

Optimális (egyúttal hasznos) környezetkímélő műanyag hulladék likvidálás

Tóth Attila, KETK Konstantin Filozófus Egyetem, Nyitra
Csáky Antal, KETK Konstantin Filozófus Egyetem, Nyitra
Libant Vladimír, Styrcon s.r.o., Gímes

1. Bevezetés

Annyit termeljünk, amennyit a környezetünk befogadni képes, illetve ha ez nem sikerül, akkor valamennyi kimaradt hulladékot hasznosítsuk újra. A kilencvenes évek elején sikerült a polisztirol forgács maradványokat újrahasznosítani. Mégpedig betonba öntéssel kitűnő hőszigetelő paneleket állítottunk elő. Más típusú műanyagreszeléktől, hulladékoktól azonban étetéssel próbáltunk megszabadulni. Mint kiderült egészségre káros, mérgező gázok keletkeznek melléktermékként. A következő lépésben pedig sikerült ezt a gázt felfogni, hermetikusan tárolni, és újrahasznosítva fűtőanyagként alkalmazni a cement étetésénél (Tóth–Tvrdoň 2007). Így a műanyag hulladékot környezet kímélően újrahasznosíthatjuk a lehető legkevesebb maradék égéstermékkel (hasonló melléktermék keletkezik, mint a földgáznál: korom, illetve széndioxid, és nagyon kevés más szennyező oxid). A cement étetésénél azonban csak korlátozott mennyiséget tudunk újrahasznosítani (Tóth–Csáky 2016). Az elmúlt évtizedben a használt PET üvegekből megszámlálhatatlanul sokat sikerült felhalmozni, amiknek lebontásán illetve újrahasznosításán dolgozunk. Nagyon örülnénk, ha nagy részét is sikerülne újrahasznosítani.

Erre adódik megoldásként az, hogy zúzott PET részecskéket egyfajta szigetelőnek alkalmazunk, amit építészeti jellegű felhasználásra szánunk. A kívánt újfajta anyag hasonló lenne, mint az az anyag, amelyet már bemértünk, és egy kisvállalat a gyártását is felvállalta eléggé nagy mennyiségben. Hiszen a betonba öntött polisztirol golyócskák, lapokként jó szigetelőként mutatkoztak. Ez a Styrcon szigetelőanyag (Styrol–Concrete idegen eredetű szavak összevonásával alakult a gyártmány megnevezése). A PET anyaggal töltött lapocskák ehhez hasonló tulajdonsággal rendelkeznek, a fizikai tulajdonságai tehát valószínűleg hasonlóak lesznek. A betonba öntött polisztirol golyócskák kísérletileg előállított lapjainak a tulajdonságait mértük meg. Megkezdjük a nagyiparba való bevonását is. Evégett szükségessé vált az újfajta anyag mechanikai tulajdonságait összehasonlítása az építészetben használt 3 leggyakrabban használt szigetelőanyaggal. A lapocskák alkalmazhatóak az ún. szendvicsházak vasszerkezetének belső és külső falazataként (Tóth 2007). A szerelt házak kívülről nem különböztethetőek meg a téglaházaktól, de még belülről sem, a falak vastagsága a hőszigetelő tulajdonság függvénye. A globális felmelegedés szempontjából sajnos várhatóak földrengések, árvizek, ezért is lesz keletje a vasszerkezetű, mélyre cölöpölt szendvicsházaknak (Tóth 2010). Az eddigi tapasztalatok alapján a Styrcon szigetelőanyag nedvesedés után kiszárítható, áteresztőképessége a természetes anyagokéhoz hasonló és tűzálló. Ezáltal alkalmasnak bizonyul a globális felmelegedés következtében kialakult viharok, tűzvészek és árvizek kivédésére is (Tóth 2008). Tervezzük az „újrahasznosított” PET reszelék mechanikai tulajdonságainak a mérését.

