SZABÓ VERONIKA ANNA[1]

Szerkezeti hab alkalmazása az építőiparban

1. IRODALOM

A világ teljes műanyagfelhasználása öt fő ágra bontható, ezek az építőipar, autógyártás, elektromos- és elektronikai ipar, mezőgazdaság és a csomagolóipar. 1970-től megkezdődött a polietilén-tereftalát (PET) palackok gyártása, amely jelenleg grandiózus méreteket ölt. 2016-ban több mint 480 milliárd műanyag palackot értékesítettek világszerte, ami exponenciálisan növekedett. Elegendő volt egy évtized, hogy a túlfogyasztás 300 milliárd palacktöbbletet mutasson a hulladéklerakókban. A becslések szerint több, mint fél milliárd műanyag palack fog forgalomba kerülni 2020-ban. Az Euromonitor International globális csomagolási trendjeinek becslései szerint 2021-re a műanyag palackok száma 583,3 milliárdra nő.[2]

A PET felhasználásának növekedése, tulajdonságainak köszönhetően legnagyobb mértékben a csomagolóiparban várható. Kis sűrűsége, átlátszósága, ütésállósága és a szén-dioxiddal szembeni gázzáró képessége tette lehetővé, hogy a csomagolóipar egészének legjelentősebb alapanyagává válhasson. Az egyutas csomagolóanyagok ugyanakkor nagyon hamar hulladékká válnak és komoly környezetterhelő hatásuk van. A PET természetes lebomlása meghaladja a félezer évet. Ezért a PET hulladékok újrahasznosítása iránti igény folyamatosan növekszik.[3]

A PET palackok okozta környezetterhelési probléma kiküszöbölésére elsődleges megoldást a reciklátum gyártása jelenti. Első lépcsőben ennek anyagában történő felhasználása. Azonban jó megoldás lehet a PET anyagának műszaki felhasználása kompozitmátrixként, vagy akár erősítőanyagként is. Fontos kutatási feladat az olyan kompozitok előállítása, amelyek javítanak az alapanyag mechanikai tulajdonságain és amelyek lehetőséget biztosítanak a reciklált polietilén-tereftalát (továbbiakban: rPET) nagymennyiségű felhasználására.

A kémiai eljárások alatt különféle reagensek segítségével a poliésztert alkotóelemeire bontják, amelyek azt követően monomerként szolgálhatnak PET, illetve egyéb polimerek előállításához.[4] Ezzel szemben a fizikai módszerek energiata-

[1] SZE Audi Hungaria Járműmérnöki Kar, gépészmérnök – műszaki menedzser. Témavezető: Dr. Dogossy Gábor, SZE Audi Hungaria Járműmérnöki Kar, Anyagtudományi és Technológiai Tanszék, egyetemi docens.

[2] Kriston L.: Belefulladunk a műanyaghulladékba, in *Piac&Profit*, 2010/5. szám, 38–42. o.

[3] Bánhegyi Gy.: Műanyaghulladék: elégetni vagy újrafeldolgozni? in *Műanyagipari szemle*, 2004/6. szám.

[4] La Mantia, Francesco Paolo –Vinci, Michele: Recycling poly(ethylene terephthalate), in *Polymer Degradation and Stability*, 1994, 45/1. no., pp. 121–125.

karékosabbnak mondhatók, ugyanis megőrzik az anyagba előzőleg befektetett energiát. Emellett azonban az újrahasznosított anyag degradálódik, tulajdonságai a használat során romlanak.[5]

Egy olyan tulajdonságjavító technológiát kívántam bemutatni, amely a többszöri feldolgozhatóságot nem rontja. Ez a technológia a kémiai habosítás, amelynek következtében kisebb tömegű, jobb fajlagos tulajdonságú, és teljes mértékben újrahasznosítható terméket tudtam gyártani. Véleményem szerint az újrahasznosított polietilén-tereftalát kémiailag habosított struktúrája megfelelő alapanyag az ipari hasznosításra.

