

## Hpl dobozok nyomóerővel szembeni ellenállása 1. rész

### Zsoldos Benő

#### Abstract

The carrying capacity and strength of corrugated cardboard boxes during storage and transportation are strongly dependent on the physical and mechanical parameters of the box production lines. These parameters can be influenced and controlled during production according to the expected/desirable data for Box Compression Test and Quality test given in mathematical/statistical evaluations.

**Kulcsszavak:** hullámpapírolemez, doboz, BCT, ECT, szilárdság,

#### Bevezetés

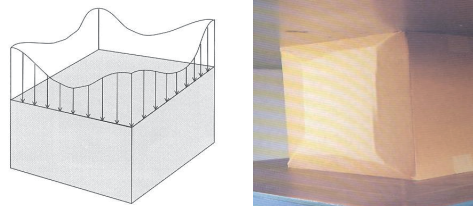
A hullámpapírolemez (hpl) dobozok vertikális nyomóerővel szembeni ellenállásának (BCT) tervezése, a gyártás különböző tényezőinek hatása, ezen minőségi mutatónak a gyártó folyamat alatti szabályozása, a késztermék ezen tulajdonsága szerinti minősítése, valamint a megrendelő részére a dobozok kompresszibilitási mutatója szerinti matematikai statisztikai alapú tétel átadás/átvétel meghatározza a hpl dobozok szállítása és raktározása alatti tulajdonságát. Tartsuk szem előtt, hogy a vevő igényeit kielégítő minőség mindkét fél részére gazdasági előnnyel jár.

E témával való foglalkozás fontosságát a fentiekben túl az is aláhúzza, hogy (1) a multinacionális hpl termékeket gyártók hazai leányvállalataiban is előnyösen a fiatalabb generáció vette át a gyártás tervezését, irányítását, ellenőrzését, akik számára a közölt cikksorozat kiegészítheti/elmélyítheti jelenlegi szakmai ismereteiket (2). Hazánkban jelenleg 80-100 olyan kisvállalkozás működik, amelyek vásárolt hpl felhasználásával dobozokat gyártanak. Az itt dolgozók számára is a közölt ismeretek elősegíthetik a megrendelők elégedettségének növelését és ezzel a meglévő piaci pozícióik erősítését, valamint a piaci részesedésük kiszélesítését (3). Az aktív, idősebb, gyakorlott, nagy tapasztalattal rendelkező, a termelésben, minőségirányításban dolgozók a korábban szerzett ismereteiket a cikksorozat olvasása révén felfríszíthetik, kiegészíthetik és hasznosan alkalmazhatják munkájukban.

Az olyan nézetek természetesen tévesek, miszerint a régen feltárt elméleti alapok ma már nem állják meg a helyüket. Lehet, hogy a korábban meghatározott összefüggések kismértékben módosulnak, kiegészülnek vagy az összefüggések számai azért és úgy változtak, hogy a számított értékek a ténylegesen elért értékekhez jobban közelítsenek. Mindez anélkül történik, hogy az alapértelmezéseket el kellene vetni. Még egy szempontra hívom fel a figyelmet, nevezetesen, senki ne gondolja, hogy a mai rohanó és kizárólag haszonelvű műszaki, gazdasági légkörben nincs szükség az elméleti, helyenként tudományos ismeretek közlésére, a feltárt összefüggések magyarázatára és ezek adaptálására a gyakorlat számára. Az elméleti megfontolások adnak ugyanis alapot arra, hogy a gyakorlatot korszerűbbé, gazdaságosabbá tegyék. „Csak szellemi talajon végbemenő változásokból fakad valami új” (Hegel). Szeretném hinni, hogy a néhány cikkből álló sorozat hasznukra válik és hozzájárul munkájuk, ezzel szervezetük eredményeinek további növeléséhez.

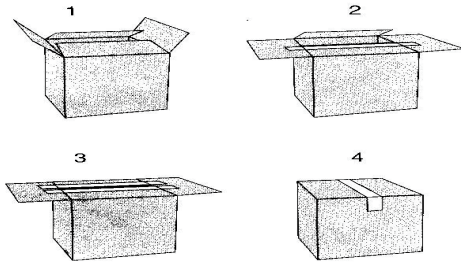
#### Hpl dobozok teherviselő képessége

Kezdjük a gyakorlatban előforduló probléma leírásával. Az áruval töltött dobozok halmazolásakor az egymás fölé rakott dobozok súlya terheli az alatta lévőket. A vevői igény felmerülésekor felkérjük a megrendelőt, hogy közölje dobozonként milyen súlyú termékkel töltenék meg a dobozokat, valamint a raktártér, a szállítóeszköz gazdaságos kihasználását figyelembe véve, hány dobozt raknának egymásra. A doboz szilárdságának nem körültekintő meghatározása esetén ugyanis az egyenlőtlenül megoszló terhelés hatására a halmazban, a doboz egy, vagy több oldalra kihajlik (1.ábra).



