonlámpás megvilágítás hatására. A *Lab* színrendszerben kapott eredményeket a 3. táblázat foglalja össze. A  $L^*$  a világosságot, az  $a^*$  és a  $b^*$  a színkoordinátákat mutatják. Az érzékelhető színváltozás a  $\Delta E^*$ , amely az  $L^*a^*b^*$ -értékek euklideszi távolsága. A gyártás során a  $\Delta E^*$  értékre állapítanak meg előírást: a terasz padozataként használt elemek színeltérése a mesterséges öregítés hatására nem lépheti túl a 10-es értéket. A táblázatból látható, hogy a vizsgált minták közül ezt csak a PE alapú minták és a 100%-ban friss polimerből készült PVC kompozitok elégítik ki.

Az öregítés hatására bekövetkező színváltozást természetes öregítéssel is vizsgálták. Ez hasonló tendenciákat eredményezett, mint a mesterséges öregítés. A  $\Delta E^*$  értékek itt is a PP alapú mintáknál voltak a legnagyobbak és a PE alapúaknál a legalacsonyabbak. Az öregítési vizsgálatok értékelhetőségét rontja az a tény, hogy ipartól a kísérlet céljaira kapott fa-polimer kompozitok előlétele a vizsgálat megkezdése előtt különböző volt.

A fenti vizsgálatok azt mutatják, hogy a WPC kompozitokból készült tárgyak a használat után újra felhasználhatók új kompozitelemek gyártására, de az újrahasznosítás gyakorlati nagyüzemi bevezetése előtt, a minőség biztosításához további kísérletekre és mérésekre van szükség. Vizsgálni kell például a kúszási tulajdonságokat és a nedvességgel szembeni ellenállást ciklikus terhelések hatására.

Különböző összetételű WPC minták színváltozása extrudálás és 17 hónapos  
öregítés után

No.	Minta	$\Delta L^*$	$\Delta a^*$	$\Delta b^*$	$\Delta E^*$	
					Extrudálás után	Öregítés után
1	PE 100	+4,4	-0,3	-1,6	4,4	1,6
2	PE 95	+4,7	-0,1	-1,7	4,8	1,3
3	PE 85	+4,6	-0,1	-2,0	4,7	1,1
4	PE 0	+5,0	-0,1	-1,5	5,2	0,8
5	PP 100	+19,3	+0,7	+1,6	19,4	15,6
6	PP 95	+19,9	+0,6	+1,0	19,9	16,8
7	PP 85	+19,9	+0,5	+0,8	19,9	15,8
8	PP 0	+15,0	-2,1	-1,6	15,2	14,0
9	PVC 100	+5,7	+3,6	+4,2	7,9	15,1
10	PVC 20	+9,3	+3,5	+4,6	11,0	12,9
11	PVC 0	+10,9	+3,2	+4,3	12,1	11,5

### Az E+E hulladékokban levő műanyagok újrahasznosítása

Napjainkban a hulladékok közül az elektronikus hulladékok mennyisége növekszik a legnagyobb mértékben. Az elektronikus készülékek élettartama kifejezetten rövid, élettartamuk végén nagy kihívást jelent gazdaságos újrahasznosításuk. *A becslések szerint a világon évente 50 millió tonna E+E hulladék (elektrohulladék) keletkezik, amelynek egy része műanyag.* Az Európai Unióban évente mintegy 100 millió mobiltelefon vonnak ki a használatból, az Egyesült Államokban 30 millió komputer jut hasonló sorsra. Az utóbbi időben a több országban is életbe lépett előírásoknak megfelelően külön gyűjtik az elektrohulladékot, és nő az újrahasznosításuk is. Németországban például a komputerok 84%-át reciklálják, ez az arány lényegesen kisebb az Egyesült Államokban, ahol komputereknél 40%, mobiltelefonoknál csak kb. 11% az újrahasznosítás aránya.