2. A Styrcon 200 fizikai tulajdonságai

A Styrcon 200 (Styrcon) polisztirol golyók, cement és mészköliszt keveréke, olyan préselt lemez, amely kitűnő hőszigetelő anyag. Eredetileg egyszerű szigetelőanyagnak lett szánva a préselt polisztirol (PS) lemezek helyett, ami nem „lélegzik”. Ez a betonba öntött új anyag drágább a

klasszikus préselt PS lemezeknél, de a hőszigetelése csak jelentéktelenül kisebb. Az újkori éghajlati változások azonban alkalmasnak mutatták a vaspillérekre helyezett vaskonstruktív szendvicsházak falazataként.

A beton vázszerkezet érdekes mechanikai és termikus tulajdonságokat kölcsönöz az anyagnak, ilyen például az áteresztőképesség, a kiváló tűzálló tulajdonság, miközben a szilárdsági mutatók nem változnak. A gyártott 0,9x0,45m nagyságú, különböző vastagságú Styron lapokban a beöntés folyamán makro pórusok (nem kapilláris) alakulnak ki. Az intergranuláris tér mikro ventilációja áteresztja a gázokat, gőzöket és kis mértékben a folyadékokat is.

A tűzállóságot éppen a cementváz biztosítja, amelyek a polisztirol golyócskákat egymástól távol tartják, így megakadályozzák a tűz terjedését. Az anyag nem csöpög, nem roppan össze, csupán füstölög és a tűzből való kivitele után is megmarad az alakja. A cementváz az alakállandóságot és a nagyon jó szilárdságot is biztosítja, és a polisztirolhoz hasonló hőtágulása végett rugalmas.

Mechanikai szempontból is vizsgálatnak vetettük alá a Styron hőszigetelőt, hogyan változik deformáció hatására a Styron szerkezete. Ezeket a tulajdonságokat összehasonlítottuk más hőszigetelő anyagokkal, mint például az expandált polisztirol (EPS 70), extrudált polisztirol (XPS 200) és az FKD üvegszálal gyapot. Tanulmányoztuk azokat a tulajdonságokat, amelyek szükségesek az építőiparban. A térfogatváltozást nemcsak a szabvány által előírt 10%-os megterhelésnél mértük, hanem megfigyeltük az 50%-os zsugorító tesztet is. A térfogati változásnál elhanyagoltuk a kismértékű más irányba ható változásokat, így egyirányú megterhelést mértünk. A vizsgálati eredmények (a második oszlopban található az európai szabvány, amely szerint a vizsgálatokat elvégeztük):

Tűzállósági tényező	STN EN 13501-1	A2 – s1,d0
Diffúziós ellenállás μ	EN 12086	6 - 9
Hővezetési együttható λ	EN 12667	0,058 W.K ⁻¹ .m ⁻¹
Fajsúly	EN 1602+AC	200 kg.m ⁻³
Általános méret: hosszúság, szélesség	EN 822	900x450 mm
Vastagságok	EN 823	40,50,60,70,80,90,100 mm
Szakítószilárdság (merőleges irányú)	EN 1607+AC	min. 80 kPa
Nyomószilárdság 10 % zsugorítás	EN 826 min.	180 kPa
Hajlítószilárdság	EN 12089	min. 170 kPa
Nyírószilárdság	EN 12090	min. 80 kPa
Alakállandóság 70°C és 90% páratartalomnál	EN 1604+AC	± 0,5% 3.

3. Alakváltozás

A szigetelőanyagok külső erők hatására megváltoztatják alakjukat. Ez az alakváltozás függ a hőszigetelők összetételétől, valamint a részecskék közötti szerkezet egybetartó erőitől. Az alakváltozást a legtöbb esetben szakítószilárdság segítségével mérhetjük, mely természetesen nagyban függ a hőszigetelő anyagok vastagságától.

