

Vizsgálati eljárás kifejlesztése a dobozok nyitási, hajlítási és szilárdsági paramétereinek ellenőrzésére

Készítette: Sághegyi Ramóna, Mechatronikai Mérnök BSc. hallgató III.évfolyam
Nyugat Magyarországi Egyetem Faipari Mérnöki Kar

Konzulensek:

Dr. Csóka Levente, Egyetemi docens;

Dr. Hány András, Pannon Fejlesztési Alapítvány Technológiai Centrum vezetője;

Nagy Kovács István, Zalai Nyomda Zrt. munkatársa

Tartalomjegyzék

1. BEVEZETÉS.....	3
2. NYOMDAI IGÉNYFELMÉRÉS	4
3. IRODALOMKUTATÁS.....	6
3.1. NYOMÓ SZILÁRDSÁG	7
3.2. DOBOZOK NYITÁSI ERŐSZÜKSÉGLETÉNEK MÉRÉSE	8
3.3. HAJLÍTÁSI ELLENÁLLÁS (BENDING RESISTANCE)	10
3.4. BEIGELÉS MÉRÉS ”GYŰRÖDÉSI TESZT” (CREASINGS TEST)	11
3.5. VISSZARÚGÁSI ERŐ MÉRÉSE (SPRING BACK)	14
4. VIZSGÁLÓBERENDEZÉS DEFINIÁLÁSA.....	14
4.1. ELSŐ TESZTEK	20
4.2. HAJTÁSELEM TULAJDONSÁGAI.....	20
4.3. KARTON TULAJDONSÁGAI (SZÁLIRÁNY, KERESZTIRÁNY)	21
5. MÉRŐESZKÖZ MEGFELELŐSÉGE, MÉRÉSI EREDMÉNYEK	22
5.1. GR&R	22
5.2. KÉPESSÉG VIZSGÁLATI ELEMZÉS	23
5.3. MÉRÉSI EREDMÉNYEK	25
6. TOVÁBBI FEJLESZTÉSI LEHETŐSÉGEK:.....	31
7. ÖSSZEGZÉS	32
8. IRODALOM JEGYZÉK	33

1. Bevezetés

A munkám célja Zalai Nyomda Zrt. ellenőrzési folyamataiba illeszkedő, specifikus és a gyakorlatban működőképes vizsgálati módszer kifejlesztése, amely alkalmas a sorozatgyártás előtt az elkészült prototípus-dobozok és nullszériák mechanikai paramétereinek meghatározására, különös tekintettel a roppantási szilárdság és a hajlítási merevség integrált vizsgálatára.

Az elmúlt 10 - 12 év sikeres beruházásai és fejlesztései révén a Zalai Nyomda Zrt. az értékesítésben erőteljes növekedést ért el ezzel a nyomtatott - hajtogatott dobozgyártásban. A magyar és regionális piac meghatározó társasága lett és a hazai multinacionális vállalatok fő beszállítójaként jelenik meg a piacon. A nagyvállalatok igényei megkívánják a minőségi követelmények tökéletes teljesítését, ezért vált jelentős fontosságúvá egy egyedi mérő és tesztelő labor kiépítése, mely biztosítja a megkívánt vizsgálatok elvégzéséhez szükséges feltételeket.

A cég laborjában jelenleg is végeznek méréseket a vevői elvárások kielégítésére.

A következő eljárásokat tudják elvégezni:

- Papír / karton vastagság mérése
- felülettömeg mérése,
- Papír / karton felületi vízfelszívó képesség meghatározása,
- lineáris méret-változásának meghatározása vízbemerítés után,
- Nyomat dörzsállóságának vizsgálata,
- Bliszterlakk hegedőképességének vizsgálata és érzékszervi vizsgálat: idegen szag vizsgálat (Robinson teszt).

Nyomdatechnológiai oldalról a nyomda igényli, hogy a kiinduló alapanyag megfelelő minőségű legyen. A beszállított alapanyagot mérések elvégzésével lehet ellenőrizni. A mérés során kapott eredményt(eket) a kartonpapírhoz kapott specifikációval összehasonlítva eldönthető, hogy a minősége megfelelő-e.

A Zalai Nyomda megrendelőit adott esetben a nyomdaipari standardok érdekelhetik. A legfontosabbak a doboz nyírószilárdsága, a nyitási erőszükséglet és a hajlítási merevség. A mérési eljárások eredményei tájékoztatást adnak arról, hogy a végfelhasználáskor milyen jellemző paraméterekkel fog rendelkezni. A mérés során meghatározott paramétereket össze lehet hasonlítani a kívánt értékekkel, vagy például gyártás előkészítésnél gyártógép működési tartományával. Ezen standard mérések kielégítése érdekében jött létre ez a fejlesztési együttműködés, mely a Pannon Fejlesztési Alapítvány és a Zalai Nyomda között jött létre. Az alapítvány keretein belül az én feladatomban volt ezt a mérő rendszert megtervezni és megvalósítani.

Dolgozatomban a kutatás-fejlesztési projekt egyes lépéseit és az ahhoz kapcsolódó eredményeket írom le. A dokumentum egyes fejezeteiben a Zalai Nyomdánál végzett igényfelmérést és az igényekhez kapcsolódó szabványok és irodalmak elemzését mutatom be, majd ezt követően az egyes mérési eljárásokat és az ehhez kapcsolódó mérő eszközöket ismertetem. Végezetül a megvalósított konstrukciót és az elvégzett mérési eredményeket összegzem, külön kitérve a további fejlesztési lehetőségekre és a mérési eredményekből származó szakmai ismeretanyagra.

Munkám során szakmai segítséget kaptam az alapítvány munkatársaitól (Horváth Pétertől, Illés Tamástól és Dr. Hány Andrásától), melyet ezúton is szeretnék megköszönni. Továbbá szeretném megemlíteni a Zalai Nyomda együttműködő munkatársait (Vincze Szabolcs és Nagy Kovács István) is, valamint az egyetemi konzulensemét (dr. Csóka Levente), aki segítette munkám eredményeinek összefoglalását.

2. Nyomdai igényfelmérés

A fejlesztés a doboz gyártási folyamatának felmérésével kezdjük, hiszen a meglévő folyamat tulajdonságaiból tudtuk meghatározni a fejlesztendő berendezés peremfeltételeit a termékek típusai, geometriai- és a szilárdsági jellemzői alapján. Ezekhez a peremfeltételekhez szorosan kapcsolódnak a nyomdatechnológiai, nyomdaipari standardok és a vevői oldaláról megkövetelt paraméter tartományok is.

A folyamat a megrendelő igényének beérkezésével kezdődik. A megrendelő kétféleképpen jelezheti az igényét:

- i. Elküldi a gyártandó termék mintáját,
 - ii. vagy a csomagolandó termék mintáját.
- i. Gyártandó termék minta

A megrendelő egy nem specifikált dobozt küld, amit gyártatni szeretne vagy tovább fejleszteni. A termék mintával együtt, egyes esetekben 1 – 2 specifikált adatot is kap a cég. A terméken elvégzendő fejlesztéseket szövegesen adja meg a megrendelő, mint például a nyitási erő legyen kisebb.

Mind gyártási, és fejlesztési szempontból szükség van a termék hajlítási merevségére, a nyitási- és roppantási erő szükségletére, mivel az említett információk hiányában nem tudják, milyen paramétereket kell reprodukálni, vagy mihez képest kell változtatni, így a felsorolt paraméterek méréséhez kellett kifejlesztenünk egy olyan mérési eljárást, mellyel elvégezhetők a különböző mérések a mintatermék reprodukálhatóságának érdekében.

ii. Csomagolandó termék minta

A megrendelő küld egy minta terméket, amihez csomagolást kell tervezni és gyártani. A termék minta a fejlesztésre kerül, ahol elkezdődik a csomagolástervezés. A tervezési folyamat során meghatározzák a termék képességeit, a minőségét és a költségét is, ezért ebben a szakaszban folyamatosan együtt működnek a megrendelővel.

Az előkészítéshez modern tervező- és előkészítő berendezéseket alkalmaznak.

A tervezés során a gyártáshoz szükséges teríték rajz készül el. Az elkészült teríték rajz alapján készítenek prototípust a plotteren. A plotter minden olyan műveletet el tud végezni, mint a stancoló gép, vágást, biegetést, riccelést. A plotter szoftverével állítják be a vágási, biegetési és riccelési paramétereket. A mintapéldány "mindenben megegyezik" a gyártásban készült termékkel, például alapanyag minőségben, technológiában és a gyártás során alkalmazott műveleti lépésekben is.



1. ábra Prototípus készítő plotter

A prototípust elküldik a megrendelőnek és egyeztetik a dizájnt és a funkcióit. A megrendelő itt még módosításokat kérhet a cégtől.

Ha a prototípust elfogadták, akkor egy nullszériás gyártást végeznek (próbagyártás). Nullszériás gyártásnál csak egy akkora mennyiséget gyártanak, mely végtermékként a megrendelőnél egy raklapnyi mennyiséget jelent. A legyártott terméket tesztelik, ha a teszt után nem igényel változtatást, akkor gyártásba kerül.



2. ábra A plotter biegeléshez és kivágáshoz használt egysége

A további felhasználáshoz vagy a végfelhasználáshoz szükséges paramétereket a vállalat csak akkor csatolja a mintához, ha azt a megrendelő kéri, ilyenkor egy erre szakosodott papíripari céggel méretik meg a szükséges paramétereket.

A paraméterek a következők:

- hajlítási teszt,
- nyitási erő,
- hajlítási ellenállás,
- roppantási erő.

A hajlítási ellenállás a kartonlap mérőszáma, míg a hajlítási teszt a biegelést, riccelést követően a végfelhasználáshoz szükséges hajlítási erőt adja meg. A nyitási- és roppantási erő a gyártott termék végfelhasználáshoz szükséges paramétereket és a doboz összehajtásához szükséges paramétereket adja meg.

A négy paraméterből, a hajlítási ellenállást nem feltétlenül kellene megmérni, mivel a karton beszállító vállalat megadja ezt a mérőszámot a csatolt specifikációban. Viszont a beszállított karton ellenőrzésére alkalmas lenne a fejlesztendő készülék.

Tehát a feladatomban a hajlítási ellenállás- és a biegelés méréséhez, valamint a nyitási- és roppantási erő méréséhez szükséges berendezést fejleszteni, mely a szabványos méréseken felül képes a szabványtól eltérő változtatható paraméterű mérések végrehajtására. A változtatható mérések szükségességét a további megmunkálási és végfelhasználási szempontoknak megfelelő paraméterek kalibrálására, illetve ellenőrzésére szolgálna. A további megmunkálások során a hajlító gép igényli legjobban a mérési eredmény paramétereit, mivel a szabványban előírt mérési pontoktól eltérő pontokon dolgozik a hajlítás során. Így már a tervezéskor be tudják állítani azokat a paramétereket a dobozon, melyek a további műveletek során biztosan megfelelőek lesznek.

Az előkészítési folyamat tervezési szakaszába tökéletesen illeszthető lenne a fejlesztendő berendezés, mivel a doboz készítés és a végfelhasználás során szükséges paraméterek itt kerülnek meghatározásra.

A felsorolt mérések alkalmazhatósága a gyártási folyamatban:

A mérési igényekhez állítható hajlító készülékkel könnyen mérhetőek lennének az automata hajtogató gépen a gyártás során alkalmazott, egyes ciklusoknál fellépő hajlítási erők. Az esetleges módosítások kimenete már a szériagyártás megkezdése előtt mérhető értékekkel alátámasztható.

A prototípus gyártásánál, - amennyiben a megrendelő mintadarabbal rendelkezik - a mintadarabon mérhető mechanikai paraméterek azonnali feltérképezésére, dokumentálásra. A mért paraméterek alapján az alapanyag és a gyártási technológia kiválasztásának ideje nagymértékben csökkenthető. A prototípuson mért adatok összehasonlíthatók a mintadarabbal. A gyártási folyamat elindítását, a 0-széria elkészültét, és a folyamat optimalizálását folyamatos méréssel lehetne támogatni.

A szériagyártást vevői, vagy belső igény szerinti időszakos mérések elvégzésével, illetve a technológiai folyamat esetleges tervezett, vagy véletlenszerű (műszaki, technikai probléma) változása esetén tudja támogatni a mérőberendezés.

3. Irodalomkutatás

Dolgozatom ezen szakaszában a kialakult peremfeltételek és igények alapján összeállított mérési csomaghoz összegyűjtött információk kivonatát mutatom be, mely tartalmazza a mérési eljárásokhoz tartozó szabványok előírásait, és a mérési paramétereket, az egyes mérési eljárásokhoz a piacon fellelhető vizsgáló berendezéseket, valamint a nyomdaipari vizsgálatokhoz kapcsolódó egyéb standardok (labor körülmények, mintavételezés) előírásait is.

