

Szabó Veronika Anna¹

Építőipari szigetelőblokk fejlesztése hulladékpalackból

Development of a Building Insulation Block from a Waste Bottle

Kutatásomban kémiai habosítás révén készítettem szerkezeti habot PET-palackból. Adalékanyagok bevonásával (láncnövelő, ütésállóság-növelő és égésgátló adalék) tovább javítottam a habok tulajdonságait. A fejlesztett anyag építőipari felhasználhatóságát 100 × 100 × 8-as négyzetes mintákon vizsgáltam. Eredményeim elemzése során megállapítottam, hogy az égésgátlószer arányának növelésével jobb cellaeloszlás érhető el, ami pozitív hatással van az anyag hőátvezetési tényezőjére. 20% égésgátlószer alkalmazása mellett a szigetelő táblák másodpercekben belül lezárják a teljes önkioltódási folyamatot.

Kulcsszavak: rPET, újrahasznosítás, építőipar, szigetelés, égésgátlás

In my research, structural foam was prepared from PET bottles using chemicals. Application of additives (chain-increasing, impact-enhancing and flame retardant) further improved the properties of the foams. The usability of the developed material in the construction industry was tested on 100x100x8 mm samples. Analysing the results, it has been found that the increase of the flame retardant has a positive effect on cell distribution, which improves the heat transfer coefficient of the material. Using 20% flame retardant, an insulating board completes a complete self-extinguishing process within seconds.

Keywords: rPET, recycling, construction industry, insulation, flame retarding

¹ Széchenyi István Egyetem, egyetemi tanársegéd, e-mail: szabo.veronika.anna@ga.sze.hu

1. Irodalom

Az építészet változásának számos jele van a 21. században. Az elsődleges ok, hogy a fosszilis energiahordozó-készletek végesek. Az építőipar területén is fontos a fenntartható és gazdaságos alapanyagok keresése, amelyek hozzásegítenek az energiafelhasználás csökkentéséhez. Az energiafelhasználás csökkentésének kulcsa az épületek megfelelő, szakszerű hőszigetelése.²

A kutatók körében közös cél a megfelelő szigetelőanyagok kifejlesztése. A természetes alapanyagok bevonásával elsődleges cél, hogy már az alapanyag előállításánál során redukálni tudjuk az energiafelhasználást, továbbá egyre inkább előtérbe kerülnek az újrahasznosított anyagok az építőiparban is.

Bár az utóbbi években jelentős marketingtevékenység figyelhető meg a polimerfelhasználás visszaszorítására, világviszonylatban egyre nő a hulladékba kerülő műanyagpalackok száma. A polietilén-tereftalát (PET-) palackok nyújtotta globális környezeti-gazdasági-társadalmi problémára az alapanyag-felhasználás redukálása mellett csak a nagymennyiségben történő újrahasznosítási lehetőségek bővítése teremthet megoldást. A termikus újrahasznosításuk a magas fűtőértékük miatt már kedvezőbb, azonban igazi körforgást csak a fizikai újrahasznosítással lehet elérni.³ Egyre több kutatás zajlik a hulladékpalackok habosított újrahasznosítására,⁴ valamint az így létrehozott új anyag ipari alkalmazására.⁵

Emin M. Çinara és Filiz Kar kutatásukban kompozitanyagok előállításával kísérleteztek, rPET-palackok és márványpor felhasználásával. Céljuk volt csökkenteni a palackok által okozott környezetszennyezést. Továbbá egy olyan anyag előállításán dolgoztak, amelynek költségei alacsonyabbak a jelenleg forgalomban kapható hasonló építőanyagokéhoz képest. Fontosnak tartották megtartani a márványpor magas mechanikai jellemzőit, továbbá az égéssel szembeni ellenállását. A PET-hulladékokból nyert részecskéket egy extruderben homogenizálták a márványporral. Az így kapott anyag mechanikai, termikus és morfológiai jellemzőit vizsgálták. Eredményeikből kiderült, hogy a márványporarány növelésével javulnak az anyag égéssel szembeni ellenállási tulajdonságai. A limitált oxigénszükségleti szint (LOI) a térfogat függvényében 24–25%, ahol az rPET 29%, míg a márványpor 25% volt. A márványpor arányának növelésével az anyag Vickers keménységmérése jobb eredményt hozott. A csupán rPET-et tartalmazó minta 15 HV, a márványpor emelésével ezt 35 HV-ig tudták javítani. Az anyag hővezetési tényezője a 0,065 W/mK volt, ezért megfelelő építési anyagnak. SEM-felvételekkel alátámasztották, hogy a márványrészecskék egyenletes eloszlást mutatnak az rPET-ben.⁶

