

Textíliák és textilerősítésű hajlékony kompozitlapok mechanikai tulajdonságainak
újszerű vizsgálati módszerei a BME Polimertechnika Tanszékén. 1. rész
Halász Marianna

Accepted for publication in Magyar Textiltechnika (2008-)

Published in 2017

DOI:

Textíliák és textilerősítésű hajlékony kompozitlapok mechanikai tulajdonságainak újszerű vizsgálati módszerei a BME Polimertechnika Tanszékén^{*)}

1. rész

Dr. Halász Marianna

BME Gépészmérnöki Kar, Polimertechnikai Tanszék
halaszmm@pt.bme.hu

Kulcsszavak/Keywords: *textíliák, hajlékony kompozit lapok, mechanikai tulajdonságok, redőződés, nyírás, fonalkihúzás*
textiles, flexible composite sheets, mechanical properties, drape test, shear test, yarn pull-out test

Kivonat. A cikk bemutatja a textíliák és textilerősítésű hajlékony kompozit lapok mechanikai tulajdonságainak vizsgálatára a BME Polimertechnika Tanszéken kifejlesztett újszerű vizsgálati módszereket a kutatócsoport ezzel kapcsolatos korábbi munkái alapján. A bemutatandó vizsgálati módszerek esetében az újszerűséget az jelenti, hogy a mechanikai jellemzők meghatározása saját tervezésű és egyedileg elkészített vizsgáló készülékekkel, digitális képrögzítési és képfeldolgozási eljárások alkalmazásával, a vizsgálati minta beszkennelt alakjának felhasználásával, valamint mechanikai anyagmodellek alapján végzett számításokkal történik. A cikk első része a redőződés, valamint a nyíró és fonalkihúzó, míg a cikk második része a hajlító és a biaxiális húzó vizsgálatokkal kapcsolatosan kifejlesztett eszközöket és vizsgálati módszereket mutatja be.

Abstract. This paper presents novel testing methods developed in the Department of Polymer Engineering (Budapest University of Technology and Economics) for the examination of mechanical properties of textiles and flexible composite sheets based on related former works of the research group. The novelty of the presented testing methods is that mechanical properties are examined with our custom designed and made testing equipment, with the use of digital image processing of scanned samples and calculations are performed based on mechanical materials models. The first part of the paper presents the equipment and the examination methods developed for drape, shear and yarn pull-out tests, while the second part shows those developed for bending and biaxial tensile tests.

Bevezetés

A Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem (BME) Polimertechnika Tanszék szakterületei közé tartozik a textíliák és textilerősítésű hajlékony kompozit lapok mechanikai tulajdonságainak vizsgálata is. Munkatársaimmal közösen a mechanikai tulajdonságok újszerű vizsgálati módszereinek fejlesztésével több mint tíz éve foglalkozunk.

A mechanikai tulajdonságok ismerete nélkülözhetetlen az ezekből az anyagokból készülő termékek minőségének megítéléséhez, szilárdsági méretezéséhez, valamint nem utolsósorban a mechanikai viselkedésük számítógépes modellezéséhez és szimulációjához.

A textíliák és textilerősítésű hajlékony kompozit lapok mechanikai tulajdonságainak vizsgálatánál nehézséget jelent, hogy hajlító és nyíró igénybevétel hatására sokkal nagyobb az alakváltozásuk, mint más szilárd szerkezeti anyagoké. Jellemző rájuk, hogy már saját súlyuk alatt is nagymértékben lehajlanak és nagymértékű nyíró-alakváltozást szenvednek, alakjukat nem tartják meg. Mechanikai viselkedésük alapvető jellemzője, hogy szálak struktúrájukból következően mechanikai tulajdonságaik hely- és irányfüggőek. Azokban az irányokban például, amelyekbe az őket felépítő szálak orientálva vannak, a húzószilárdságuk nagyobb, a nyúlásuk pedig kisebb, mint az ezekkel szöveget bezáró irányokban. Mindezek miatt ugyanazokkal a módszerekkel, mint amelyekkel a homogén szerkezeti anyagok, mint pl. a

fémek és kerámiák tulajdonságait vizsgálják, ezek az anyagok legtöbbször nem vizsgálhatók.

Az utóbbi időben a mérési módszerek intenzív modernizációját tapasztalhatjuk, amit elsősorban a digitális elektronika dinamikus fejlődése és a digitális számítástechnika révén a hatalmas adattömegek egyre gyorsabb feldolgozhatósága tesz lehetővé. Ezeket a lehetőségeket felhasználva fejlesztettük ki mi is újszerű vizsgálati módszereinket.

A kifejlesztett vizsgálati módszereink esetében az újszerűség három tényezőre épül:

- Az igénybevétel hatására a vizsgálati mintában létrejövő, bonyolult geometriájú deformációt mérjük, de nem csak egy vagy néhány pontban, hanem az egész vizsgálati minta felületének alakját digitális képrögzítési és képfeldolgozási eljárásokat alkalmazva beszkenneljük, és ezt az alakinformációt használjuk fel a keresett anyagparaméterek meghatározására.

- A mérési folyamat során gyűjtött nagyszámú adatot mechanikai és matematikai anyagmodellek felhasználásával, numerikus kiértékelési és számítási eljárásokkal, nagy sebességgel dolgozzuk fel.

- A mérési feladatokhoz egyedi, új vizsgáló berendezéseket fejlesztettünk, amelyek többségükben nem önálló mérőberendezések, hanem a már meglévő, univerzális vizsgáló berendezésekhez csatlakoztatva teszik lehetővé a keresett anyagparaméterek meghatározását.