A papíriparban a csomagoló anyagokat három nagy csoportra oszthatjuk a papírok fajlagos tömege alapján. [1]

- A 180 gr/m² tömeg alatt a terméket papírnak nevezzük,
- A 180 - 400 gr/m² közötti tömegű terméket kartonnak nevezzük,
- A 400 gr/m² feletti tömegű terméket papírlemeznek nevezzük.

A Zalai Nyomdánál felhasznált termékek alapanyaga karton, főként a 225-400 g/m² tömegű kartonok közé tartoznak.

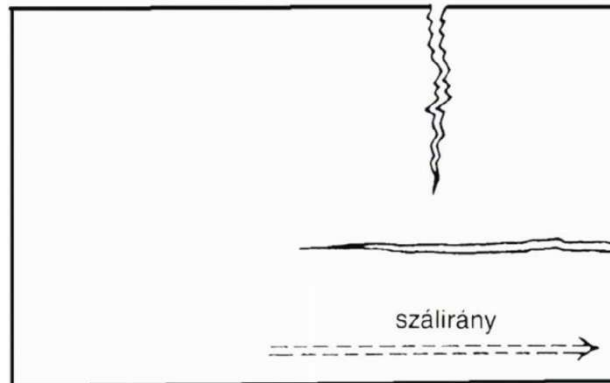
A kartonokat sokféle szempont szerint lehet vizsgálni, mindig azt szem előtt tartva, hogy a felhasználásnak éppen melyik szakaszában tartunk (nyomtatás, kivágás, hajtogatás).

Az általunk végzett vizsgálatoknál a karton tulajdonságai közül a szálirány az ami döntően befolyásolja a mérési értékeket és a mintavételezés szempontjából sem elhanyagolható, hiszen a kartonoknál megadott termék specifikációk a kartonok szál és keresztirányban vett mintákra vonatkoznak.

A papír száliránya a gépmester számára is fontos, de a könyvkötészeti feldolgozás egyes területein könyvkötészeti technológiai előírás. A papír szilárdsági és egyes fizikai jellemzői, a gyártás és a keresztirányban mérve különböző értékűek, ezért a vizsgálatokhoz e két irányt egyértelműen meg kell határozni. A tekercspapír gyártása megegyezik a tekercselés irányával, a keresztirány erre merőleges. Derékszögben vágott íves papíroknál a gyártás és a keresztirány az ív egymásra merőleges éleivel párhuzamos. A gyártás- és keresztirány, a gyakorlatban is alkalmazott meghatározási módszerei a következők:

- Elhajlítási próba: a vizsgálathoz a mintaív széleivel párhuzamosan, egymáshoz képest derékszögben, azonos méretű csíkokat vágnak ki. A mintacsíkokat egymásra helyezik, egyik végüket összefogják, majd szabad végüket jobbra-balra lehajolni hagyják. A keresztirányban kivágott csíknak kisebb a merevsége, ezért az jobban lehajlik.

- Tépőpróba: a tépőpróbánál egy tetszés szerinti nagyságú mintaíve, mindkét irányban beszakítanak. Amikor a szakítás a gyártási iránnyal párhuzamos, akkor majdnem egyenes irányú, míg a keresztirányú szakítás vonala a betépés irányától eltér és nagyobb erő kifejtést is igényel. Mindkét módszer jól alkalmazható enyvezett és enyveztelen papíroknál. E módszer a legelterjedtebb a nyomdaiparban. [1]



3. ábra. Gyártási szál és keresztirány meghatározása

A termékfejlesztés, a gyártási folyamatok valamint a vevői igények a következő paraméterek mérési lehetőségét kívánja meg: [2]

1. **Nyomó szilárdság** ISO 12048, DIN 55440 T1
2. **Nyitási erő**
3. **Hajlítási ellenállás** ISO 2493-1
4. **Hajlítási merevség** DIN 55437-3
5. **Visszarugási erő** BS 6965:1988

A kutatásom során az itt felsorolt szabványokat elemeztem. A szabványokban leírt konstrukciós leírások és az előírt vizsgálati paraméterek alapján körvonalazódtak a kifejlesztendő vizsgáló berendezések, illetve a mérési eljárások sarkalatos tulajdonságai, melyeket a tervezés során kiemelt jelentőséggel kellett kezelni.

A fejezet további részében bemutatnám az egyes mérési eljárásokat.

3.1. Nyomó szilárdság

A BCT (Box compression test) mérés a legáltalánosabb és legfontosabb mechanikai minőségi teszt a kész csomagolóeszközöknél. Ezen eljárással határozzák meg a doboz függőleges irányú nyomóerővel szembeni ellenállását.

A mérést általában üres dobozokkal végzik, de el lehet a már termékkel rendelkező dobozokkal is végezni. A nyomószilárdság mérésének módját több szabvány is rögzíti: DIN EN 22872, ISO 12048, TAPPI T804, DIN 55440 T1.

Az eljárás műszaki paraméterei és működési tartománya

- Kapcsolódó szabvány: ISO 12048
- Egyéb hivatkozott szabványok: DIN EN 22872, TAPPI T804, DIN 55440 T1
- A mérés alapparaméterei: [4]
 - Összenyomási sebesség: 10 mm/min $\pm$ 3 mm/min

- A felső lemez előtolási sebessége $10 \pm 5 \text{ mm/min}$. (Alaktartó csomagolásban, mint az üveg, kisebb arányban meg kell meghatározni, melyet a jegyzőkönyvben rögzíteni kell.)
- Használt dobozok elvárt pontossága $\pm 1 \text{ mm}$

A megvalósítandó mérési technológia

Az alkalmazandó mérőrendszer:

- Összenyomó berendezés
- Nyomólapok (a vizsgált dobozon túlnyúló lapok)
 - síklapúság 0,001 (max. 0,2% eltérés a lemezek párhuzamosságától)
 - max. deformáció 1 mm a maximális terhelés 75%-ánál (egy $100 \times 100 \times 100 \text{ mm}$ -es kockán mérve)
 - az egyik nyomólap maradjon vízszintes (0,002 tűréssel), a másik lap lehet fixen rögzített 0,002 tűréssel vagy önbeálló

A mérési eljárás

- Elsőként elő kell készíteni a megfelelő tesztadarabot, és lemérni a méreteit. A doboz esetleges tartalmát külön kell megmérni.
- Ezt követően történik a tesztadarab elhelyezése az alsó nyomólapra középre. Ügyelni kell arra, a nyomólap túlnyúljon a doboz felületén, különben közdarabot kellene használni.
- Ezután történhet a mérés, a nyomólapok egymáshoz történő közelítésével. A mérés során vagy az előre kiszámított (előírt) terhelési értéket közelítjük meg először, vagy megjelenik a doboz berogyása. Ha ez utóbbi történik, rögzíteni kell a leolvasott értéket.
- A terhelést eltávolítva – összeroppant doboz esetén – elvégezhetők a szükséges mérések a megsérült doboz felületén (geometria, bemélyedés, stb.).

Szabványos vizsgáló eszközök:

A mérőberendezés egy nagy merevségű vázból és két párhuzamos nyomólapból áll.



4. ábra Nyomó berendezés

3.2. Dobozok nyitási erőszükségletének mérése

A dobozok nyitási erő szükséglete (Boksz opening test) az automatizált gyártásban jelentős, hiszen a dobozok kinyitását végző készülékeknek is vannak korlátai, mint például a maximálisan

kifejthető erő, a megfogó felület nagysága, a pozíció, amelynél képes megfogni a munkadarabot és még sok más is.

Az eljárás műszaki paraméterei és működési tartománya

- Kapcsolódó szabvány: n.a.
- Egyéb hivatkozott szabványok: n.a.
- A mérési eljárás részletei a hasonló mérések előírásainak megfontolásai alapján készültek
- A mérés alapparaméterei:
 - Összenyomási sebesség: 10 mm/min $\pm$ 3 mm/min *
 - Használt dobozok elvárt pontossága $\pm$ 1 mm

A megvalósítandó mérési technológia

Az alkalmazandó mérőrendszer:

- Összenyomó berendezés
- Nyomópofák (a vizsgált doboz éleire illeszkedő)
 - méretpontosság $\pm$ 0,1 mm
 - az egyik nyomólap maradjon vízszintes (0,002 tűréssel), a másik lap lehet fixen rögzített 0,002 tűréssel vagy önbeálló

A mérési eljárás

- Elsőként elő kell készíteni a megfelelő tesztadarabot, és lemérni a méreteit.
- Ezt követően történik a tesztadarab elhelyezése az támasztópofára középre.
- Ezután történhet a mérés, a pofák egymáshoz történő közelítésével; majd rögzíteni kell a leolvasott értéket.
- A megnyitást követően elvégezhetők a szükséges mérések a kinyitott doboz felületén (geometria, bemélyedés, stb.).

A nyitási erőszükséglet meghatározásának, a doboz tervezési és fejlesztési folyamatában, illetve a gyártásközi ellenőrzésében alkalmazott vizsgálati eljárás.

A teszter készülék célja, hogy a raklapokon történő szállításhoz összehajtott állapotú kartonok csomagolás előtti szétnyitásához szükséges erőt meghatározza.

A vevői igények, illetve a csomagológépek nyitási paramétereinek szem előtt tartása végett gyakran előírják a nyitási erő maximális értékét. A nyitási erő pontos beállításával a töltőgépek működési stabilitása nagymértékben növelhető.

Ezen berendezéssel könnyen beállíthatóak, illetve a gyártás során, nyomon követhetőek a szükséges paraméterek.

Amennyiben a dobozok gyártási technológiájában bármiféle változás bekövetkezne, a nyitási paraméter azonnal mérhető, megelőzve egy esetleges vevői reklamációt.

Szabványos vizsgáló eszközök:



5. ábra Nyitási erőt mérő berendezés

3.3. Hajlítási ellenállás (bending resistance)

A hajlítási ellenállás a kartonoknak, és egyéb papíralapú anyagoknak az a jellegzetes tulajdonsága, amellyel ellenáll a hajlításnak.

Ezen tulajdonsága az alapanyagoknak nagyban befolyásolja a készítenő termékek további mechanikai tulajdonságát, ezért az egyik legfontosabb paraméter, amelyet szem előtt kell tartani a kiválasztás során. Az alapanyagokra jellemző hajlítási ellenállás értékeket a gyártók a termékeket jellemző technikai specifikációk közt jelenítik meg. Egy terméktípuson belül (pl.: kartonok) nem lehet a fajsúly és a vastagság függvényében általánosítani, mivel a rostszerkezet, a kötőanyag, a felületi rétegek, mind nagymértékben befolyásolják. A hajlítási merevség mérését több alkalmazott szabvány is rögzíti. (ISO 2493, ISO 5628, DIN 53121, SCAN P29, TAPPI T556)

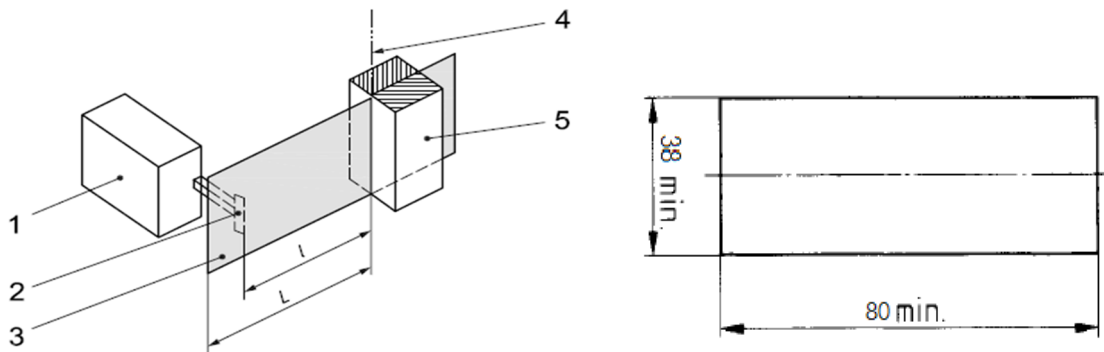
Az eljárás műszaki paraméterei és működési tartománya [5]

- Kapcsolódó szabvány: ISO 2493-1:2010 (E)
- Egyéb hivatkozott szabványok: ISO 5628, DIN 53121, SCAN P29, TAPPI T556
- Alkalmazható mérési tartomány: 20 mN – 10.000 mN.
- A mérés alapparaméterei:
 - Hajlítási szög: 15°
 - Hajlítási hossz: 50mm

A megvalósítandó mérési technológia

Az alkalmazandó mérőrendszer:

- Befogó (függőlegesen állítható, úgy, hogy teljesen befogja a mérendő darabot)
 - min. 38 mm magas
 - min. 20 mm széles
- Kés (a mérendő darabra merőleges; a mérendő tesztadarab széleitől azonos távolságra, középen elhelyezve; a késél letompított és párhuzamos a hajlítási tengellyel)
 - 16±2 mm széles késél
 - 50±0,1 mm távolság a késél és a hajlítási tengely között
- Mérőcella (erőmérés akkor, amikor a hajlítási szög eléri az előírt értéket)
 - ±2% mérési pontosság 100 mN felett