1. ábra Nyomóerő egyenetlen megoszoslása

A kihajlás következménye, hogy a függőlegesen ható erő a doboz vízszintes éllein egyenlőtlenül oszlik meg, mivel a kihajlott oldalélek nem vesznek részt a teher viselésében. Ez okozza, hogy az áruval töltött dobozrakat megdől, majd egy idő után, rendszerint a legalsó doboz összeroppanása miatt, a rakat szét-esik és a dobozok tartalma megsérül, tönkremegy, komoly gazdasági kárt okozva (2. ábra).



2. ábra A doboz előkészítése vizsgálatra

Ha például egy termékkel megtöltött doboz tömege 6 kg és a halmazban a dobozok darabszáma 11, akkor a 10 doboz által kifejtett erőhatás a legalsó dobozra 60 kg. Megjegyezzük azonban, hogy korábbi vizsgálataink eredménye szerint egyértelműen nem jelenthető ki, hogy a rakatban a legalsó doboz a „gyenge láncszem”. A gyártás és/vagy a doboz inhomogenitása miatt a leggyengébb teherviselő képességű doboznál várható a rakat oszlopának megdőlése illetve az ezt követő rakat összeomlás.

A töltőtömeg és a tárolási halmaz doboz-darabszámának megadása esetén a nyomóerővel szembeni teljesítendő ellenállás ( $BCT_{TELJ}$ ) most már általánosítva a következő módon számítható:

$$BCT_{TELJ} = a \times (n-1) \times c$$

- a – egy doboz bruttó tömege, kg
- n – egymásra helyezett dobozok száma, db
- c – gravitációs állandó,  $\approx 10 \text{ m/s}^2$

Feltétlenül tartsuk szem előtt azt a körülményt, hogy a doboz tényleges igénybevétele a BCT-nek csak kb. 20-35%-a (1). Ez magyarázza, hogy a tényleges nyomóerő megállapításához 3,6-szoros biztonsági tényezőt (K) alkalmaznak, amely tekintettel van a nem „normálisnak” tekintett esetekre is, mint amilyen például az  $RH > 60\%$  légnedvesség.

Ezért tehát a  $BCT_{TELJ}$  értékét a K biztonsági tényezővel szorozzuk (1. táblázat).

1. táblázat

Felhasználási körülmények	K értéke
Normál klíma, önfordó termék	2
Normál klíma, nem önfordó termék	3
Klimatikus feltételek, önfordó termék	4
Klimatikus feltételek, nem önfordó termék	5
Veszélyes áruk szállítása, tengeri szállítás (hajón, konténeres szállítást feltételezve)	6

Az említett példánkban szereplő adatokkal számolva a  $BCT_{TELJ} = 60 \text{ kg}$  ebből adódik  $600 \text{ N}$  ami az aktuális biztonsági tényezővel szorozva ( $K=3$ )  $\times 600 \text{ N} = 1800 \text{ N}$  nyomóerő hat a legalsó dobozra.

A nyomóerő hatására a hpl papíryanagában a rostok diszlokálódnak (3. ábra).



3. ábra Nyomóerő miatti rost diszlokáció

A doboz oldalfala az egyenlőtlen erőeloszlás miatt kihajlik, de a függőleges élék egyenesen maradnak (2. ábra). Doboz gyártásához a megfelelő szilárdságú hpl megválasztása szükséges.

Térjünk vissza a fenti példánkhoz. A doboz gyártásához szükséges lemezválasztékot a hpl szilárdságának számításal történő meghatározásával ( $ECT_{SZ}$ ) választjuk meg. Ehhez az egyszerűsített McKee egyenletet ECT-re kell kifejtteni. Lássuk először az egyszerűsített McKee egyenletet.

