

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

2. rész^{**)}

Dr. Halász Marianna

BME Gépészmérnöki Kar, Polimertechnikai Tanszék
halasz@m.pt.bme.hu

Kulcsszavak/Keywords: textíliák, hajlékony kompozit lapok, mechanikai tulajdonságok, hajlítás, biaxiális húzás
textiles, flexible composite sheets, mechanical properties, bending test, biaxial tensile 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 beszkennezt alakjának felhasználásával, valamint mechanikai anyagmodellek alapján végzett számításokkal történik. A cikk első része a redőződés, valamint a nyíró és fonalkihúzó vizsgálattal foglalkozott, a cikk e második része a hajlító és a biaxiális húzó vizsgálattal 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 presented the equipment and the examination methods developed for drape, shear and yarn pullout tests, while this second part shows those developed for bending and biaxial tensile tests.

Hajlító vizsgálat

A textíliák és textilerősítésű hajlékony kompozit lapok térformára idomulási képességét a nyírással szembeni ellenállásuk mellett leginkább a hajlítással szembeni ellenállásuk befolyásolja [1, 2]. Ezeknél az anyagoknál a nem kontinuum és nem homogén, szálak szerkezet miatt a vastagság és így a keresztmetszet meghatározása nem teljesen egyértelmű, ezért a hajlítással szembeni ellenállás jellemzésére a hajlító rugalmassági modulus (E [N/m^2]) helyett inkább a hajlító merevséget (D [$N \cdot m^2$]) használják. A kettő közötti kapcsolatot a (6) egyenlet írja le, ahol I [m^4] jelenti a keresztmetszet másodrendű nyomatékát.

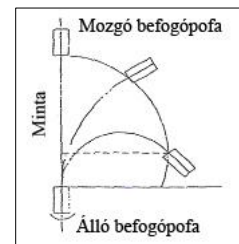
$$D = I \cdot E, \quad [N \cdot m^2] \quad (6)$$

A hajlítással szembeni ellenállás mérése különösen nehéz feladat. A hajlítás mérése területén két megoldás terjedt el.

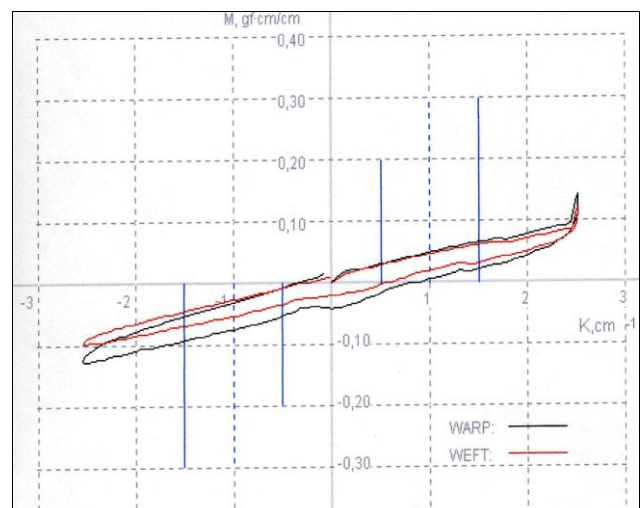
Az egyik megoldás szerint a hajlító alakváltozás függvényében mérjük az ehhez szükséges erőt vagy nyomatékot. A KES rendszerben [3] a speciális vizsgáló készülék a vizsgálati mintát a mozgó befogópofával úgy hajlítja meg, azaz az alakváltozását úgy hozza létre,

hogy a minta görbülete (ρ [$1/m$]) időben fokozatosan növekedjen (13. ábra), miközben méri a hajlításhoz szükséges, a minta szélességére vonatkoztatott fajlagos hajlító nyomatékot (M_f [$N \cdot m/m$]).