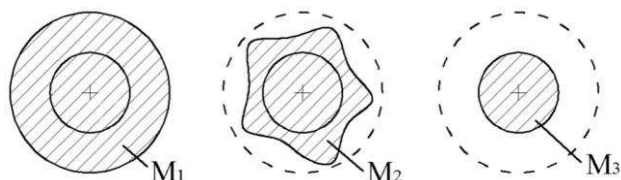
A cikk további részében kutatócsoportunk korábbi tudományos közleményei alapján, ezeknek egyfajta összefoglalásaképpen bemutatom a redőződés, a nyírás, a fonalkihúzás, a hajlítás és a biaxiális húzás mérése terén kifejlesztett vizsgálati módszereinket és berendezéseinket.

Redőződés vizsgálat

Munkatársaimmal az 1990-es évektől kezdve egy számítógépes 3D-s ruhatervező program megvalósításán dolgoztunk. Ennek a rendszernek része a 3D-s modelltervek valósághű virtuális megjelenítése, amelyhez szükség van a ruházati textíliák viselés közbeni viselkedésének, első sorban esésének, redőződésének a szimulációjára. Az esés, ill. a redőződés a textíliáknak a saját súlyuk hatására bekövetkező alakváltozása. A szimulációhoz szükség van az alkalmazott anyagmodell paramétereire. Ezeket speciális vizsgálókészülékekkel (Pl. Kawabata Evaluation System, KES [6]), paraméterenként külön-külön mérésekkel meghatározni nagyon munkaigényes, ezért felmerült az igény egy egyszerűbb, gyorsabb, közvetlenebb meghatározási módszerre.

A 3D-s ruhatervezés megvalósításához szükséges az emberi test méreteinek és alakjának a pontos ismerete is, ezért ugyanebben az időben az emberi test mére-

^{*)} Lektorált cikk.



1. ábra. A sík kelmegűrű és a redőződő kelmegűrű síkvetülete

$$DC = \frac{M_2 - M_3}{M_1 - M_3} * 100, \quad [\%], \quad (1)$$

ahol: M_1 a sík kelmeminta területe [m^2], M_2 a redőződő kelmeminta síkvetületének területe [m^2], M_3 a mintatartó asztallap területe [m^2].

teinek meghatározása céljából lézervonalas testszkennerek fejlesztésével is foglalkoztunk. Ennek kapcsán merült fel a redőződés szimulációjához szükséges anyagparaméterek esési vizsgálaton alapuló, újfajta meghatározásának ötlete.

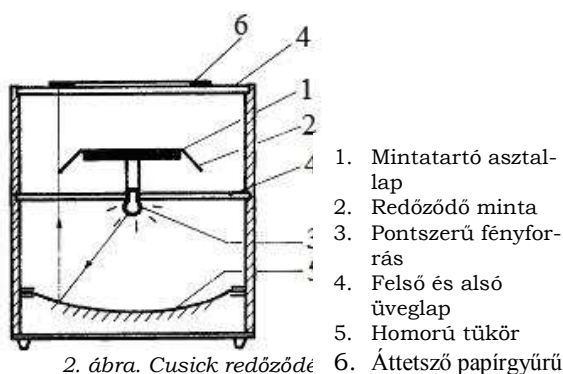
A redőződési képességet legközvetlenebbül és legkomplexebben az esési vizsgálat jellemzi [1-5].

A kelmék esésének vizsgálatára általánosan alkalmazott módszer szerint egy 180 mm átmérőjű, kör alakú mintatartó asztallapra egy 300 mm átmérőjű, kör alakú kelmemintát helyeznek. A kelmének az asztallapon túlnyúló, körgyűrű alakú széle – továbbiakban kelmegűrű – a saját tömege alatt lehajlik, redőződik. A mérés során a redőződő kelmegűrű vízszintes síkra vett vetületét kell meghatározni. A kelme redőződési képességét az (1) egyenlet szerinti esési tényezővel (DC [%]) jellemzik, amely a redőződő kelmegűrű síkvetülete területének és a sík kelmegűrű területének aránya (1. ábra).

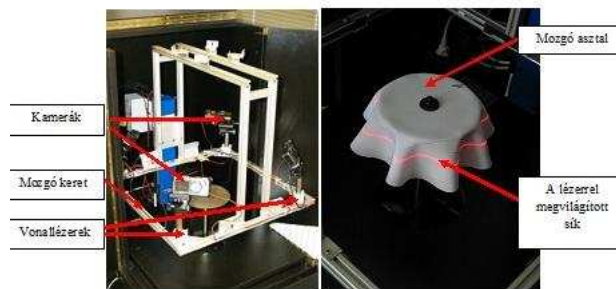
Az (1) képletből jól látszik, hogy minél merevebb a kelme, annál nagyobb az esési tényező értéke, és minél lágyabb, alakíthatóbb a textil, annál kisebb ez az érték.

Az esési tényező meghatározására még ma is a legelterjedtebb mérőkészülék a Cusick redőződésmérő berendezés. Ennek felépítését a 2. ábra szemlélteti [5].

