

ETO: 676.846:676.273.3:

676.017.42 539.411:539.58

Keywords: corrugated board, boxes,

ECT test, BCT test

Hpl dobozok teherviselő képességeinek becslése

Zsoldos Benő*, Kovács Katalin*

Bevezetés

A vevők csomagolóeszközökkel szembeni igényének egyik kritériuma a megfelelő áruvédelem biztosítása a csomagolt termékek szállítása, raktározása alatt. A csomagolóeszköz-tervezésnek az ad jelentőséget, hogy az igénybevételtől függően kell megállapítani a hpl minőségét, a doboz-konstrukciót. Ilyen igénybevételi jellemző például a dobozba helyezendő áru tömege, mennyire tölti ki a termék a doboz térfogatát, az egymásra helyezéskor a doboz viseli-e a terhelést vagy a benne lévő termék, az egymásra helyezésre kerülő dobozok száma, a klimatikus körülmények a szállítás és tárolás alatt, a tárolás, raktározás ideje stb. Látható, hogy a tervező munka egy része a doboz szilárdsági tulajdonságának minél pontosabb meghatározására kell hogy irányuljon. A szilárdsági tulajdonságok közül is elsősorban a doboz terhelhetőségének számítása (BCT érték megállapítása) az egyik legfontosabb feladat. Ha ugyanis a dobozok nyomóerővel szembeni ellenállásának becslése jelentősen elmarad az igénybevételtől, úgy már a tárolás rövid ideje alatt a doboz megroppan, az egymásra helyezett dobozokból álló oszlop az áruval együtt megdől, a dobozok egymásba csúsznak, majd végül ledőlnek és a termék megsérül vagy tönkremegy.

Az alábbiakban bemutatjuk, hogy a hpl dobozok nyomóerővel szembeni ellenállásának tervezésével kapcsolatos számításokat miként tettük pontosabbá elősegítve ezzel a becslés pontatlanságából adódó hibák okozta kár elkerülését.

1.0 A becslés pontosságának első állomása: ECT érték

Ha valamely hullámlemez-választékból kivágtott próbatestet az élére állítjuk és megmérjük, hogy a minta mekkora nyomást bír el a lemez megroppanásáig akkor ez az első olyan felhasználható információ, ami ezen lemezből készült doboz nyomással szembeni ellenállására utal (ECT vizsgálat). Egy 3 rétegű hpl ellenállása a lemezt alkotó papírok nyomással szembeni ellenállásától függ az alábbi összefüggés szerint:

$$ECT = 0,45 (SCT_{F1,2} + SCT_H) +$$

Minél nagyobb az ECT, annál ellenállóbb a lemez. Az ECT nagysága a lemez fedőrétegei (SCT_F) és a hullámosított réteg (SCT_H) összenyomhatósággal szembeni ellenállásától, valamint a állandó nagyságától függ.

*Dunapack Rt., Hullámtermékgyár

Az összefüggés egy egyenes egyenlete, ami jól látható az alábbi helyettesítéssel:

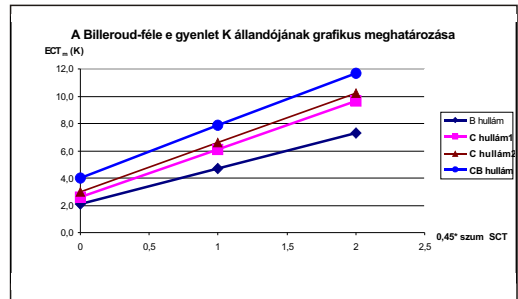
$$ECT = 0,45x + \text{ ahol } x = SCT = SCT_{F1,2} + SCT_H$$

Az ECT- becslés pontossága szempontjából lényeges az x és egymáshoz viszonyított aránya. A az x értékének 3 rétegű lemezeknél átlagosan 30%-a, 5 rétegűeknél 40%-a, vagyis a állandó viszonylag nagy a mért SCT paraméter értékhez képest ezért is fontos a pontos meghatározása [1]. A meghatározásához ábrázoljuk az y vs X értékpárokat a különböző hpl választékokra vonatkozóan

$$Y = ECT_M \quad X = 0,45 \quad SCT, \text{ ami megfelel}$$

$$y = X \quad 45^\circ \text{ hajlásszögű egyenes egyenletének.}$$

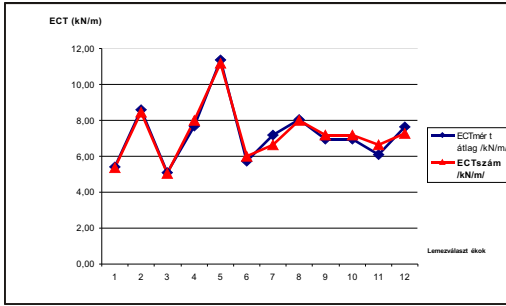
Az ábrázolt pontok átlagán keresztül húzott 45° -os egyenes ECT_M tengely metszete adja a állandó nagyságát. A hpl termékek négy csoportjára meghatározott $y = X$ egyeneseket az y tengelymetszettel azonos értékkel szemlélteti az **1. ábra**.