A KES célberendezés a nyíró vizsgálathoz hasonlóan a hajlító vizsgálatot is ciklikusan végzi, amelynek során



13. ábra. A KES hajlítóvizsgálat elve



14. ábra. KES ciklikus fajlagos hajlító nyomaték (függőleges tengely) – görbület (vízszintes tengely) mérési diagram

a hajlító mozgás irányát vált, mikor a görbület eléri a +250, illetve a -250 $1/m$ értéket (14. ábra). A fajlagos hajlító nyomaték-görbület diagram alapján meghatározhatók az ún. Kawabata-paraméterek, amelyek a +100 $1/m$ görbületnél vett hiszterézis magasság ($2HB$ [Nm/m]), valamint az 50 és 150 $1/m$ görbület között számított fajlagos hajlító merevség (D_f [$N \cdot m^2/m$]).

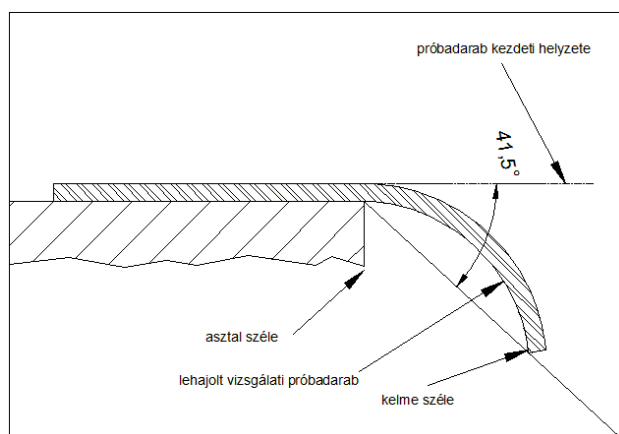
A mérési eredményekből a (7) egyenlettel közvetlenül számítható a minta szélességre fajlagosított hajlító merevsége, amely a fajlagos hajlító nyomaték és a görbület hányadosa. A precíz célberendezés elterjedését azonban gátolja a bonyolultsága és magas ára.

$$D_f = M_f / \rho, \quad [N \cdot m^2/m] \quad (7)$$

A széles körben régóta ismert és alkalmazott másik megoldás a Peirce elgondolásain alapuló Cantileverteszt [4, 5]. Ebben az esetben nem mérünk az alakváltozás függvényében erőt vagy nyomatékot, hanem a gravi-

^{*)} Lektorált cikk.

^{**)} A cikk I. része a Magyar Textiltechnika 2017/3. számában jelent meg.



15. ábra. A Cantilever-teszt

táció hatására kialakuló, nagymértékű deformációt mérjük, és ebből mechanikai modell alapján számítjuk a keresett hajlító merevséget. A kapott jellemző pontosságát erősen befolyásolja, hogy az alkalmazott mechanikai modell mennyire jól írja le a vizsgált, polimer anyagú minta mechanikai viselkedését. A mérési módszer egyszerűsége, gyorsasága és a szak-ma számára elegendő pontossága miatt nagyon elterjedt.

A Cantilever-teszt esetében a c [m] hajlító hosszt mérik, amelyet Peirce közelítő megfontolások alapján a (8/a) egyenlettel definiált. A mérés során a vizsgált, állandó szélességű anyagsávot a mérőkészülék asztalának szélén túltolják és hagyják lehajlani (15. ábra). Addig tolják az anyagot, amíg a lehajló rész széle el nem éri az asztal szélétől induló, $\Theta = 41,5^\circ$ -os lejtőt. A lejtő azért pont $41,5^\circ$ -os, mert akkor a (8/a) egyenletben a gyökjel alatt álló kifejezés értéke nagyon jó közelítéssel $1/8$ lesz, és az egyenlet a (8/b) alakra egyszerűsödik. Így a lehajló anyagsáv hosszának (l [m]) fele közvetlenül adja a hajlító hosszt (c [m]).