6. ábra Hajlítási ellenállás vizsgálata 1. mérőcella, 2. mérő penge, 3. tesztadarab, 4. hajlítás tengelye, 5. tesztadarab megfogó, l hajlítási hossz 50 mm

Mérési eljárás:

- Elsőként elő kell készíteni a megfelelő tesztdarabot, elkerülve minden sérülést, vágást, gyűrődést a mérési területen.
- Legalább 10 darabot javasolt előkészíteni $38 \pm 0,2$ mm x cc. 80 mm méretben, minden jellemző papír irányhoz tartozóan a megfelelő vágószerszámmal.
- Ezt követően történik a tesztdarab behelyezése a befogóba. Ne érintsük meg kézzel a darabot közel a hajlítási tengelyhez, mert ez befolyásolhatja a mérési eredményt.
- A befogópofák nyomása elegendően nagy kell, hogy legyen a szilárd, elmozdulás mentes rögzítés érdekében.
- Ezután történhet a 15° -os hajlítás, ügyelve arra, hogy előtte ne forogjon el az eszköz. Újra-hajlított papír téves eredményt hoz. Amennyiben a 15° -os szög elérése előtt a tesztdarab megtörik, vagy a maximális erő előbb jelentkezik, meg kell ismételni az eljárást. Ha a darabok több, mint 10%-a így jár, változtatni kell a mérési hosszon; akkor a mérést újra el kell végezni úgy, hogy a mérési hossz 10 mm-re választjuk.
- A 15° -os hajlítási szöghöz tartozó erőt leolvassa adódik a hajlítási erő. Az eljárást többször megismételve, és átlagolva számítható az adott papírra jellemző hajlítási ellenállás (az adott jellemző papír irányhoz tartozóan). Fontos, hogy egy tesztdarabot csak egy méréshez szabad felhasználni.

Amennyiben a mérendő minták nagyon kis hajlítási ellenállással rendelkeznek, azon esetben a hajlítás mértékét $7,5^\circ$ -ban is meg lehet határozni, illetve a mérési hosszát 50 mm-ről 10 mm-re csökkenthetjük, de a változtatott paramétereket a jegyzőkönyvben minden esetben fel kell tüntetni.

Szabványos vizsgálóeszközök:



7. ábra Hajlítási vizsgálati eszközök

3.4. Bieglés mérés "gyűrődési teszt" (Creasings test)

A bieglési teszt nagyban hasonlít az alapanyagoknál használt hajlítási ellenállás méréséhez. A különbség, hogy a dobozgyártás során, a hajlítási élek kialakításánál alkalmazott bieglést, illetve a hajlított éleken alkalmazott ritzelés, esetlegesen a perforálások együttes mechanikai vizsgálatát végezhetjük el.

Napjainkban, ezen iparágban a prototípusgyártás, illetve a termékfejlesztés nélkülözhetetlen mérési eljárása, mellyel a fejlesztési idő és a költségek egyaránt nagymértékben csökkenthetők.

A biegeles teszt a doboz kialakítására jellemző értéket ad meg. A gyártás során a kivágott terítéket a megfelelő helyeken, a hajlítás későbbi helyén egy görgő segítségével megnyomják, esetleg késekkel szakaszonként átvágják, vagy az alapanyag vastagságának egy bizonyos százalékáig bevágják, ezzel csökkentve a doboz összehajtásához szükséges erőt. Ezeknek az előkészített hajtási vonalaknak a hajlítással szembeni merevségértékét adja meg ez a mérési eredmény.

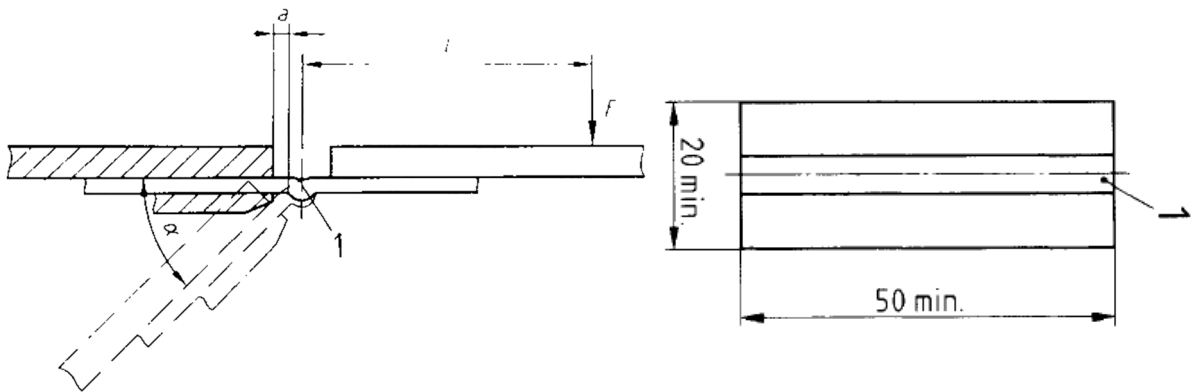
Az eljárás műszaki paraméterei és működési tartománya [6]

- Kapcsolódó szabvány: DIN 55437 1-2-3.
- Egyéb hivatkozott szabványok: n.a.
- A mérés alapparaméterei:
 - Tesztdarab mérete: min. 20 x 50 mm (A szabvány ettől eltérést megenged, de csak ennél nagyobb lehet a próbadarab)
 - Előkészítés a DIN EN 20187 szerint)
 - minta vétel a DIN EN ISO 186 szerint
 - hosszában és haránt irányban a gyártási hosszirányra 3-3 db próbadarab
 - szélessége $50 \pm 0,5$ mm hossza minimum 60 mm
 - $90^\circ \cdot 0,1 \text{ s}^{-1}$ hajlítási sebesség
 - a mérőeszköznek legalább 120° -ba kell tudnia hajlítani
 - az erőnek l távolságra kell lennie a hajlítás tengelyétől
 - az eszköznek el kell tárolnia a hajlítási abszolút értékét, valamint a hajlítási ellenállás/hajlítási szög diagramot is.
 - a megfogás távolságának a hajlítás tengelyétől 1 mm kell lennie

A megvalósítandó mérési technológia

Az alkalmazandó mérőrendszer:

- Összenyomó berendezés
- Hajlító készülék



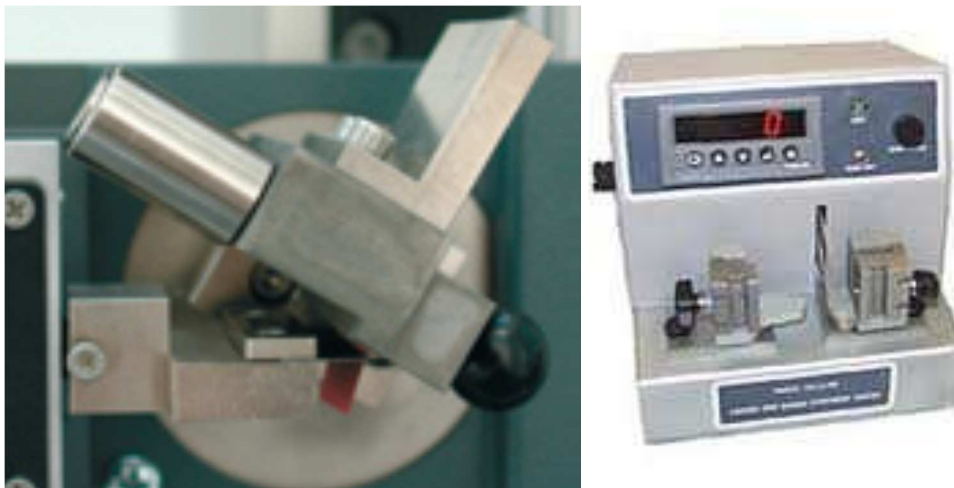
8. ábra Biegeles mérés a - megfogás távolsága a hajlítás tengelyétől, F - hajlítási merevség értéke, l - mérési távolság, α - hajlítási szög, l - hajlítás tengelye

A mérési eljárás

- Legalább 10 darabot javasolt előkészíteni $50 \pm 0,2$ mm x min 20 mm méretben, úgy, hogy a vizsgálni kívánt biegeles a megfelelő pozícióba essen.

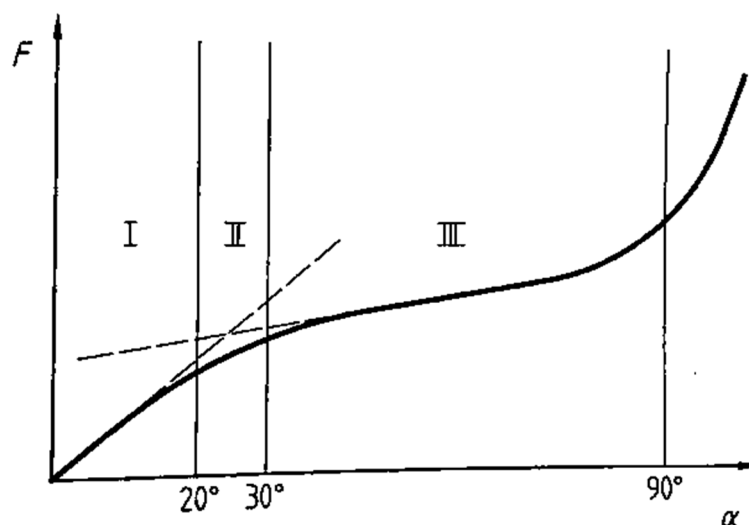
- Elsőként elő kell készíteni a megfelelő tesztdarabot, elkerülve minden sérülést, vágást, gyűrődést a mérési területen.
- Ezt követően történik a tesztdarab behelyezése a befogóba, mégpedig úgy, hogy megfelelő hosszon lógjon ki a megfogási vonaltól. Ne érintsük meg kézzel a darabot közel a hajlítási tengelyhez, mert ez befolyásolhatja a mérési eredményt.
- A befogópofák nyomása elegendően nagy kell, hogy legyen a szilárd, elmozdulás mentes rögzítés érdekében. Javasolt megfelelően szabályozott pneumatikus szorítás alkalmazása.
- Ezután történhet a tényleges hajlítás, ügyelve arra, hogy előtte ne forogjon el az eszköz. Újra-hajlított papír téves eredményt hoz.
- A meghatározott hajlítási szöghöz tartozó erőt leolvasva adódik a hajlítási erő. Az eljárást többször megismételve, és átlagolva számítható az adott papírra jellemző hajlítási merevség (az adott jellemző papír irányhoz tartozóan). Fontos, hogy egy tesztdarabot csak egy méréshez szabad felhasználni.

Szabványos vizsgáló készülékek:



9. ábra Hajlító készülék

A hajlítás mértéke akár 120°-ig terjedhet. (a dobozgyártás során a 90°-os hajítás az általános)
A vizsgálatsorán a hajlítást jellemző diagram:



10. ábra Hajlítási jellemző diagram

3.5. Visszarugási erő mérése (Spring back)

A doboz gyártáshoz kapcsolódó egyéb folyamatok és azoknak az optimalizálása érdekében egy további egyedi mérés kidolgozása is a feladatunk, mely a ragasztási művelet során merült fel problémaként. A lehajtott fülek ragasztása során a készülék a ragasztási felületeket 15 s-ig tartja összenyomva, majd ezek után elengedni azt.

A túlságosan merev kartonoknál a hajtogatás után a papír megpróbál kiegyenesedni, melynek ereje, ha meghaladja a félig megszáradt ragasztó nyíró szilárdságát, a ragasztott felülete elválhatnak egymástól. Ennek az esetben a vizsgálatára a hajlítási merevség vizsgálat egy olyan egyedi mérési formáját alakítjuk ki, mely a fül 90°-os behajtása után további 15s-ig tartja ebben a pozícióban a lehajtott fület, majd a 15 s eltelte utáni erő értéket adja eredményül, amellyel a fül nyomja a hajlító készüléket.

A fülek lehajtása maradandó alakváltozással jár, azonban egy bizonyos mértékig van rugalmas deformáció is, mely az erő elvétele után kirugózik. Feladatunk ennek azt erőnek a mérése, amit a hajlítás során befektetett energiából, mint egy rugóból képesek lennénk visszanyerni.

Az eljárás műszaki paraméterei és működési tartománya [7]

- Kapcsolódó szabvány: BS 6965:1988
- Egyéb hivatkozott szabványok: n.a.
- A mérés alapparaméterei:
 - Tesztdarab mérete: 38 x 36 mm
- Alapelv: A teszt nagyban hasonlít a beigelés méréséhez. Fő különbsége, hogy a dobozgyártás során, a hajlítási élek kialakításánál alkalmazott biegelést, illetve a hajlított éleken alkalmazott ritzelés, esetlegesen a perforálások együttes mechanikai vizsgálatát végezhetjük el, majd a hajlítás befejezése után kirugózó erőt mérjük.