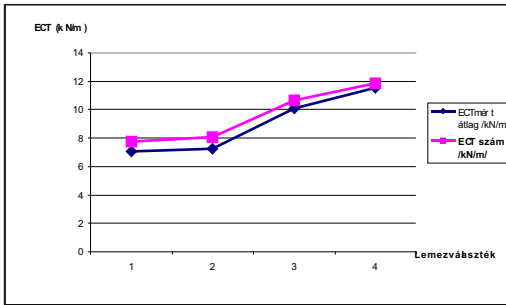
1. ábra

A Billerud egyenlet azonban csak egy állandóval számol, amelynek értéke $=1,73$ Ennek az a magyarázata, hogy a Hullámtermékgyár, szemben az északi országok gyakorlatával, a csomagolóeszközök széles skáláját állítja elő, amihez több mint 150 hpl választékot gyárt. Ezek az alappapírok kombinációiban különböznek egymástól. A hpl választékok alappapírjai egy-részt rostösszetétel szempontjából is jelentősen különböznek egymástól, másrészt az alappapírok közel 100% hulladékpapír tartalmúak. Ez okozza, hogy a hpl választékok egy-egy csoportjához más állandó tartozik

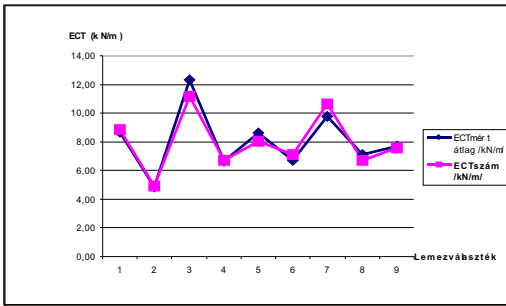
Az ECT becslése az alappapírok SCT értékének ismeretében a állandó helyes értékének megválasztásával válik pontosabbá. Ennek az eredménye hogy a mért (ECT_M) és számított (ECT_{SZ}) ECT gyakorlatilag azonos értékű **(2a, 2b, 2c ábra) [2]**



2a. ábra



2b. ábra



2c. ábra

2.0 A becslés pontosságának második állomása: a BCT érték

2.1 BCT értéket befolyásoló tényezők

A dobozok nyomóerővel szembeni ellenállása számos olyan tényezőtől függ, amelyet a tervezéskor számítás útján általában nem vesznek figyelembe. Ezek közül a legfontosabbakat az alábbiakban foglaljuk össze [3]:

a./ Az ECT érték ingadozása

Az ECT ingadozása magában foglalja a hpl-t alkotó alappapírok SCT változásait, a hpl réteg-összetartó erejének ingadozását és az ECT mérésből adódó szórást. Méréseink szerint az ECT ismételhősége 7%... 10%. Ettől a tényezőtől ennek a mértékében ingadozik a BCT érték is.

b./ Hpl vastagsága

Amikor a dobozok BCT értékét számítással becsülik, nem veszik figyelembe a hullámosított réteg összenyomódásából származó vastagság-csökkenést, hanem a lemez névleges vastagságával számolnak.

Ha például a hpl vastagsága az eredeti 6,0 mm-ről 5,4 mm-re csökken, ez a BCT 6%-os csökkenését eredményezi. A tervezéskor azonban nem ismeretes, hogy a feldolgozás, nyomtatás, tárolás során milyen mértékű lesz a lemez-vastagság csökkenése. Ha a lemezre ható nyomó terhelés a hullám réteget a rugalmas tartományon túli mértékben veszi igénybe és emiatt maradandó deformációt szenved, úgy a lemez ECT értéke kb. 30%-kal csökken, ami a BCT csökkenésében is jelentkezik.

c./ A doboz méretének arányai

A dobozok halmaz-szilárdságának számításakor nem veszik figyelembe a doboz hosszúságának (H) és szélességének (Sz) arányát. A 31CB hpl választékból készült minta dobozok vizsgálata szerint, ha a H/Sz arány 0,5 akkor a számított és a mért BCT érték közel azonos. Amennyiben $H/Sz > 0,5$ akkor a számított értéket 1,3-del, ha a $H/Sz < 0,5$ úgy a számított értéket 0,85-dal kell megszorozni, hogy a mért értéket kapjuk.