Asis Patnaik és társai tanulmányukban hulladékgyapotból és rPET-rostokból fejlesztett hő- és hangszigetelési mintákat. A kutatás célja az rPET építőipari alkalmazhatóságának vizsgálata

² Borszák Dávid: *Építési hőszigetelő anyagok*. Győr, TERC Kft., 2017.

³ Garas Sándor: Újrahasznosított műanyag hulladék és gumiőrlemény alapú, nagy műszaki értékű termékek kifejlesztése (III.). *Műanyag- és Gumiipari Évkönyv*, 6. (2008), 49–56.

⁴ Dogossy Gábor – Ronkay Ferenc: Reciklált PET habosítása. In Csibi Vencel-József (szerk.): *21st International Conference on Mechanical Engineering*. Arad, XXI Nemzetközi Gépészeti Találkozó, 2013. 97–100.

⁵ Dogossy Gábor – Ronkay Ferenc: Hulladék PET minőség-növelt újrahasznosítása. *A Jövő Járműve*, 8. (2013), 1–2. 47–49.

⁶ Emin M Çinara – Filiz Kar: Characterization of composite produced from waste PET and marble dust. *Construction and Building Materials*, (2018), 163. 734–741.

volt. A hulladék gyapjúsálak hő- és hangszigetelő alkalmazások nyersanyagai lehetnek, ugyanakkor nincs olyan mennyiségű hulladékgyapjú, hogy a teljes építőipart elláthassa. Munkájuk során kétrétegű szövetet készítettek, amelyre 50%-ban gyapjút, 50%-ban rPET-rostokat használtak fel. Ezt a kevert anyagú mintát hasonlították össze a 100%-ban gyapjút, illetve 100%-ban rPET-et tartalmazó mintákkal. Eredményeikből kiderült, hogy a kétrétegű 50%-os hulladék és 50%-os rPET-szőnyeg biztosítja a legjobb hő- és hangszigetelési, nedvszívó és tűzállósági tulajdonságokat. Az rPET és hulladékgyapjú-szőnyegek több mint 70%-os incidens zajt abszorbeáltak az 50-5700 Hz frekvenciatartományban. A fejlesztett rPET és hulladékgyapjú-szőnyegek megfelelő nedvességállóságot mutattak, magas páratartalmú környezetben anélkül, hogy romlottak volna a hang- és hőszigetelési tulajdonságaik.⁷

Kutatásom kezdetén a kémiai habosítással kívántam reciklált PET integrál habszerkezetet gyártani. Az első kísérletek eredményeként sikerült zárt cellás habot gyártanom hagyományos fröccsöntőgépen kémiai habosítószer felhasználásával.⁸ A habszerkezet fejlesztése érdekében különböző habosítókészítmények alkalmazását teszteltem az rPET habszerkezetének kialakítására. A lánc-tördelődés okozta degradáció nagyban redukálta a habfejlődést, emiatt lánc-növelőszerezrel növeltem a molekulaláncok hosszát. A habszerkezet mechanikai igénybevételekkel szembeni ellenállásának javítása céljából 10% ütésállóság-növelő adalékot adtam a keverékhez, amely a Charpy-féle ütve hajlító szilárdságát 18,48%-ban javította. Az anyag továbbfejlesztéseként különböző égésgátlószereket teszteltem, a hab égéssel szembeni ellenálló képességének javítására.⁹ Az új keverék eredményeiből kiderült, hogy az égésgátlószer kismértékű alkalmazása is nagyságrendekkel javította a minták Charpy-féle ütve hajlító szilárdságát. Az égésgátlószer növelte a minták porozitását és csökkentette a cellaátmérőket, emiatt minden mechanikai vizsgálat eredménye módosult az adalékanyag alkalmazása mellett. Jelen cikkemben a fejlesztett anyag építőipari szigetelőblokkként történő felhasználhatóságát vizsgálom.