A kör alakú mintatartó asztallap alatt elhelyezkedő, pontszerű fényforrás és a homorú tükör által létrehozott párhuzamos fénynyaláb a felső üveglapra helyezett, áttetsző papírra vetíti a lehajló, redőződő próbadarab árnyékát. Az árnykép rögzítése régebben kézi körülrajzolással, újabban kamerával történik. A rögzített árnykép területének felhasználásával az esési tényező meghatározható. A mérésből az eredmények kiértékelése során az esési tényezőkön kívül további paraméterek is meghatározhatók. Ezek a paraméterek többek között a hullámok száma [db], a legkisebb, a legnagyobb és az átlagos sugár



2. ábra. Cusick redőződésmérő



3. ábra: Sylvie 3D Drape Tester

[mm], valamint a sugár négyzetes szórása [mm].

A redőződés szimulációjához szükséges anyagparaméterek esési vizsgálaton alapuló, újfajta meghatározásának ötlete a következő volt [14-31]:

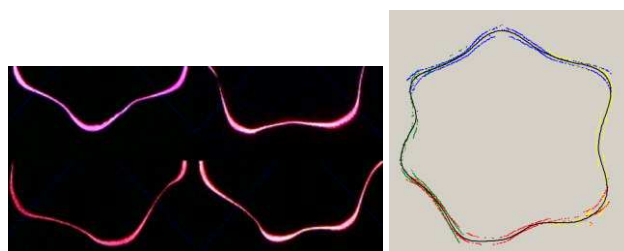
Mivel a redőződő textil felülete az emberi test felületéhez hasonlóan egy 3D-s felület, szkenneljük be, mint az emberi testet, és ennek alapján készítsük el a 3D-s virtuális modelljét. Ezzel párhuzamosan készítsük el a redőződésmérés szimulációját. A helyett azonban, hogy a szükséges anyagparamétereket megmérnénk, alkalmazzunk a meghatározásukra egy numerikus, iterációs, matematikai módszert. Ennek a lényege, hogy a szimulált textil paramétereit addig kell változtatni, finomítani, ameddig a szimulált felület a lehető legjobban nem közelíti a redőződő textil virtuális modelljének a felületét. Így megkapjuk a textil szimulációjához szükséges, keresett anyagparamétereket.

A módszer megvalósításához a testszkennерünk mintájára megépítettük a Sylvie 3D Drape Tester névre keresztelt, számítógéppel vezérelt redőződésmérő berendezésünket (3. ábra).

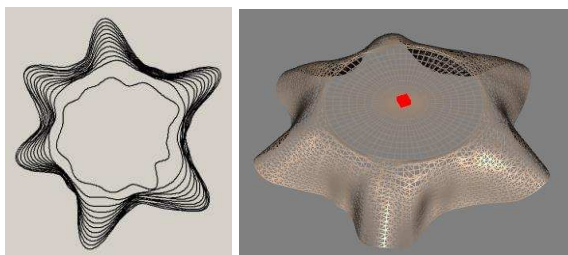
A berendezés kör alakú asztala a mérés előkészítése során az alaplapba besüllyesztve, azzal egy síkot képezve helyezkedik el. A kör alakú vizsgálandó kelme közepét egy tű az asztallap közepéhez rögzíti. Az asztal felemelését a számítógéppel vezérelt motor végzi, hogy a textil mindig ugyanazzal a sebességgel, azonos dinamikai viszonyok között alakulhassanak ki. A mérés során a mérőkereten elhelyezett 4 db lézer vonalsugárzó vízszintes síkban egy fényvonalat vetít a kelmére, amelyet a mérőkereten, a vonalsugárzók felett elhelyezett 4 db kamera lefényképez. A képek minden fényképezési lépés után on-line áttöltődnek a számítógépbe. A keret magasságát beállított lépésközzel léptetve a berendezés a redőződő textiliát végigpásztazza és ezzel annak felületét beolvassa. A berendezés egy fekete műszerházba van beépítve, ami biztosítja a mérés folyamán a sötét mérőteret.

A lézerrel megvilágított keresztmetszetről készült négy képet és a redőződő kelme ezek alapján rekonstruált keresztmetszetét mutatja a 4. ábra.

Az 5. ábra a redőződő textil geometriáját mutatja,



4. ábra. A lézerrel megvilágított keresztmetszetről készült négy kép (balra) és a redőződő kelme ezek alapján rekonstruált keresztmetszete (jobbra)



5. ábra. A redőződő textília geometriája a lézermegvilágított szintvonalakkal (balra) és a mérés alapján rekonstruált felület (jobbra)

baloldalon a lézermegvilágított szintvonalak, jobb oldalon a rekonstruált felület látható.

A szimulációhoz többféle anyagmodellt is lehetne alkalmazni, de a valószerű megjelenítést megfelelő gyorsaságával csak a tömegpontok és az azokat összekapcsoló, összetett kötőelemek (párhuzamosan kapcsolt rugók és csillapítók) hálózatán alapuló modell (6. ábra) tette lehetővé. Mindazonáltal ez a mechanikai modell jól közelíti főleg a szőtt textíliák nem kontinuum, biaxiális szerkezetét is.