$$c \equiv l \cdot \sqrt[3]{\frac{\cos(0,5\theta)}{8 \cdot \tan\theta}} \quad (8/a)$$

$$c = \frac{l}{2}, [\text{m}] \quad (8/b)$$

A mérés célja ennek a hajlító hosszának a meghatározása, amelyből – Peirce hossz-aszaltól mellőzve – az anyag hosszegységre eső súlyának (p [N/m]) ismeretében a (9) egyenlettel a hajlító merevség, míg az anyag területegységre eső súlyának ismeretében (w [N/m²]) a (10) egyenlettel a fajlagos hajlító merevség számítható:

$$D = p \cdot c^3, [\text{Nm}^2] \quad (9)$$

$$D_f = w \cdot c^3, [\text{Nm}^2/\text{m}] \quad (10)$$

A fajlagos hajlító merevségből a (6) összefüggés alapján a (11) képlettel és az anyag vastagságának (v [m]) ismeretében adódik a hajlító rugalmassági modulus.

$$E = 12 \cdot D_f / v^3, [\text{N}/\text{m}^2] \quad (11)$$

A Cantilever-teszt az anyagok hajlító merevség szerinti összehasonlítására jól megfelel, de ha a vizsgált anyag viselkedését modellezni és szimulálni szeretnénk, akkor több információra van szükség.



16. ábra. A Sylvie 3D Bending Tester

A hajlítás szimulációjához szükséges anyagparaméterek újfajta, erőmérés nélküli meghatározásának kidolgozásánál felhasználtuk a redőződés szimulációs paramétereit meghatározásánál már alkalmazott és bevált ötletet [8-16]. A hajlékony, lapszerű anyagban hajlító alakváltozást hozunk létre, ezt az alakot a redőződés mérésénél már ismertetett módszerrel beszkenneljük. Mivel ebben az esetben az igénybevétel csak hajlítás, így a deformált alak felhasználásával lehetőség van közvetlen analitikus mechanikai modellt alkotni, és a számítástechnika adta lehetőségek kihasználásával a mechanikai modell alapján a hajlító merevséget, illetve modulus kiszámítani.

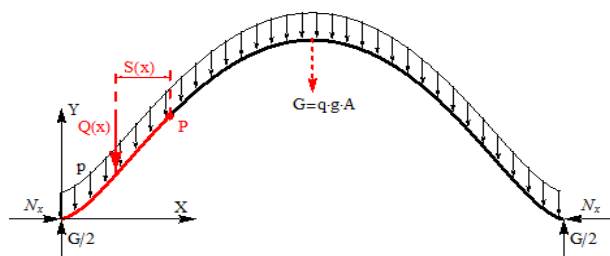
Ezen elvek alapján építettük meg a Sylvie 3D Bending Tester (16. ábra) nevű készülékünket.

A készülék a 100 mm széles és 500 mm hosszú, a befogók segítségével harang alakban meghajlított és a



17. ábra. A Sylvie 3D Bending Tester mérés közben

három vonallézerrel megvilágított próbasávról a két fényképezőgép segítségével felvételt készít. A számítógépnek továbbított felvételekből pedig az előzetesen kalibrált képfeldolgozó szoftver meghatározza a próbasáv



18. ábra. A harang alakban meghajlított mintára ható erők.

P egy tetszőlegesen kiválasztott és rögzített pont a próbasávon, melynek koordinátái x és $y(x)$; N_x [N] a mintára horizontális irányban ható erő; G [N] a minta súlya; $S(x)$ [m] a pirossal jelölt görbeszakasz súlypontjának távolsága a P ponttól; $Q(x)$ [N] a minta pirossal jelölt szakaszának súlya; q [kg/m²] a minta területi sűrűsége; g [m/s²] a nehézségi gyorsulás; A [m²] a teljes minta területe; p [N/m] a minta hosszegységre eső súlya.

görbült alakjának koordinátáit. A 17. ábra a készüléket mérés közben szemlélteti.

A próbasáv görbült alakjának koordinátái alapján először meg kell határozni a görbült alakot jól közelítő $y(x)$ függvényt (18. ábra). Tapasztalataink szerint erre a célra jól megfelel egy nyolcad fokú polinom. A görbe alakját leíró $y(x)$ függvény ismeretében megalkotható a hajlító jellemzők számításához szükséges mechanikai modell. A harang alakban meghajlított mintára ható erőket szemlélteti a 18. ábra. A deformált próbasáv a rá ható erőrendszer hatására egyensúlyban van, így a statika egyensúlyi egyenletei teljesülnek.