**Az egyszerűsített McKee egyenlet**

A gyakorlatban az egyszerűsített McKee egyenletet használjuk noha pontosabb eredményt kapunk az eredeti egyenlettel. Az egyszerűsített egyenlet a következő (2):

$$BCT = m \times ECT \times T^{0.5} \times Z^{0.5}$$

Más alakban írva:

$$BCT = m \times A \times ECT \quad A = (TZ)^{0.5}$$

ahol:

- T – hpl vastagsága, mm;
- Z – doboz kerülete, mm

ECT – mért vagy számított hpl élszilárdság, kN/m  
 m – kísérletileg meghatározott konstans,  
 Dunapack esetén: 5,3

Az egyenlet ECT-re kifejtve a következő:

$$ECT = \frac{BCT}{m\sqrt{TZ}}$$

A példa szerinti adatokat behelyettesítve:  
 $m \times (T \times Z)^{0.5} = 335$ , ezért  $ECT = 1800/335 = 5,4$  kN/m  
 Eredményül tehát azt mondjuk, hogy a példa szerinti terhelésű dobozok gyártásához:

$ECT_{min} = 5,4$  kN/m paraméter értékkel jellemzett hpl szükséges.

Ez azt jelenti, hogy az ECT-re vonatkozó  $\pm 10\%$  tűréshatár figyelembevételével a tőrésmező (TM) középvonalában (TM/2) a 6,0 kN/m értéknek megfelelő hpl választék feldolgozása szükséges.

Ezt a példánk szerint igényelt ECT értéket i többek között az alábbi összetételű hpl elégíti ki (3):

- T2 170/DW 105/T2 135
- FL 180/DW 105/FT 140
- TC 160/DW 105/KR 175

T2-Testliner 2 DW – Dunawelle FL-félmázolt fehér kraft, FT-Fehér testliner TC-mázolt fehér testliner, KR-kraftliner

A doboz gyártásához szükséges hpl választékot tehát a  $BCT=f(ECT)$  összefüggés alapján számítjuk. Megjegyezzük, hogy a számítás csak FEFCO ASSO 0015 doboztípusra alkalmazható. Ez azonban nem jelenti azt, hogy az előállított TF dobozok nem lehetnek kimetszett gyártásúak. A számított BCT ( $BCT_{sz}$ ) a töltött dobozok oszlopban tárolásakor fellépő legnagyobb igénybevételt jelenti, ami – mint említettük – az oszlop legalsó dobozára hat. Ez azonban nem jelenti azt, hogy mindenkor a leg-alsó doboz fog összeroppanni. A töltőtömeg és a tárolási halmaz doboz számának megadása esetén a teljesítendő nyomóerővel szembeni ellenállás ( $BCT_{TEJ}$ ) számítható.

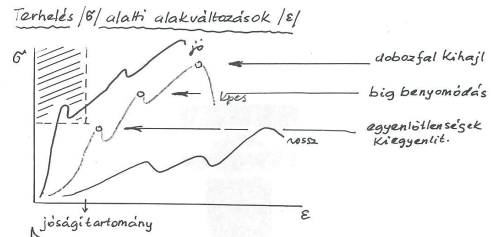
**Amiről kevés szó esik**

A BCT vizsgálatot, amelyet többek között a FEFCO No. 50, TAPPI 804, DIN 55440, ASTM D 642-76 ír le az olvasók általában ismerik, ezért a vizsgálat körülményeinek csak a sokszor elfelejtett vagy kevésbé ismert néhány tényezőjét említem. Ismeretes, hogy

a BCT vizsgálat a nyomóerővel szembeni ellenállás meghatározására szolgál (4).

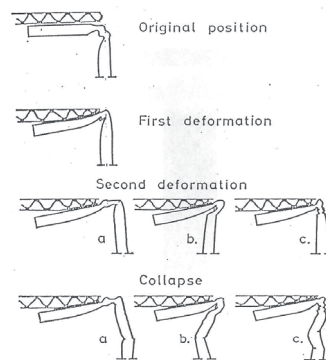
A dobozt üresen, záró lapjait rögzítve vizsgáljuk. A leragasztott hajtókájú dobozok BCT-je ugyan kisebb, mint a nem rögzített lapú dobozoké, azonban a mérések variációs koefficiense kedvezően  $V=1,4 - 6,7\%$ , a nem rögzített záró-lapúak  $V=3 - 11\%$ -ával szemben.

A vizsgálat alatt a folyamatosan ható nyomóerő abszorpciója során rendszerint kétszer visszaesik a doboz ellenállása a nyomóerővel szemben az összeroppanása előtt, ami a vizsgálat alatt felvett diagramból jól látható (4. ábra).