A deformáció lehet rugalmas és rugalmatlan, attól függően, hogy a szerkezet visszakapja-e az eredeti alakját a megterhelés után, vagy sem. Némely esetben csak a minták éle torzul nem számottevően. De például az üvegszálal termékek esetében rugalmas alakváltozás jön létre, az elektrosztatikus erők visszatérítik a mintát az eredeti állapotába. Extrudált polisztirol esetében

nyílt törésvonal keletkezik, ahol a részecskék közelebb kerülnek egymáshoz. Ez a vonal hullámformájú. Anizotróp minták esetében a térfogatváltozást a következő egyenlettel írhatjuk le:

$$\frac{\Delta V}{V} = -\frac{1}{K} \Delta p,$$

ahol ΔV a térfogatváltozás, ami a Δp nyomásváltozás hatására jött létre. A V az eredeti térfogat a K paraméter pedig a rugalmassági modulus. Egyirányú megterhelés és alakváltozás esetében ezt az egyenletet éppen a Hook törvénye adja. A nyomásváltozás hatására kialakult térfogatváltozás függ az anyagok szerkezetétől és a sűrűség megnövekedésével nőhet.

A nyomó, hajlító és csúszó szilárdságot a TIRAtest 2200 mérőműszerrel mértük. Ugyanúgy az

F_p erő határára történő zsugorodást is (1. sz. kép). A zsugorodás százalékban az $\varepsilon = \frac{x_m}{D_0} \cdot 100$

alakban fejezhető ki ahol X_m a legnagyobb erő elmozdulás mm-ben és D_0 a kezdeti vastagság.



1. sz. kép: Nyomószilárdság, csúszó és hajlítószilárdság mérése kelet-német TIRAtest 2200 gépen

Érdekes módon az extrudált polisztirol esetében a 15kg/m^3 sűrűségű anyagnál már 2-3 százalékos változás esetében is elérhető a rugalmassági határ, további megterhelés maradandó alakváltozást okoz (Kovačik-Beniač 2005). A vizsgált lemezek vastagsága leggyakrabban 50 mm vastagságú, 100 cm^2 alapterületű, de vizsgáltunk 40 és 80 mm vastagságú mintákat is, azok 10 és 50 százalékos zsugorodási tesztjét. A megterhelés sebessége a szabvány szerint elő van írva (ÚNMS SR 1999). A relatív hossz mértéke a $\Delta h / h$ arány segítségével van kifejezve. Az ε zsugorodás a 10%-os megterhelésnél σ_{10} , amiből kiszámítható a rugalmassági modulus E (Kunc – Zima – Wanner 1961).



2. sz. kép: A vizsgált minták a zsugorosteszt elvégzése után: Styron, XPS, EPS, FKD.

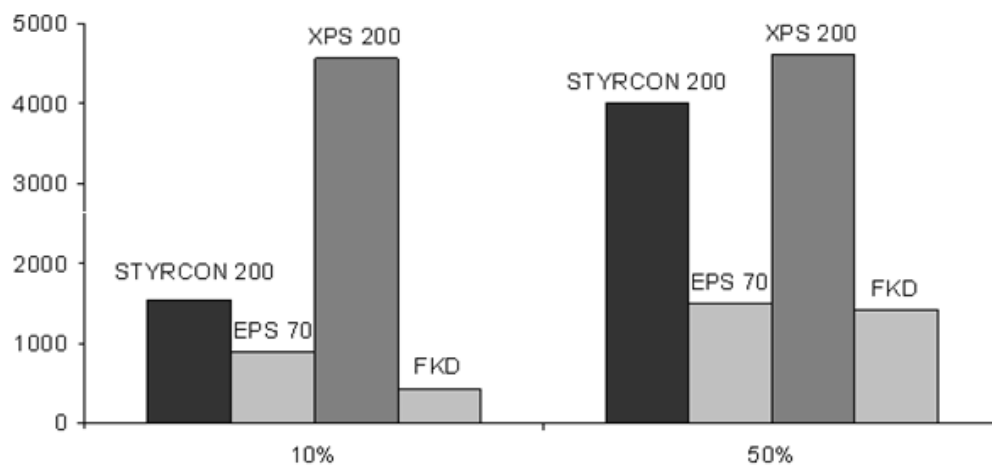
$$\sigma_{10} = 10^3 \cdot \frac{F_{10}}{A_0}$$

