

## Hullámpapírlemezekből készült dobozok roppantási szilárdsága

**Százéves történetének ellenére a hullámpapírlemez és a belőle készített hullámdoboz ma is modern termék, amely folyamatosan hódít meg újabb és újabb csomagolási területeket. Változatos felhasználási lehetőségei miatt az egyik legáltalánosabban alkalmazott szállítói csomagolóeszköz. Ideális az áruk csomagolására, tárolására, szállítására, mivel viszonylag nagy a szilárdsága, és a tömege jóval kisebb sok más csomagolóanyagénál.**

Az új felhasználási területek újabb és szigorúbb követelményeket támasztanak a hullámpapírlemizzel, illetve a belőle készült dobozzal szemben. A legáltalánosabb elvárások az alábbiak szerint összegezhetők:

- az alkalmazott csomagolási technika és a csomagolás típusa legyen teljesen kompatibilis a csomagolási funkcióval;
- tartsa össze az egyedi tételeket vagy a tételek csoportjait;
- védje a terméket a kezelés, tárolás és szállítás során fellépő káros behatásokról, ütésektől;
- képes legyen a termék különböző körülmények közötti tárolására a csomagolástól egészen a termék értékesítéséig;
- tömege a lehető legkisebb legyen a minél kisebb szállítási költség érdekében;
- legyen alkalmas a bele csomagolt termék azonosítására és imázsának közvetítésére;
- élelmiszercsomagoló anyagként való felhasználás esetében pedig feleljen meg a csomagolás higiéniai követelményeinek.

A felsoroltak alapján jól látható, hogy igen sokféle szempontot kell a hullámdoboz csomagolás tervezésekor figyelembe venni.

Természetesen valamely konkrét áru csomagolásának tervezésekor a várható igénybevétel pontos ismeretében lehet az igényeknek megfelelő szilárdsággal rendelkező hullámdobozt tervezni. A tervezéskor figyelembe kell venni, hogy

- géppel vagy kézzel töltik-e a hullámdobozt;
- a csomagolásra kerülő termék önhordó-e;
- mennyire tölti ki a termék a doboz térfogatát;
- milyen tömegű terméket kívánnak egy dobozba tenni;
- szállításkor, tároláskor hány dobozot raknak egymásra;
- közúti, vasúti vagy tengeri szállítással fog eljutni a felhasználóhoz a csomagolt termék;
- a termék tárolása milyen klimatikus körülményeket igényel stb.

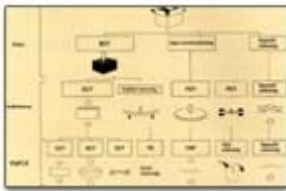
A hullámdoboz nyomószilárdsága (BCT érték) kulcsfontosságú tulajdonság a hullámdoboz szerkezetének tervezésekor. Ehhez szükség van olyan modellre, amely alkalmas a hullámdoboz várható tulajdonságainak becslésére a hullámpapírlemez szilárdsága és a dobozméret alapján. A hullámpapírlemez szilárdsága pedig az alkalmazott hullámprofil típusnak és az alkotó papírok minőségének a függvénye. A hullámdobozok és a hullámpapírlemezek jellemző tulajdonságait a keretes összeállításunk tartalmazza.

### A hullámpapírlemez rövid ismertetése

A hullámpapírlemez papírból készült többrétegű termék, amelynek alkotói közül legalább az egyik hullámosítással készült. A hullámpapírlemez hullámosított rétege eredményezi a szerkezet nagy szilárdságát. A hullámosított réteg klasszikus papírja a fluting, amely semleges szulfitos feltárású cellulózból készül, míg a wellenstoffés a srenc papír általában szekunder rostanyag alapú. A wellenstoff papír minőségi mutatói a kémiai segédanyag adagolás következtében megközelíthetik a fluting papír minőségét. A hullámpapírlemez másik fő alkotórétege a fedőréteg papír, amely lehet kraftliner, testliner vagy srenc papír. A kraftliner papír klasszikus alapanyaga a szulfát fenyőcellulóz, a testliner papír szekunder és

primer rost felhasználásával készül, míg a srenc papír kizárólagosan szekunder rostanyag bázisú. Különböző hullámalakok (profilok) léteznek speciális geometriai jellemzőkkel. Az A, B, C hullámprofilok tekinthetők a hagyományosoknak, azonban az új igények következményeként a hagyományos hullámprofilokon kívül egyre többféle új típus jelenik meg. Az F (finom) hullámprofil alkalmazása a 90-es években kezdett elterjedni, főként a gyorsétkeztetésben felszolgált szendvicsek és kozmetikai szerek, ajándékok csomagolásához alkalmazzák. Létezik már az F hullámtól is finomabb N profil, azaz nano hullám. Az F- és N-hullámú lemezek egyesítik a kartonok jó

nyomtathatóságát és a hullámpapírlemezek kitűnő szilárdságát. A hullámprofil skála a másik végén is szélesedik, az A hullámnál nagyobb méretű hullámprofilokat is alkalmaznak, ilyen például a K profil (hullámmagasság 6,0 mm). A különböző hullámprofil jellemzőket az 1. táblázat foglalja össze.