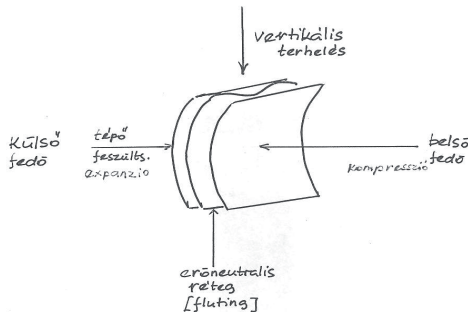
4. ábra A Hpl doboz alakváltozásai a folyamatosan növvő nyomóerő alatt

Ennek magyarázata: 1. az első maximum jelenti a doboz kiegyenlítődését például a domborodó záró fedelek síkban kiterülését, 2. a második maximum a fedél és a fenék sík hajlító éléinek benyomódását, 3. a harmadik maximum a doboz oldalfalainak kihajlását illetve megtörését jelzi (5. ábra).



5. ábra A nyomóerővel szembeni ellenállás csökkenés okai

Nyomóerő hatására a doboz konvex alakváltozása: Az oldalfal kívülről nézett konvex kihajlásának mechanizmusát mutatja be a 6. ábra.



6. ábra A doboz oldalfal kihajlásának mechanizmusa

A megfigyelés szerint

- ha a doboz mind a négy oldala kifelé hajlik akkor nagy BCT értéket mérünk,
- ha 3 oldal hajlik kifelé akkor közepes BCT értéket mérünk,
- 2 vagy egy oldal konvex kihajlásnál akkor kis BCT értéket mérünk.

Kis nyomóerőnél az erő eloszlása a doboz kerülete körül egyenletes.

Ha növeljük a nyomást, akkor egy kritikus terhelési szint elérésekor a doboz oldalfala kidomborodik. A vertikális élek egyenesen maradnak.

A terhelés eloszlása a doboz sarkaira koncentrálódik és ha a terhelést tovább növeljük, a doboz sérülése a sarkoknál fog bekövetkezni ott, ahol a horizontális és vertikális élek találkoznak.

Az elmondottak magyarázatot adnak arra, hogy a maximális teher viselőképeség nem csak a hpl élszilárdságától (ECT), hanem a doboz oldalfalainak kihajlással szembeni ellenállásától is nagymértékben függ. A gyakorlat számára adható tanács, hogy a doboz vertikális eleit célszerű megerősíteni például a hajtott oldalfal duplázásával. A ferde rakatolás, a halmazolt doboz raklap méretét meghaladó elhelyezése csökkenti a nyomással szembeni ellenállást, ezért az ilyen eljárást kerülni kell.

### Mikrohullámú és kis g/m<sup>2</sup> tömegű lemezek

A csomagolásban növekszik a finom hullámok („E” és „F”) szerepe. A mikrohullám lemezt malomipari termékek, szappanok, illatszerek és kozmetikai termékek, elektronikai cikkek, száraz élelmiszerek, gyors étkeztetési élelmiszerek, számítógép részegységek, kisebb és könnyű tömegű autó alkatrészek csomagolására használják. Ezen túl szoftvereket, pizza és

szendvics csomagoló dobozokat készítenek a hagyományos karton dobozok helyett. Ezek a termékek a jó minőségű nyomott kartonokkal versenyeznek, noha a karton jobban nyomtatható és kedvezőbb az ára. A mikrohullámú dobozok kb. 40%-át az élelmiszeripar, 60%-át a többi ipar használja fel. Ezért is szólnunk kell a mikrohullámú és az alacsony g/m<sup>2</sup> tömegű lemezek nyomóerővel szembeni ellenállásáról, noha elsősorban és döntő mennyiségben az egyedi termékek csomagolóanyaga és nem gyűjtő doboz, amely utóbbinak jelentős teherbíró képességgel kell rendelkeznie.

Az „E” hullámú 3-rétegű hpl BCT értékét nem mérik. A BCT vizsgálat FEFCO No. 50 szabvány nem tér ki a lemezek hullámrétegére és nem ad eligazítást vagy tiltást az „E” hullámú hpl BCT értékének vizsgálatára. Mint ismeretes a BCT meghatározásához a McKee egyenletben szereplő ECT értékre viszont szükség van. Az „E” hullámú hpl ECT értéke azonban megbízhatóan nem határozható meg, aminek egyik oka, hogy a vizsgálat alatt az élére állított lemez-minta felső széle a nyomás hatására elhajlik illetve megtörik.

