

Tetra Pak csomagolóanyagok újrahasznosítása mechanikai- és hőenergiával

Anita Magdolna Szabó¹, László Koltai PhD², Lóránt Fodor DLA¹

¹Department of Machine and Product Design, Budapest University of Technology and Economics

²Department of Media Technology and Light Industry Engineering, Óbuda University

A csomagolóiparban, az alapanyaggyártók, így a Tetra Pak számára is kihívást jelent a fenntartható fejlődés biztosítása. A csökkenő anyag-, valamint energiafelhasználás mellett, megőrizve a termékvédelem alapvető feladatát, biztosítani kell a keletkezett hulladék anyagában történő újrahasznosítását, amelyet az Európai Unió direktívái is megkövetelnek. A többrétegű italcsomagolások visszaforgathatóságát az eltérő tulajdonságú és minőségű anyagok alkalmazása is nehezíti. A jelen cikkben közöltek részét képezik egy komplex vizsgálatnak, melynek célja, annak igazolása, hogy adalékanyag nélkül, a szárazdarálásos technológia segítségével a csomagolóipar számára is használható félkész terméket lehet előállítani.

Keywords: Italos karton, Tetra Pak csomagolás újrahasznosítás, többrétegű csomagolás, öko-design

1. Bevezető

Az első kartontartalmú italcsomagolást 1944-ben szabadalmaztatta Ruben Rausing, a svéd, Tetra Pak társaság alapítója. Ezt a tetraéder alakú, műanyaggal bevont csomagolást az 1950-es években tejtermékeknél alkalmazták. A 60'-as évek közepén megjelenő, alumínium tartalmú, aszeptikus csomagolás lehetővé tette a hosszabb eltarthatóságot [1] [2] [3] [4] [5] [6] [7]. Ma már a tejtermékeken kívül más, folyékony élelmiszer tárolására is hasonló, többrétegű csomagolást használnak. A folyamatos fejlesztések mellett, kihívást jelent ezeknek a kombinált csomagolóanyagoknak az újrahasznosítása. Az alapanyagok szétválasztása nagy energiát és technológiai háttérrel igényel, így sok esetben csak magas költségekkel valósítható meg. Napjainkban a fenntartható fejlődés biztosítása alapvető Európai Unió követelmény a csomagolóiparban is. 2012 januárjától, az EU csomagolásra vonatkozó direktívája előírja a keletkezett csomagolási hulladék 60%-os hasznosítását [8].

Az itt bemutatott kísérletek célja, költség- és energiahatékony hasznosítási eljárást alkalmazva, új módszer kidolgozása az italos kartonok anyagában történő újrahasznosítására.

2. Az italos kartonok felépítése

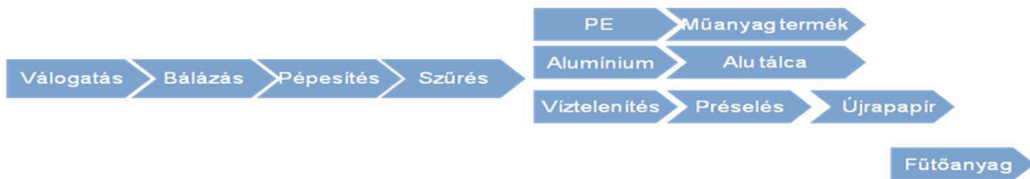
Irodalmi adatok alapján az italos kartonok összetétele 1 literes alumínium tartalmú, aszeptikus dobozok esetén: a doboz tömege 28 g, (75% papír, 20% PE, 5% Al). 1 literes alumínium-mentes dobozok esetén: a doboz tömege 29 g (91% papír, 9% PE) [3]. A különböző rétegek más-más funkcióval rendelkeznek. A polietilén (PE) elválasztja az élelmiszert a többi rétegtől, valamint a szilárdságot biztosító kartont védi a nedvességtől. A karton ezen kívül megóvja a terméket a napfénytől, az alumínium (Al) pedig megakadályozza az oxigén dobozba jutását [9].