$$E = \sigma_{10} \frac{d_0}{X_e},$$

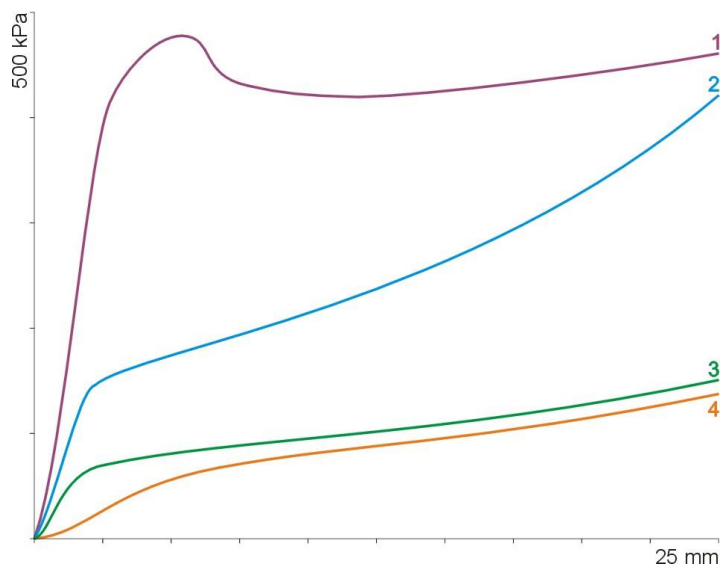
ahol X_e a rugalmas alakváltozás határa mm-ben F_e erőnél.

4. Az összehasonlítási mérési eredmények megvitatása

Megfigyeltük, hogy a deformáló erő növekedett a minták vastagságának növelésével. A FKD üveggyapot termékénél rugalmas alakváltozásról van szó, mivel az elektrosztatikus erők hatására a minta visszanyeri az alakját. Az EPS polisztirol és XPS polisztirolnál már rugalmatlan alakváltozásról beszélhetünk (Saint-Gobain 2012). Az XPS mintában előforduló inhomogenitások mellett jelennek meg a repedések. A Creep törésvonal az első töréstől vékonyabb jelleggel távolodik.



1. sz. ábra: A 10 és 50 százalékos zsugorteszt erejének összehasonlítása (N)

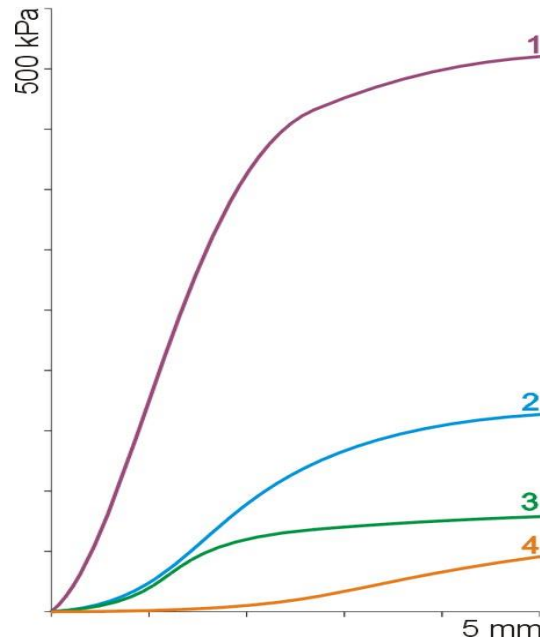


2. sz. ábra: Nyomószilárdság, ahol 1 = XPS, 2= Styron, 3= EPS, 4= FKD.

Az 50%-os zsugorteszt alapján elmondható, hogy a mért hőszigetelő anyagok különböző rugalmasságúak. A lila görbe az XPS elaszticitását adja, az egész kerületen repedés jött létre, aminek következtében gyorsan csökkent a nyomóerő nagysága. A gyengülési zóna a közepén keletkezett, következő repedés nem jött létre, majd a terhelés nagyon lassan emelkedett. Hasonló jellegű a kék görbe is, ami a Styron rugalmassági tulajdonságát mutatja. Az emelkedés nagyobb

mértéke alapján mondhatjuk, hogy az összenyomott Styron minta a legellenállóbb. A zöld minta az EPS, ami a legkisebb emelkedésű, az FKD pedig a legkisebb ellenállást tanúsít.