A vizsgálat végpontját azonban nem a minta élének letörése kell hogy jelezze, hanem a vizsgálati minta szélességének legalább az 1/3-ánál kell a mintának megtörnie. Az ekkor leolvasott nyomóerő érték adja meg a hpl élszilárdságát. A vizsgálati lemez-minta nem kívánatos élettörésének további oka a lemez kis vastagsága, a mikrohullám 1,2-1,7 mm hullámmagassága miatt. A vizsgálat eredménye, ezért legfeljebb csak tájékoztató jellegű lehet. Érthető tehát hogy az „E” hullámú lemez ECT-jét és így a felhasználásával készült doboz BCT-jét sem mérik.

Srenc papírt tartalmazó hpl ECT értékét hasonlóan nem határozzák meg a mérési eredmény megbízhatóságának hiányában, ezért az ilyen lemezből készített dobozok BCT értékét sem határozzák meg.

Más a helyzet a kombinált hullámrétegű hpl-ek esetében. Az 5-rétegű „EC” illetve „EB” hullámú lemezek ECT értéke a lemezek szilárdságának megbízható mutatója. Ezen lemezek felhasználásával akár rotációs vagy kímetszett módon készült TF dobozok BCT értéke is számítható (BCTSZ) illetve mérhető (BCTM). Az ilyen kombinált hullámrétegű lemezekből egyrészt gyűjtőcsomagolásra szánt, másrészt önhordó (pl. TV) dobozok készülnek.

**„Könnyített” alappapírokból készült hpl dobozok**  
Világtendencia mind gazdasági, mind ökológiai szempontból a szállított és raktározott termékek „túlcsoomagolásának” elkerülése. A hpl termékek gyártásánál ezt a tendenciát követve mind a fedőréteg, mind a hullámréteg g/m<sup>2</sup> tömegét csökkentik. Modell kísérletet végeztem Austro Liner fedő és Austro welle alappapírok g/m<sup>2</sup> tömege szerinti hpl kombinációkra számolt ECT értékek meghatározására. A Maltenfort egyenletben a gyártó által nem mért, hanem tanúsított SCT értékkel számoltam és az eredményként kapott ECT értékekkel becslétem a BCT-t. A 10 db egymásra helyezett 4 kg/doboz töltőtömegű halmaz legalsó dobozára ható nyomóerő 9x4 kg = 360 N (5).

A 90 g/m<sup>2</sup> tömegű két fedő-, és 80 g/m<sup>2</sup> hullámrétegű hpl ECTSZ = 3,72 kN/m. Ezen ECT értéket az egyszerűsített McKee egyenletbe helyettesítve: K = 600 mm és T = 4 mm mellett, a BCTSZ = 415 N. Az alsó doboz terhelésének mértéke: 360/415 = 87%. A számítások szerint a kis g/m<sup>2</sup> tömegű alappapírok-

ból készült hpl dobozok alkalmasak a termékek szállítói/raktári gyűjtőcsomagolására

#### Felhasznált irodalom

1. Urs Ernst EMPA (St.Gallen): Prediction of the BCT FEFCO 1998 október
2. R.C. McKee: Compression strength formula for corrugated boxes  
Paperboard Packaging 48. 8.sz., 1963. p. 149-159.
3. Zsoldos B.: Hpl dobozok nyomással szembeni ellenállásának becslése  
Papíripar 45. 3. sz. 2001. 94- 98. old.
4. H. Markström: Testing methods and instruments for corrugated board  
Lorentzen and Wettre, Stockholm, 1999.
5. Zsoldos B.: Austro liner és Austro welle hpl alappapírokra vonatkozó SCT, CMT vizsgálati előnyök/hátrányok a minőségbiztosítás, -tanúsítás és a gyártási körülmények figyelembevételével Hamburger-Hungaria Kft., Szakértői Jelentés, Kézirat. 111 old. 2011. január.



MÉDIATECHNOLÓGIAI ÉS KÖNNYŰIPARI INTÉZET

Gyors és szakszerű szaktanácsadással, anyagvizsgálatokkal, valamint szakértői vélemények készítésével állunk partnereink rendelkezésére papíripari, nyomdaipari és csomagolóipari területen.

Elérhetőségeink:

*Cím: 1034 Budapest, Doberdó út 6.*

*Telefonszám: 06-1-666-5961*

*Fax: 06-1-666-58-76*

*<http://mki.rkk.uni-obuda.hu/>*

*E-mail: [mti@rkk.uni-obuda.hu](mailto:mti@rkk.uni-obuda.hu)*