<b>A különböző hullámprofilok jellemzői</b>		
	Átlagos hullámosztás (t), mm	Átlagos hullámmagasság (h), mm
N (nano)	1,80	0,55
F (mini)	2,40	0,75
E (mikro)	3,50	1,16
D (midi)	4,90	2,00
B (finom)	6,50	2,50
C (közepes)	7,95	3,66
A (nagy)	8,66	4,45
K	11,70	6,00

#### Hullámdoboz várható BCT értékének becslése

A hullámpapírlemez és a hullámdoboz egyes várható szilárdsági jellemzőit a lemezt alkotó hullámosításra kerülő papírréteg és fedőréteg papírok szilárdsági jellemzői határozzák meg (l.ábra). Az ábrán jól látható, hogy mely doboz illetve lemez szilárdsági jellemző az, mely alappapír szilárdsági tulajdonsággal hozható kapcsolatba.

Annak érdekében, hogy a doboz ellenállásának mértékét előre lehessen becsülni a hullámpapírlemez szilárdsági tulajdonságai alapján, McKee egy általánosan elismert képletet fejlesztett ki, amelynek továbbfejlesztett egyszerűsített változata az alábbi:

$$BCT = k1 \times ECT_{0,75} \times Sb_{0,25} \times Z_{0,5}$$

ahol:

- $Sb = S_{bmd} \times S_{bcd}$  a hullámpapírlemez gyártás- és keresztirányú hajlítási merevségének mértani átlaga;
- $Z$  a doboz kerülete;
- $ECT$  a lemez elnyomó szilárdsága;
- $k$  konstans.

Fenti egyenlet tovább egyszerűsített változata a

$$BCT = k2 \times ECT \times T_{0,5} \times Z_{0,5}$$

egyenlet, ahol a hullámpapírlemez merevségét a hullámpapírlemez vastagságával helyettesítették ( $Sb \ll F$ ), a konstans pedig úgy van megválasztva, hogy a termék mért BCT értékét adja meg N-ban.

Ez az egyszerűsített egyenlet nyilvánvalóan nem veszi számításba a valódi hajlítási merevséget, amely az alkotó fedőrétegek és a hullámosításra kerülő alappapír réteg húzási merevségétől függ, és ezért ezt nem ajánlatos használni különböző típusú fedőréteg és hullámosított réteg papírokból készült hullámdobozok becsült BCT értékének összehasonlítására.

Azonos négyzetmétertömeg esetén a kraftlínér papíroknak várhatóan jobb a húzási merevsége, mint a testlínér papíroknak. Ez egyben a kraft papír alapú hullámpapírlemez nagyobb hajlítási merevségét és belőle készült hullámdoboz nagyobb BCT értékét is eredményezi. Ennek következtében a kraftlínér gyártók a komplett McKee formulát, míg a testlínér gyártók inkább az egyszerűsített képletet preferálják a hullámdoboz várható szilárdságának becsléséhez.

A McKee képletben szereplő másik alapvető, a számításnál figyelembe veendő paraméter a lemez elnyomó szilárdság (ECT érték), ami egyrészt mérhető, másrészt számítható az alappapír jellemzők LCT, RCT, CCT, SCT értékei alapján. A konkrét számítási képletek tárgyalását mellőzve fel kell hívni a figyelmet arra, hogy ha számítással kívánjuk meghatározni a várható ECT értéket, akkor a jelen ismeretek szerint a rövid befogású nyomószilárdság alapú számítások a legmegbízhatóbbak a korábbiakban tárgyalt szempontok alapján.

A lemezek elnyomó szilárdságának mérésére különböző módszerek ismeretesek. Ezek a vizsgálati próbatestek alakjában, magasságában, a minta előkészítés módszerében térnek el egymástól.