A többrétegű csomagolóanyagokat laminálással (kasírozással), illetve bevonással állítják elő. Laminálásnál egy vékony ragasztóréteg segítségével egyesítik a rétegeket, míg bevonásnál a mátrix rétegre egy folyadékfázisú oldószeres vagy oldószermentes réteget visznek fel, amely a szárítás után vékony filmréteget képez a felületen [10].

3. Újrahasznosítás

Az Európai Unióban, az elmúlt tíz évben megkettőződött az italos kartonok anyagában történő hasznosítási aránya. A magyarországi 17%-os visszagyűjtési arány is javuló tendenciát mutat, de elmarad a 36%-os európai átlagtól. Az átlagnál nagyobb arányú újrahasznosítást Németország (65%), Belgium (62%), valamint Ausztria (42%) realizált [11] [12].

A szelektíven begyűjtött dobozok ipari feldolgozása jelenleg kétféle módon történik, az elterjedtebb módszer az összetevőkre való szétválasztás, a másik, kevésbé használatos módszer a szétbontás nélküli darálás [13] [14].



1. ábra Újrahasznosítás összetevőkre bontással



2. ábra Újrahasznosítás összetevőkre bontás nélkül

A szárazdaralásos technológia táblástermékét az építőipar és a bútóipar hasznosítja. Ezeket a termékeket több márkanév alatt is forgalmazzák a világ számos országában [15]. Pl. Szlovákiában Tetra K1, K2, K3, Németországban Tectan [16], Argentínában T-Plak [17][18], Brazíliában Reciplak [19][20], Kínában Chiptec, Kenyában Lamiboard, Pakisztánban Green-Board, Törökországban pedig Yekpan [21].

4. Laboratóriumi vizsgálat

Kiindulásként a Tetra Pak 1L töltési térfogatra gyártott alumíniummentes és alumínium tartalmú (aszéptikus) csomagolás anyagát vizsgáltuk.

Az általunk vizsgált mintákat kereskedelmi forgalomból szereztük be. A csomagoló eszköz felvágása után és a termék eltávolítása után, tenzides és melegvízes felületi tisztítást alkalmaztunk, majd a mintákat mérés előtt a laboratóriumban 36 órán keresztül klimatizáltuk $50 \pm 2\%$ -os relatív légnedvesség és $23 \pm 1^\circ\text{C}$ -os körülmények között. A minták egyensúly nedvesség tartalma így átlagosan $2,3\%$ volt.

4.1 Anyagösszetétel meghatározás

A Tetra Pak dobozok alapanyag-összetételének meghatározásához egy újonnan kidolgozott eljárást alkalmaztunk [22]. A módszer pontossága kutatási céljainknak megfelel, annak ellenére, hogy rendkívül kismértékű PE a vizsgálat során szétválasztott cellulóz mellett kimutatható. Kísérleteink eredményességét befolyásoló polietiléntartalom (PE) meghatározásához $99,55 \text{ v/v}\%$ -os Toluolos forrást majd ezt követő $50 \text{ v/v}\%$ -os Etanolos és forró

vizes mosást alkalmaztunk. A vizsgálati eredmények kiszámítását tömegmérésre vezettük vissza. Mindkét anyag esetében hat párhuzamos mérést végeztünk el. Az eredményekből megállapítható, hogy az 1 literes alumínium-mentes (1. táblázat) Tetra Pak doboz PE tartalma átlagosan $11,43\%$, míg az alumínium tartalmú doboz $16,61\%$, $5,61\%$ -os alumínium tartalom mellett.

1. táblázat Alumínium-mentes Tetra Pak csomagolás összetétel meghatározása Toluolos forrással

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Bemért abszolút száraz minta tömege (g) | 1,026 | 1,031 | 1,066 | 1,057 | 1,034 | 1,074 |
| Forkó tömege (g) | 0,025 | 0,025 | 0,023 | 0,027 | 0,026 | 0,024 |
| Szűrő tömege (g) | 34,154 | 34,956 | 34,247 | 34,683 | 33,972 | 34,462 |
| Szűrő + maradék tömege (g) | 35,115 | 35,883 | 35,211 | 35,637 | 34,909 | 35,438 |
| Cellulóz tömege (g) | 0,936 | 0,902 | 0,941 | 0,927 | 0,911 | 0,952 |
| Cellulóz mennyisége (%) | 91,23 | 87,49 | 88,24 | 87,7 | 88,1 | 88,64 |
| PE számított mennyisége (%) | 8,77 | 12,51 | 11,76 | 12,3 | 11,9 | 11,36 |