Az alkalmazandó mérőrendszer:

- teszt darab mérete: 38 mm $\pm$ 0,3mm széles, min 36 mm hosszú
- Kés 38 $\pm$ 0,2mm széles (a mérendő darabra merőleges; a mérendő tesztdarab széleitől azonos távolságra, középen elhelyezve; a késél letompított és párhuzamos a hajlítási tengellyel)
 - hajlítási tengely a ritzlés középvonalában
- Mérőcella (erőmérés akkor, amikor az előírt szögérték elérése után 15 s-os késleltetéssel) erőmérés $\pm$ 2% pontossággal
- hajlítási szög: 90° $\pm$ 0,5°
- hajlítási hossz: 10 mm $\pm$ 0,2mm
- Alapelv: egyik végén befogott tesztdarabot a másik végén megtámasztjuk, miközben a tesztdarabot hajlító nyomatékkaal terheljük, hogy a ritzelés kellő szögbe hajoljon, majd ott tartjuk 15s-ig és az utána meglévő visszarugózó erőt mérjük.

4. Vizsgálóberendezés definiálása

Elvárások

A fentiekből eredően a kifejlesztendő újszerű eljáráshoz szükség van egy olyan berendezésre, amely megteremti a környezetét és a lehetőségét a további kísérleteknek.

Ezen berendezésnek képesnek kell lennie a következő mérési alapeljárások kísérleti lehetőségeinek megteremtésére:

1. Hajlítási ellenállás vizsgálata,
2. Nyomószilárdság mérése,
3. Nyitási erő mérése,
4. Hajlítási merevség vizsgálata.
5. Visszarúgási erő

A kutatási feladathoz kapcsolódó két mérési feladat, a hajlítási szilárdság és roppantási merevség a dobozok két végletes szilárdsági paramétere. Ebből eredően a hajlítási szilárdság vizsgálatához nagyon kicsi erőket kell tudni mérni a gépnek; míg a roppantási merevséghez ehhez képest nagyságrendekkel nagyobb erőket kell tudni vizsgálni. Emiatt a vizsgálógépnek két szélsőséges mérési tartományt kell tudni átfogni.

Specifikációk

A szükséges berendezés elvárt műszaki jellemzői:

- 2 oszlopos nyomdai szakító gép min. 500N terhelhetőséggel
- 500N erőmérő cella
- 5N erőmérő cella
- Kapcsolódó működtető szoftver
- Számítógépes csatlakozási lehetőség
- Szükséges kiegészítők (megfogók, készülékek)

A kiválasztott berendezés

A beszerzésre kerülő ZWICK 2 oszlopos szakító gép egy ún. alapgép, amely alkalmas önálló mérések és tesztek elvégzésére, papírdobozok *hajlítási szilárdsági és roppantási merevségi* vizsgálatai terén. [4]

A berendezés műszaki jellemzői:

- ProLine Z005 típusú asztali mérőgép,
- 2 oszlopos kialakítású,
- maximális terhelhetőség 5 kN;
- munkatér szélessége 420 mm, magassága 1065 mm,
- vizsgálati sebesség 0,001-500 mm/min,
- hajtásrendszer útmérőjének felbontása 0,039 μ m,
- pozicionálási, visszatérési pontosság: $\pm 2 \mu$ m.

Az erőmérő cella

A gép rendelkezik egy alapszintű beépített erőmérő cellával, amely lehetővé teszi a mérések előzetes elvégzését. Az erőmérő cella (load cell) az az eszköz, ami meghatározza a vizsgálógép mérési érzékenységét (= milyen vastag papír szilárdságát tudjuk vele megmérni, illetve milyen nagyságú erőket tudunk mérni vele).

Az erőmérő cella egy „doboz jellegű” elektronikai termék, amely speciális nanotechnológiás megoldással képes a mechanikai hatásokat elektromos jellé alakítani. Ez a vizsgálógép érzékelő egysége, amely lényegében a mérési adatot (a vizsgált erő nagyságát) szolgáltatja.

Mindezek miatt az erőmérő cella az, amely meghatározza a vizsgálógép mérési tartományát. Jellemzően minden gépnél ezért az erőmérő cella modulus módon csatlakozik az alapgéphez; a kívánt mérési tartományhoz ki lehet választani a szükséges erőmérő cellát. Több cella alkalmazásával lehet szélesíteni a vizsgálógép mérési tartományát.

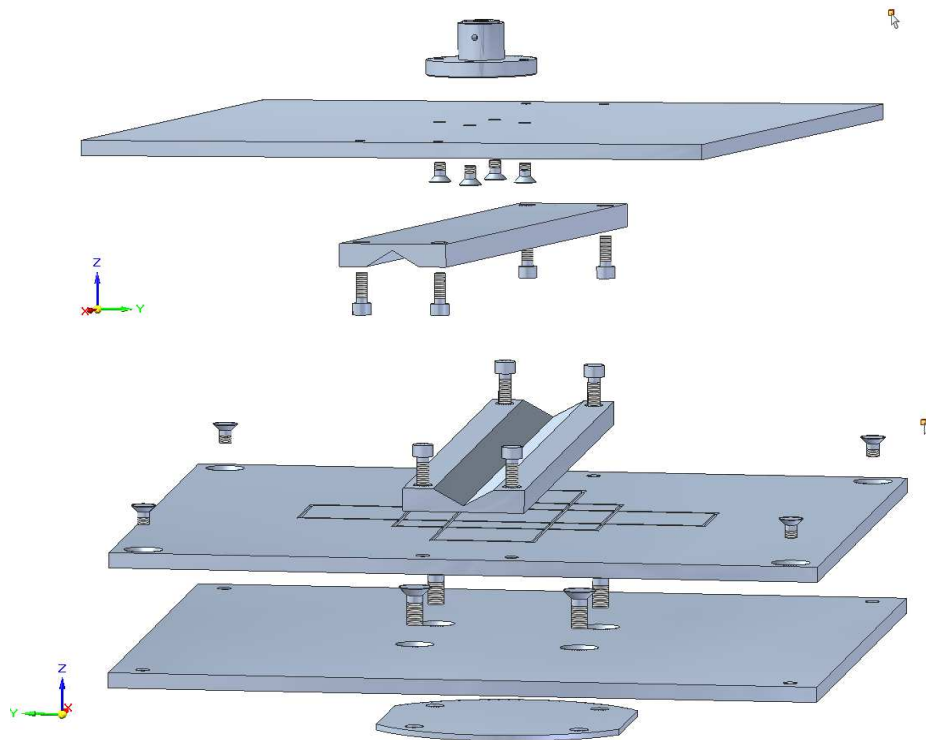
A nyomólapok

A nyomó szilárdság méréséhez egyedi nyomólapokat terveztünk, melyek a nyomda által gyártott termékekre kialakítva, 300x300mm-es aktív munkafelülettel rendelkeznek.

Az alsó nyomólapon egy, a vizuális pozicionálást segítő gravírozás található, mely a dobozok optimális pozícióba való igazítását segíti elő, annak érdekében, hogy a külpontos nyomásból ébredő nyomaték a lehető legkisebb legyen (azaz előálljon a tisztán nyomott igénybevétel), illetve a mért érték a lehető legpontosabb legyen.

A nyomólapok alumíniumból készültek, géphez való illesztését tűrésezett furatú illesztő lap látja el, mely a szakító gépen lévő kialakított illesztő felülethez csatlakozik. Az illesztő lap rögzítése csavarokkal történik. Az illesztő lap lehetőséget nyújt a készülékek gyors cseréjére, hiszen a hajlítási ellenállás/merevség méréséhez tervezett készülék szintén ehhez a felülethez csatlakoztatható, így a készülékek cseréje a lehető leggyorsabban megvalósítható.

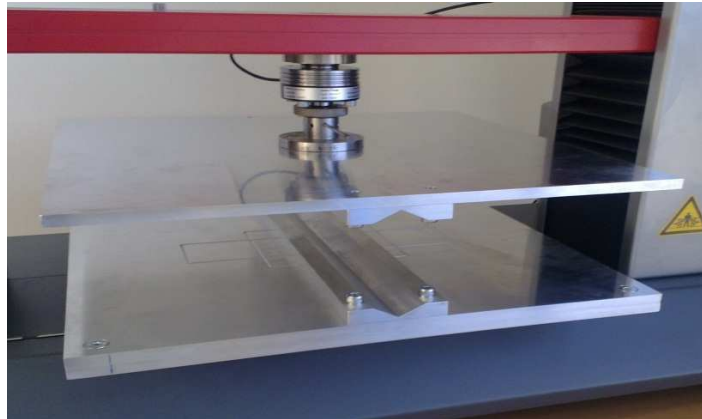
A doboz nyitási és roppantási vizsgálatára alkalmas készüléket egy mechanizmussal oldottam meg, az utólag felszerelhető nyitó prizma segítségével a roppantási erőméréshez szükséges készülék alkalmassága a dobozok nyitási erejének mérésére is.



11. ábra. Nyomólapok, nyitó prizmák robbantott ábra.

Doboznyitó prizma

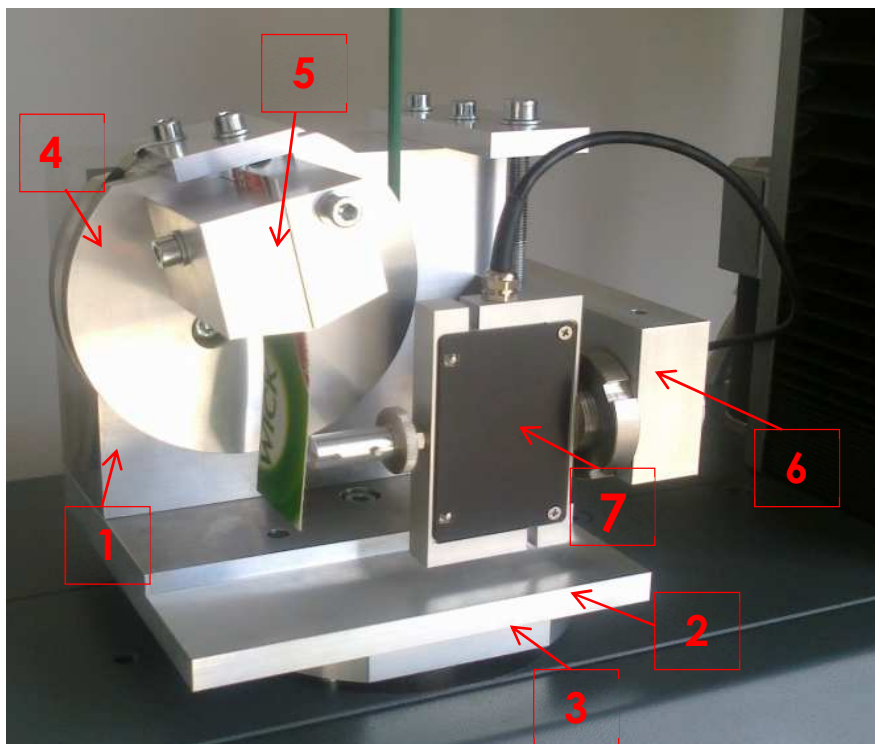
Az alsó és felső nyomólapra négy-négy csavarral rögzíthetőek a nyitó vizsgálatához szükséges prizmák. A prizmák szöge 120°-os mely elég nagy ahhoz, hogy ne befolyásolja a mért értékeket azzal, hogy akadályozza a doboz szabad nyitási mechanizmusát. Ezzel a készülékkel megvalósítható a két mérési eljárás, minimálisra csökkentve az átálláshoz szükséges időket.



12. ábra. Megvalósított készülék

Hajlító készülék

A hajlítási vizsgálatok elvégzéséhez fejlesztett készülék esetében a legalapvetőbb probléma a lineáris mozgás forgó mozgássá alakítása volt, melyet egy nyitott hatásvonalú gömb szíjhajtás segítségével oldottam meg.



13. ábra. Hajlító készülék

A szakítógép lineáris hídmozgását a gömbszíj és az erre kialakított tárcsa (4) segítségével transzformáljuk úgy, hogy megfeleljen a szabványban előírtaknak.

A készülék lelke a csapágyház (1) és az abba illesztett tengely, melyre a gömbszíj által mozgatott tárcsa van rögzítve. A megfelelő előfeszítést egy állítható rugós mechanizmus biztosítja, mely szükség esetén feszíthető, ha a mérési feltételek megkívánják. A tárcsa a tengellyel együtt mozog. A tárcsán található befogó pofák (5) segítségével rögzítjük a tesztdarabokat. Azok megfelelő pozícionálását a befogó pofákban elhelyezett pozícionáló

tűskék biztosítják. A csapágyház oldalára rögzített erőmérő cella (7) felé fordul a tárcsa, és ezzel együtt a tesztadarab is, így a hajlítás során mérhetővé válik a terhelő erő.