2. Felhasznált anyagok, módszerek

A kísérletek során mátrixanyagként a kereskedelemben kapható kék kristályosított PET-regranulátumot (rPET) (Fe-Group Invest, Budapest, Magyarország) használtam 0,8 dl/g belső viszkozitás (IV) értékkel. CESA Extend NCA0025531-ZA-t (Clariant, Muttenz, Svájc), amely Joncryl ADR 4368 (Johnson Polymers, Studley, UK) típusú epoxi-alapú sztírol-akril multifunkcionális oligomer reagenst tartalmaz, alkalmaztam lánc-növelő adalékanyagként. Az Elvaloy PTW (Du-Pont, Midland, USA) típusú etilén-terpolimert (63% etilén, 31% butil-akrilát, 6% glicidil-metakrilát) használtam ütésállóság-növelő adalékanyagként. Égésgátló adalékként ICH Fl ret 01904 (ICC-Chemol, Budapest, Magyarország) 85% bróm szerves vegyület diszperziójával

⁷ Asis Patnaik et alii: Thermal and Sound Insulation Materials from Waste Wool and Recycled Polyester Fibers and Their Biodegradation Studies. *Energy and Buildings*, 92. (2015), 161–169.

⁸ Szabó, Veronika Anna – Dogossy, Gábor: Structure and properties of closed-cell foam prepared from rPET. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 426. (2018), 012043.

⁹ Szabó, Veronika Anna – Dogossy, Gábor: Investigation of Flame Retardant rPET Foam. *Periodica Polytechnica Mechanical Engineering*, 64. (2020), 1. 81–87.

etilén-kopolimerben alkalmaztam. Tracell IM 7200 (Tramaco, Pinneberg, Németország) endo-term vegyület, 120 ml/g gáz expanzióval és 70% habosítószer-tartalommal kémiai habosító-szerként lett alkalmazva.

Az rPET-et 24 órán át 100 °C-on szárítottam, majd az adalékanyagokkal összekevertem (1. táblázat). Az LT 20-440 (Labtech Engineering, Samut Prakan, Thaiföld) ikercsigás extrudert alkalmazva a keveréshez 265 °C olvadási hőmérsékleten. Az előállított regranulátumot további 12 órán át 100 °C-on szárítottam, majd a 100x100x8 mm-es négyzet alakú próbatesteket készítettem Allrounder Advance 420C Golden Edition (Arburg, Lossburg, Németország) fröccsöntőgéppel, lélegzőszerszám-technológiával, a következő paraméterek mellett: fúvóka hőmérséklete: 265 °C, befröccsöntési sebesség: 45 cm³/perc, szerszám hőmérséklete: 35 °C.

1. táblázat. A minták anyagösszetétele

	rPET%	Láncnövelő	Ütésállóság-növelő	Habosító	Égégátló
	[phr]				
rPET	100	0	0	0	0
rPET2LN10UN4HSEG	100	2	10	4	5
rPET2LN10UN4H2OEG	100	2	10	4	20

Forrás: a szerző szerkesztése

A minták belső struktúráját egy ipari röntgen- és CT-géppel vizsgáltam (YXLON Modular) 0,027 mm-es felbontás, 200 kV csőfeszültség és 0,1 mA csőáram mellett. A detektálást síkképernyős, 700 ms-os integrációs idővel szűrő nélkül végeztem. Összesen 1440 vetített kép készült a rekonstrukcióhoz. A cellák porozitásának és átmérőjének meghatározásához a VGStudio MAX 2.2-t használtam.

A hőszigetelési képesség mérését Taurus TCA 300 hővezetőképesség-mérő kamrában végeztem MSZ EN ISO 10456 szabvány alapján.