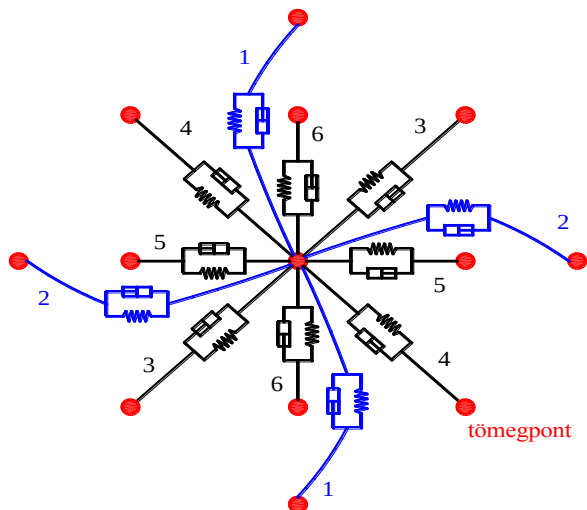
A mechanikai lengő rendszer matematikai modellje a Lagrange egyenlet (2) alapján írható fel, ahol $\underline{F}(t)$ a tömegpontra ható erők vektora az idő függvényében, $\underline{M}_p$ a tömegpontok tömegeinek, $\underline{K}$ a csillapítók és $\underline{S}$ a rugók paramétereinek mátrixa, $\underline{q}$ pedig a koordináták vektora.

$$\underline{M}_p \cdot \ddot{\underline{q}} + \underline{K} \cdot \dot{\underline{q}} + \underline{S} \cdot \underline{q} = \underline{F}(t) \quad (2)$$

Az anyagparaméterek meghatározásához képezni kell a szimulált és a mérés alapján rekonstruált felület különbségének mértékét (G) az anyagparaméterek vektorának ($\underline{P}$) függvényében (3).

$$G(\underline{P}) = \text{minimum} \quad (3)$$

A G függvény minimumát kell megkeresni, mert a G függvénynek a valódi anyagot jellemző paramétervektornál van a minimuma. A minimumot iteratív szimulációval lehet megtalálni. Azért, hogy az iteráció minél gyorsabb legyen, a minimumkeresés kiinduló paramétereinek meghatározását egy szakértői rendszer segíti. A szakértői rendszer adatbázisa több ezer szimuláció eredményét tárolja, amelyek közül a hullámok száma, valamint a minimális és maximális sugar adatok alap-



6. ábra. Az egy tömegpontra ható kapcsoló elemek 1, 2 hajlító elemek 3, 4 nyíró elemek, 5, 6 szerkezeti elemek

ján a rendszer kiválasztja a mért anyaghoz legközelebb álló szimulációs eredményt, és annak paramétereit választja a konkrét szimuláció kiinduló paramétereinek.

Az új mérőberendezés a függvényekre alapozott képfeldolgozással és az anyag viselkedésének szimulációjával lehetővé tette egyrészt a redőződés paramétereinek a hagyományos módszerekhez képest precízebb mérését, másrészt a szimulációhoz szükséges anyagmodell paramétereinek egy teljesen újfajta, gyors, közvetlen meghatározását.

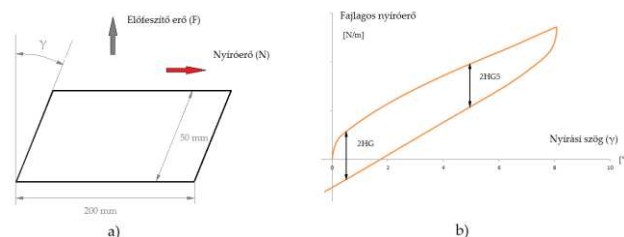
Nyíró és fonalkihúzó vizsgálat

A textíliák és textilerősítésű hajlékony kompozit lapok alakváltozását nem csak a saját súlyuk, hanem külső erő is okozhatja. Különösen fontos a külső erők hatására kialakuló deformáció mértéke a kompozitok erősítésére használt lapszerű textilszerkezetek esetében, amikor ezekből nem síklapokat, hanem bonyolult térbeli formákat készítenek. Az anyag deformációs képessége határozza meg ugyanis azt, hogy az anyag mennyire bonyolult térformára képes idomulni ránc, ill. redőződése nélkül. A lapszerű textilszerkezetek térformára idomulási képességét elsősorban a hajlítással és a nyírással szembeni ellenállásuk határozza meg, ezért nagyon fontos ezeknek a jellemzőknek az ismerete.

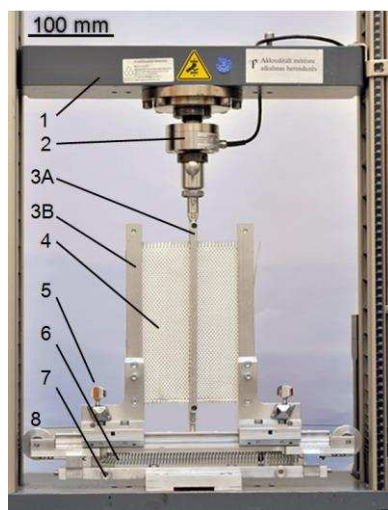
Nyíró vizsgálat. – A textíliák és a textilerősítésű hajlékony kompozitok nyírásának mérésére három eljárás terjedt el [1, 6-9]. Ezek közül az egyik az átlós irányú húzás, amely elsősorban szövetek vizsgálatára alkalmas. Ennél a vizsgálatnál a lánc- és a vetülékfonalakkal 45°-ot bezáróan kivágott sáv húzásakor a mintában nyíró deformáció jön létre. A másik elterjedt nyíró vizsgálati módszer a képkeret-vizsgálat, amelynél a mintát egy négyzet alakú keretbe fogják be, amelynek oldalai csuklósan kapcsolódnak egymáshoz. A keret átellenes sarkait egymástól távolítva a mintában nyíró deformáció jön létre. A nyíró vizsgálati módszerek közül a legelfogadottabb a KES (Kawabata Evaluation System) berendezésben is alkalmazott elv [6]. Ezt szemlélteti a 7/a ábra.