4.2 Négyzetmétertömeg meghatározás

A további vizsgálatok megkezdése előtt ellenőriztük a csomagoló anyagok átlagos négyzetmétertömeget (1. képlet) [23]. Öt párhuzamos mérés során

100x100 mm-es mintatestek tömegmérésével, analitikai pontossággal.

$$M_A = M/A \text{ [g/m}^2\text{]}, \quad (1)$$

Ahol:

M_A – a négyzetméter tömeg [g/m²],

M – a vizsgált minta tömege [g],

A – a vizsgált minta felülete [m²].

A számítással meghatározott négyzetmétertömegek Tetra Pak alumínium-mentes $M_A = 132 \text{ g/m}^2$ (0,66 mm) Tetra Pak alumíniumos $M_A = 145 \text{ g/m}^2$ (0,45 mm). Ezt követően a minták vastagságát is meghatároztuk, Lorentzen-Wettre típusú félautomata vastagságmérő készülék segítségével. Mintánként 10 mérés átlagával. Így az alumínium tartalmú minta vastagsága 444 μm , míg az alumíniummentesé 466 μm volt.

A vastagság, felület és tömeg értékekből, számítással meghatározható a csomagolóanyag térfogat-tömege, amely a szerkezet tömörséire utal. Ezek alapján az alumínium tartalmúnál 0,32 g/cm³.

4.3 Őrlés

Az őrlés előkészítéseként a 4.2-ben leírtak alapján előkészített csomagoló anyagokat 20 mm-es csíkokra vágtuk, majd 4 keses, FRITSCH Cutting Mills őrlőgéppel segítségével felaprítottuk. A folyamatot a 1. ábra szemlélteti. Majd vizsgáltuk az így kapott őrlemény részecskeeloszlását.



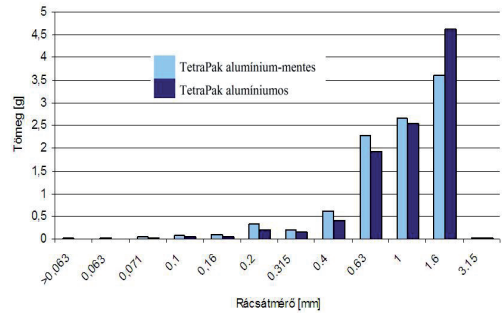
1. ábra FRITSCH Cutting Mills

4.4 Frakcionálás

A frakcionáláshoz használt laboratóriumi frakcionáló rázógépet meghatározott lyukméretű, $\varnothing 3,15 \text{ mm}$ és az $\varnothing 0,063 \text{ mm}$ közötti szitasorozattal, időkapcsolós excenteres meghajtással rendelkezik. Az egyes szítákon fennmaradt aprítékot 0,01 g pontossággal olvashatjuk le. Alapanyagonként öt-öt párhuzamos mérés során 100 g – 100 g mintát frakcionáltunk,

60 secundumos rázási idő mellett. A legnagyobb frakció az 1,6 mm és 3,15 mm-es tartomány között található, mely tartományba az alumínium-mentes mintából 4,61 g, ami a teljes frakció 46%-a, míg az alumínium tartalmú mintából 3,61 g került, ami a teljes frakció 36%-a.