A polimer hab fogalma alatt olyan kétfázisú rendszert értünk, amelyben statisztikus eloszlású, változó méretű gázbuborékok találhatóak polimer mátrixba ágyazva. Habosított termék készítésére szinte az összes hőre lágyuló, illetve számos térhálós polimer is alkalmas. A habosítási technológiák alapvetően három féle csoportba sorolhatók: mechanikai, fizikai és kémiai. A kémiai habosítás során gáz képezhető kémiai habosítószerek adagolásával, amelyek a feldolgozási művelet során a hő hatására elbomlanak, miközben a típusuktól függő gázt termelnek (pl. CO, CO2, N2, NH3).[6] A kémiai habosítószerek szerves vagy szervetlen szilárd vegyületek, amelyek elbomlanak a magas hőmérsékletű ömledékben. Szilárd bomlástermékeik gócképzőként hatnak. Rajtuk kívül nagymennyiségű gáz is keletkezik. A gócoknál kialakult gázbuborékok a lehűlő ömledékben kitágulnak és cellákat képeznek. A kialakított habszerkezet zárt cellás, az üregek jól elkülönülnek egymástól, nincsenek összeköttetésben, a felületük tömör, a mag felé növekszik a cellasűrűség, azaz szerkezeti hab állítható velük elő.[7]

A PET az újrahasznosítás során lánctördelődést szenved, amely az ömledék viszkozitás csökkenésében is megnyilvánul. Ez részben a feldolgozás során okoz nehézségeket, részben a kémiai habosítás során. A kémiai habosítás előtt mindenképpen szükséges visszaállítani az alapanyag eredeti szerkezetét. Ehhez különböző mesterséges adalékanyagokat teszteltem. Molnár cikkében[8] a technológiai paraméterek hatását vizsgálta a láncnövelővel és habosítóval fröccsöntött rPET habszerkezetére. A kísérletek során kapott eredmények azt mutatták, hogy a nyomás és az átkapcsolási pont jelentősen befolyásolják a habosított szerkezetet és tulajdonságait. Ha a nyomás csökken, a habosodási részarány növekszik, a cellaátmérők csökkennek. Az átkapcsolási pont növelésekor nem tapasztalható korreláció a cellák össztérfogatával, de átlagos mérete nőtt.

---

[5] Lusinchi, J. M. – Pietrasanta, Y. – Robin, J. J. – Boutevin, B.: Recycling of PET and PVC wastes, in *Journal of Applied Polymer Science*, 1998, 69/4. no., pp. 657–665.

[6] Pál K.: Műanyagadalékok ma és a jövőben, in *Műanyagipari szemle*, 2006/6. no., 47–56. o.

[7] Dogossy G.: Polimer habok, in Zsoldos Ibolya (szerk.): *Fejezetek nemfémes anyagok legújabb járműipari kutatási területeiből*, 2015, Széchenyi István Egyetem, Győr, 212–265. o., Czvikovszky T. – Nagy P. – Gaál J.: *A polimertechnika alapjai*, 2000, Műegyetemi Kiadó, Budapest.

[8] Molnár, B.: The Effect of Technological Parameters on the Foaming of Injection Molded, Recycled PET, in *Acta Technica Jaurinensis*, 2014, 7/1. no., pp. 1–10, DOI: 10.14513/actatechjaur.v7.n1.219.

A lánchosszabító adalékok hatásával több kutatás is foglalkozik. Turfa és társai a láncnövelőmesterkeverék hatását vizsgálták a PET folyási indexére. A mesterkeveréket 1%-ban, illetve 2%-ban adták az alapanyaghoz. Végeredményként megállapították, hogy az 1% adalékanyag lényegesen megnöveli a polimerláncok hosszát, míg a 2% a molekulaláncon belüli elágazások gyakoriságát növeli, köszönhetően a láncnövelő adalék több-funkciós molekula-szerkezetének.[9]

Ronkay és társai[10] gumirugalmas adalékokkal kívánják növelni az ütésállóság hatékonyságát. A gumirugalmas adalékok olyan töltőanyagszemcsék, amelyek között célszerűen kis filmvastagságot biztosítanak, egyenletes diszperzió mellett. A reaktív adalékok funkcionalizált végcsoportja javítja a PET mátrixhoz történő kapcsolódását, továbbá jobb eloszlást biztosítanak a mátrix és az adalékanyag közötti határfelületi energia megváltoztatásával.

Ronkay és társa a Du-Pont Elovaloy PTW típusú ütésállóságnövelő mesterkeverék alkalmazását tesztelték a reciklált PET esetében. Az ütésállóságnövelő összetételét tekintve 63% etilén, 31% butil-akrilát, 6% gricidil-metakrilát. 5 funkciócsoportot teszteltek az ütésállóságnövelő alkalmazhatóságának tesztelése érdekében. Kutatásukból kiderült, hogy a szakítóvizsgálat eredményeit gyengíti az ütésállóságnövelő alkalmazása, ezzel szemben a Charpy-féle ütőszilárdságot nagymértékben javítja. A 10%-os adagolás mellett arányos eltérést látunk a két mért érték között. Az ütőszilárdság növekedéséhez nem járul drasztikus csökkenés a húzószilárdság és a húzórugalmassági modulus tekintetében. Megállapítható, hogy a legfontosabb mechanikai tulajdonságok alapján a PET újrahasznosítása során létrehozott ütésállóságnövelő mesterkeverékkel javított anyag alkalmas lehet ipari alkalmazásra.[11]