A doboz magassága szintén befolyásolja a BCT nagyságát, azonban a McKee egyenlet ezt sem veszi figyelembe. Erre vonatkozó eddigi vizsgálataink szerint, ha a magasság $M > 2000$ mm, a BCT 20%-kal kisebb.

d./ A dobozok éléinek hornyolási minősége

A BCT érték nagyságára különösen a doboz alsó és felső füleinek hornyolási minősége van hatással. A sarkokban, ahol a doboz élei találkoznak, a nyomóerő ezeken a sarokpontokon lesz a legnagyobb az oldallapok kihajlása miatt. A lemez hornyolási minősége ezeken a helyeken ezért is kritikus. A BCT becslésénél ezt a minőségi paramétert sem tudják számításba venni.

e./ A hpl hajlítási merevsége

A hpl hajlítási merevségét (S_p) az általánosan használt egyszerűsített McKee egyenlet nem veszi figyelembe. A hajlítási merevségnek azonban kitétettszerepe van a BCT érték nagyságának meghatározásában, mint ahogyan ezt az eredeti McKee egyenlet mutatja:

$$BCT = k * ECT^{0.75} * S_p^{0.25} * Z^{0.5}$$

ahol Z a doboz kerülete, mm
k állandó

f./ Az alappapírok húzási merevsége

A hpl hajlítási merevségének (S_b) vizsgálata mérő készülék hiányában hazánkban nem megoldott, emiatt a hpl-t alkotó alappapírok húzási merevsége helyettesíthető a lemez merevség vizsgálatot. A húzási merevséget (E_b) az alábbi összefüggés definiálja:

$$E_b = 1/b \cdot df/d$$

Ahol: F erő, a papír méretváltozása, %, b próbatest szélessége

A Billerud-Stora számítógépi BBD program ez utóbbival számol.

Az egyszerűsített McKee egyenlet azonban a papír húzási merevségével nem számol, ezért a tervezők a BCT becslésénél ezt is figyelembe kívüli kell hogy hagyják. Azonos ETC esetén azonban a BTC különböző lehet, aminek oka a hpl fedőrétegeinek hajlítási merevsége. Ebből is látható, hogy a BCT becslésére használt McKee egyenlet e tekintetben sem tökéletes, mivel csak ECT-t veszi figyelembe. Az alappapírok húzási merevségének az ad kiemelt fontosságot, hogy ettől függ a lemez hajlítási merevsége.

2.2 Kísérletek a BCT egyenlet módosítására [4]

a./ Eredeti McKee egyenlet

A McKee egyenlet a BCT becslését teszi lehetővé.

Az eredeti egyenlet az alábbi:

$$BCT = 2,028 ECT^{0,75} * S_b^{0,25} * Z^{0,5}$$

A képletben szereplő hpl hajlítási merevség a hpl gyártási és keresztirányú hajlítási merevségének az átlaga:

$$S_b = (S_{b,MD} * S_{b,CD})^{0,5} Nmm$$

Mint említettük ez az összefüggés a legjobban közelíti a gyakorlati BCT méréseket, azonban az S_b mérésére gyártott 4-pontú hajlítómerevség-vizsgáló készülék kell hozzá.

b./ Egyszerűsített McKee egyenlet

Az egyszerűsítés itt azt jelenti, hogy a lemez hajlítási merevsége hiányzik az összefüggésből és helyette a hpl vastagságának a négyzetgyöke szerepel,

$$BCT = 5,876 ECT * T^{0,5} * Z^{0,5}$$

Megemlítjük, hogy az összefüggés csak a doboz kerületét veszi figyelembe. A doboz magasságára is csak az a kitétel, hogy a kerületének több mint az 1/7-e legyen. Az általános külföldi szakvélemény szerint az egyenlettel a BCT becslése bizonytalan és a mért értékek a számítottól 40% mértékben is eltérhetnek.

c./ A Hullámtermékgár által használt összefüggés

A gyár ISO eljárási utasításában rögzítettek szerint a BCT becslésére az egyszerűsített McKee egyenletet kell használni, amelyben a $k=5,876$ helyett $k=5,3$ állandóval számolnak. Ha összevetjük a két állandó okozta BCT különbséget, úgy a BCT 10%.

d./ Katzenbeisser/Ketzler/Rieder módosítás

A módosítás lényege a konstans értékének jelentős változtatása mellett az, hogy figyelembe kívánja venni a doboz magasságát (M):

$$BCT = 22,99 ECT^{0,678} * Z^{0,59} * M^{-0,042} * T^{0,475}$$

Összehasonlító számításaink szerint ezzel az összefüggéssel 2,2-szer nagyobb doboz-terhelhetőséget kapunk a ténylegesen mért értékénél. Az egyenletben szereplő M dobozmagasság változása csak igen kis mértékben hat a BCT értékre oly módon, hogy a magasság növelésével csökken a számított BCT.