A rugalmatlan alakváltozás határáig mért 10%-os zsugorteszt erejének nagyságát a görbéhez húzott érintő meredeksége adja.



3. sz. ábra: A megterhelés kezdetétől számítva húzott érintő adja a rugalmassági modulus, ahol ugyanúgy, mint az előző ábrán 1 = XPS, 2= Styron, 3= EPS, 4= FKD.

A táblázatban a 4. ábrán látható legnagyobb változásnál mért δ_e nyomófeszültségből olvasható a legnagyobb alakváltozás erejének értéke kPa-ban. A rugalmas alakváltozás az FKD üveggyapotnál volt mérhető.

A TIRA test 2200 mérőműszerrel mértük a rugalmassági modulus időbeli változását. A zsugorteszt és a rugalmassági modulus eredményeit a 4 összehasonlított anyagra az 1. sz. táblázat mutatja.

	STYRCON 200	EPS 70	XPS 200	FKD
Zsugorteszt 10% (N)	1553,6	881,7	4593,4	439,9
Zsugorteszt 50% (N)	4024,65	1493,6	4625,6	1408,9
Rugalmassági modulus (kPa)	2267,4	1495,3	9399,2	432,74

1. sz. táblázat: Nyomószilárdság és rugalmassági modulus összehasonlítása

5. Összegzés

A globális felmelegedés következtében egyre inkább viszontagságos éghajlatváltozást, nagy kilengéseket, földrengéseket, pusztító viharokat várhatunk. Ezért fel kell készülnünk erre. Úgy, mint az amerikaiaknak és összerakható, földrengés biztos, jó szigetelésű, és a katasztrófa után könnyen helyrehozható, lakható épületeket kell építeni (ATA Bausystem 2012). Ilyen megfontolásból ajánlottuk nagyipari alkalmazásra a polisztirol forgácsmaradék betonba öntött lapocskáit, amelyek alkalmasnak bizonyulnak a viszontagságos éghajlat okozta árvizek, viharok katasztrófáit is „kivédni”. Mivel a hőszigetelő anyag versenyképességét szeretnénk biztosítani, ezért hasonlítjuk össze a legfrekvenciáltabban használt szigetelőanyagok mechanikai

tulajdonságaival. Ugyanakkor a temérdek műanyag hulladék likvidálását is célul tűztük ki. A műanyag hulladék egyik fajtája a polisztirol már a Styrcón anyagban hasznosan és környezet kímélően likvidálódik. Nagy örömeinkre szolgál, hogy a polisztirol lemezek előállításánál keletkezett forgács már gyakorlatilag maradék nélkül újrahasznosítható. Feltételezzük, hogy a PET zúzalék is ilyen módon újrahasznosítható lesz, aminek a mérése folyamatban van. Ezen kombinációból lehetne egy új fajta ún. PETCON-PET törmelék betonba ágyazva (concrete = beton) nevezetű új szigetelő anyagot gyártani. A mérések alapján elmondható, hogy a Styrcón kvázirugalmas anyagként is felfogható. A 10%-os zsugorost még nem éri el az XPS értékeit, de az 50% tesztnél már ezek összehasonlíthatóak.



3. sz. kép: Átlátszó, fekete színű PET zúzalék, valamint különböző műanyag hulladékok

Az új PETCON anyag is kvázirugalmas anyag formájában várható. A polisztirol golyócskák nedvszívó hatása végett azonban kisebb fajta belső pórusok várhatóak az új anyagban.

Az eredmények alapján elmondható, hogy a vizsgált hőszigetelő anyagok a megterhelés után is részben megőrzik a mechanikai tulajdonságukat. Az összenyomódás hatására ugyanis sűrűsödik az anyag, a pára áteresztőképessége csökkenni fog. Ezzel a módszerrel tehát mérhető a 2 avagy 3 százalékos zsugorodásnál is a rugalmasság határa. Nagyobb illetve folyamatos megterhelésnél éppen a műanyag zsugorodik, ezért az újrahasznosított hulladék betonba ágyazva mechanikai tulajdonságai a Styrcón anyaghoz közeli értékeket adnak majd.