Az építészet változásának számos jele van a 21. században. Az elsődleges ok, hogy a fosszilis enegiahordozó készletek végesek. Az építőipar területén is fontos a fenntartható és gazdaságos alapanyagok keresése, amelyek hozzásegítik az alkalmazókat az energiafelhasználás csökkentésére. Az átlagos háztartási energia felhasználásának túlnyomó része, mintegy 75,8% a fűtési energiát jelenti. Az engergiafelhasználás csökkentésének a kulcsa az épületek megfelelő, szakszerű hőszigetelése. Egy átlagosan hőszigetelt lakóépület külső falszerkezetén a teljes hőveszteség 30%, a talajon fekvő padlón 10-15%, a kéményen keresztül 10%, a tetőszerkezeten keresztül 20-25%, a nyílászárókon keresztül 20-30% jelentkezik. Épületeink hőszigetelésével a hőveszteség csökkenthető, amely hozzásegít a teljes energiafogyasztás csökkentéséhez. Ez nem csupán az épület fenntartási költségeinek redukálását, hanem az üvegházhatású gázok csökkentését is

[9] Tufa E. – Dogossy G. – Ronkay F.: Reciklált PET tulajdonságainak javítása reaktív extrúzióval, in *Anyagok Világa*, 2013/2. szám, 50–58. o.

[10] Ronkay F. – Kasza D.: Reciklált PET műszaki alkalmazhatósága, in *Műanyag és Gumi*, 2014, 51/3. szám, 88–91. o.

[11] Ronkay Ferenc: *PET palackok anyagának fizikai újrahasznosítása*, Doktori értekezés, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, 2006.

eredményezi. Az épületek fűtésén túl a légtechnikai berendezések üzemeltetésére fordított energia is csökkenthető megfelelő szigeteléssel.[12]

A kutatók körében közös cél a megfelelő szigetelőanyagok kifejlesztése. A természetes alapanyagok bevonásával elsődleges cél, hogy már az alapanyag előállítása során redukálni tudjuk az energiafelhasználást. Erre egy lehetőség az újrahasznosított anyagból történő termékelőállítás.

Asis Patnaika és társai[13] épületek hő- és hangszigetelésére tesztelték az rPET-et. Munkájuk során hulladékgyapotból és reciklált PET szálakból fejlesztettek ki építőipari szigetelőanyagot. A hulladék gyapjúszál nagyon jó hő- és hangszigetelő nyersanyag lehet, de mennyisége korlátozott, emiatt 50-50%-ban keverték össze rPET rostokkal, kétrétegű szövet formában. Referenciaként 100%-os rPET és 100%-os gyapjú mintákat készítettek. Minden mintát hőszigetelésre, akusztikai szigetelésre és nedvszívóképességre vizsgálták. A legjobb eredményt az 50%-ban rPET és 50%-ban hulladékgyapjúból álló minták érték el az 50-5700 Hz frekvenciatartományban. Ezek a táblák több mint 70%-os zajt nyeltek el. Az előállított anyag hővezetési tényezője 0,032 W/mK volt. Magas nedvességállósággal rendelkezett a minta. A nedvességállósági tesztet követően a hő- és hangszigetelési képessége nem romlott. A kutatás folytatásaként a kísérlet végtermékének lebomlását kívánják vizsgálni.

2. FELHASZNÁLT ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK

A kísérletek során a kereskedelmi forgalomban kapható, kék színű kristályosított PET regranulátumot (rPET) használtam. Kémiai habosítószer a Tracell IM 7200 volt, amelyet 4%-ban kevertem az alapanyaghoz. Kísérletem során, ennek elérése érdekében DEGA 2500 típusú szárítókamrában víztelenítettem az alapanyagot. Az extrudálást megelőzően a reciklált PET-et 24 órán keresztül szárítottam a szárítókamrában 100 °C-on. A meleglevegős szárítókamrában a keveréket az extrudálást követően 12 órán keresztül szárítottam 100 °C-on. A kísérletek során láncnövelőszerként CESA Extend-et használtam. Ütésállóság növelő adalékként Du-Pont Elovaloy PTW adalékot használtam fel. Különböző próbatesteket készítettem ICH 01904 típusú adagolása mellett. A legyártott keverékek pontos összetételét és jelölését az 1. táblázat tartalmazza.

[12] Bozsaky D.: *Építési hőszigetelő anyagok*, 2017, TERC Kft., Győr, 13–21.o.