A tárcsa mozgását a hídmozgás tulajdonságainak beállításával (maximális elmozdulás, mozgási sebesség) segítségével tudjuk szabályozni. A készüléken mechanikus véghelyzet kapcsolók vannak, melyek megakadályozzák a készülék sérülését, a nem várt események (szíj szakadás, túlfordulás) esetén is.

Készülék szabadságfokok

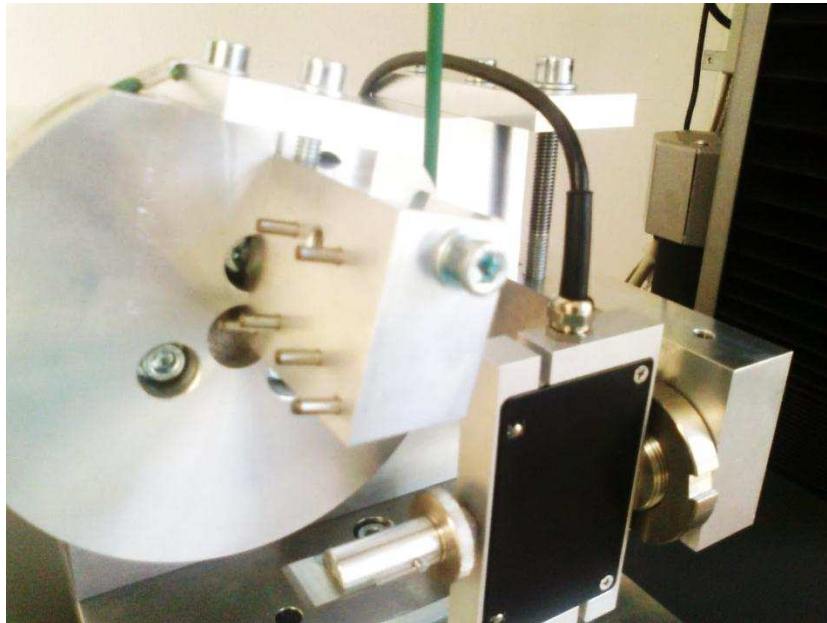
A készülék alkalmas mind a hajlítási merevség mind pedig a hajlítási ellenállás mérésére is, illetve egy szoftveres kiegészítés segítségével a visszarúgási erő mérésére is.

Ezen komplexitásból adódóan meg kellett oldani a tesztadarabok a hajlítási tengely és a hajlítási hossz eltéréséből adódó problémákat is, melyek szükségessé tették mind a cella, mind pedig a befogó pofák mozgatásának lehetőségét.

Tesztadarabok méreteltérése

A tesztadarabok méretéből adódó eltérések miatt a befogó pofákat úgy alakítottam ki, hogy annak mérete a legnagyobb tesztadarab méretének megfelelő, a szükséges technológiai, mérés technikai ráhagyásokkal kiegészítve, azonban a pofába elhelyezett kivethető pozícionáló tűskékkel a kisebb tesztadarabok is könnyen illeszthetőek a mérő környezetbe.

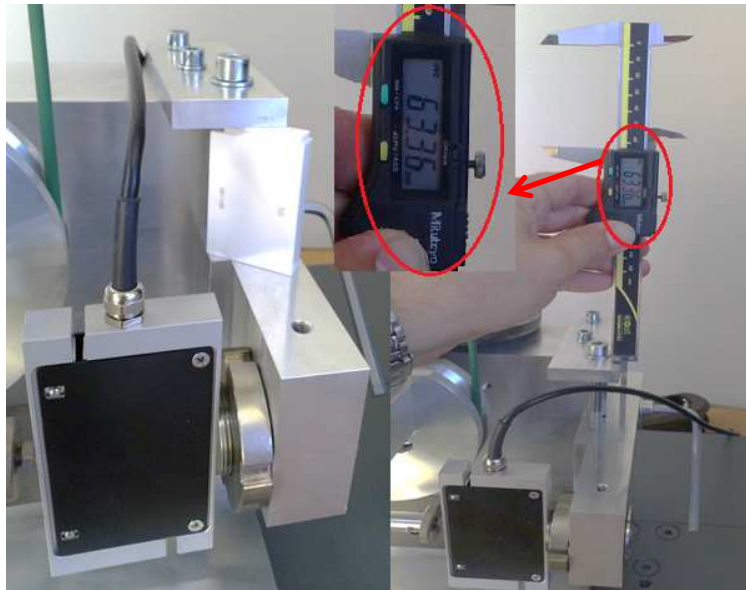
A felső kettő tűske a befogó mások felének megvezetésére szolgál, míg az alul elhelyezett tűskék a tesztadarabok ütköztetéséért felelősek, biztosítva a megfelelő pozíciót.



14. ábra. Befogó pofa.

Hajlítási hossz

A szabvány szerinti hajlítási hosszok is eltérőek az egyes méréseknél így a mérőcella függőleges mozgását egy erre a célra kialakított a csapágyház oldalán megvezetett tömb (7) segítségével oldottam meg, melyre az erőmérő cella fixen van rögzítve. Ennek mozgatása két csavar segítségével történik. A csapágyház és a cella vezető tömb közti rögzítő csavar lazításával lehetőség nyílik a másik csavar segítségével történő finom mozgatásra, majd a megfelelő pozícióban a rögzítő csavar meghúzása után a cella rögzítésére.



15. ábra. Hajlítási hossz állítása

Hajlítás tengelye

A hajlítás tengelye a mérések során szintén eltérő. Míg a hajlítási ellenállásnál a forgástengely középpontjában a befogás vége található, addig a hajlítási merevség mérésénél a befogás szélétől 1 mm távolságra kell elhelyezni a bieglés szélét, a hajlítás tengelyének pedig a bieglés közepébe kell esni, így a befogó egységet el kell tolni a tárcsán úgy, hogy az eltolás értéke a bieglés fele + 1 mm legyen.

Ennek megoldására a cella mozgatásához nagyon hasonló elvet alkalmaztam. A tárcsához egy csavarral rögzítjük a befogó pofát, mely meg van vezetve egy erre a célra kialakított horonyban és a rögzítő csavar meglazítása után felülről egy másik csavar segítségével szabadon állíthatóvá válik.

A cella helyzetét a csapágyházra erősített tartóbakhoz (mint nem mozgó elemhez) viszonyítva adtuk meg, vagy alulról raporterrel kirakva, vagy pedig a felső síktól mérve tolómérővel. Ezek az értékek szolgálhatnak a mérés előtti mérőeszköz kalibráláshoz, hiszen az egyes vizsgálatok más-más hajlítási hosszt, illetve forgástengelyt igényelnek.



16. ábra. Hajlítási tengely beállítása

A mérések alkalmazhatósága a gyártási folyamatban:

A speciális állítható készülékkel könnyen mérhetőek lennének az automatahajtogató gépen a gyártás során alkalmazott, egyes ciklusoknál fellépő hajlítási erők. Az esetleges módosítások kimenete már a szériagyártás megkezdése előtt mérhető értékekkel alátámasztható.

A prototípus gyártásánál, - amennyiben a megrendelő mintadarabbal rendelkezik - a mintadarabon mérhető mechanikai paraméterek azonnali feltérképezésére, dokumentálásra. A mért paraméterek alapján az alapanyag és a gyártási technológia kiválasztásának ideje nagymértékben csökkenthető.

A prototípuson mért adatok összehasonlíthatók a mintadarabbal. A gyártási folyamat elindítását, a 0-séria elkészültét, és a folyamat optimalizálását folyamatos méréssel lehetne támogatni.

A szériagyártást vevői, vagy belső igény szerinti időszakos mérések elvégzésével, illetve a technológiai folyamat esetleges tervezett, vagy véletlenszerű (műszaki, technikai probléma) változása esetén tudja támogatni a mérőberendezés.

A doboz nyitása során a nem megfelelő biegelés vagy ritzelés miatt a doboz nem, vagy nem megfelelően deformálódik a nyitási erő hatására, oldala nem törik meg a biegelés mentén, hanem ívben hajlik meg, mely problémát jelenthet, ha ez a jelenség a megrendelőnél jelentkezik először.

A gyártásközi mérések eredményeként a hajlítási merevség mérése során kiderülhet az kiszállítás előtti előhajlítás szükségessége, vagy a biegelő berendezés paramétereinek újragondolása, mellyel időt és költséget csökkenthetünk.

4.1. Első tesztek

Az első tesztek alapján körvonalazódtak a mérési eljárás sarokpontjai, melyek nagymértékben befolyásolják a mérés pontosságát.

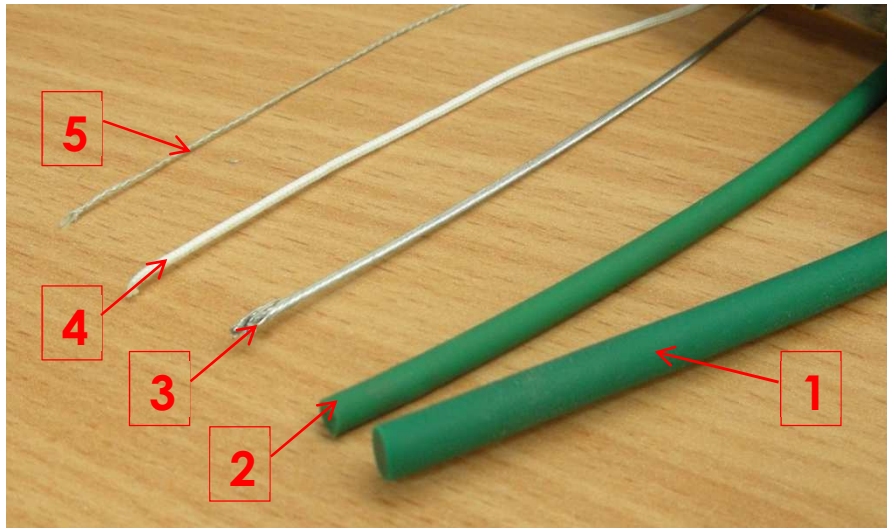
Ilyen sarokpont:

- hajtáselem tulajdonságai
- Előfeszítés
- befogó pofa alaphelyzet
- pofákat szorító erő
- karton tulajdonságai (szálirány, keresztirány)
- tesztadarab tulajdonságai (méretpontosság, sorja, festés)
- mérés paraméterei (előterheléssel, vagy pozíció vezérelve)
- páratartalom
- mintavételezési eljárás

4.2. Hajtáselem tulajdonságai

A szerkezet tökéletesítése során különböző elemeket használtunk a hajtás transzformálására. A lineáris hídmozgást a csapágyazott tengelyre egyenletes körmozgássá kellett transzformálni a mérés elvégzéséhez, melyet egy speciális szíjtárcsa segítségével hoztunk létre.

A megfelelő forgási sebesség és a tökéletesen érintő irányú erő létrehozásához kellőképpen rugalmas, de kis fajlagos nyúlású hajtáselemre volt szükségünk.



17. ábra Hajtás elem

A tesztelt hajtáselemek:

1. 6 mm-es gömbszíj
2. 4 mm-es gömbszíj
3. 1,2 mm-es fém bowden
4. fonott poliamid szál
5. nagyszilárdságú horgász damil

Az első teszteket 4mm-es gömbszíjjal (2) végeztük, melynek nyúlása túlságosan nagy volt a megfelelően stabil forgásszögek eléréséhez.

A nyúlás minimalizálása érdekében 6 mm-es gömbszíjra (1) cseréltük, melynek merevsége jelentősen nagyobb volt a 4mm-es szíjénál, így nem vette fel a tárcsa formáját, és a hídmozgás egy része a szíj kiegyenesítésére fordítódott, így ezt a hajtáselemet sem találtuk megfelelőnek a mérőeszköz működtetésére.

A 6 mm-es gömbszíj után a 1,2 mm-es bowdent (3) alkalmaztuk hajtásközvetítő elemként, mely nyúlása és rugalmassága is jelentősen jobb volt az előzőekben alkalmazott anyagokhoz képest, ezt alkalmazva a mérési stabilitás a tűréseknek megfelelt.