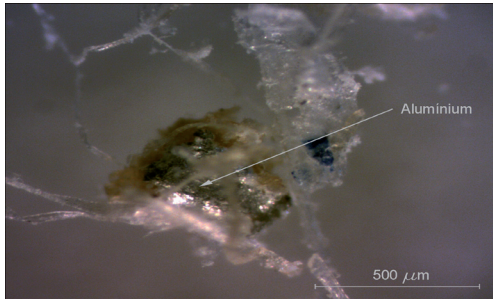
A mért értékek átlaga alapján készült diagramon (2. ábra) megfigyelhető, hogy bár közel azonos méreteloszlást mutat mindkét alapanyag, az alumínium tartalmú Tetra Pak szemcséiből az 1,6mm-es szítán 1,00 g-mal, míg az $\varnothing 0,063 \text{ mm}$ -es szítán 0,37 grammal több maradt. Mind az alumíniumos, mind az alumínium-mentes Tetra Pak esetén a legtöbb szemcse az $\varnothing 0,63 \text{ mm}$ és az $\varnothing 1,6 \text{ mm}$ közötti tartományban található. Az $\varnothing 1,6 \text{ mm}$ -es szítán az alumínium-mentes szemcsék 36,1%-a, míg az alumíniumos szemcsék 46,1%-a maradt. Az $\varnothing 1,0 \text{ mm}$ -es szítán megközelítőleg azonos mennyiség maradt, alumínium-mentes esetén 26,7%, míg alumíniumosnál 25,5%. Az $\varnothing 0,63 \text{ mm}$ -es szítán, az alumínium-mentes esetén 22,8%, míg alumíniumosnál 19,4% maradt.



2. ábra Az apríték méreteloszlása

A 0,071 mm-es szítán jellemzően cellulóz rosttörmelékek voltak, míg az $\varnothing 1,6 \text{ mm}$ -esen italos karton darabkák maradtak. Az őrlemény struktúráját (3. ábra) Tuxen típusú, vi-deo kamerával kiegészített BCT típusú sztereomikroszkóppal vizsgáltuk. Külső megvilágítás mellett. A képek feldolgozásához TS View szoftvert használtunk.

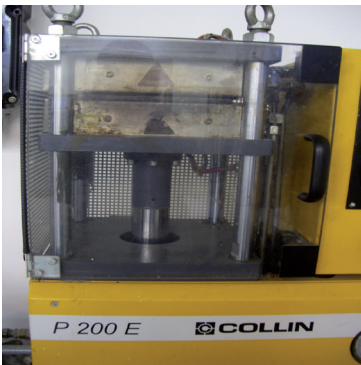
A felvételeken jól megfigyelhető, hogy a társított csomagolóanyag legmeghatározóbb összetevőjét adó cellulóz rostok a száraz közegű őrlés hatására is nagymértékben elváltak egymástól, csomókba tapadva megfigyelhetjük a PE fólia darabjait, illetve az ahhoz kapcsolódó alumíniumot.



3. ábra: 0,315 mm-es szemcse mikroszkóp alatt, BCT stereomikroszkóp TS view

4.4 Mintatestek gyártása

Ezt követően az őrleményből, a további vizsgálatokhoz mintatesteket gyártottunk. Az 1,5 mm vastagságú mintatesteket a COLLIN P 200 E típusú hőprés segítségével állítottuk elő (4. ábra). Irodalmi adatok alapján a prés alsó és felső lapját $T = 180^{\circ}\text{C}$ hőmérsékletűre állítottuk be [25]. Az őrleményből 120 mm x 120 mm x 1,5 mm-es lapokat készítettünk. Az 1,5 mm-es fém keretet megtöltöttük az őrleményvel és behelyeztük a felmelegített présbe. A prés záródását, valamint a hőmérséklet $T_0 = 180^{\circ}\text{C}$ -ra történő visszamelegedését követően a nyomás szabályozót $p_0 = 0$ bar-ról $p_1 = 100$ bar nyomásra emeltük és így tartottuk 5 percig ($t = 300$ s). Majd lehűtve a présfejeket $T_1 = 40^{\circ}\text{C}$ -ra, a nyomást $p_2 = 0$ bar csökkentve, kivettük az elkészült mintatesteket.



4. ábra COLLIN P200 E hőprés

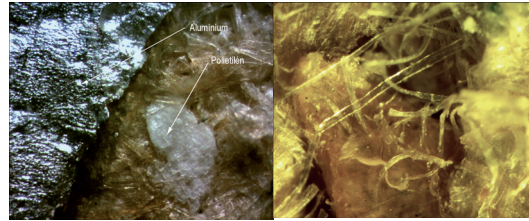
8. Mintatestek vizsgálata

A fizikai és mechanikai vizsgálatok előkészítő szakaszában a mintatestek $50 \pm 2\%$ relatív páratartalom

mellett, $T = 23 \pm 1^{\circ}\text{C}$ hőmérsékleten tároltuk. Majd elvégeztük a vizsgálatokat.

