

A hullámpapírlemez papírkomponensei tulajdonságának hatása a lemez élszilárdságára

1. rész

Zsoldos Benő

A hpl szilárdságát az ECT vizsgálattal mérjük

A vevők csomagolóeszközökkel szembeni igényének egyik kritériuma a megfelelő áruvédelem biztosítása a csomagolt termékek szállítás, raktározása alatt. A csomagolóeszköz tervezésnek az ad jelentőséget, hogy az igénybevételtől függően kell megállapítani a hpl minőségét.

Az áruval töltött hpl dobozokat raktározás és szállítás során egymásra teszik a raktártér ill. a szállítóeszköz által biztosított hely jobb kihasználása miatt. A dobozok alsó élei az alatta levő doboz felső élein nyugszanak és a felettük lévő töltött dobozok terhelése nyomja az alattuk lévőket. Ha egy doboz töltő tömege például 6kg és 12 dobozt tesznek egymás fölé, akkor a legalsó dobozra ható terhelés $11 \times 6 + 11 \times 0,5 = 71,5 \text{ kg}$. Ezt a gyakorlati igénybevételt szimuláljuk az ECT vizsgálattal. A doboz oldalfalainak teherbíró-képességét az ECT vizsgálattal mérjük, amikor is azt vizsgáljuk, hogy az élére állított próbatest mekkora maximális nyomóerőt bír ki. Az ECT vizsgálat tehát a lemez nyomással szembeni ellenállását méri. A hpl azonban különböző alappapírokból áll, vagyis a lemez ellenállását a lemez alkotó papírjainak nyomással szembeni ellenállása adja.

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 Billerud összefüggés szerint:

$$ECT = 0,45(SCT_F + \alpha \cdot SCT_H) + \kappa$$

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

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

$$y = mx + b$$

ahol

$$m = 0,45$$

$$y = ECT, \text{ kN/m}$$

$$x = SCT_F + \alpha \cdot SCT_H, \text{ kN/m}$$

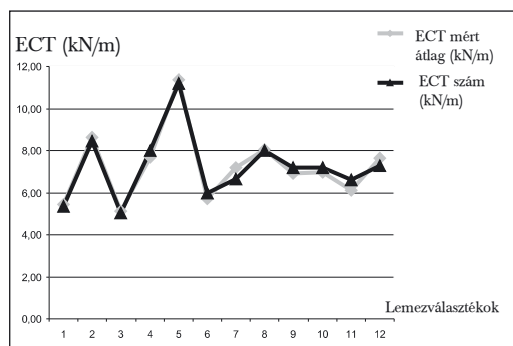
$$b = \kappa$$

$$\alpha = \text{hullámosítási tényező. „C” hullámnál } 1,466$$

A Billerud egyenlet elemzése

Az egyenlet iránytangense (m)

Szemetűnő, hogy az egyenlet iránytangense nem $m=1$, hanem $m=0,45$. Ez azt jelenti, hogy a lemez papíralkotóinak kompresszibilitása nem határozza meg a lemez nyomással szembeni ellenállását teljes mértékben. A számított ECT-t (ECT_{sz}) mért ECT-nek (ECT_M) tekinthetjük, mivel a vizsgálataink szerint $ECT_M \approx ECT_{sz}$ (1. ábra). Bemutatjuk 3 hpl választék (A, B, C) esetében a lemezt alkotó papírok mért $\sum SCT$ értéke és az ECT_M közötti eltérést. Az ECT értékek 18-24%-kal kisebbek a $\sum SCT$ -nél. Azt gondolnánk, hogy a lemez papíralkotóinak szilárdsága összeadódik, és ez adja a hpl nyomással szembeni ellenállását, vagyis az ECT értéket. A képletből ugyanis ez az additivitás jól látható. Azt is mondhatjuk, hogy az alappapírok SCT értéke a hpl szerkezetben csak az összegük 45%+ κ mértékben vehető figyelembe és több mint 20%-a nem hasznosul, függetlenül a hpl-t alkotó alappa-