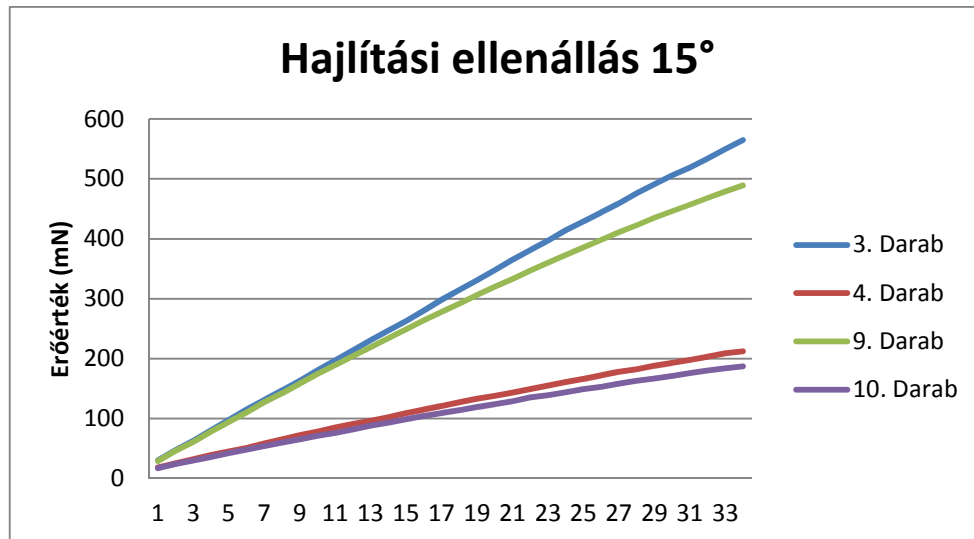
További méréseket is végeztünk a horgászszinór (5) és a fonott poliamid szállal (4), azonban az ezekkel mért visszatérési pontosság és stabilitás rosszabb volt a bowdenhez képest, illetve a poliamid szál keresztmetszete nem volt állandó, illetve alakja nem volt körkörös, így nem volt megfelelő a hajtás átvitelére.

4.3. Karton tulajdonságai (szálirány, keresztirány)

A méréseink során körvonalazódott, hogy a mérés során a tesztadarab tesztkörnyezetbe való illesztése fontos kérdés, hiszen a mért értékeket nagyban befolyásolja, hogy a tesztadarabot honnan, milyen irányban vágjuk ki, hiszen a papír anizotrop tulajdonságú anyag, így az egyes irányokban tulajdonságai eltérőek.

A 18-as számú képen jól látható a tesztadarabok száliránya eltérő a 3-as és 9-es tesztadarabon hosszirányban, míg a 4-es 10-es darabon keresztirányba futnak a rostok. Ezeknek megfelelően különböző maximális erőket mértünk a tesztek során 15°-os hajlítási ellenállás értékekre.

A hengerelt fémlemezeknél meglévő anizotrópia megjelenik a kartonoknál is, melynek hatására a tesztadarabok hosszabbik oldalával párhuzamosan, vagy merőlegesen futó száliránynál jelentősen eltérő értékeket mérhetünk, akár 50% különbség is lehet a mért értékek közt.



18. ábra Hajlítási ellenállás gyártási és keresztírány.

Másik fontos tulajdonság a tesztadarab mérőkörnyezetbe való illesztése, hiszen a mérés során a papírnak a festett illetve festetlen felén mért erő értékek is különböznek a szálirányú eltérések mellett, hiszen a felületi minőség is jelentősen befolyásolja a mért értékeket. Fontos szem előtt tartani, hogy a festékréteg szilárdsága is befolyásolja a mérési eredményeket, hiszen ahogy más anyagoknál is a húzási és nyomási szilárdság változó nagyságú.

Mivel a tesztadarabokat hajlítjuk a tesztadarab belsejében kialakult semleges szál egyik oldalán az anyag igénybevétele húzás a másik oldalé pedig nyomása terhelt, így nem mindegy, hogy a festett felületet melyik igénybevétele terheljük.

Méréseket végeztünk a hajlítási szilárdságot befolyásoló tényezők mérésére, melynek eredményeként magát az alapanyagot, a festett illetve lakkozott mintákat egymás után azonos feltételek mellett teszteltük.

A mérési eredmények azt mutatták, hogy az alapanyagon mért hajlítási erőhöz képest a festett minták erő értéke kisebb volt, míg a festett és lakkozott mintáké minimális eltérést mutatott az alapanyag tulajdonságaihoz viszonyítva. Azonban ezek az értékek a lakkok és festékek típusának függvényében változhatnak, méréseink erre nem tértek ki.

Továbbá vizsgálni lehetne a festékek kompozit tulajdonságait, az idő függvényében, hiszen a gyártástól számított idő elteltével a festék száradása során a termék felkeményedik, rostszerkezete pedig a festékréteggel egy többkomponensű kompozit anyagként viselkedik, melyet a felvitt festékréteg, és az anyag rostszerkezete is jelentősen befolyásolhat.

5. Mérőeszköz megfelelősége, mérési eredmények

5.1. GR&R

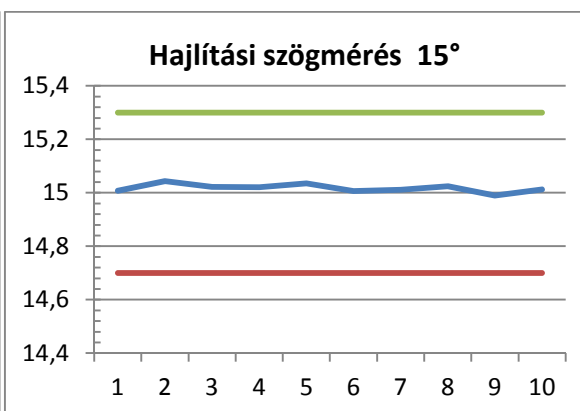
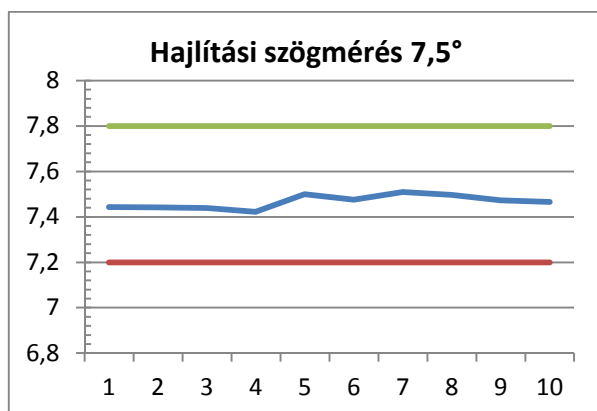
A mérőeszköz képességvizsgálat egyik alapvető eszköze az R&R vizsgálat, melyben a mérést több operátorra végeztük, majd vizsgáltuk az eredmények alapján az ismételhetőséget és a reprodukálhatóságot.

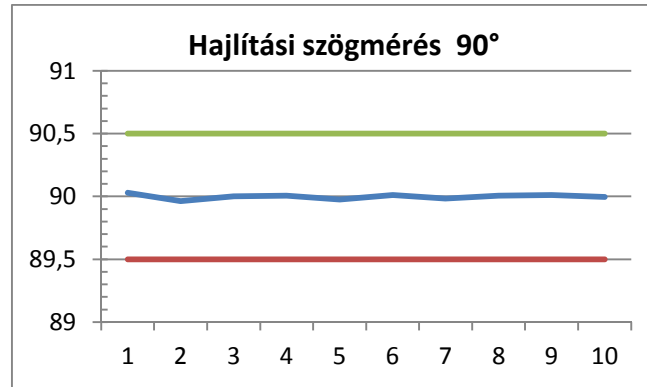
A operátor			B operátor			
1. mérés	2. mérés	3. mérés	1. mérés	2. mérés	3. mérés	
1	0,187	0,173	0,178	0,197	0,171	0,181
2	0,583	0,607	0,579	0,615	0,628	0,603
3	0,560	0,568	0,532	0,575	0,578	0,566
4	0,179	0,205	0,175	0,188	0,205	0,179
5	0,532	0,562	0,561	0,534	0,568	0,564
			0,194688			
		0,61000	0,56000	0,60890		0,56940
		0,58900	0,56200	0,60911		0,56938
A operátor		B operátor		Átlag		
Átlag	Terjedelem	Átlag	Terjedelem			
1	0,17933	0,01400	0,18300	0,02600	0,18117	
2	0,58967	0,02800	0,61533	0,02500	0,60250	
3	0,55333	0,03600	0,57300	0,01200	0,56317	
4	0,18633	0,03000	0,19067	0,02600	0,18850	
5	0,55167	0,03000	0,55533	0,03400	0,55350	
átlag	0,41207	0,02760	0,42347	0,02460		
		Szoras	Szorasnegyzet	Összeg		
R	ISMÉTELHETŐSÉG	0,015416	0,000238			
R	REPRODUKALHATÓSÁG	0,010106	0,000102			
R&R						
ALKATRÉSZEK KÖZÖTT		0,181141	0,032812			
			0,033152			
				mérőeszköz hiba:	%	
				operátori hiba:	0	
				termékek közötti eltérés:	99	
					100,000	



20. ábra. 3D koordináta mérőkar

7,443	15,008	90,028			
7,442	15,044	89,964			
7,439	15,022	90,001			
7,422	15,021	90,005			
7,5	15,035	89,976			
7,475	15,006	90,012			
7,51	15,011	89,983			
7,496	15,025	90,007			
7,472	14,99	90,012			
7,465	15,013	89,997			
Szórás	0,03	Szórás	0,02	Szórás	0,02
FTH	7,80	FTH	15,30	FTH	90,50
ATH	7,20	ATH	14,70	ATH	89,50
Cm	3,38	Cm	6,49	Cm	8,71





21. ábra Mérési eredmények és a tűrésmező elhelyezkedése

A mérőeszköz képességvizsgálata során a six sigma megmutatja, hogy a mérőműszer a tűrésmező mekkora részét használja ki és hogy 1.000.000 mérésre vetítve hány mért érték fog a tűrésmezőn kívülre esni.

$$C_m = \frac{(FTH - ATH)}{6\sigma}$$

FTH a felső tűréshatár, ATH az alsó tűréshatár, σ a szórás.

A mérést elvégeztük a folyamatra is két féle kartonon mértük a hajlítási ellenállást és összevetettük a specifikációban szereplő névleges értékkel és tűrésekkel.

A mérés konklúziójaként leszűrhető, hogy a készülék a megfelelő hajlítási szögeknél a tűrésmezőnek kis részét használja csak ki, és ez a növekvő hajlítási hosszal arányosan egyre stabilabb lesz. Szükség esetén a stabilitás ki szögek esetén is javítható, így akár a Lorenzen féle 5 °-os hajlítási erő is mérhető lenne, ehhez az előfeszítő erő növelése szükséges. Ezt a rugós erőfeszítés segítségével könnyen befolyásolhatjuk, hiszen nagyobb rugó erő mellett a kis szögeknél is megfelelő stabilitást érhetünk el.

5.3. Mérési eredmények

Hajlítási ellenállás :Alaska 250

Az Alaska 250 a terméke megnevezése, a gyártó ezen a néven forgalmazza termékét, és a karton típusát adja meg, a 250 pedig a fajlagos tömegét adja meg a terméknek g/m²-ben.



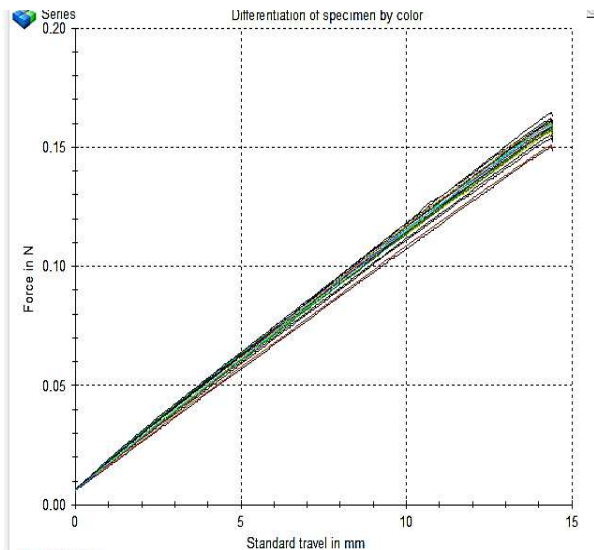
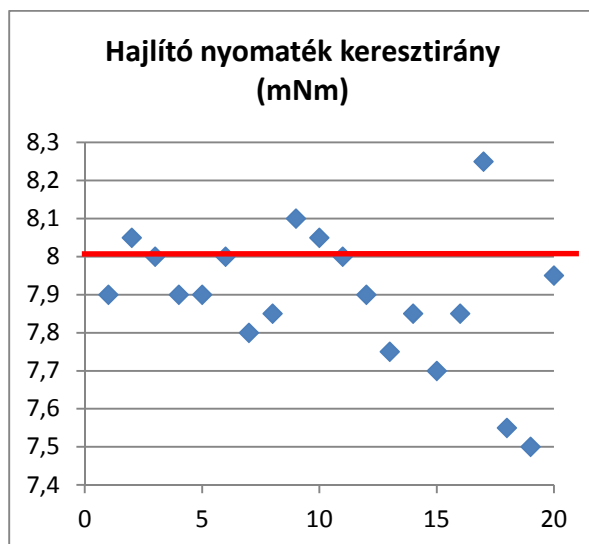
22. ábra Mért festetlen minta, alapanyag ellenőrzése