8.1 A szerkezet optikai vizsgálata

A mintatesteket Tuxen típusú, video kamerával kiegészített BCT típusú sztereomikroszkóppal vizsgáltuk, külső megvilágítás mellett. A képek feldolgozásához TS View szoftvert használtunk. A felvételeken felismerhető az alumínium, a megolvadt polietilén (PE), valamint a cellulóz rostok (5. ábra).

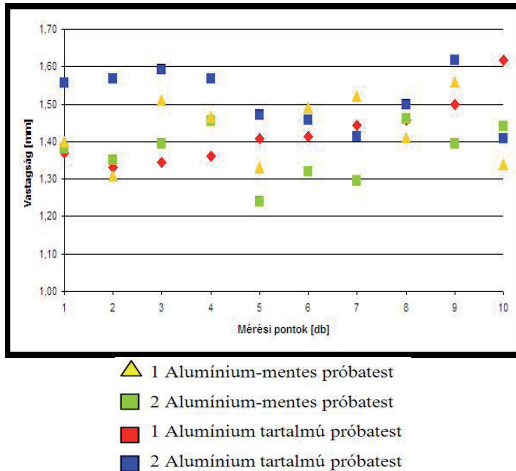


5. ábra Felületi kép BCT stereomikroszkóp TS view

Mechanikai szilárdsága ellenére a felvételekből is megállapítható, hogy a struktúra sajátos inkoherenciával rendelkezik. A három anyagi összetevőkből adódóan sajátos üregrendszer figyelhető meg a minta felületén. Ez a szerkezet a szálerősített kompozitokat idézi, ahol a PE a mátrix anyag, az erősítő anyag a cellulózrost és az alumínium. Az olvadt polietilén (PE) képes összetartani a mintadarab szerkezetét. Problémás szerkezeti elem az alumínium (Al), mivel a préselés az alumínium olvadási pontja alatt történt, így azokon a területeken, ahol nagyobb felületű (2-3 mm) alumínium fátyol van, az elemek kevésbé tudnak összekapcsolódni, mint ahol csak cellulózrost és polietilén (PE) van.

4.2 Vastagságmérés

A mintatestek vastagságát Lorentzen Wettre digitális vastagság mérő berendezéssel tíz ponton, mértük. A mért értékek alapján számított átlagos vastagság $s = 1,46$ mm volt. A mért értékek a $s = 1,46$ mm átlagvastagsághoz képest, 12 %-os eltérést mutattak. Ez az eltérés adódhat a rendezetlen anyageloszlásból, illetve, hogy a különböző összetevők adott $t = 180^{\circ}\text{C}$ hőhatásra másképpen reagálnak. Nem volt kimutatható különbség az alumínium-mentes, valamint az alumínium tartalmú mintatestek vastagságtartomány között (6. ábra) [26].



6. ábra az 1,5 mm vastagságú kerettel készült mintatestek átlagos vastagsága

5. Mechanikai vizsgálatok

A mintatestek erőhatásokkal szembeni ellenállását mechanikai vizsgálatokkal mértük. Az alumínium-mentes, valamint az alumíniumos italos kartonból készült mintatestek anyagösszetétele, a különböző összetevők szabálytalan eloszlása, valamint a vastagság eltérése alapján feltételeztük, hogy a további vizsgálatok során, az egyes vizsgálati pontokon, adott mechanikai terheléssel szemben másként fog viselkedni a mintatest. Feltételezésünk szerint ezek a mért adatok összevethető értéket adnak.

A mechanikai vizsgálatok során meghatároztuk a mintatestek szakítószilárdságát, fajlagos nyúlását, hajlítómerevségét valamint tépő szilárdságát. Előzetesen azt feltételeztük, hogy az alumínium-mentes mintatest szakítószilárdsága nagyobb, mint az alumínium tartalmú mintatesté.

5.1 Szakítóvizsgálat

A szakítóvizsgálatot a Frank típusú, Schopper rendszerű ingás szakítógépen végeztük, 50 mm-es befogási hosszal. A minták mérete 15 mm x 70 mm-es volt.