A 18. ábra jelöléseit felhasználva a próbasáv tetszőlegesen kiválasztott és rögzített P pontjára a P ponttól balra eső erőkből származó hajlítónyomaték a (12) egyenlettel írható fel:

$$M_h(x) = N_x \cdot y(x) - \frac{G}{2} \cdot x + Q(x) \cdot S(x) \quad (12)$$

Az alakváltozás és a nyomaték összefüggését a rugalmas szál klasszikus differenciálegyenlete fejezi ki. Jelen esetben az egyenletnek arra az alakjára van szükség, amely alkalmas a nagy lehajlások leírására is (13).

$$y''(x) = -\frac{M_h(x) \cdot (1 + y'^2)^{\frac{3}{2}}}{D} \quad (13)$$

ahol: $D[Nm^2] = I_z \cdot E$ a hajlító merevség; $I_z[m^4] = \frac{b \cdot h^3}{12}$ a keresztmetszet másodrendű nyomatéka; $b [m]$ a próbasáv szélessége; $h [m]$ a próbasáv vastagsága; $E [Pa]$ a rugalmassági modulus.

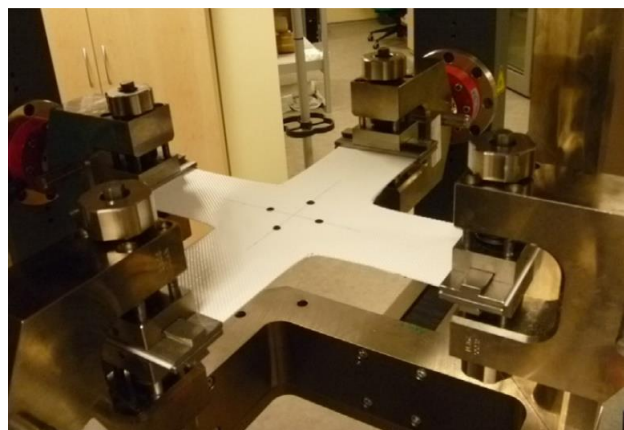
A (12) egyenletet a (13) egyenletbe helyettesítve és átrendezve egy integrálást és differenciálást is tartalmazó, bonyolult, két ismeretlenes integro-differenciálegyenletet kapunk. A két ismeretlen az N_x horizontális erő és a D hajlító rugalmassági modulus.

Az egyenlet zárt alakban nem oldható meg, azonban a próbasáv alakját leíró $y(x)$ függvény ismeretében az egyenletet két különböző P pontra felírva a két ismeretlen paraméter meghatározásához szükséges két egyenlethez jutunk. A két ismeretlenes egyenletrendszer alkalmas matematikai szoftverrel numerikusan megoldva megkapjuk a keresett D hajlítómerevséget, illetve E hajlító rugalmassági modulus.

Tapasztalataink alapján a Sylvie 3D Bending Testerrel és a Cantilever elven végzett mérések jól összhangban vannak egymással. A KES mérések alapján, ahogy ez a 14. ábrán is látható, joggal feltételezhető, hogy a vizsgált görbület-tartományban a hajlító nyomaték lineáris összefüggésben van a görbülettel, így a vizsgált tartományban a D hajlító merevség is állandónak tekinthető, azaz nem függ a görbulettől. Ebből következően az új, kísérleti berendezéssel meghatározott hajlítómerevség és hajlító rugalmassági modulus jól használható a vizsgált anyag mechanikai viselkedésének jellemzésére.