Európában a legáltalánosabb a 100 mm x 25 mm próbatest méret, amelyet Billerud típusú vágó berendezéseken vágnak ki. Hagyományos hullámtípusok esetén a nagy falvastagság miatt próbatest kihajlással nem kell számolni, ugyanakkor a hagyományostól eltérő, kis hullámmagasságú hullámpapírlamezek (F, N, E stb. típusok) vizsgálatakor a próbatest megroppanása mellett végbemegy egy definiálatlan kihajlás, és ezzel a mérési eredmény reprodukálhatósága romlik. Ez a várható BCT érték nagyobb hibáját fogja eredményezni.

A fenti két alapvetőnek tekinthető BCT számítási képletén kívül rendkívül sok változat született a különböző típusú, összetételű hullámpapírlamezből készült hullámdobozok várható BCT értékének becslésére. A gyakorlatban azonban egyik modell sem bizonyult valamennyi hullámtípusra és dobozméretre általánosan alkalmazhatónak, mivel a számítás során a BCT értéket befolyásoló valamennyi tényező (mérési módszerek korlátai, mérési eredmények ingadozása, doboz méretarányok hatása, lemez összenyomódás a feldolgozás során, hornyolás, kivágás minősége, pontossága stb.) figyelembe vétele szinte lehetetlen.

### **Felhasznált irodalom**

- [1] Ebmeyer, W.E.: Effekthascherei oder innovative Verpackung? Neue Verpackung, 1994.10.sz. p.28.
- [2] Markström, H.: Testing Methods and Instruments for Corrugated Board. Publisher: 1988 Lorentzen and Wettre, Stockholm
- [3] Raubal, H. G.: Hullámpapírlemez vizsgálati szeminárium. 1998. március 10. Papíripari Kutatóintézet Kft.
- [4] Zsoldos B.- Kovács K.: HPL dobozok teherviselő képességének becslése. Papíripar, ..... 46. évfolyam, 6. sz.
- [5] Project CTP FR 0103: Improvement of Corrugated board box characteristics made from recycled fibres during recycling and papermaking. 2001.

---

## **Hullámdoboz és hullámpapírlemez jellemzők**

### **HULLÁMDOBOZ NYOMÓSZILÁRDSÁG** (Box Compression Test - BCT)

A BCT mérés a legáltalánosabb és legfontosabb minőségi teszt a kész csomagolóeszközöknél. Általában üres dobozokkal végzik, de lehet teli dobozokkal is. Ezzel határozzák meg a doboz függőleges irányú nyomóerővel szembeni ellenállását.

### **HULLÁMDOBOZ REPESTŐ NYOMÁSA, ÁTLYUKASZTÁSI MUNKÁJA**

Optimális esetben megegyezik a dobozgyártáshoz felhasznált lemez értékével, de általában a feldolgozási művelet következményeként annál kisebb, mivel a lemez a doboz-készítés, nyomtatás során összenyomódhat.

A hullámpapírlemez legfontosabb szilárdsági jellemzői a hajlító merevség, lapos nyomó-, elnyomó-, repesztő-, ragasztási-, átlukasztási szilárdság, valamint a hajlítási ellenállás.

### **HAJLÍTÓ MEREVSÉG** (Bending Stiffness)

A hullámpapírlemez hajlító merevsége teszi lehetővé a lemez hajlítását és belőle 3-dimenziós forma kialakítását. Ennek köszönhető az is, hogy alakja különböző nyomáshatások esetén is megmarad. A hullámpapírlemez fal merevsége növekszik a vastagság növekedésével. Ezzel a tulajdonsággal hozható kapcsolatba a hullámpapírlemez kihajlása, vetemedése.

### **LAPOS NYOMÓSZILÁRDSÁG** (Flat Crush Test - FCT)

A hullámpapírlemez lapos nyomási ellenállását a hullámosítás elasztikussága határozza meg, ez adja a lemez ütéselnyelő képességét. A hullámpapírlemez elveszti eredeti szilárdsági tulajdonságát, ha a hullám összeroppan.

### **ELNYOMÓ SZILÁRDSÁG** (Edge Crush Test - ECT)

A hullámpapírlemez elnyomó szilárdsága igen nagy. Fontos szerepet játszik a belőle készült töltött hullámdoboz halmazolhatóságában. A lemez vastagságának és szélességének növekedésekor nő az elnyomó szilárdság.

### **REPESTŐ SZILÁRDSÁG** (Bursting Strength)

A repesztő szilárdság határozza meg, hogy mennyire képes elviselni a csomagolás a belső (becsomagolt árutól származó) és a külső nyomást.