A próbatest szakítóerejét tíz-tíz párhuzamos méréssel vizsgáltuk. A leolvasott szakítóerő értékek segítségével számítással meghatároztuk a próbadarabok szakítószilárdságát, amely 1 m széles mintára vonatkoztatott szakítóerőt jelent (2. képlet) [27].

$$S_z = F_{sz}/h_{ref} \quad [N/m] \quad (2)$$

Ahol:

S_z – szakítószilárdság (N/m),

h_{ref} – befogási hossz (m).

A jelen kísérletben vizsgált minták átlagos szakítószilárdság a Tetra Pak alumínium-mentes minta esetén, $S_z = 987$ N/m, a Tetra Pak alumíniumos esetén pedig $S_z = 2396$ N/m. Ezek az értékek a csomagolóiparban alkalmazott kartonok szakítószilárdságával összevethető.

A leolvasott abszolút nyúlás értékekből, a befogási hossza ismeretében kiszámítottuk a mintatestek átlagos fajlagos megnyúlását (3. képlet) [28].

$$\epsilon = \Delta L / L_0 \quad (3)$$

Ahol:

ΔL – az eredeti hossz (L_0) valamint a megnyúlt hossz (L_1) közötti különbség,

L_0 – az eredeti hossz (mm).

A hőpréselt minták átlagos fajlagos nyúlás a Tetra Pak alumínium-mentes minta esetén $\epsilon = 0,05$, a Tetra Pak alumíniumos minta esetén $\epsilon = 0,055$.

Az eltérő anyagösszetételű minták összehasonlíthatóságát, az ún. szakítási mutató értékek teszik lehetővé. Ez nem más, mint a négyzetméter tömeggel súlyozott szakítószilárdság. Ehhez azonban szükség van a hőpréselt minták négyzetméter értékeire, melyeket a 4.2 pontban határoztunk meg. A Tetra Pak alumínium-mentes $MA = 132$ g/m² (0,66 mm) Tetra Pak alumíniumos $MA = 145$ g/m² (0,45 mm) Majd ezek ismeretében meghatároztuk a szakítási mutatót (4. képlet) [29].

$$M_{sz} = S_z/M_a \quad [Nm/g] \quad (4)$$

Ahol:

M_{sz} – a szakítási mutató (Nm/g),

S_z – szakítószilárdság (N/m),

MA – négyzetméter tömeg (g/m²).

A jelen kísérletben vizsgált minták szakítási mutatója a Tetra Pak alumínium-mentes $M_{sz} = 10,49$ Nm/g, míg a Tetra Pak alumíniumos $M_{sz} = 18,7$ Nm/g volt. Megállapítható, hogy közel 44%-os az eltérés a két minta között. Az alumínium tartalmú minta nagyobb

szakítási mutató értéke elsősorban a magasabb PE tartalmának köszönhető, vagyis ha közel 30%-kal növeljük a polietilén (PE) arányt, ezzel 44%-os növekedést érhetünk el a szakítási mutató értékében. Az eredmény azért fontos, mert alacsonyabb PE tartalmú társított csomagolóanyag is feldolgozhatóvá válik ezzel a technológiával, relatív kevés PE hulladék adagolásával.

Azonos körülmények között megőrölt alapanyagból, azonos hőmérsékleti körülmények között gyártott, azonos vastagságú minták szakítási mutatója között az alapanyag függvényében különbség van. Előzetes feltételezésünknek megfelelően az alumínium tartalmú Tetra Pakból készült mintatesté nagyobb, mint az alumínium-mentes Tetra Pak mintatesté.

5.2 Tépőszilárdság vizsgálata

A próbatestek tépőszilárdságának meghatározásához Elmendorf készüléket használtunk. A tíz-tíz párhuzamos mérés során a továbbtépő erőt mértük. A vizsgálat megkezdése előtt, a körcikk alakú ingát a próbatestek befogására alkalmas helyzetbe rögzítettük, majd a szorítóropák közé 63x100 mm-es mintákat fogtunk be és a készüléken elhelyezett vágókéssel 20 mm-t a mintákból bevágtunk. A be nem vágott rész továbbszakítására az inga rögzítését kioldottuk, és az ingát lengeni hagytuk.