Elmondható, hogy a betonba öntött műanyag hulladékok az újrahasznosítás egyik hatásos módszere, egyértelműen használhatóak az építőiparban. A nagy precizitással mosott hulladék is tartalmazhat még olyan maradék anyagot, amely a PET üveg töltete volt, de cementbe öntve a százalékos, vagy ezrelékes maradvány is lúgozódik, semlegesítődik. Ez egy újabb előnye lehet az új anyagnak. Ahhoz képest, hogy a kilencvenes években csak az ún. biodegradálással foglalkoztunk, ez egy előrelépés, hiszen még ha a polietilén fóliába keményítőt is kevertünk, majd elástuk a földbe és vártuk a bomlás felgyorsulását, akkor is sajnos a módszer túl lassúnak bizonyult (Tóth 2009). Valószínűleg a lebontó baktériumok mennyisége nem volt elegendő, illetve kellő mennyiségű, mint amennyire számítottunk.

A munkában leírt módszerrel nemcsak a polisztirol forgácsot, de a temérdek mennyiségű PET (és egyéb) „zúzalék hulladékot” lehet környezet kímélően újrahasznosítani, felhasználván azok jó hőszigetelő tulajdonságát. Mechanikai tulajdonságai bizonyítják, hogy alkalmazhatóak a földrengés biztos, árvizekkel és szélviharokkal sújtott szendvicsházak szegmenseire.

Irodalom

- ATA Bausystem. 2012. Konštrukčný systém – ATA Bausystem. *Sprievodca výstavbou rodinného domu 2*: 14–15.
- Knauf Insulation. 2010. *Technický list NOBASIL FKD*. Nová Baňa: Knauf Insulation, s.r.o.
- Kovačik J.–Beniač M. 2005. *Pružnosť a pevnosť pre špeciálne inžinierstvo*. Žilina: Žilinská univerzita.
- Kunc A.–Zima J.–Wanner J. 1961. *Mechanika II. Pružnosť a pevnosť*. Praha: SNTL.
- Saint-Gobain C.P. 2012. *Technický list ISOVER eps FACADE 70F*. Bratislava: Saint-Gobain Construction Products, s.r.o.
- STYRCON. 2009. *Technický list STYRCON 200*. Jelenec: Styrcon s.r.o.
- Tóth A. 2007. Environmentálna analýza očami výrobcu stavebných látok a energie. In: *Biomasa pre regionálnu energetiku*. Nitra: SPU, 146–155.
- Tóth A. 2007. Environmental analysis from the point of view of a producer of building materials and energy. In: *XI. International Conference of building materials Telč*, 9–15.
- Tóth A. 2008. Napravme to! (Analýza životného prostredia očami fyzika z oblasti stavebníctva). In: *Konferencia Fyzika a etika*. Nitra: UKF, 216–236.
- Tóth A. 2009. *Biodegradovateľné fólie*. In: 21. Čs. konferencia o elektrónovej mikroskopii, Nitra.
- Tóth A. 2010. Globálny problém ochrany ovzdušia z hľadiska skleníkového plynu. In: *Obzory matematiky, fyziky a informatiky* 39(1): 23–36.
- Tóth A.–Csáky A. 2016. Hová vezet a mindent átszegő emberi kreativitás: jó és rossz irányú leleményesség a természettudományokban. In: Lőrincz I. (szerk.): *XX. Apáczai-napok Nemzetközi Tudományos Konferencia: "Semper Reformare"*. Győr: Széchenyi István Egyetem Apáczai Csere János Kar, 351–362.
- Tóth A.–Tvrdoň M. 2007. *Stráca sa stopa – Vápno a skleníkový plyn*. In: Vápenický seminár Brno – Velké Meziříčí, 101–114.
- Úrad pre normalizáciu, metrológiu a skúšobníctvo SR (ÚNMS SR) 1999. *Stanovenie správania pri namáhaní tlakom*. Bratislava: ÚNMS SR (szlovák szabványok kiadói)