### **ÁTLYUKASZTÁSI MUNKA** (Puncture Energy Test - PET)

A hullámpapírlemez átlukadhat, ha a csomagolás tartalma vagy egy külső tárgy ütést fejt ki rá. Ettől csökkenhet a csomagolóeszköz szilárdsága, kiszóródhat a tartalma és romlik az esztétikai megjelenés. E tulajdonságról kaphatunk információt az átlukasztási munka mérésével.

### **RAGASZTÁSI SZILÁRDSÁG** (Pin Adhesion Test)

A hullámpapírlemez ragasztási szilárdság (tüskés módszer) mérésével a szerkezet stabilitásáról kaphatunk információt. A vizsgálat során azt az erőt mérik (tüskesort illesztve a hullámközökbe), amely a fedőréteg és a hullámosított réteg szétválasztásához szükséges.

### **HAJLÍTÁSI ELLENÁLLÁS** (Rigidity)

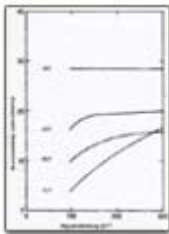
A hornyolt (bigelt) hullámpapíriemez hajlítással szembeni ellenállása (merevsége) jelzi, hogy várhatók-e problémák a dobozok szétnyílásánál a csomagolási művelet során.

A hullámpapíriemez és a belőle gyártott hullámdoboz tulajdonságait a felhasznált alappapírok és a ragasztás minősége fogja megszabni. A hullámpapíriemezt alkotó, hullámosításra kerülő papírok legfontosabb jellemzői a négyzetmétertömeg, elnyomó szilárdság, lapos nyomószilárdság, vízfelvevő képesség, légáteresztő képesség, a hullámpapíriemez fedőrétegeké pedig a felsoroltakon kívül még az esztétikai megjelenés, simaság/érdesség, feltépődési szilárdság, tépőszilárdság, nyomtathatóság. A továbbiakban csak a hullámpapíriemez és a hullámdoboz szilárdságát meghatározó jellemzőkkel foglalkozunk részletesebben.

### **NÉGYZETMÉTERTÖMEG** (Grammage)

A hullámpapíriemez alappapírok egyik legalapvetőbb jellemzője, amely a papír egységnyi területének tömegét jelenti. Általánosságban igaz, hogy minél nagyobb a papír négyzetmétertömege azonos rostösszetétel esetében, annál jobb a szilárdsági jellemzők.

Mivel szoros összefüggés van a fedőréteg és a hullámosított réteg elnyomó szilárdsága és a



hullámdobozt alkotó hullámpapíriemez elnyomó szilárdsága között, kétségtelen, hogy az alkotó papírkomponensek elnyomó szilárdsága a legfontosabb papírjellemző. Ezt a tulajdonságot minden esetben a papír keresztirányában vizsgálják. A hagyományosan alkalmazott papír elnyomó szilárdság mérési módszerekkel (lineáris-LCT, gyűrűs-RCT, hullámosított-CCT minta befogással) kapott eredmények erősen függenek a mérési elrendezéstől, a próbatest méretétől és a próbatest előkészítés módszerétől. A legtöbb módszer 12,7 mm széles és 152 mm hosszú próbatestet használ. A vizsgálat során a próbatestet úgy rögzítik, hogy a szabad befogási hossz a mérés irányában 6,35 mm. A

rögzített próbatestet a torlóprés két párhuzamos felülete között összenyomják és eredményként azt a maximális erőt fogadják el, amelynek a próbatest még ellenáll.

### **LINEÁRIS NYOMÓSZILÁRDSÁG** (Linear Crush Test - LCT)

A próbatest egy egyenes csík, amelyet függőleges helyzetben tart egy speciális befogó. Manapság azonban ezt a módszert hullámosításra kerülő papír vizsgálatára csak nagyon ritkán használják.

### **GYŰRŰS NYOMÓSZILÁRDSÁG** (Ring Crush Test - RCT)

Méréskor a próbatest gyűrűbe meghajlított formában kerül befogásra egy kör alakú rést tartalmazó speciális befogóban. A vizsgálatot mind hullámosításra kerülő, mind fedőréteg papírok esetében alkalmazzák.

### **HULLÁMOSÍTOTT ELYNOMÓ SZILÁRDSÁG** (corrugated crush Test CCT)

A próbatestet „A hullámú profilt kialakító laboratóriumi hullámosító berendezésben meghullámosítják, majd ugyanilyen hullámprofilú befogóban függőlegesen rögzítik. Általánosan a hullámosított réteg papírok vizsgálatára alkalmazzák, de fedőréteg papírokra is alkalmazható.