Biaxiális húzó vizsgálat

Műszaki textíliák és textilerősítésű hajlékony kompozit lapok, ponyvák irányfüggő tulajdonságainak vizsgálatára alkalmas mérési módszer a biaxiális húzás. Biaxiális húzással egyszerre két, egymásra merőleges irány mechanikai tulajdonságai vizsgálhatók, és ezzel a tervezéshez és méretezéshez szükséges, fontos információk nyerhetők a vizsgált anyag anizotrop tulajdonságairól [2, 6, 7]. A biaxiális húzóvizsgálati eredmények szükségesek ezeknek az anyagoknak a végeselemes



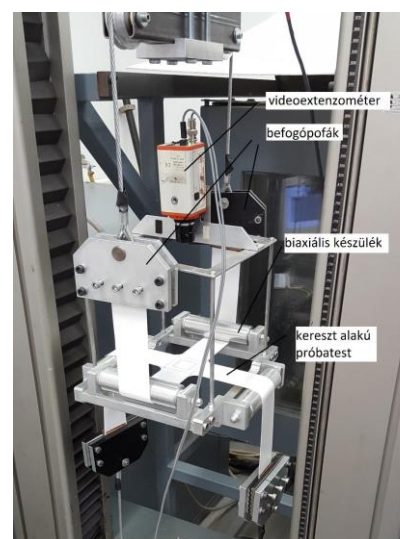
19. ábra: Zwick típusú, négykarú szakítógép

szimulációjához is. A programok ugyanis az egy irányban meghatározott jellemzők alapján a biaxiális teherbírást jelenleg nem tudják megfelelően kiszámítani (nem tudják figyelembe venni például szövetek esetén a fonalak hullámosságának a hatását, a szálak laposodását, stb), így a biaxiális mérések eredményeit a programba táplálva pontosabb modelleket lehet alkotni és pontosabb számítás érhető el.

A biaxiális húzó vizsgálatához gyártanak professzionális berendezéseket a nagy szakítógép gyártó cégek, mint például a Zwick cég is. A Zwick cég biaxiális szakítógépe látható a 19. ábrán. A számítógéppel irányított gép karjai külön-külön vezérelhetőek. Ez kísérletek széles skáláját teszi lehetővé, hiszen a karok húzóerejének és sebességének egyenkénti, megfelelő, egymástól független beállításával a vizsgált anyag szinte bármilyen valós életbeli felhasználásából adódó terhelése modellezhető egyetlen gépen. A nyúlás mérését a minta középső részén elhelyezett jeleket figyelő extenzométer végzi. Az ilyen berendezések széleskörű elterjedését hátráltatja, hogy különleges felépítésükből következően és az irántuk mutakozó kisebb kereslet miatt áruk igen magas, míg kihasználhatóságuk elmarad a szokásos univerzális szakítógépekéhez képest.

Számos kutatóhelyen ezért saját biaxiális vizsgáló berendezéseket fejlesztettek ki, így ezek speciális egyedi megoldások. Ebben a körbe tartozik az általunk fejlesztett berendezés is, azzal a különbséggel, hogy mi nem egy komplett vizsgáló berendezést építettünk, hanem csak egy olyan, univerzális szakítógépre felszerelhető kiegészítő eszközt, amelynek segítségével biaxiális húzó vizsgálat végezhető.

A BME Polimertechnika Tanszéken kifejlesztett biaxiális húzó készülék látható a 20. ábrán [17-20]. A biaxiális húzó vizsgálatához kereszt alakú próbatestre van szükség. A kereszt karjai szol-



20. ábra. Univerzális szakítógépre szerelhető biaxiális húzó készülék

gálnak a minta befogására és a húzóerő közvetítésére, míg a kereszt középső, két irányban terhelt részén lehet a mértékadó nyúlásokat mérni.