FMVSS 302 teszt során az égetőkamrában teszteltem a minták égéssel szembeni ellenállását. A minták 80 × 100 × 8 méretre vágását hagyományos szalagfűrészsel hajtottam végre. A teszt során gyújtáskor a tartót a próbatesttel betoltam a láng feléig, majd 15 másodperc elteltével kihúztam a lángból, ha a láng kialudt, ismételten meggyújtottam. Az égés az első jel elérésétől mérendő és a második jel elérésével kapott időintervallumból számítható a láng terjedési sebessége.¹⁰

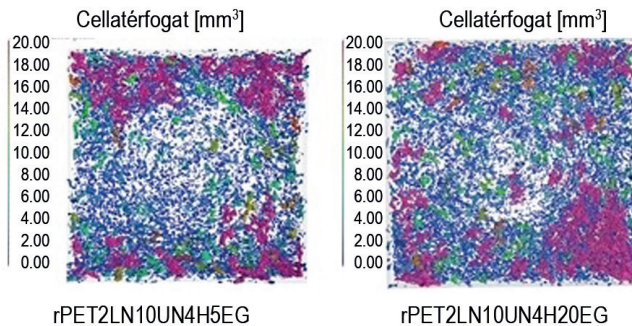
3. Eredmények és kiértékelésük

A laboratóriumi kutatómunka alkalmával megvizsgáltam a gyártott próbatestek habszerkezetét, hőszigetelő képességét és égéssel szembeni ellenálló képességét.

¹⁰ Garas Sándor: Műanyagok égésgátlása I. Alapismeretek. *Műanyag és Gumi*, 48. (2011), 3. 93–99.

3.1. A próbatetek CT-vizsgálatának eredményei

A minták CT-feltételei az 1. ábrán láthatók. A gyártás során az ömledék a középső pontban érkezett az üregbe, ezért az látható, hogy a külső területek jobban habosodtak. Ennek elsődleges oka, hogy a habosítószer bomlásának következtében a habosító ágens által képzett gázbuborékoknak nagyobb területe és több ideje volt a kitágulásra. Mind a két mintánál tapasztalható eltérés a cellasűrűségben a középső és a szélső területek között. Ezzel szemben a 20% égésgátlószert tartalmazó minták középső területein is láthatók nagyobb cellák. Ennek oka, hogy az égésgátló magasabb arányban történő alkalmazása jobb cellaeloszlást eredményezett a gyártás során. A minták felületén a temperált szerszámmal érintkezve tömör héjfal alakult ki. A CT-felvételen látható, hogy a héjfal nem egyenletes a teljes felületen. A héjfal vastagsága változik a cellaeloszlás függvényében a minta kerületén. A 20% égésgátlószert tartalmazó minta porozitása 19,15%-kal nagyobb, mint az 5% égésgátlószert-tartalmú mintáé. Az égésgátlószert növelésével a habszerkezet jobban reprodukálható, az eredmények szórása redukálódik. A cellaátmérők vizsgálatát követően megállapítottam, hogy kisebb cellaátmérők jöttek létre a 20% égésgátlót tartalmazó próbateteknél. A kapott értékeket összevetve a porozitási százalékkal az állapítható meg, hogy sok apró cella jött létre, amelyek elkülönülnek egymástól.



1. ábra. A minták CT-felvétele

Forrás: a szerző szerkesztése

3.2. A minták szigetelőképességének vizsgálata

A mintákat 6 órás tesztnek vetettem alá, amelyben 10, 20 és 30 °C mellett vizsgáltam meg a próbatetek hővezetési tényezőjét. Az égésgátlószert arányának növelésével redukálódott a hőáteresztési tényező. Ez alátámasztotta kezdeti feltételezésemet, miszerint a rendezett habszerkezet elősegíti az anyag építési szigetelőként történő felhasználhatóságát. Az 5% égésgátlószert tartalmazó minta 10 °C-os hőmérsékleten 0,0829 W/mK, 20 °C-on 0,0854 W/mK, 30 °C-on pedig 0,0878 W/mK hővezetési tényezővel rendelkezik. Összességében elmondható, hogy minden mért hőmérsékleten csökkent a hőáteresztési tényező mértéke

az égésgátlószer arányának növelésével. Ezzel szemben a hőmérséklet növelése mellett nem volt arányos a változás.