- Előterhelés: 0,005 N
- Teszt sebesség: 4,76 mm/s
- Teszt forgás sebesség: 5 °/s
- Adatlap szerinti hajlítási nyomaték (15°, keresztirány) : **8 mNm**
- Tűrés: $\pm 15\%$ ($\pm 1,2$ mNm)

A vizsgálat folyamata röviden:

1. Tesztdarab előkészítése, 38*80 mm-es minták kivágása
2. Tesztdarab mérőkörnyezetbe való illesztése
3. Tesztparaméterek meghatározása (mérési peremfeltételek)
4. Mérőszoftver vezérelt mérés, folyamatos kontroll
5. Eredmények kiértékelése, dokumentálása

		<i>F max</i>	<i>mNm</i>	<i>Eltérés</i>				<i>F max</i>	<i>mNm</i>	<i>Eltérés</i>
1	11:08	0,158	7,9	-0,1		11	11:22	0,16	8	0
2	11:12	0,161	8,05	0,05		12	11:22	0,158	7,9	-0,1
3	11:13	0,16	8	0		13	11:23	0,155	7,75	-0,25
4	11:14	0,158	7,9	-0,1		14	11:23	0,157	7,85	-0,15
5	11:16	0,158	7,9	-0,1		15	11:24	0,154	7,7	-0,3
6	11:17	0,16	8	0		16	11:25	0,157	7,85	-0,15
7	11:18	0,156	7,8	-0,2		17	11:26	0,165	8,25	0,25
8	11:19	0,157	7,85	-0,15		18	11:27	0,151	7,55	-0,45
9	11:20	0,162	8,1	0,1		19	11:18	0,15	7,5	-0,5
10	11:21	0,161	8,05	0,05		20	11:29	0,159	7,95	-0,05



Specification:

Property (Unit)	Tolerance				Value					Standards
Grammage (g/m²)	± 4%	200	215	230	250	275	300	325	350	PN-ISO 536:1996
Thickness (µm)	±4%, max. 20 µm	310	340	372	410	456	504	550	600	PN-EN 20534:1995
Stiffness DIN 53 121 (5°) MD (mNm)		13,9	18,3	22,6	29,6	39,2	49,2	63,9	79,6	PN-ISO 2482:1995
Stiffness DIN 53 121 (5°) CD (mNm)		7,0	8,9	11,0	14,4	18,7	23,5	29,1	36,1	
Stiffness Taber (15°) MD (mNm)		7,7	10,1	12,6	16,4	21,7	27,3	35,5	44,2	
Stiffness Taber (15°) CD (mNm)	±15%	3,9	4,9	6,1	8,0	10,4	13,0	16,2	20,0	
Stiffness L&W (15°) MD (mN)		160	210	260	340	450	565	735	915	
Stiffness L&W (15°) CD (mN)		80	102	126	165	215	270	335	415	
Moisture content (%)	± 1,0	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	* PN-ISO 287:1994
Brightness top with UV D65 / 10 (%)	± 1,0	91					Internal procedure (Enepho)			
Brightness bottom with UV D65 / 10 (%)	± 1,0	> 70					Internal procedure (Enepho)			
Gloss 75° Gardner (%)		> 45					TAPPI 480 om - 99			

23. ábra Beszállítói tulajdonság lap

A mérési eredmények további elemzése során a mért értékeket összehasonlítottuk a karton gyártó által mért adatlapon szereplő hajlítási ellenállás értékekkel, mely a méréseink megfelelőségét is igazolták. Az adatlapon látható keresztirányú hajlító nyomaték értéke az általunk mért értékeknek megfelel, a gyártó által előírt tűréshatárokon belül található.

A tűrésmező ±15%-ot ír elő, ami 8 mNm –nél 1,2 mNm lenne, azonban az általunk mért értékek átlagtól való eltérése nem haladta meg a 0,5 mNm-t sem. Az eltérések mértékét befolyásolja, a mintavételezés módja, hiszen a mintáinkat az ív egyik széléből vettük, egymás mellől.

A hiba okának megszüntetése érdekében megvizsgáltuk a mintavételezés tulajdonságait leíró szabványt (ISO 187) és további méréseket már az ebben leírt mintavételezési utasítások szerint végeztük. A pontosítás eredményeként a mintákon mért erő értékek kisebb szórást mutattak, azonban a minták egyedi, nem szabvány szerinti kivágása lehetőséget nyújt az ívek ellenőrzésére is. Hiszen a gyártás során a gyártógépek által létrehozott tulajdonságok eltérőek lehetnek az ívek/tekercsek eltérő pontjain a gépi szórás eredményeként.

Ez a módszer lehetősége nyújt az ilyen hibák kiküszöbölésében, hiszen az eltérő tulajdonságok miatt akár a stancoló, kivágó szerkezetekben ezeket az eltéréseket korrigálni lehet, így biztosítható a végtermék megfelelő minősége is, a megfelelő gépbeállításokkal korrigálni lehet ezeket a különbségeket. Így adott esetben a gyártási folyamat kezdetén kiszűrhető a végtermék minőségét befolyásoló probléma, hiszen az eltérő tulajdonságok hatására a biegeles mélysége és a biegeles meghajtásához szükséges erő is változik az alapanyag tulajdonságainak függvényében.

Hajlítási merevség mérés RIGEVIDON 21+7dobozok :

A vizsgálat folyamata röviden:

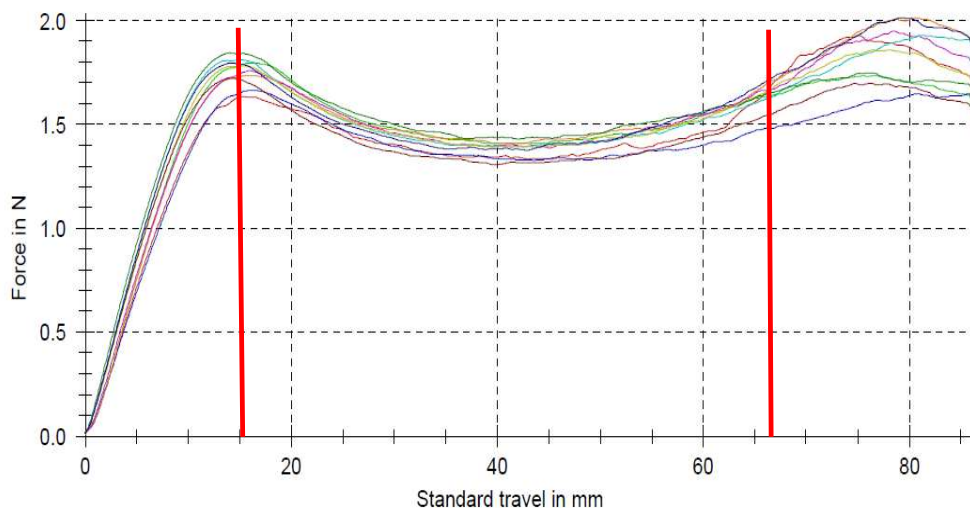
1. Tesztdarab előkészítése, biegeelt részek kivágása
2. Tesztdarab mérőkörnyezetbe való illesztése
3. Tesztparaméterek meghatározása (mérési peremfeltételek)

4. Mérőszoftver vezérelt mérés, folyamatos kontroll
5. Eredmények kiértékelése, dokumentálása



24. ábra. Mért doboz minta, tesztdarabok mintavételezési helye

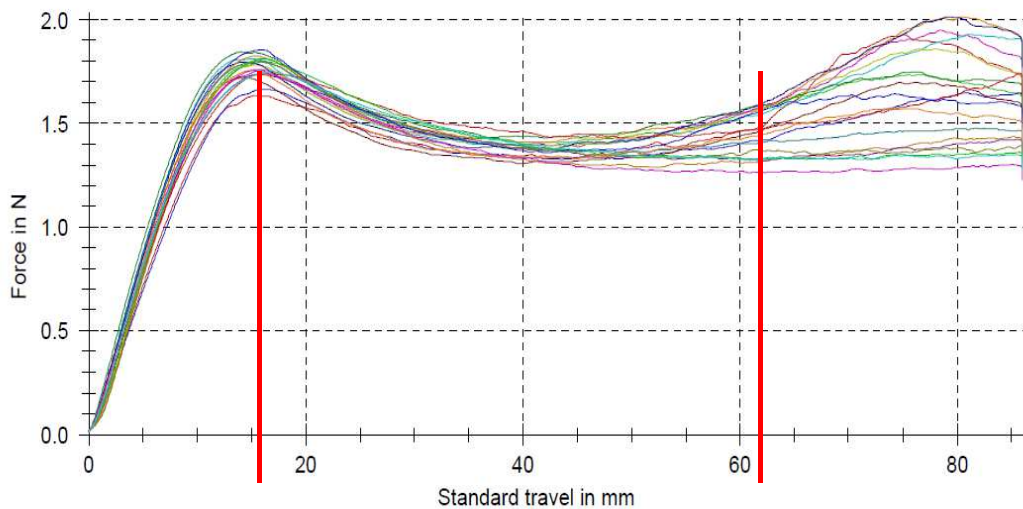
A mérés során a tesztdarabok eltérő tulajdonságokat mutattak. A tesztdarabok a mérés során különböző helyeken vették fel a maximális értékeket. A mérési jelleggörbe három részre osztható. Az első szakaszban az erőérték meredeken emelkedik, egészen 1,8-1,8 mm-es elmozdulás értékig. A második szakaszban az erő lecsökken, mintegy 10%-os visszaesés tapasztalható, mely megközelítően konstans marad egészen addig, míg az elmozdulás el nem éri a 60 mm körüli értéket ahonnan ismét elkezd emelkedni. Ezen az emelkedő szakaszon tapasztalható egy másik helyi szélsőérték, mely egyes tesztdaraboknál magasabb értéket ad, mint az első szakaszon lévő maximum érték.



25. ábra Első mérések eredménye. (1-10 minta)

A második 10 mintadarabnál (11-20) a mérési jelleggörbe változik, a kb 10%-os visszaesés után az erő emelkedésének értéke nem jelentős, így a maximális érték a 15-16 mm elmozdulás értéknél jelentkezett minden tesztdarabnál.

Az eltéréseket a biegező kések eltérése, vagy az erőbevitel szimmetriájának hibája okozhatja.



26. ábra További mérések eredménye

A mérések eredményeként megállapíthatjuk, hogy a vizsgálati eljárás alkalmas lehet a gyártási folyamatfelügyelet elemei közé épülve a gyártásellenőrzés eszköze lehet, hiszen a mintákon végzett tesztek alapján kiderült, hogy az egyes mintákon lévő biegelések is eltérő eredményeket mutatnak a vizsgálat szempontjából fontos erőértékeknél.

Ennek oka a biegelő kések eltérése, illetve a biegelő gép erőelosztásának egyenetlensége lehet az ok, mely a folyamatellenőrzés szempontjából hasznos információkat hordozhat, mint például megadhatja a kések cseréjének gyakoriságát, szükségességét, illetve a gépi hibákra is fényt lehet deríteni. Így megakadályozhatóak lennének a nagyobb hibák.

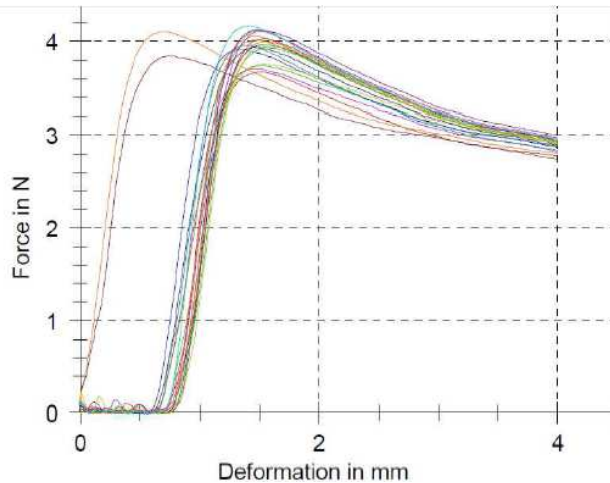
Érdemes lehet az eltérések okának kiderítésére jelentősebb figyelmet fordítani, hiszen jó irány lehet a folyamatszeglét és felügyelet fejlesztésének során.

Nyitási erő mérése

A mérés keretein belül vizsgáltuk a gyártás után eltelt idő függvényében a nyitási erő értékét, a gyártás után 1 órával, 1 nappal, 1 héttel és 1 hónappal. A mért nyitási erőt diagramon ábrázolva azt tapasztaltuk, hogy a mért erő szükséglet a gyártás után folyamatosan emelkedik, a kezdeti 4 N-ről 1 hónap elteltével 6 N-ra emelkedett. A nyitási erő a további felhasználás során talán a legfontosabb tulajdonság, hiszen a dobozokat automata gyártóegységeken töltik, mely meghatározott nyitási erő kifejtésére képes, így nem elhanyagolható, hogy a gyártás után eltelt idő és a felhasználás közt mennyi idő telik el.