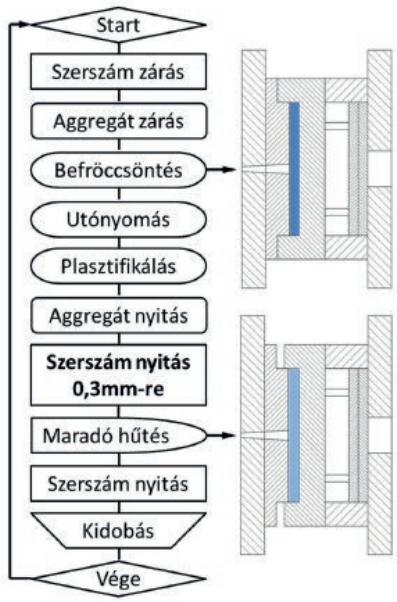
[13] Patnaik, A. – Mvubua, M. – Muniyasamy, S. – Bothaa, A. – Anandjiwalaa, R. D.: Thermal and sound insulation materials from waste wool andrecycled polyester fibers and their biodegradation studies, in *Energy and Buildings*, 2015/92. no., pp. 161–169.

1. táblázat: A fröccsöntött darabok összetétele

	rPET %	Calriant láncnövelő %	Du-Pont Elovaloy PTW ütésállóságnövelő %	Tracell IM 7200 %	Égésgátló adalék %
rPET	100	0	0	0	0
rPET2LN10UN4H5EG	100	2	10	4	5
rPET2LN10UN4H10EG	100	2	10	4	10
rPET2LN10UN4H20EG	100	2	10	4	20

A próbatestek előállítására Arburg ALLROUNDER 420C Golden Edition fröccsöntőgépet használtam. A megfelelő habosodási szint elérése érdekében a nyomáskülönbségek befolyásolhatóak a lélegző-szerszám technikával. A folyamat során a habosítószerrel elkevert polimert befröccsöntöttem a szerszámüregbe, ahol kialakult a darab kompakt felületi rétege a lehűlés során. Ezt követően a szerszám minimális megnyitásával a tér megnőtt, a nyomás csökkent, ezáltal a belül még ömledékállapotú anyag felhabosodott. A ciklus során 0,3 mm nagyságú szerszámnyitást alkalmaztam. (1. ábra)

1. ábra: Az alkalmazott fröccsöntési technológia[14]



[14] Szabó, V. A. – Dogossy, G.: Structure and properties of closed-cell foam prepared from rPET, in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2018, 426/1. no., 8.

A szerszámhőmérséklet megválasztását követően 35°C-ra temperált szerszám próbatesteket gyártottam (2. táblázat). A legyártott próbatestek habszerkezetét YXLON Y.CT Modular ipari CT berendezéssel vizsgáltam. Az ütéssel szembeni ellenállást CEAST 65-45.000 ütőművön 4J-os kalapáccsal, 62mm-es alátámasztással, EN ISO 179 szabvány alapján mértem. A szakítóvizsgálatot INSTRON 5582 egyetemes szakítógépen, A100 mm-es befogási hosszall rendelkező darabokat a vizsgálat elején 1mm/min értékkel kezdtem húzni. A rugalmassági modulus meghatározása érdekében, amikor elérte a nyúlás az 1%-os értéket, akkor átváltottam 5 mm/min sebességre. A méréseket az EN ISO 527 szabvány alapján hajtottam végre. Minden vizsgálat folytán 5 párhuzamos mérést végeztem, amelyek átlagát és szórását határoztam meg. A vizsgálatokat szobahőmérsékleten, 50%-os relatív páratartalom mellett hajtottam végre. A hajlítási vizsgálatokat szintén az INSTRON 5582 egyetemes szakítógépen végeztem az EN ISO 178 szabvány alapján. A vizsgálat során a 100 mm-es próbatesteket 10 mm/min sebességgel hajlítottam. FMVSS 302 tesztet végeztem a különböző próbatesteken, ez alapján elvégeztem az UL94-es besorolását a vizsgált anyagoknak.