A műanyagok felhasználásában – így az elektronikai eszközök gyártásában is – háromféle, különböző állapotban lévő műanyagot használnak fel: a friss műanyagot, a használat után begyűjtött és reciklált műanyagot (post consumer content, OCC) és a gyártási hulladékot (post industrial content, PIC). Ez utóbbi esetében a legegyszerűbb a visszavezetés a termelésbe. *Az informatikai eszközökből a használat után a műanyagok kinyerése és újrafelhasználása még nem megoldott.* A műanyagoknak csak 10%-át hasznosítják újra, szemben a fém alkatrészekével és az üvegével, amelyek hasznosítási rátája már 50–90% között van. A nagy különbség egyik oka, hogy a tartós termékekben használt műanyagokban lévő mérgező hatású anyagok, pl. égésgátlók,



más halogének és nehézfémek – ólom, ezüst, kadmium – korlátozzák az újrafelhasználásukat. Az ezekből visszanyert szekunder nyersanyagok tehát egészségügyi és környezeti kockázatot jelentenek, és így nem elégitik ki az egyre szigorúbb előírásokat. Mindez azt okozza, hogy E+E termékekből egyelőre nagyon kevés reciklált műanyag áll a felhasználók rendelkezésére. Pedig a visszanyert műanyagoknak sok előnyük van, nemcsak fenntarthatósági, hanem a gazdaságossági szempontból is. Ezt egyre több cég ismeri fel, és sokan használnak már 5–50%-ban szekunder nyersanyagot alapanyagként. Nagyobb mennyiséget használnak azok a cégek, amelyek házon belül rendelkeznek visszaforgatási lehetőséggel. Fontos technológiai lépés az adalékanyagok, elsősorban az égésgátlók adagolásának optimalizálása, de ugyanígy a hatékony, lehetőleg automatizált válogatás is.

A fenntarthatóság szempontjából kedvező megoldás az elektronikai eszközök élettartamának meghosszabbítása, vagyis hosszabb idejű használata. Ez nagymértékben a felhasználók döntése, hiszen közismert, hogy az újra cserélt elektronikai eszközök gyakran teljesen működőképesek. Ugyanakkor a gyártók annak örülnek, hogy vásárlóik átlagosan három év után kicserélik készülékeiket. Egy svéd tanulmány szerint csak Svédországban 2012-ben több mint 550 000 számítógépet vontak ki a használatból. Ezek maradványértéke összesen 140 millió dollár volt. Ezt használják ki azok a cégek, amelyek kifejezetten az infokommunikációs eszközök (IT) további felhasználására szakosodtak. Ezzel a tevékenységgel sok esetben sikerül növelni az élettartamot, de az is gyakori, hogy a felhasználó vállalatok belső előírásai nem teszik ezt lehetővé, vagy éppen a jogszabályok nehezítik az eszközök továbbadását.

Ösztönözheti a fenntarthatóság irányában végzett fejlesztéseket, ha a fogyasztók vásárlásaiknál a fenntarthatóság szempontjait is érvényre juttatják, például azt, hogy a készülék milyen arányban tartalmaz reciklált anyagot. Ösztönzi a fejlesztéseket egy jól működő tanúsítási rendszer is, amilyen például a svéd *TCO Certified Edge 2.0*. Ennek eléréséhez az adott IT-eszközben felhasznált műanyagoknak 85%-ban visszanyertnek kell lennie. A tanúsításokból részletes információk kaphatók arról is, hogy egészségre ártalmas anyagok nem kerülnek felhasználásra a gyártás során, és a használat során sem kerülnek a levegőbe. Ez az információ fontos lehet a visszaforgatás szempontjából is. Az egyes országokban a tanúsítások és a tanúsításokat végző intézmények befolyásolják a szakpolitikát, a szabványosítást és a különböző ökológiai szabályzásokat is, és ezáltal elősegíthetik, hogy egységes nemzetközi szabályozás jöjjön létre a fenntartható fejlődés érdekében.

Összeállította: Máthé Csabáné dr.

Schirp, A., Deetz, R., Hellmann, A.: End-of- Life-Recycling von Holz-Polymer-Werkstoffen = Kunststoffe, 106. k. 6. sz. 2016. p. 80–84.

Rydell, N.: Elektroschrott als Herausforderung = Kunststoffe, 105. k. 6. sz. 2015. p. 73–75.