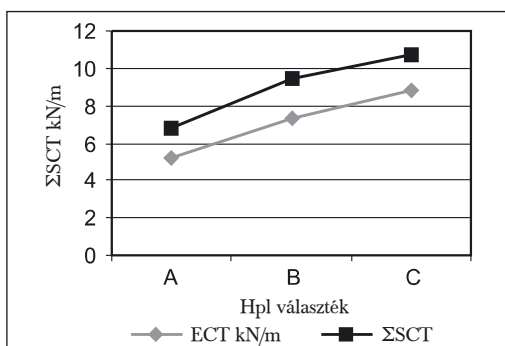
1. ábra. ECT mért és számított értékeinek egyezősége

pír minőségétől. Ennek a nem hasznosítható kompressziós ellenállásnak a mértéke a hpl ECT nagyság szerinti sorozatában két választék-eltérésnek felel meg (pl. 22C⇒24C). Más szóval az alappapíroknak a lemezben nem hasznosítható kompressziós ellenállási vesztesége miatt – amit az $m=0,45$ iránytangens fejez ki – két választékkal erősebb hpl-t kell a hpl csomagolóeszköz számára tervezni, hogy ezt a veszteséget kompenzáljuk.

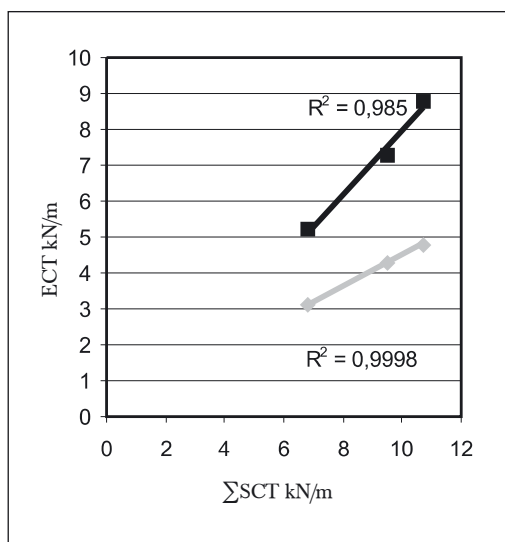
Az elmondottak szerint az alappapírok kompressziós szilárdságának (az SCT értékeknek kN/m) az összege gyakorlatilag a hpl ECT értékének (kN/m) a 70-80%-át adja (2. ábra). Kedvező lenne, ha az SCT veszteséget minimálisra szoríthatnánk és ezzel az $m=0,45$ tartana az $m=1$ felé.

Az $m=1$ iránytangens azt jelentené hogy a lemez fedőrétegeinek és hullámosított rétegének Σ SCT értéke kb. 30%-kal meghaladja a mért ECT értéket. Az azonosság nem, de az arányosság fennáll az SCT és ECT között, amit a lineáris egyenlet kifejez. Ha az SCT például kétszer nagyobb, akkor az ECT értéke is kétszer nagyobb. Ha például az $y=mx+b$ egyenletben $x=1$ vagyis a Σ SCT összege a zárójelen belül 1, akkor az ECT csak 0,45, ha $x=2$, akkor az ECT 0,9 és így tovább.

Az A, B, C modell hpl választékokra vonatkozóan mutatjuk be az $m=0,45$ és $m=1$ iránytangensekkel felvett SCT-ECT összefüggést (3. ábra). A Billerud jelenlegi egyenletében szereplő $m=0,45$ egyenes azt jelzi, hogy a hpl alappapírok jelentősebb SCT változása a lemez ECT értékének csak kis változását eredményezi



2. ábra. Hpl választék ECT és ΣSCT összehasonlítása


 3. ábra. ECT-SCT összefüggés $m=1$ és $m=0,45$ esetén

az $m=1$ iránytangenssel szemben. Az $m=0,45$ esetben az alappapírok nagyobb változtatására kínálkozik lehetőség az ECT lényeges módosulása nélkül, ami előnyt és hátrányt egyaránt jelenthet. Az alappapír szilárdságának módosulása ugyanis kevésbé tükröződik az ECT érték változásában. Gondolni kell itt arra, hogy a papírgépi tekercs két szélén, a szélesség kb. 30-30%-ában az SCT általában 15-20%-kal kisebb, mint a tekercs középrészén. Az $m=0,45$ hátrányt jelent azonban abban a tekintetben, hogy a hpl-t alkotó papírnak jelentősen nagyobb SCT értékkel kell rendelkeznie ahhoz, hogy szignifikáns ECT változást indukáljunk.