2. táblázat: A fröccsöntési paraméterek

		Piskóta próbatest	Négyzetes próbatest
Szerszámnyitás	mm	0,5	0,3
Szárítási hőmérséklet	°C	80	80
Szárítási idő	h	16	16
Záróerő	kN	150	500
Szerszámhőmérséklet	°C	25	-
Fúvókahőmérséklet	°C	255	255
Adagtérfogat	ccm/s	35	65
Csigaforgás	m/min	25	25
Torlónyomás	bar	5	5
Fröccssebesség 1	ccm/s	30	35
Fröccsnyomás 1	bar	750	1000
Átkapcsolási pont	ccm	5	10
Utónyomástérfogat	ccm/s	30	20
Utónyomás p1	bar	150	550
Utónyomás p2	bar	50	400
Utonyomás t2	s	2	4,9
Utónyomás p3	bar	25	25
Utónyomás t3	s	1	0,1
Maradó hűtés	s	20	30
Ciklusidő	s	35,27	47,12

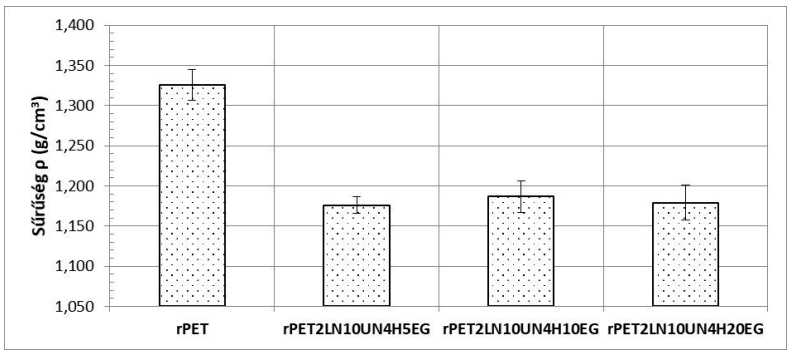
3. EREDMÉNYEK

A fröccsöntött próbatestek vizsgálatai során kitértem a habszerkezet jellemzésére, a termékek sűrűségére, valamint a mechanikai tulajdonságokra. A következő alfejezetekben ismertetem a kapott eredményeket.

3.1. Sűrűség

A habosítás egyik kedvező hatása a tömeg csökkenése. A kialakult cellastruktúra miatt a próbatestek sűrűsége lecsökken (2. ábra). Az 5% égésgátlószert tartalmazó próbatesteknél 11,38%-os, a 10%-os esetében 10,51%, a 20%-osnál 11,10%-os sűrűségcsökkenést tapasztaltam. A mérés eredményei szerint az 5 és 20%-os égésgátlószert tartalmazó minták rendezettebb habszerkezettel rendelkeznek, ez eredményezheti a nagyobb sűrűségcsökkenést. Összességében elmondható, hogy az égésgátló adalék alkalmazása nem gátolta meg a habképződést.

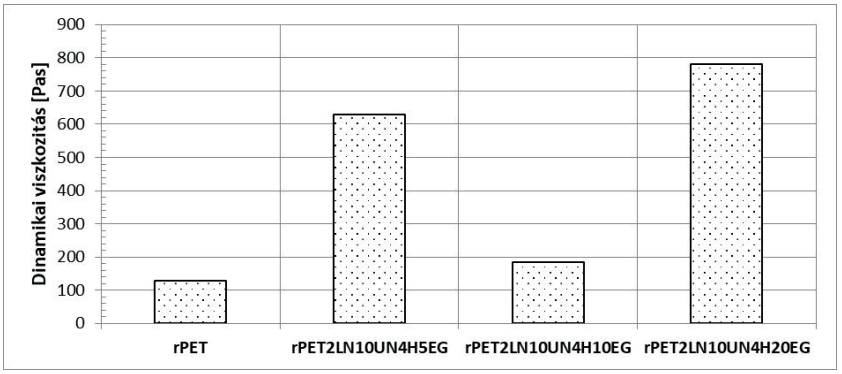
2. ábra: A próbatestek sűrűsége



3.2. Dinamikai viszkozitás

A 3. ábrán látható, hogy a vizsgált anyagok közül a tiszta reciklált PET-nek a legkisebb a viszkozitása. Az égésgátlószerek hozzáadása növelte a keverékek viszkozitását. Az 5%-os égésgátló alkalmazása mellett a viszkozitás közel hatszorosára nőtt. Nagymértékű visszaesést tapasztalhatunk a 10% égésgátló tartalmú anyag viszkozitásában, itt 42,69%-os volt a javulás mértéke, ugyanakkor az értékek jóval elmaradnak az 5 vagy 20%-os égésgátlótartalmú mintákhoz képest. Ennek az lehet az oka, hogy a benne található alkotóelemek szerkezete sérült a homogenizálás és a szárítás következtében. Feltételezhető, hogy a 10%-ban adagolt égésgátló tartalmú alapanyag a szárítás vagy a homogenizálás során degradálódott, amely negatív hatással volt a habszerkezet kialakulására.