A vizsgálat során a mérőberendezés az 50 mm széles minta 200 mm hosszú oldalait egymással párhuzamosan és egymáshoz képest ellentétesen mozgatja, miközben az elmozdulás függvényében méri a mozgathoz szükséges erőt. A minta szélessége és az elmozdulás nagysága alapján számítható az ábrán γ -val jelölt nyírási szög.

A KES célberendezés a nyíró vizsgálatot ciklikusan végzi, amelynek során a nyíró mozgás irányát vált, mikor a nyírási szög eléri a +8° illetve a -8°-ot. A fajlagos (a minta szélességére vonatkoztatott) nyíróerő – nyírási szög diagram a 7/b ábrán látható. A diagram alapján meghatározhatóak az úgynevezett Kawabata paraméterek, amelyek a +0,5° (2HG [N/m]) és a +5° (2HG5 [N/m]) nyírási szögnél vett hiszterézis magasságok, valamint a 0,5° és 5° nyírószög között számolt fajlagos nyíró me-



7. ábra. A KES nyíró berendezés mérési elve (a) és ciklikus, fajlagos nyíróerő – nyírási szög diagramja (b)



1. univerzális vizsgáló berendezés mozgó keresztfeje
2. erőmérő cella
3. befogók:
- 3A: az erőmérő cellához kapcsolódó, középső befogó
- 3B: oldalsó befogók
4. vizsgálati minta
5. előterhelést beállító kar
6. acél előterhelő rugó
7. rögzítő csavarok
8. csapágyazott ke-rekek

8. ábra. Befogó készülék nyíró vizsgálatához való középső befogóval

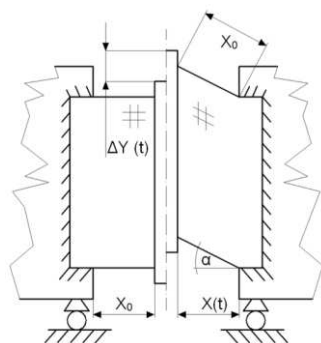
revség (G [N/m/°]), mely a szélességre vonatkoztatott fajlagos nyíróerő és a nyírószög hányadosa.

Ezt az elvet alkalmaztuk a nyíró vizsgálati készülékünk megtervezésekor [29-41]. Önállóan működő mérő-készülék helyett egy olyan egyedi, speciális befogó készüléket készítettünk a laboratóriumunkban rendelkezésre álló és a szükséges mozgató és precíz erőmérés szolgáltatást, univerzális vizsgáló berendezéshez, amelynek segítségével a vizsgálati minta nyíró igénybevétele megvalósítható. A befogót a 8. ábra szemlélteti.

A vizsgálati mintát először az oldalsó befogókkal kell befogni. Ezek a befogók oldal irányban elmozdulhatnak, mivel a szakítógép állványához egyenesbe vezető szerkezettel csatlakoznak. A befogók oldalirányú elmozdíthatósága lehetővé teszi egyrészt a befogási szélesség viszonylag nagy határok közötti változtathatóságát, másrészt pedig a minta állandó nagyságú oldalirányú előfeszíthetőségét. Az előfeszítő erőt az egyenesbe vezető szerkezet alatt elhelyezett acélrugó adja. A rugóerőt a csapágyazott tárcsákkal megvezetett, vékony drótkötél közvetíti a befogókhoz. Az előfeszítő erő a beállító karokkal szabályozható. A minta befogása idejére az oldalsó befogókat oldalirányú elmozdulás ellen rögzíteni és a befogók kényelmesebb kezelése érdekében az egész készüléket a rögzítő csavarok oldását követően vízszintes helyzetbe dönteni lehet.

Végül, miután a vizsgálati mintát az oldalsó befogókkal befogtuk és pontosan középre pozicionáltuk, következik a középső befogó felszerelése. A középső befogó a szakítógép mozgó keresztfején elhelyezett erőmérő cellához kapcsolódik. A mérés során a középső befogó

a beállított állandó sebességgel mozogva húzza felfelé a vizsgálati minta közepét, és ezzel nyíró igénybevételt hoz létre a mintában. A mérés elvét a 9. ábra szemlélteti. Az ábra bal oldalán a vizsgálati minta még terheletlen, az ábra jobb oldalán pedig terhelte állapotban látható. Mivel az



9. ábra. A nyírási mérésének elve

egyesbe vezetés lehetővé teszi az oldalsó befogók oldalirányú mozgását, az előfeszítő erő beállított értékét megtartva a befogók követik a vizsgálati minta alakváltozását, és a nyíró deformáció növekedésének megfelelően közelednek egymáshoz.

A középső befogó idő függvényében mért $\Delta Y(t)$ elmozdulásából a (4) összefüggéssel számítható az $a(t)$ nyírási szög:

$$a(t) = \arcsin(\Delta Y(t)/X_0) \cdot 180/\pi, \quad [^\circ] \quad (4)$$

A (4) összefüggés alapján meghatározható a középső befogó 8° nyírási szöghöz tartozó elmozdulása, melynek értéke a szokásos $X_0 = 50$ mm befogási szélesség esetén 6,959 mm. Ha a nyíróvizsgálatot a KES rendszerhez hasonlóan kívánjuk végrehajtani, akkor a vizsgálati ciklust ennek megfelelően a középső befogó $\pm 6,959$ mm elmozdulásáig kell végezni. A fajlagos nyíróerő (N_f [N/m]) - nyírási szög (a [°]) hiszterézis diagram megrajzolásához szükséges fajlagos nyíróerő meghatározásakor az elrendezés szimmetriája miatt a szakítógép által mért erő (F [N]) felét kell vonatkoztatni a vizsgált minta befogókkal párhuzamos hosszára (H [m]) (5):