Feltehető a kérdés, hogy mikor lenne az egyenlet iránytangense $m=1$ és nem $m=0,45$. A válasz erre az alábbiakban adható:

- ha a fedőrétegek és a hullámosított réteg feszültség-nyúlás karaktere (diagrammja) azonos lenne. Ez más szóval azt jelenti, hogy a hpl-t alkotó papírok szakító munkája egyforma, vagyis

$$L_{sz} = \eta F_{max} \Delta l$$

ahol

F_{max} = szakító erő, N

Δl = hosszúság növekedés, m

η = papír anyagára jellemző szám

L_{sz} = szakító munka, J/m²

A gyakorlatban persze ilyen eset nem igen fordul elő, hogy a fedőrétegek és a hullámosított réteg is egymással azonos szilárdságú legyen, de törekedni kell, hogy lehetőleg minél közelebb legyenek egymáshoz

- ha a hullámréteg kompressziós szilárdsága nem csökken a hpl gyártásakor a hullámosítás művelete alatt, ami mind a gyártásnál, mind a laboratóriumi próbatetest előkészítésnél elkerülhetetlen.
- Vizsgálattal igazolt, hogy a hullámcsúcson a legkisebb az SCT érték. A csökkenés mértéke SCT_{MD} kb. 40%. Ezt a jelentős kompresszibilitás-csökkenést a rost-rost kötések károsodása okozza, amely a papír hullámosításakor fellépő nagy feszítő erőből származó feszültségnek a következménye.
- Az SCT_{CD} kb. 20%-kal csökken a hullámosítás miatt
- A hullámlemezgyártó gépen a papír hullámosításánál minél nagyobb a hengert papírral burkoló szög, annál jobban csökken az SCT. A papír nagyobb mértékű feszítése és a kisebb sugár menti hajlítás az SCT csökkenését fokozza.

Az elmondottak az SCT csökkenését okozzák, viszont a számításokhoz az alappapír feldolgozása előtti SCT mérési eredményével tervezik a hpl ill. a belőle készült doboz nyomással szembeni ellenállását.

A lemezt alkotó alappapírok nyomással szembeni ellenállása (SCT)

• Az SCT vizsgálat előnyei

Az SCT vizsgálat a lemezt alkotó alappapírok nyomással szembeni ellenállását méri. A vizsgálat előnye a korábbi vizsgálatokkal (RCT, CCT) szemben a következő:

- a papírban keletkező nyomófeszültség a papír deformációja nélkül mérhető
- a papír belső rostszerkezetében, kizárólag a nyomással szembeni ellenállást méri, és nem torzítja az eredményt a papír szélének megtörése, kihajlása
- A vizsgálat alatt a próbatest a belső, rostszerkezetben törik meg és nem az éleken. Ezt a 0,7mm próbatestbefogási távolság teszi lehetővé
- az SCT a papír szerkezeti tulajdonságainak a hatását méri, mint például a papír anyagösszetételének, a rosthosszúság, a rostok őrlésfokának, a papír térfogattömegének, merevségének, Z-irányú szilárdságának hatását.
- 350 g/m² feletti tömegű papírok mérésére is alkalmas
- a vizsgálatot nem terheli olyan hiba, mint a papír mérése alatti kihajlása (RCT), vagy a hullámosításhoz szükséges hő mennyisége (CCT, CMT).

Az SCT vizsgálat gyors elterjedését segítette a nemzetközi SCT vizsgálati szabványok megjelenése, jelesül: SCAN – P 46, ISO 9895, DIN 54518, TAPPI T 826, MSZ ISO 9895, APPITA/AS 1301.450, BS 7325.

Az SCT mérés megbízhatóságára jellemző, hogy egy laboratóriumon belül a mérések variációs koefficiense $V < 3\%$, a laboratóriumok között a $V = 3-7\%$ (SCAN-P46:83).

A vizsgálati eredmények szórása azonban egyrészt attól is függ, hogy hullámréteg papírra vagy fedőrétegre vonatkozik, másrészt az SCT-t gyártási vagy keresztirányban mérjük (**1. táblázat**). Látható, hogy a hullámréteg papír SCT relatív szórása kétszerese a fedőréteg mérési eredményeinek.