3.3. FMVS 302 teszt

A vizsgált darabok egyike sem érte el az első mérési jelölést, 60 másodperces hőközlés esetén sem. Ezért a lángterjedési sebesség mérésére nem volt lehetőség a teszt során. Vizsgálatomban az önoltási folyamat mérésére tettem kísérletet. Az égésgátló-adalék reakcióba lépése során 60 másodperc hőközlés után mértem a teljes önkioltódási folyamatot. Az égésgátló aránya hatással volt az előégetés során kialakuló elszenesedett terület nagyságára. A 20% égésgátlószeret tartalmazó mintáknál a teljes szenesedett terület peremhatára 2,82 mm volt. Az anyagroncsolódás is itt volt a legalacsonyabb mértékű. Az 5% égésgátlószeret tartalmazó próbatest beégési határa 8,81 mm. A 20% égésgátlószeret tartalmazó próbatestek esetében gyakorlatilag a hőközlés megszűnését követően azonnal lezárult az égési folyamat, a teljes önkioltódás 1,03 másodperc alatt végbement.

4. Konklúzió

Az elvégzett mérések és a termékgyártást követően megállapítottam, hogy a rendelkezésre álló kristályosított kék színű palackregranulátum alkalmas zárt cellás habszerkezet kialakítására, az égésgátló adalék alkalmazása mellett is. Az égésgátló adalékanyag megfelelő használatát követően sikerült javítani a kialakult cellaszerkezetet. A szigetelőképeség mérése során azt tapasztaltam, hogy az égésgátlószer arányának növelésével redukálódott a hővezetési tényező, ez összefüggésbe hozható a porozitási arány növekedésével. Az FMVSS 302 tesztet 20%-os égésgátló-alkalmazás mellett a minta 1,03 másodperc alatt lezárta az égést. A kutatás folytatásaként fontosnak tartom a pontos égésgátlóarány meghatározását a minél nagyobb rPET-felhasználás érdekében.

5. Köszönetnyilvánítás

A kutatás a Kék Bolygó Klímavédelmi Alapítvány hozzájárulásával, az Ökotudatos fiatalok támogatása program keretében, a Kutatási munka ösztöndíj pályázat finanszírozásával készült.

Felhasznált irodalom

- Bozsaky Dávid: *Építési hőszigetelő anyagok*. Győr, TERC Kft., 2017.
- Dogossy Gábor – Ronkay Ferenc: *Reciklált PET habosítása*. In Csibi Vencel-József (szerk.): *21st International Conference on Mechanical Engineering*. Arad, XXI Nemzetközi Gépészeti Találkozó, 2013. 97–100.
- Dogossy Gábor – Ronkay Ferenc: *Hulladék PET minőség-növelt újrahasznosítása. A Jövő Járműve*, 8. (2013), 1–2. 47–49.

- Çınara, Emin M. – Filiz Kar: Characterization of composite produced from waste PET and marble dust. *Construction and Building Materials*, 163. (2018), 734–741. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.12.155>
- Garas Sándor: Újrahasznosított műanyag hulladék és gumiőrlemény alapú, nagy műszaki értékű termékek kifejlesztése (III.). *Műanyag- és Gumiipari Évkönyv*, 6. (2008), 49–56.
- Garas Sándor: Műanyagok égésgátlása I. Alapismeretek. *Műanyag és Gumi*, 48. (2011.) 3. 93–99.
- Patnaik, Asis – Mlando Mvubu – Sudhakar Muniyasamy – Anton Botha – Rajesh D. Anandjiwala: Thermal and Sound Insulation Materials from Waste Wool and Recycled Polyester Fibers and Their Biodegradation Studies. *Energy and Buildings*, 92. (2015), 161–169. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.01.056>
- Szabó, Veronika Anna – Dogossy, Gábor: Structure and Properties of Closed-Cell Foam Prepared from rPET. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 426. (2018), 012043. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/426/1/012043>
- Szabó Veronika Anna – Dogossy Gábor: Investigation of Flame Retardant rPET Foam. *Periodica Polytechnica Mechanical Engineering*, 64. (2020), 1. 81–87. DOI: <https://doi.org/10.3311/ppme.14556>