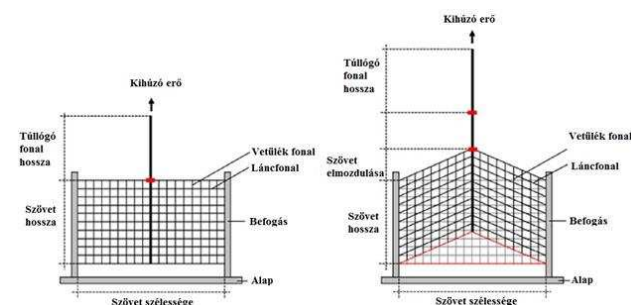
$$N_f = F/(2H), \quad [N/m] \quad (5)$$

A nyíró vizsgálati készülék készített befogó készülékünk előnye, hogy univerzális szakítógépre felszerelhető, ezáltal az erő tág határok között mérhető és a vizsgálati sebesség is tág határok között változtatható. Előny továbbá, hogy a befogási szélesség és az előfeszítő erő is változtatható, valamint a vizsgálat a KES készülékhez hasonlóan is végezhető és kiértékelhető. A KES készülék-től eltérően azonban itt nem lehet szétválasztani a nyíróvizsgálat irányait, mivel a középső befogótól jobbra és balra eső mintarészek vizsgálata ellentétes nyírási irányval egyidejűleg folyik. A mért nyíróerő a két ellentétes nyírási irányban ébredő erők összege.

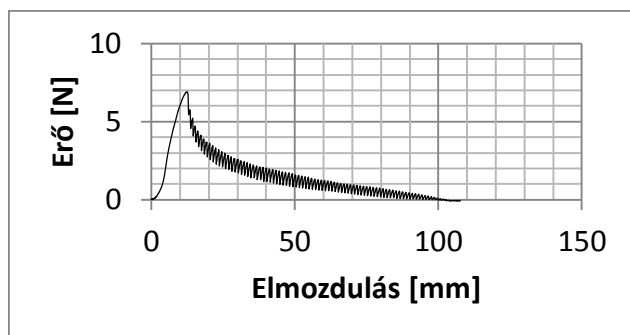
Különlegessége a készüléknek, hogy a középső befogó cseréjével alkalmas szövetek fonalkihúzó vizsgálatára is.

Fonalkihúzó vizsgálat a szövetek fonalainak kölcsönhatását, a kihúzó és az azt keresztvevő fonalak közötti, döntően súrlódásos kapcsolat legyőzéséhez szükséges erőt lehet megmérni. A fonalak közötti súrlódásnak nagyon fontos szerepe van az anyag tulajdonságaiban, alapvetően befolyásolja a szövet nyíró, hajlító, redőződési stb. tulajdonságait, valamint ütőszilárdságát és energiaeelnyelő képességét, ezért ismerete, különösen a szövet mechanikai viselkedésének modellezéséhez, rendkívül fontos [1, 10-13].

A fonalkihúzó vizsgálat szokásos menetének elvi vázlata a 10. ábrán látható. Fonalkihúzás során a vizsgált anyagot két oldalról fogják be, és a befogott oldalakkal párhuzamos középső fonalat felülről húzzák ki. Lényeges, hogy a kihúzó fonat másik végének szabadnak kell lennie.



10. ábra. Fonalkihúzás vizsgálata



11. ábra. Tipikus fonalkihúzó vizsgálati diagram

A kihúzáshoz szükséges erőt több tényező is befolyásolja, mint például a szövet kötési módja, a kihúzási hossz vagy a kihúzás közben fellépő deformációk. A kihúzó erőt a a fonal húzott végének elmozdulása függvényében szokás ábrázolni. Egy tipikus fonalkihúzó vizsgálati diagram látható a 11. ábrán.

A fonalkihúzási vizsgálat első, statikus szakaszában a növekvő húzóerő hatására a húzott fonal kiegyenesedik és megnyúlik, ezzel egy időben a kihúzandó fonal két oldalán a szövetben nyíró deformáció alakul ki, ahogy ezt a 10. ábra jobb oldala is szemlélteti. A második, kinetikus szakasz akkor kezdődik, amikor a fonalat húzó erő eléri maximumát, legyőzi a fonalak közötti sűrűsödést, és megindul a húzott fonal keresztező fonalak közötti áthaladása és a húzóerő csökkenése. Az egyre kevesebb keresztező fonal között áthaladó fonal húzásához egyre kisebb húzóerőre van szükség. Az erőnek a csökkenő középtérték körüli periodikus lefutása a tapadó és a csúszó sűrűsödés váltakozásának tulajdonítható.

A fonalkihúzó vizsgálatról és eredményeinek elemzéséről számos tudományos cikk készült. Több mérési elrendezést is kialakítottak az ilyenfajta vizsgálatok elvégzésére, azonban ezek mindegyike egyedi megoldás volt.

Ha az előzőekben bemutatott nyíró vizsgáló készülékünk középső befogóját egy szokásos fonalbefogó fejre cseréljük, akkor a készülékkel pontosan megvalósítható a fonalkihúzási vizsgálat [29-31, 33, 42-45]. Ennél a vizsgálatnál is előny, hogy a keresztirányú előterhelés, a befogási szélesség és hosszúság, valamint a húzási sebesség bizonyos határok között változtatható. A 12. ábra a készüléket fonalkihúzó vizsgálat közben mutatja.