A készülék skáláján a tépőerőt leolvastuk, majd számításal meghatároztuk a tépési szilárdságot (5. képlet) [30].

$$P = (P_n \times 16) / n \times 9,81 \quad [\text{mN}]. \quad (5)$$

Ahol:

P = egy minta tépőereje (mN),

P_n = a leolvasott skálaérték (p),

n = az egyidejűleg befogott minták száma.

A képletben szereplő 9,81-es szorzó a tépőerőnek mN-ba történő átszámítása miatt szükséges.

Az átlagos tépési szilárdság a Tetra Pak alumínium-mentes esetén $P = 386,899$ mN, míg a Tetra Pak alumíniumos esetén $P = 596,454$ mN.

A tépőszilárdság függ a papír négyzetméter tömegétől, így a különböző papírok tépőszilárdságának összehasonlítására az úgynevezett tépési mutatót használjuk (6. képlet) [31].

$$M_T = P / M_A \quad [\text{mNm}^2/\text{g}] \quad (6)$$

Ahol:

M_T = tépési mutató (mNm²/g),

P = egy mintalap tépési szilárdsága (mN),

M_A = a minta négyzetméter tömege (g/m²).

A tépési mutató a Tetra Pak alumínium-mentes esetén $MT = 4,116$ mNm²/g, míg a Tetra Pak alumíniumos esetén $MT = 4,660$ mNm²/g). Az alumínium tartalmú minták tépési mutatója 11,67%-al nagyobb volt, mint az alumínium-mentes mintatesteké.

5.3 Hajlító merevség vizsgálata

A mintatestek merevségét Lorentzen típusú műszerrel mértük. A készülék a minta 15°-os szögben történő elhajláshoz szükséges erőt méri pondban 25 mm-es erőkar esetén. A leolvasott értéket átszámítással mN-ban összesítettük. A vizsgálatához 38 mm x 70 mm méretű mintatesteket használtunk [32]. A kétféle mintatestnél tíz-tíz párhuzamos vizsgálattal megállapítottuk az elhajlításához szükséges átlagos hajlító erőt: a Tetra Pak alumínium-mentes esetén $FH = 32,57$ mN, míg a Tetra Pak alumíniumos esetén $FH = 66,97$ mN. Ez az érték 51,37%-kal nagyobb az alumínium tartalmú minta esetében, a merevebb szerkezet itt is a PE tartalom miatt alakult ki.

6. Összegzés

A fenntartható fejlődés biztosítása, mely Európai Unió követelmény, a teljes életciklus figyelembevételével kiemelkedően fontos terület. A Tetra Pak által is gyártott italos karton csomagolás újrahasznosításának egyik alternatívája a száraz darálásos technológia, mely adalékanyag hozzáadása nélkül mechanikai- és hőenergia segítségével állítható elő félkész, illetve késztermékek. A bemutatott kísérletek, melyek egy komplex vizsgálat részei bizonyítják, hogy a bútór és építő ipari hasznosításon túl a csomagolóipar számára is alkalmas félkész terméket hozhatunk létre. A kísérletek során kétféle típusú: Tetra Pak alumínium-mentes, Tetra Pak alumíniumos italos karton csomagolásból készült minta testeket vizsgáltunk. Igazoltuk, hogy a darálékban lévő polietilén (PE) arány befolyásolja a mintatestek szerkezetét, és ennek hatására mechanikai tulajdonságait. A 33%-kal nagyobb polietilén (PE) mennyiséget tartalmazó alumíniumos mintatestek szakítószilárdsá-

ga 44%-kal, hajlító merevsége pedig 51,37%-kal nagyobb volt, mint az alumínium-menteseké. Ellenben a két minta tépőszilárdsága között csak 11,67%-os eltérés volt a nagyobb polietilén tartalmú alumíniumos Tetra Pak csomagolóanyag esetén. A kétfajta anyagösszetételű mintatestek fajlagos nyúlása közel azonos volt.