E papír elnyomó szilárdság mérő módszerekkel szemben a legfőbb kifogás, hogy nem tisztán az elnyomó szilárdságot mérik, a méréskor mindhárom esetben a próbatest különböző mértékű kihajlásával, deformációjával kell számolni, ami a lineáris próbatest befogás esetében a legnagyobb.

### **RÖVID BEFOGÁSÚ NYOMÓSZILÁRDSÁG** (Short Compression Test SCT)

Ez az új mérési elven alapuló, pontos és megbízható módszer forradalmasította a papír nyomószilárdság vizsgálatot, kiküszöböli a kihajlási problémákat. A módszert nemzetközileg is igen gyorsan elfogadták a hullámpapíriemez alappapír gyártók éppúgy, mint a hullámpapíriemez gyártók, akik a beérkező papír alapanyagok ellenőrzésére és a hullámdoboz optimalizálására (BCT érték) alkalmazzák.

A vizsgálat során a nyomóerőt csak a papírminta egy kis szakaszára fejtik ki, így nem tép fel kihajlás, deformáció. A módszer alkalmas fedőréteg és a hullámosításra kerülő papír vizsgálatára egyaránt. A hagyományos elnyomó szilárdság mérő módszerek helyettesíthetők vele.

Hullám alappapírok négy különböző módszerrel kapott nyomószilárdsági index (nyomószilárdság/négyzetmétertömeg) értékeit szemlélteti a 2. ábra.

Az ábrán a nyomószilárdsági indexet (amely elméletileg független a négyzetmétertömegetől) a négyzetmétertömeg függvényében ábrázolták.

A különböző vizsgálati módszerekkel kapott eredmények nyilvánvaló eltéréseit a 2. ábra jól tükrözi.

Különösen az LCT és az RCT módszer mutat növekvő értékeket a négyzetmétertömeg növelésekor, ami azt jelzi, hogy a kapott eredmény az alacsony négyzetmétertömegeknél a kihajlás következménye és nem a várt összeroppanásé, így ezek a módszerek, ebben a négyzetmétertömeg tartományban nem a szükséges anyagtulajdonságot (nyomószilárdságot) mérik. Nyilvánvaló, hogy a CCT módszerrel kapott értékek szélesebb négyzetmétertömeg tartományban konstansak, ami azt jelzi, hogy az érték független a négyzetmétertömegetől ebben a tartományban. A CCT módszerrel mért értékek az SCT módszerrel mért értékek mindössze 60 százalékát teszik ki. Ennek oka valószínűleg a hullámosítás anyaggyengítő hatása. Az SCT módszerrel kapott eredmények függetlenek a négyzetmétertömegetől, vagyis a módszerrel valóban a mérni kívánt tiszta nyomószilárdságot mérjük. Az SCT méréssel helyettesíthető az LCT, RCT és CCT módszer.

### **LAPOS NYOMÓSZILÁRDSÁG** (Concora Medium, Test - CMT)

A hullámosításra kerülő papírrétegjellemzője. A próbatestet gyártási irányban meghullámosítják és a hullámokat ragasztószalaggal rögzítik úgy, hogy a hullámok ne hajoljanak szét a vizsgálat során. A

hullámosított réteg CMT értéke felelős a legnagyobb részben a hullámpapírlemez lapos nyomószilárdságáért. A gyártásirányú SCT mérési eredményből következtetni lehet a CMT értékre is.

**SZAKÍTÓSZILÁRDSÁG** (Tensile Strength)

A szakítószilárdság mérésével egyidejűleg információt kapunk a papír nyúlásáról is. A hullámosított réteg papír szakítószilárdsága meghatározza azt, hogy mennyire képes hullámokat alkotni a hullámlemez gépen.

**HÚZÁSI MEREVSÉG** (Tensile Stiffness - TS)

A húzási merevséget a húzóerő és a nyúlás arányaként határozzák meg a papír rugalmas deformációjakor. A fedőrétegek húzási merevsége határozza meg a hullámpapírlemez merevségét.

**REPESZTŐ SZILÁRDSÁG** (Bursting Strength)

Ezt a fedőrétegeknél mérik és kPa-ban fejezik ki. A papírmintát növekvő hidraulikus nyomásnak teszik ki, amíg ki nem reped. A repesztési mutató a papír négyzetmétertömegétől független repesztési értékét adja meg. A fedőrétegek repesztő szilárdsága határozza meg a hullámpapírlemez repesztő szilárdságát.

**TÉPŐSZILÁRDSÁG** (Tearing Strength)

Az a mN-ban mért erő, ami a papírmintán végzett bevágás továbblépéséhez szükséges. A fedőrétegek tépőszilárdsága hatással van a hullámpapírlemez átütési szilárdságára.