A fonalkihúzási vizsgálat eredményei sokféleképpen használhatók fel. Több kutató is próbálkozott például azzal, hogy a kinetikus szakaszban periodikusan csökkenő húzóerő és a kötelsűrűsödés elve felhasználásával a fonalak közötti sűrűsödési tényezőt meghatározza. A kapott eredmények helyessége azonban még nincs bizonyítva [13, 30].

A fonalkihúzási diagram alapján és a szövetet alkotó fonalak szakítóerejének ismeretében azonban meghatározható a szövetek egy speciális mechanikai jellemzője, nevezetesen a kritikus tapadási hossz [43]. A kritikus tapadási hossz azt a fonalhosszt jelenti, amely hosszúságú fonal még éppen szakadás nélkül kihúzható a szövetből. A kompozitoknál ennek a kritikus tapadási vagy más néven adhéziós hosszának a kétszeresét kritikus szálhossznak hívják, és ez a kritikus szálhossz alapvető fontosságú jellemzője a szál-mátrix kapcsolatnak. Ez kritikus tapadási hossz, mint jellemző teljesen egyértelmű, és kiválóan jellemzi az egymást keresztező fonalak szövetbeli mechanikai kapcsolatát.

Folytatása következik.



12. ábra. Befogó készülék fonalkihúzó vizsgálatához való középső befogóval

Köszönetnyilvánítás

A kutatást támogatta a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal az OTKA K100949 és a TÉT_12_DE-1-2013-0006 azonosítójú projektekkel.

Irodalom

1. Gyimesi J.: Textilanyagok fizikai vizsgálata. Műszaki könyvkiadó, Budapest, 1968
2. Moroka H., Niwa M.: Relation between Drape Coefficient and Mechanical Properties of Fabric, Journal of the Textile Machinery Society of Japan, Vol. 22, No. 3, 67-73, 1976
3. Milikity M., Velekova J., Hes L.: Prediction of the drape from mechanical characteristics, 4th IMCEP Conference, October 9-11, 2003, Maribor, Slovenia
4. Kokas-Palicska L.; Geršak J.; Halász M.: The impact of fabric structure and finishing on the drape behavior of textiles, AUTEX 2005, 5th World Textile Conference, Portorož, Slovenia, 27-29 June 2005, ISBN 86-435-0709-1, P 891-897
5. Kokas-Palicska L.: Textil laptermékek redőződésének és fogásának vizsgálata konfekcióipari 3D-s anyagszimulációhoz, PhD értekezés, Nyugat-Magyarországi Egyetem, 2008
6. Kawabata S.: The Standardization and Analysis of Hand Evaluation, Osaka Science & Technology Center, Osaka 1980.
7. Boos A. D., Tester D.: SiroFAST - A system for fabric objective measurement and its application in fabric and garment manufacture. Report. Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation, 1994
8. Mohammed U., Lekakou C., Dong L., Bader M. G.: Shear deformation and micromechanics of woven fabrics. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, **31**, 299-308, 2000
9. Potluri P., Perez Ciurezu D. A., Ramgulum R. B.: Measurement of meso-scale shear deformations for modelling textile composites. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, **37**, 303-314, 2006.
10. Pan N., Yoon M.-Y.: Behavior of yarn pull-out from woven fabrics: Theoretical and experimental. Textile Research Journal, **63**, 629-637, 1993