A közölt képlet BC hullámú ötrétegű lemez BCT becslésére az alábbiak szerint módosul:

$$BCT = 14,663 ECT^{1,44} * Z^{0,192} * M^{-0,021} * T^{0,917}$$

Számításaink szerint ezzel az összefüggéssel az előbbi egyenlettel szemben 1,48-szor nagyobb BCT értéket kaptunk, mint a mért érték. Noha ez a becslés kedvezőbb ugyan, de a nagy mértékű eltérés miatt nem fogadható el.

e./ Jansen-féle módosított egyenlet

Jansen szerint a BCT rossz becslésének oka, hogy a lemez hajlítási merevségét (S_b) a vastagsággal helyettesítik, másrészt az az eddigi egyenletekben az ECT szerepét szerinte a nem megfelelő hatványkitevő miatt nem megfelelően határozták meg. Jansen a módosított egyenletében már szerepelteti a doboz hosszúságát (L) és szélességét (B). Ezzel az egyenlettel a BCT becslés pontosságát a hpl hajlítási merevség vizsgáló készülék hiányában ellenőrizni nem tudtuk. A Jansen-féle összefüggés a következő:

$$BCT = 1,674 ECT^{0,661} * S_b^{0,339} * L^{0,5} + B^{0,5} * (B/L)^{0,25}$$

Vizsgálataink szerint, ha a különböző hosszúság és szélesség adatokat az egyenletbe helyettesítjük, a két zárójeles kifejezés szorzata annál jobban nő, minél jobban eltér a doboz a négyzet alaktól és ezzel a BCT növekedéséhez járul hozzá. Eddigi kísérleti eredményeink azonban arra mutatnak, hogy szemben a Jansen összefüggéssel, a dobozok „mérettorzulásával” a BCT érték csökken.

f./ M. Kainulainen-féle összefüggés

A javasolt egyenlet, ami a számított és mért BCT $r=0,95$ korrelációval bizonyított, a következő:

$$BCT = 17,7 ECT^{0,85} * T^{0,85} * (L+B)^{0,38}$$

Vegyük észre, hogy ez az összefüggés sem vizsgálja a H/Sz arány változásának a BCT értékre gyakorolt hatását, hiszen az L+B a doboz kerület méretére utaló szám.

A fentiekben közöltek arra mutatnak, hogy számos törekvés született a BCT pontosabb becslésére, az azonban a 2.1 pontban felsorolt, a BCT értékre ható legfontosabb tényezőkkel egyik összefüggés sem foglalkozik.

2.3 Új megoldás a BCT pontosabb becslésére

Az eddig közöltekből meggyőződhetünk arról, hogy az ECT értékre ható alappapír-tulajdonságok, valamint a BCT érték nagyságát befolyásoló számos paraméter okozza a mért (BCT_m) és számított (BCT_{sz}) BCT értékek közötti 15...20%-os eltéréseket. A McKee egyenlet és annak különböző módosításai sem oldják

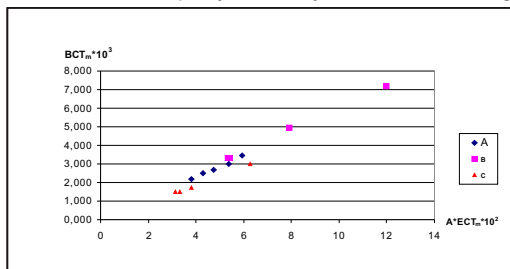
fel ezt a problémát. Az általunk kidolgozott javaslat azon alapul, hogy a számos változó hatását, amely a BCT értéket különböző irányban befolyásolja, egy konstans értékbe sűrítjük össze [5., 6.]. Mivel azonban a gyártott termékek hullámlemez választékai ill. az ezeket alkotó alappapírok fizikai, mechanikai tulajdonságai széles határok között változnak, ezért 3-féle konstans határoztunk meg és kísérlet képen a modellként választott 14-féle hpl lemezt ennek megfelelően 3 kategóriába (A, B, C) soroltuk