Irodalomjegyzék

[1] Leander, Lars, Tetra Pak. A vision becomes reality. A company history with a difference, lund: tetra pak international 1996 (isbn 91-630-4789-6), p. 18
 [2] Sedig, Kjell, Swedish Innovations, Stockholm: The Swedish Institute 2002 (Isbn 91-520-0910-6), P. 45
 [3] Leander, Lars, Tetra Pak. A Vision Becomes Reality. A Company History with A Difference, Lund: Tetra Pak International 1996 (Isbn 91-630-4789-6), Appendix P. Vii
 [4] Leander, Lars, Tetra Pak. A Vision Becomes Reality. A Company History with A Difference, Lund: Tetra Pak International 1996 (Isbn 91-630-4789-6), Pp. 195, 165 And 179
 [5] Ledig, Kjell, Swedish Innovations, Stockholm: The Swedish Institute 2002 (Isbn 91-520-0910-6), P. 45
 [6] Tetra Pak International S.A. Frederick C. Ingram in The Gale Directory of Company Histories, Retrieved 30 October 2011
 [7] Tetra Pak Launches Next Generation Cheese Production Unit Packaging Europe News, Retrieved 11 November 2011
 [8] European parliament and council directive 94/62/ec – of 20 december 1994 – on packaging and packaging waste - az európai parlament és a tanács 2005/20/ek irányelve (2005. Március 9.) A csomagolásról és a csomagolási hulladékról szóló 94/62/ek irányelv módosításáról
 [9] Baka, É.: Mitől klímabarát az italos karton? Http://www.italoskarton.hu
 [10] Simon ildikó: Tetrapak dobozok cellulóztartalmának meghatározása a termékdíjjal összefüggésben, a nemzeti adó- és vámhivatal szakértői intézetében, Determination Of Cellulose Content in Tetra Pak Containers at The Forensic Institute of The

National Tax and Customs Administration, In The Context of The Environmental Tax, Óbudai Egyetem, 2012
 [11] Beverage carton recycling rates 2010, <http://www.drinkcarton.eu//recycling-in-europe>
 [12] <http://www.drinkcarton.eu//recycling-in-europe>
 [13] <http://WWW.IKSZNET.HU/CIKKEK/PAPIRGYARI-HASZNOSITAS>
 [14] <http://www.tetrapakrecycling.co.uk/index.asp>
 [15] <http://zoblue.com/assets/prof/tetrapak/faq.html> (2013.05.09.)
 [16] <http://WWW.EVD-DIEZ.DE/MATERIAL/MATERIAL-AND-MANUFACTURING.HTML> (2013.05.09.)
 [17] http://www.compostar.com.ar/productos_compostar.php (2013.05.09.)
 [18] http://www.agendajoven.org.ar/5_mercadovirtual/procesotplak.htm (2013.05.09.)
 [19] <http://www.recipak.com.br/> (2013.05.09.)
 [20] <http://www.ecopak.com.br> (2013.05.09.)
 [21] <http://www.yekpan.com/> (2013.05.09.)
 [22] Simon ildikó: Tetrapak dobozok cellulóztartalmának meghatározása a termékdíjjal összefüggésben, a nemzeti adó- és vámhivatal szakértői intézetében, Determination Of Cellulose Content in Tetra Pak Containers at The Forensic Institute of The National Tax and Customs Administration, In The Context of The Environmental Tax, Óbudai Egyetem, 2012
 [23] Nagy A., káldi J. Papíripari anyag- és áruismeret iii.gyakorlat. Budapest: Könnyűipari Műszaki Főiskola 1979.
 [24] Nagy A., Káldi J. Papíripari anyag- és áruismeret iii.gyakorlat. Budapest: Könnyűipari Műszaki Főiskola 1979, p.11.
 [25] J. I. Mitma, J. V. Canto, D. M. Hinojoza, M. G. Martínez, A. Ch. Pinzás; Diseño Y Evaluación De Una Planta De Reciclaje De Envases Tetra Pak A Pequeña Escala; recepción:noviembre 2004/ aceptación: diciembre 2004; Revista De La Facultad De Ingeniería Industrial, Vol. (7) 2: Pp. 07-17 (2004) Unmsm, Issn: 1560-9146 (Impreso) / Issn: 1810-9993 (Electrónico)
 [26 – 31] Nagy A., Káldi J. Papíripari anyag- és áruismeret iii.gyakorlat. Budapest: Könnyűipari Műszaki Főiskola 1979, p. 14.