11. Dong Z., Sun C. T.: Testing and modeling of yarn pull-out in plain woven Kevlar fabrics. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, **40**, P1863-1869, 2009
12. Bilisik K.: Properties of yarn pull-out in para-aramid fabric structure and analysis by statistical model. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, Volume 42, Issue 12, 2011, Pages 1930-1942
13. Prodromou A. G., Chen J.: On the relationship between shear angle and wrinkling of textile composite preforms. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, **28**, 491-503, 1997
14. Tamás P.; Geršak J.; Halász M.: Sylvie® 3D Drape Tester – New System for Measuring Fabric Drape, *TEKSTIL*, Zagreb, 2006/10, P 497-502 (P 503-509 horvát nyelven is), ISSN 0492-5882,
15. Szabó L., Halász M.: Examination of Dependence of Drape Coefficient on the Samples Size, *TEKSTIL*, Zagreb, 2008/9, P 439-447, ISSN 0492-5882,
16. Al-Gaadi B., Halász M., Szabó L.: Comparison of calibration processes of a surface determining measurement system, *GÉPÉSZET '2008*, 6th conference on mechanical engineering, BUTE, Faculty of Mechanical Engineering, 2008. május 29-30. Budapest, CD kiadvány, ISBN 978-963-420-947-8, G-2008-C-19
17. Halász M., Tamás P., Gräff J., Szabó L.: Computer Aided Measuring of Textile-mechanical Parameters, *Materials Science Forum Vol. 589* (2008) pp 311-316, online at <http://www.scientific.net>, Trans Tech Publications, Switzerland ISSN 0255-5476
18. Tamás P., Göktepe F., Halász M., Al-Gaadi B.: New Method for Dynamic Drape measurement of Fabrics, *AUTEX 2009 World Textile Conference*, 26-28 May, 2009 İzmir, Turkey, CD kiadvány, ISBN: 978-975-483-787-2, P 579-584
19. Al-Gaadi B., Geršak J., Göktepe F., Halász M., Tamás P., Göktepe Ö.: Fabric Drape Examination Using Ring-controlled Equipment, *Proceedings CD of 4th International Technical Textiles Congress*, 16-18. May 2010, Istanbul, 7 p, ISBN 978-975-441-286-4
20. Göktepe F., Halász M., Tamás P., Göktepe Ö., Geršak J., Al-Gaadi B., Özdemir D.: Twist Direction and Yarn Type Effect on Draping Properties, *Proceedings CD of 41th International Symposium on Novelties in Textiles*, Ljubljana, Slovenia, 27-29 May 2010., 171-177, ISBN 978-961-6045-80-3
21. Al-Gaadi B., Halász M., Tamás P.: Textiles dynamically influenced drapability. *Materials Science Forum*, **659**, 361-366 (2010).
22. Al-Gaadi B., Göktepe F., Halász M.: A New Method in Fabric Drape Measurement and Analysis of Drape Formation Process, *Textile Research Journal*, Volume 82, Issue5, March 2012, pp 502-512 (ISSN 0040-5175)
23. Geršak J., Halász M., Tamás P., Kokas-Palicska L.: Complex fabric deformation and clothing modeling in 3D, *LAMBERT Academic Publishing*, 2013, ISBN 978-3-659-32809-1
24. Molnár I.: Textiliák redőződés-mérési módszereinek összehasonlítása, BME, TDK dolgozat, 2007
25. Horváth K.: Textiliák statikus és dinamikus redőződésének mérése képfeldolgozás alkalmazásával, BME, Diplomaterv, 2010
26. Tamás P.: 3D-s ruhatervezés, BME, PhD értekezés, 2008
27. Szabó L.: Képfeldolgozásra alapozott ruhaipari méréstechnikák, BME, PhD értekezés, 2008
28. Molnár I.: Textiliák redőződés-mérési módszereinek összehasonlítása, BME, Diplomaterv, 2008
29. Al-Gaadi B., Halász M.: Deformation Analysis of Composite Reinforcing Fabrics through Yarn Pull-out, Drape and Shear Tests, *FIBERS AND POLYMERS*, 2013, Vol.14, No.5, 804-814, DOI 10.1007/s12221-013-0804-1, ISSN 1229-9197,
30. Al-Gaadi B.: Szótt kompozit-erősítő szerkezetek 3D-s deformációs tulajdonságainak elemzése, BME, PhD értekezés, 2013
31. Turfa E.: Műszaki textiliák 3D-s deformációs képességének vizsgálata, BME, Szakdolgozat, 2011
32. Molnár K., Halász M., Vas L. M.: Apparatus for measuring the shear properties of reinforcements, 4th ITMC Lille Metropole 2013 International Conference, Oktober 9-11. 2013., Lille, Franciaország, Book of proceedings, 221-226, ISBN 978-2-9522440-9-1
33. Molnár K., Halász M., Vas L. M.: Determination of Shear Properties and Yarn Pull-out Behavior of Textiles by Novel Apparatus, 4nd International Joint Conference on Environmental and Light Industry Technologies, Óbudai Egyetem, Rejtő Sándor Könyvűipari és Környezetmérnöki Kar, Budapest, Magyarország, 2013. november 20-21. Budapest, CD of Proceedings, paper ID ISITD 3, 7 p, ISBN 978-615-5018-93-0,
34. Molnár K., Bakonyi P., Vas L. M., Halász M.: Shear properties of woven composite reinforcement, *Proceedings of 8th Aachen-Dresden International Textile Conference 2014*, 2014. november 27-28., Drezda, Németország, Proceedings CD, Paper P40, 8p, ISSN 1867-6405
35. Vas L. M., Halász M., Molnár K., Tamás P.: Modelling and Analysing the Tensile and Shear Behavior of Fabric Samples, *Proceedings of 8th Aachen-Dresden International Textile Conference 2014*, 2014. november 27-28., Drezda, Németország, Proceedings CD, Paper P41, 13p, ISSN 1867-6405
36. Tamás P., Halász M., Bakonyi P., Bojtó A., Wendt E., Krzywinski S.: Correlation between shearing behaviour and surface deformation, *Aachen-Dresden-Denkendorf International Textile Conference*. Drezda, Németország, 2016.11.24-2016.11.25. CD of Proceedings, Paper P-5. 3 p., ISSN 1867-6405
37. Bertalan A.: Ortotrop kompozit erősítőanyagok húzó és nyírási tulajdonságainak vizsgálata és elemzése, BME, Diplomaterv, 2013
38. Horváth P. A.: Kompoziterősítő szövetek deformációs képességének vizsgálata, BME, Szakdolgozat, 2013
39. Farkas B.: Textiliák nyírási tulajdonságainak meghatározása és elemzése, BME, Szakdolgozat, 2013
40. Mészáros A.: Textiliák nyíróvizsgálati módszereinek összehasonlító elemzése, BME, Szakdolgozat, 2014
41. Hegedűs T.: Lapszerű szálak szerkezetek húzása és nyírása során keletkező redők vizsgálata, BME, Szakdolgozat, 2016
42. Semperger O., Suba T.: Erősítőszövetek fonalai közötti súrlódás vizsgálata, BME, TDK dolgozat, 2015
43. Budai L.: Kritikus szálhossz kompoziterősítő szövetekben, BME, Szakdolgozat, 2015
44. Nagy A.: A keresztirányú előfeszítés és a befogási szélesség hatása a fonalkihúzó vizsgálat eredményére, BME, Szakdolgozat, 2016
45. Semperger O.: Erősítő szövetek fonalai közötti súrlódás meghatározása fonalkihúzással, BME, Diplomaterv, 2016