3. ábra: A keverékek dinamikai viszkozitása

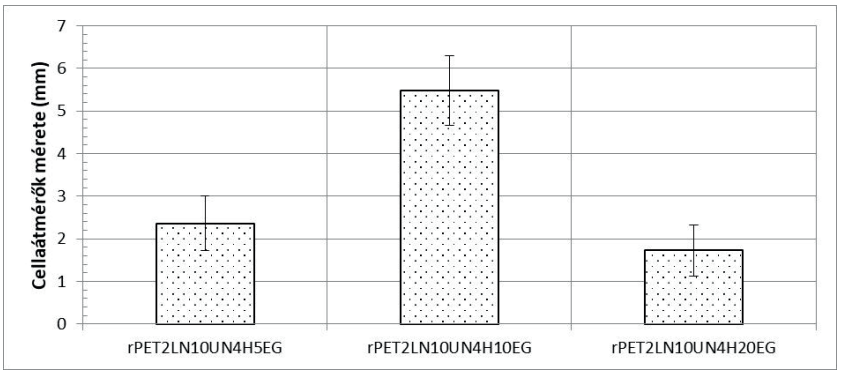


3.3. Morfológia

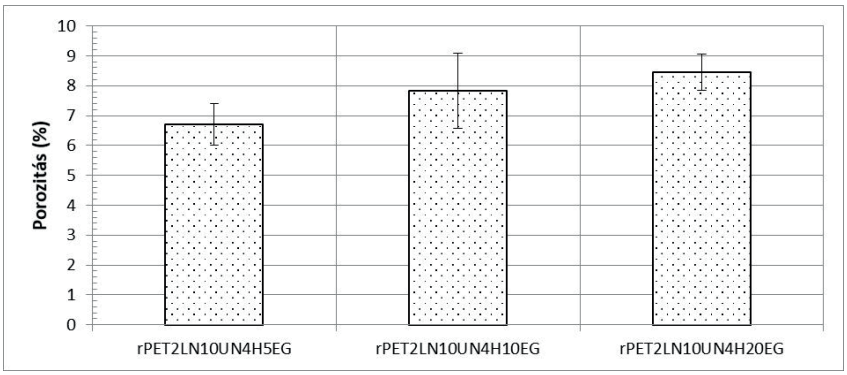
A vizsgálat során minden próbatest középső keresztmetszetét elemeztem. Egy próbatesten több mérési felület adta az eredmények átlagát. Vizsgálataim során 1280 kép/360°-os beállítással készítettem felvételeket.

A porozitás és a cellaátmérő vizsgálat eredményekből látható, hogy a legnagyobb cellaátmérők a 10% égésgátlószert tartalmazó mintáknál volt tapasztalható (4. ábra). Ennek oka a rendezetlen cellaszerkezet és a sérült héjfalak. A vizsgált minta szélső területén a cellák összenyíltak, ezzel sérült a zártcellás habszerkezet. A legkisebb cellaátmérők a 20% égésgátlót tartalmazó próbatesteknél jöttek létre. Ha a kapott értéket összevetjük a porozitási százalékkal (5. ábra), azt mondhatjuk, hogy sok apró cella jött létre, amelyek elkülönülnek egymástól.

4. ábra: Égésgátlószer hatása a cellaátmérők méretére a négyzet alakú próbatesteknél



5. ábra: Égésgátlószer hatása a porozitásra a négyzet alakú próbatesteknél



3.4. Mechanikai tulajdonságok

Megvizsgáltam, hogy az égésgátlók aránya milyen hatással vannak a mechanikai tulajdonságokra. Az eredményeket az 3. táblázatban összesítettem.

A szakítóvizsgálat eredményei alapján egyértelműen látható, hogy a habosodott szerkezet tulajdonságai jóval rosszabbak a nem habosodott rPET-hez képest. Ráadásul ezt a romló tendenciát csak erősítette növekedő égésgátló mennyisége.

A hajlítóvizsgálat során meghatározott hajlító rugalmassági modulus, valamint a határhajlító feszültség esetén is csökkenő tendencia figyelhető meg az égésgátló növelésével.

A Charpy-féle ütőszilárdság esetén a növekvő égésgátló hatására javul az anyag dinamikus igénybevétellel szembeni ellenállása, de még így is elmarad a habosítatlan, égésgátolt anyag értékétől.

3. táblázat: A fröccsöntött darabok mechanikai tulajdonságai

	E_T [GPa]	σ_T [MPa]	E_F [GPa]	$\sigma_{1,5h}$ [MPa]	a_{CN} [kJ/m^2]
rPET	4,58±0,03	50,03±1,48	7,47±0,61	67,14±0,65	64,73±7,67
rPET2LN10UN4H5EG	1,26±0,02	29,32±4,45	2,57±0,71	33,10±0,32	18,94±1,82
rPET2LN10UN4H10EG	1,17±0,02	26,68±1,63	2,26±0,04	30,79±0,72	29,38±3,54
rPET2LN10UN4H20EG	1,13±0,05	22,31±5,57	1,87±0,25	29,44±1,35	34,97±5,72

4. FMVSS 302 TESZT

Vizsgálatomban az önoltási folyamat mérésére tettem kísérletet az égésgátló adalék reakcióba lépése során. A teszt során azt az időt mértem, amíg a teljes égési folyamat le nem záródik és elérjük a kioltási pontot. Az égési folyamat megszűnéséig, a 60 másodperces előzetes hőközlést követően a 6. táblázatban látható idő telt el.