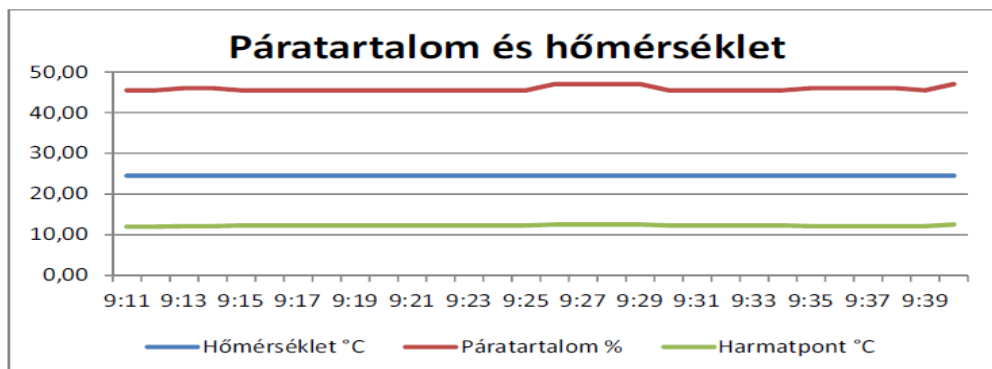
A vizsgálat folyamata röviden:

- Tesztdarab előkészítése, a záró fülek levágása
- Tesztdarab mérőkörnyezetbe való illesztése
- Tesztparaméterek meghatározása (mérési peremfeltételek)
- Mérőszoftver vezérelt mérés, folyamatos kontroll
- Eredmények kiértékelése, dokumentálása

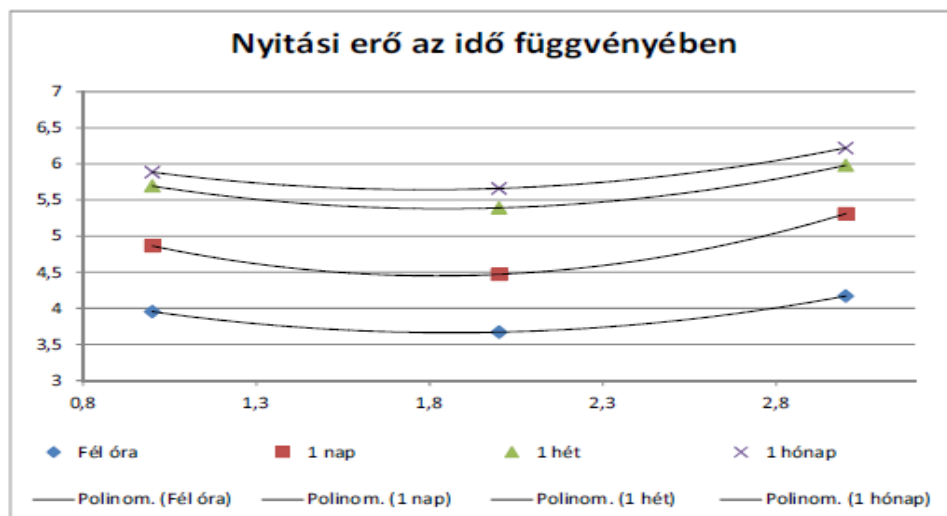


27. ábra Mért minták, mérési eredmények

A 27-es számú képen a vizsgált minták láthatóak, valamint a mérés során felvett erő/elmozdulás görbék. A mérések közt a dobozok a gyártás során is alkalmazott tároló egységekben voltak elhelyezve, így a lehető legpontosabban tudtuk szimulálni a gyártás során fellépő körülményeket. A mérések közt a dobozok azonos körülmények közt voltak tárolva és a mérések során a dobozokat klimatizált helységben mértük, melynek tulajdonságait (páratartalom, hőmérséklet) minden alkalommal mértük. Így ezen eredmények függvényében kimondhatjuk hogy a mérési eredményeket a környezeti hatáson nem befolyásolták.



28. ábra Páratartalom alakulás a mérések során



29. ábra Nyitási erő alakulása az idő függvényében

A grafikon első oszlopában a mintákon mért átlagos erő érték található, míg a másik két oszlop a mintákon mért minimum, illetve maximum értékeket ábrázolja.

Az idő függvényében az erő értékek nőnek, azonban 1 hét eltelte után ezek az eltérések nem számottevőek. A változás adódhat a ragasztó kötésének lefutási idejéből, illetve az alapanyag tulajdonságainak változásából, hiszen egy idővel a hajlítási élek visszarugóznak, illetve a rostszerkezet is megváltozik.

6. További fejlesztési lehetőségek:

1. Egyedi, a nyomda termékeinek skálájára szabott mérési sablonok elkészítése, mely egyszerűbbé és gyorsabbá teszi a mérési folyamatokat, illetve az esetleges (helytelen beállításokból adódó) hibalehetőségek elkerülése érdekében, mely a mérési értékek eltorzítása mellett a készülék sérüléséhez is vezethet.

A mérési sablonok megkönnyíti a mindennapi méréseket, hiszen a szériászerűen gyártott ismétlődő típusú dobozok, és azok alapanyagaina előre kialakított mérési sablonok a folyamatos igények alapján ismétlődően előhívhatók, így a méréshez szükséges paramétereket a mérések előtt nem szükséges minden alkalommal bevinni a mérőrendszerbe, hanem az egyes típusokhoz előre kialakított sablon fájlok segítségével a mérési idők jelentősen lecsökkenthetők lennének.

Az egyes alapmérésekre (roppantás, nyitás, hajlítási ellenállás, hajlítási merevség) létrehozott sablonok mellett az egyes méret, alapanyag, anyag tulajdonság alapján specializált mérősablonok kialakításával segíthetjük a folyamatot és a mérés során esetlegesen keletkező hibák száma is csökkenthető lenne, mivel a szükséges mérési paraméterek előre bevitelre kerülnének.

2. Egyedi kivágó szerszám beszerzése, a gyors és precíz mintavételezés érdekében.

A minták pontatlansága, a vágási felületek minőségének változása eltérő mérési eredményekhez vezethet. Ennek kiküszöbölésére illetve a mérési folyamatok könnyítése érdekében a mintavételezés problémája az összes szükséges intézkedés közül az egyik legfontosabb kérdés.

A mintavételezés tulajdonságait (méret, darabszám, szálirány, elhelyezkedés) szabvány írja elő, azonban a minta kivágására nincsenek előírások, mégis ennek ellenére nem szabad megelégedezni róluk. A minták mérete is szabványban meghatározott érték, így az állandó méretű minták lehetővé teszik az erre a célra kialakított szerszámok készítését. A vágási minőség és a minták mérete fontos, a mérés szempontjából, így egy olyan eljárás kiválasztása és megvalósítása szükséges, mely jó vágási minőséget és méretpontosságot biztosít. Erre a problémára összegyűjtött lehetséges megoldások közül a stanc készülék alkalmazása a legmegfelelőbb, mely képes kielégíteni a követelményeket és a technológiának köszönhetően gyors megoldást biztosít a tesztadarabok kivágására.

3. Páratartalom- és hőmérsékletszabályozó berendezés a tesztkörülmények biztosításához, a szabvány szerinti mérések feltételeinek biztosítására.

A mérés körülményeit szintén szabvány írja le, mely a labor hőmérsékletét és páratartalmát, valamint a tesztadarabok klimatizálását is magába foglalja.

A méréseink során nem vizsgáltuk az eredményeknek a mérési környezet páratartalmának és a hőmérsékletén függvényében való változását. A rendelkezésre álló klimatizálás csak az értékek szinten tartására volt elegendő, így biztosítani tudtuk a hőmérséklet és páratartalom konstans értékeit, de azokat befolyásolni, állítani nem tudtuk.

A további fejlesztések során a mérések kiterjedhetnek a kartonok tulajdonságainak hőmérséklet és páratartalom függésére, mely jelentős eredményeket hozhat gyártástechnológiai fejlesztések terén, hiszen a kartonok, papírok mechanikai tulajdonságai függnak a karton páratartalmától, hiszen ezek nedvességfelvétele jelentős lehet, akár súlyuk 60%-át is képesek nedvességben megkötni.

Méréseink során nem tudtuk vizsgálni a páratartalom és a hőmérséklet befolyásoló hatását a mért értékekre, mivel a klimatizálási lehetőségek nem voltak biztosítottak, így nem tudtuk szabályozni a páratartalmat és a hőmérsékletet, csak bizonyos keretek közt stabil értéken tartani. Mely elegendő volt az összehasonlító mérések elvégzéséhez, azonban nem tudtuk a mérési eredményekre gyakorolt hatását vizsgálni. A karton tulajdonságaiból adódóan jelentős hatást gyakorol a mért eredményekre a páratartalom, hiszen adott esetben akár súlyának 60%-as is képes megkötni nedvesség formájában a levegő páratartalmából felvéve azt. Ilyen esetekben a szilárdsági és hajlítási tulajdonságai megváltoznak, hiszen egy jóval lazább rostszerkezet jön létre a megkötött vízmennyiség függvényében. Így további mérések szükségesek ezen összefüggések megismerésének céljából, így adott esetben nem szükséges a páratartalom szabályozása, hanem megfelelő összefüggések ismeretében ezek az értékek típusra vetítve a mért páratartalom mellett korrigálhatóak lennének.

4. A mért kartonok mikroszkopikus vizsgálata a roncsolódás mértékének megállapítása érdekében.

Az alapanyag roncsolhatósága jelentősen befolyásolja a kialakult jelleggörbéket, hiszen az egyes jelleggörbéken észrevehetőek az alapanyag roncsolódásából származó ugrások, eltérések, így hosszú távú papíripari vizsgálatok elvégzésével elemezhető lenne az összefüggés az egyes anyagokon végzett tesztek után a folyamatok hatásai is. Így a mért tulajdonságok okára is kaphatnánk magyarázatot.

7. Összegzés

A Zalai Nyomdával közösen végzett kutatás fejlesztési projekt eredményeként megvalósult egy olyan mérő és tesztelő berendezés, mely a piacon fellelhető készülékekkel ellentétben egy egységben integrálva megvalósítja az 5 fő mérési eljárást a nyomdaipari igények kielégítése mellett, ezen felül további fejlesztési lehetőségeket is magában foglal, mely a jövőre nézve egy egységes nyomda és kutató központ létrehozására is lehetőséget ad, mindamellett, hogy az megmaradjon a gyártást és termékfejlesztést támogató mérőlabor funkcióját betöltve.

A megvalósult mérőeszközök a piacon kapható készülékekkel ellentétben a Zalai Nyomdai termékeire és igényeire szabva, egy egységben integrálva valósítja meg az öt mérési eljárást. A gyártási és beszerzési költségeket is szem előtt tartva választotta a Nyomda a készülék fejlesztésének lehetőségét, hiszen a piacon kapható készülékek ára a fejlesztési és gyártási költségekhez viszonyítva jóval magasabb volt.

Az elkészült mérőberendezés sikeres nyomdaipari környezetbe történő adoptálása után a gyártás és terméktervezés kiegészítő funkciójaként a Zalai Nyomda Zrt. keretein belül egy működőképes támogató funkciót lát majd el. A megvalósult mérési eljárások tervezése és éles tesztjei során megszerzett tudásbázis a további fejlesztések alapjául szolgálhat, így lehetőség adódhat a projekt további folytatására a kezdeti célok mellett új innovatív fejlesztések megvalósítására is.

A mérési eredmények és a mérésekből származó tapasztalatok további fejlesztési és kutatási lehetőségek felé vezetnek, mely egy átfogó papíripari ismeretanyag alapjául szolgálhat. A projekt jelenlegi szakaszában a mérőrendszer nyomdaipari környezetbe való illesztése folyik.

8. Irodalom jegyzék

[1] Barta Tamás, A papír összetételi, szilárdsági tulajdonságai, Kiadja a Nemzeti Szakképzési és Felnőttképzési Intézet 1085 Budapest, Baross u. 52.

[2]http://lorentzwettre.com/index.php?page=shop.browse&category_id=23&option=com_virtuemart&Itemid=53&lang=en (11.03)

[3]<http://senselektro.hu> (11.03)

[4] ISO 12048 szabvány (német nyelvű) Magyar Szabványügyi Hivatal kiadása

[5] ISO 2493-1:2010 szabvány (német nyelvű) Magyar Szabványügyi Hivatal kiadása

[6] DIN 55437 1-2-3. szabvány (német nyelvű) Magyar Szabványügyi Hivatal kiadása

[7] BS 6965:1988 szabvány, (angol nyelvű) Magyar Szabványügyi Hivatal kiadása