SCT V%	Hpl alappapír	
	Fedő	Hullám
gyárt.irány	4,6	8,4
kereszt ir.	3,1	7,2

1. táblázat: Az SCT szórása

• A hullámosított papírréteg szerepe

A lemez ECT értéke a hpl-t alkotó alappapírok kompresszibilitásától függ, amelyet az alábbiak szerint definiálunk:

$$ECT = m_1 \times \sum SCT + \kappa$$

m_1 =az egyenes iránytangense

SCT=a hpl-t alkotó papírok összenyomhatósága, kN/m

κ =konstans

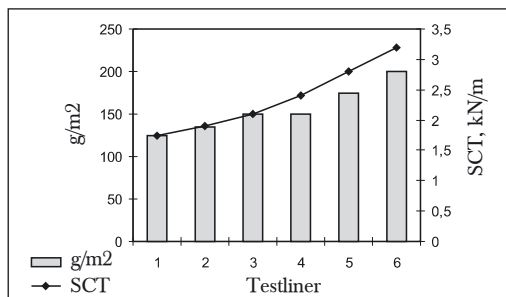
A hpl élszilárdsága (ECT) az egyenlet szerint nemcsak a fedőréteg, hanem a hullámréteg kompresszibilitásától is függ. Ezt a tényt azért különösen fontos kiemelni, mert hazai szakemberek között is nézetkülönbségek vannak a hullámréteg teherviselő képességének szerepéről. A hullámosított papír nagyobb SCT értéke kedvezőbben javítja a lemez ECT értékét, mint a fedőréteg nagyobb kompresszibilitása. Ennek igazolására mutatjuk be az alábbi példát:

Az egyik hpl-választékban a hullámosított papírt, amelynek az SCT értéke 1,85kN/m, kicseréljük HZ flutingra, amely esetben az SCT=2,9kN/m. Ekkor azt érzük el, hogy az hpl eredeti ECT-je 5,2 kN/m -ről 5,9kN/m-re, azaz 13%-kal nő. Ha ugyanezt a mértékű javítási cserét az egyik fedőréteg helyettesítésével hajtjuk végre, miközben a többi papírkomponens változatlan, akkor a lemez ECT-je az eredeti 5,2 -ről 5,6kN/m-re azaz 7,7%-kal javul. Vegyük észre, hogy ez utóbbi esetben közel kétszeres a %-os javulás, más szóval a hullámosított réteg papírjának SCT érték-növelése a célszerűbb.

• A lemezt alkotó papírok g/m² tömegének hatása az SCT értékre

Az eddigiekből jól látható, hogy a hpl nyomással szembeni ellenállása – amit az ECT értékkel fejezünk ki, és ami a dobozok terhelhetőségének

egyik legfontosabb alapja – a lemezt alkotó papírok nyomással szembeni ellenállásától (SCT érték nagyságától) függ. Az ECT növelése elsősorban a papírok nagyobb SCT értéke útján valósítható meg. Az alappapírgyártók az SCT növelését elsősorban a papír g/m² növelésével érik el és nem a papír belső, strukturális, rostszerkezeti változtatással. Kimutatható, hogy a nagyobb g/m² nagyobb SCT-t eredményez (4. ábra). Ha azonban a papír belső szerkezetétől függő kompresszibilitását akarjuk megtudni, akkor az SCT indexszel kell számolni. A papír összenyomási (kompresszibilitási) indexe: a mért SCT osztva a g/m² tömeggel: kNm/kg. Az alábbi példa azt demonstrálja, hogy egy nagyobb g/m² tömegű papír nagyobb SCT értéket eredményez ugyan, de a kompresszibilitási indexe a kétféle alappapírnak azonos. A papírgyártók és a feldolgozók közös érdeke, hogy egy adott g/m² tömegű papír SCT indexe minél nagyobb legyen.


 4. ábra. Az SCT és a g/m² összefüggése

Példa: Stora származású kétféle, egy 170g/m² és egy 123g/m² hpl alappapír keresztirányú SCT értéke 3,7kN/m ill. 2,7kN/m. Az előbbi papír SCT értéke 37%-kal nagyobb a másodikonál. A kompresszibilitási index azonban mindkettőnél gyakorlatilag azonosan 2,2kNm/kg Ez azt jelenti, hogy a nagyobb SCT-jű papír nyomással szembeni ellenállása nem a papír belső tulajdonságainak, hanem a 38%-kal nagyobb g/m² tömegnek az eredménye.

Látható az SCT értékek szoros korrelációja az alappapír g/m² tömegével. A hpl alappapírok SCT értékének növelése nem öncél, hanem a nagyobb ECT elérésének eszköze a hpl doboz nagyobb teherviselő képességének elérésére.