Az eredményekből azt láthatjuk, hogy az égésgátló arányának növelésével nem minden esetben csökken a kioltódási idő. A 10% égésgátlószert tartalmazó próbatesteknél sérült a zártcellás habszerkezet, a héjfalak elvékonyodtak és a cellák összenyíltak, ezt mutatta ki az anyag CT vizsgálata. Az égési teszt pedig megerősítette azt a feltételezést, hogy a 10% égésgátló tartalmú minták lassabban képesek lezárni az égési folyamatot. A habosítás tehát csak akkor van pozitív hatással az égésgátlásra, ha biztosítani tudjuk a zártcellás habszerkezetet. Az 5% égésgátlószer tartalmú próbatestek kioltási ideje így alacsonyabb lett, mint a 10%-osé. A legjobb eredményt a 20% égésgátlószert tartalmazó minták adták. Ahol gyakorlatilag a hőközlés megszűnését követően azonnal lezárult az égési folyamat.

4. táblázat: Égésgátló hatása a kioltódásra

Megnevezés	Kioltódási idő [s]
rPET2LN10UN4H5EG	25,84
rPET2LN10UN4H10EG	39,05
rPET2LN10UN4H20EG	1,03

Összességében elmondható, hogy a jobb habszerkezet kialakításában fontos szerepe volt az égésgátlószer használatának. A későbbi rendezett cellastruktúra pedig hozzájárult az égésgátlási tulajdonság javulásához. 20%-os alkalmazás mellett a minta kielégíti a V-0-ás éghetőségi osztályba tartozó követelményeket. Ha a gyakorlati alkalmazást tekintjük, az építészetben történő alkalmazás esetén az égésgátlóval kevert szigetelőblokkok képesek lehetnek visszaszorítani a tűz terjedését. Egy tűzoltási eset során az oltási idő visszaeshet, ezzel mind az anyagi, mind a személyi kár visszaszorítható.

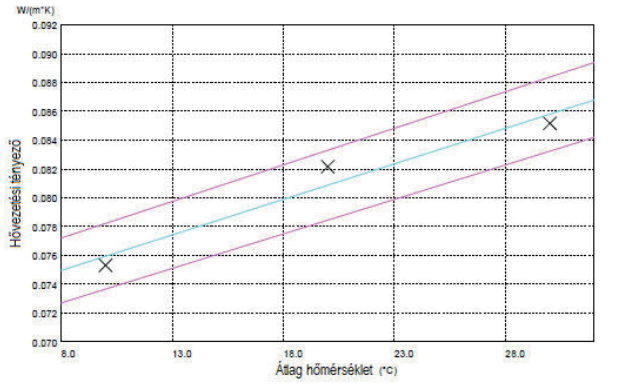
5. HŐSZIGETELŐKÉPESSÉG VIZSGÁLATA

A próbatest hőszigetelő képességének vizsgálata a SZE Építőanyagvizsgálati és Épületfizikai Laboratóriumában készült a Taurus TCA 300 hővezető képesség mérő kamrában. Az elkészült minta nem felelt meg pontosan az elvárt nagyságnak. A fröccsöntőgép kapacitásának megfelelően 2x100x100x8 mm-es lapot tettünk a mérőeszközbe. A mérést csak a legjobb éghetőségi paraméterekkel jellemezhető 20% égésgátlószer tartalmú próbatesteken végeztük el. A próbatest sűrűsége 0,72 g/cm^3, amely jóval alacsonyabb, mint a piskótapróbatestek sűrűsége.

Ennek oka, hogy a nagyobb szerszám térfogat és a kitöltési idő növekedése miatt több ideje volt a habosítószernek véghez vinni a teljes habosodási folyamatot. A nagyobb térfogaton a habosító ágenseknek lehetősége nyílt a teljes cellaképződési folyamatot véghez vinni, ezzel nőttek a cellaátmérők.