A számításokhoz a hulléktermékgár 2001. évi BCT és ECT mérési eredményeit használtuk fel. Az összefüggések vizsgálatára az egyszerűsített McKee egyenletet az alábbi helyettesítéssel írjuk fel:

$$BCT_M = m \cdot A \cdot ECT_M, \text{ ahol } A = (T \cdot Z)^{0,5}$$

$m = \text{az egyenes iránytangense}$

Ha ábrázoljuk a 14 hpl választék BCT_M vs. $A \cdot ECT_M$ értékpárokat, azt találjuk, hogy azok egymástól eltérő hajlásszögű 3 egyenesen fekszenek, amelynek az m iránytangense meghatározható (3.ábra). Az ábrán látható három féle pontjelzést a jobb szemléletesség



3. ábra

kedvéért nem kötöttük össze. Az azonos jelzetű pontokat összekötő egyenesek iránytangensei adják a McKee egyenlet új konstansait. Az 1. táblázat a 3 hpl kategóriára meghatározott iránytangensek értékeit és az ezekkel számított BCT értékek %-os eltéréseit a mért értékekhez viszonyítva, foglalja össze. Látható, hogy amíg a jelenleg használatos $m=5,3$ konstanssal számolva a BCT_M/BCT_{sz} közel 9%-os eltérést okoz, addig az új iránytangensekkel a számított és mért BCT

1. táblázat

HPL csoport	Új m érték	BCT mért/számított %	
		$m=5,3$	új m -érték
A	5,75	8,9	0,4
B	6,10	8,9	0,4
C	4,67	8,3	-0,1

Új m értékkel számolva BCT_{sz} eltérése a BCT_M értéktől, HPL csoportonként

eltér és 0,1...0,4%.

További kísérleti munkánk arra irányul, hogy a módosított iránytangensű McKee egyenletérvényességét kiterjesszük a gyártott lemezek valamennyi alapválasztékára.

IRODALOM

- Zsoldos B.: Az ECT elméleti és gyakorlati függése a hpl papír összetevőinek tulajdonságaitól. III. rész. Kézirat. Dunapack Rt. Hullámtermékgár 2002. 07. 13. 1-5 old.
 - Kovács K.: 2001 évi BCT mérési eredmények értékelése. Kézirat. Dunapack Rt. Hullámtermékgár 2002. 07. 12. 1-5 old.
 - Zsoldos B.: BCT_M és BCT_{sz} nagyságát befolyásoló tényezők. Kézirat. Dunapack Rt. Hullámtermékgár 2002. 08. 10. 1-5 old.
 - Zsoldos B.: McKee egyenlet korrekciók a dobozméret figyelembevételére. Kézirat. Dunapack Rt. Hullámtermékgár. 2002. 01. 02. 1-5 old.
 - Zsoldos B.: BCT_M és BCT_{sz} nagyságát befolyásoló tényezők III. rész. BCT mért és számított értékek egymáshoz közelítése (HTGY csepeli modell). Kézirat. Dunapack Rt. Hullámtermékgár 2002.08.22. 1-5 old.
 - Zsoldos B.: BCT_M és BCT_{sz} nagyságát befolyásoló tényezők IV. rész. BCT mért és számított értékek egymáshoz közelítése (HTGY dunajvárosi modell). Kézirat. Dunapack Rt. Hullámtermékgár 2002. 08. 25. 1-3 old.
- ÁBRÁK
- ÁBRA A Billerud-féle egyenlet állandójának grafikus meghatározása
 - 2a. ÁBRA Csepeli gyártású C hullámú hpl választékok mért és számított ECT értékei
 - 2b. ÁBRA Csepeli gyártású CB hullámú hpl választékok mért és számított ECT értékei
 - 2c. ÁBRA Dunajvárosi gyártású C hullámú hpl választékok mért és számított ECT értékei
 3. ÁBRA Hpl csoportonként (A, B, C) a McKee egyenlet új iránytangenseinek meghatározása

ETO: 614.7: 676.013.5(439) 676.273.3"56"

Keywords: Dunapack Rt, corrugated board environmental management, LCA

Környezettudatos tervezés a gyakorlatban

Kovács Katalin*

Jelen cikkünkben a Dunapack Rt. termékeinek környezeti hatásairól szólnak, kiemelve a hullámpapír-lemezből készült termékek környezeti hatásait. Arról

*Dunapack Rt.

számolunk be hogyan érvényesítjük a gyakorlatban azokat az alapelveket és hosszútávú célkitűzéseket, amelyeket környezeti politikánkban (az integrált irányítási politika részeként) megfogalmaztunk.