6 órás teszten esett át az anyag, amelyben 10, 20 és 30 °C mellett vizsgáltuk meg a hővezetési tényezőjét. Az eredményeket az alábbi ábra szemlélteti:

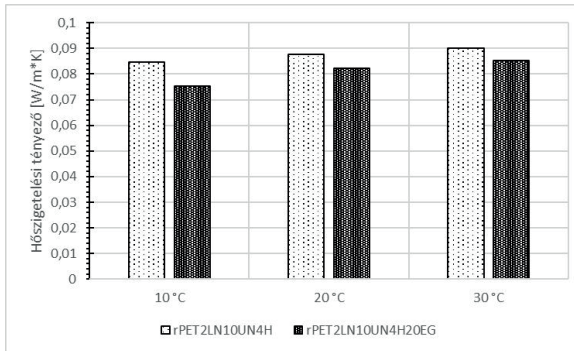
6. ábra: Hővezetési tényező vizsgálata



Az általam fejlesztett anyag 10 °C-os hőmérsékleten 0,0753 W/m*K, 20 °C-on 0,0821 W/m*K, 30 °C-on pedig 0,0851 W/m*K hővezetési tényezővel rendelkezik.

A kapott eredményeket összevetettem az égésgátlószert nem tartalmazó mintákkal. A jelenlegi eredményekből jól látszik, hogy a habosított rPET cellastruktúrájára pozitív hatással volt az égésgátlószer alkalmazása, amit alátámaszt az alacsonyabb hővezetési tényező minden mért hőfokon.

7 ábra: Égésgátlószer hatása a hővezetési tényezőre



6. ÖSSZEGZÉS

Az elvégzett mérések és a termékgyártást követően megállapítottam, hogy a rendelkezésre álló kristályosított kék színű palack regranulátum alkalmas zárt cellás habszerkezet kialakítására, az égésgátló adalék alkalmazása mellett is. A különböző mesterkeverékek alkalmazásával az anyag mechanikai igénybevételekkel szembeni ellenállása javult a sima habhoz képest. Az égésgátló adalékanyag megfelelő használatát követően javítani tudjuk a kialakult cellaszerkezetet. Ezzel visszafordítható az ütésállóságnövelő mesterkeverék negatív hatása a habstruktúrára.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- Bánhegyi Gy.: Műanyaghulladék: elégetni vagy újrafeldolgozni? in *Műanyagipari szemle*, 2004/6. szám.
- Bozsaky D.: *Építési hőszigetelő anyagok*, 2017, TERC Kft., Győr.
- Czvikovszky T. – Nagy P. – Gaál J.: *A polimertechnika alapjai*, 2000, Műegyetemi Kiadó, Budapest.
- Dogossy G.: Polimer habok, in Zsoldos Ibolya (szerk.): *Fejezetek nemfémes anyagok legújabb járműipari kutatási területeiből*, 2015, Széchenyi István Egyetem, Győr, 212–265. o.
- Kriston L.: Belefulladunk a műanyaghulladékba, in *Piac&Profit*, 2010/5. szám, 38–42. o.
- La Mantia, Francesco Paolo – Vinci, Michele: Recycling poly(ethylene terephthalate), in *Polymer Degradation and Stability*, 1994, 45/1. no., pp. 121–125.
- Lusinchi, J. M. – Pietrasanta, Y. – Robin, J. J. – Boutevin, B.: Recycling of PET and PVC wastes, in *Journal of Applied Polymer Science*, 1998, 69/4. no., pp. 657–665.
- Molnár, B.: The Effect of Technological Parameters on the Foaming of Injection Molded, Recycled PET, in *Acta Technica Jaurinensis*, 2014, 7/1. no., pp. 1–10, DOI: 10.14513/actatechjaur.v7.n1.219.
- Pál K.: Műanyagadalékok ma és a jövőben, in *Műanyagipari szemle*, 2006/6. szám, 47–56. o.
- Patnaik, A. – Mvubua, M. – Muniyasamy, S. – Bothaa, A. – Anandjiwalaa, R. D.: Thermal and sound insulation materials from waste wool andrecycled polyester fibers and their biodegradation studies, in *Energy and Buildings*, 2015/92. no., pp. 161–169.
- Ronkay F. – Kasza D.: Reciklált PET műszaki alkalmazhatósága, in *Műanyag és Gumi*, 2014, 51/3. szám, 88–91. o.
- Ronkay Ferenc: *PET palackok anyagának fizikai újrahasznosítása*, doktori értekezés, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, 2006.

▪ Szabó, V. A. – Dogossy, G.: Structure and properties of closed-cell foam prepared from rPET, in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2018, 426/1. no.
▪ Tufa E. – Dogossy G. – Ronkay F.: Reciklált PET tulajdonságainak javítása reaktív extrúzióval, in *Anyagok Világa*, 2013/2. szám, 50–58. o.