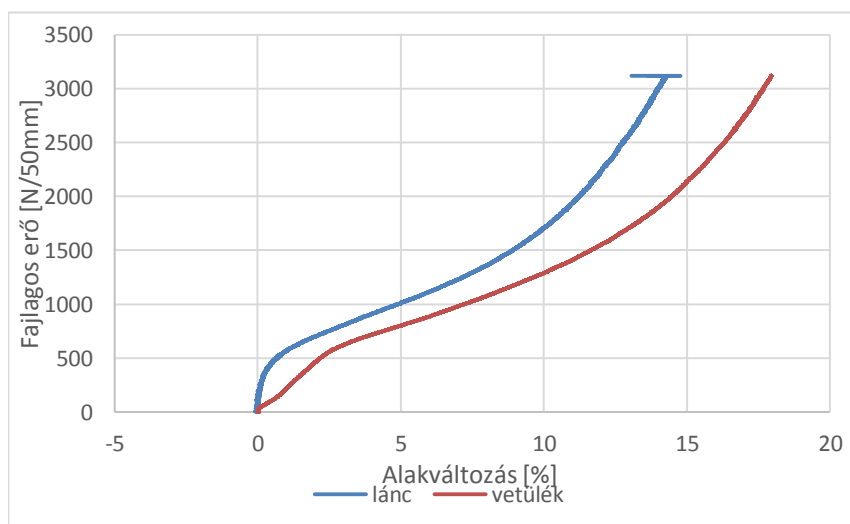
Az általunk fejlesztett készülék lényegében egy lebegő keret, amelyet az általa befogott próbatest tart a levegőben. A kereten négy csapágyazott irányító henger található. Az egymással szemben elhelyezett irányító hengerek lehetővé teszik, hogy a kereszt alakú minta egyik irányban egymással szemkötzt elhelyezkedő karjait felfelé, másik irányban egymással szemkötzt elhelyezkedő karjait lefelé lehessen elhajtani. A négy irányító henger úgy van elhelyezve, hogy a minta karjainak elhajtását követően a mintának a keret közepére eső része vízszintes síkban feszüljön ki. A minta karjait egy-egy befogófejhez kell csatlakoztatni. Az azonos irányban elhajtott karokhoz csatlakozó befogófejeket drótkötél köti össze, ezek a drótkötelek pedig csapágyazott terelő görgők segítségével úgy csatlakoznak alul a szakítógép állványához, felül pedig a szakítógép keresztfejéhez, hogy a minta felfelé és lefelé elhajtott karjai pontosan függőlegesek legyenek. Mérés közben a szakítógép keresztfejének mozgását és a húzóerőt ezek a drótkötelek közvetítik a próbatest karjaihoz.

A kereszt alakú minta előkészítése és befogása során nagyon gondosan kell eljárni, mert a pontatlanság a minta egyenlőtlen terheléséhez vezethet, az egyenlőtlen terhelés miatt pedig a keret mérés közben a vízszintes síkból kifordulhat.

A két irányban terhelt mintarész nyúlásának mérése a szakítógép keresztfejének elmozdulása nem alkalmas, mert az a két irányban létrejövő nyúlások összegét adja, ráadásul benne van az egy irányban terhelt karok nyúlása is. A kereszt alakú próbatest középső, két irányban terhelt részén a nyúlásokat optikai módszerrel mérjük. Erre szolgál a videoextenzométer, amely a keretre szerelt állványon van elhelyezve, hogy a próbatest vizsgált részéhez képest ne változtassa a helyét. A videoextenzométer a mérés során folyamatosan regisztrálja a próbatest közepére rajzolt, kontrasztos, 30 × 30 mm nagyságú négyzet méreteit, amelyből a kiértékelés során a két, egymásra merőleges irányban a nyúlások számíthatók (20. ábra).

A próbatest elrendezéséből következik, hogy mérés közben – leszámítva a keret saját súlyát – a minta két irányát azonos nagyságú erő terheli, és nincs lehetőség arra, hogy a két irányban különböző legyen a terhelő erő. A két irányban működő erők között kis különbséget okoz a keret saját súlya, ugyanis a minta felfelé hajtott karjait és ezáltal a minta középső részének az ezekkel a karokkal párhuzamos irányát a keret súlya is terheli. A keret tömege a videoextenzométerrel együtt 4,066 kg. Emiatt ezzel a módszerrel kis szilárdságú, illetve kis rugalmassági modulusú anyagok nem mérhetőek, a készülékkel első sorban a nagy szilárdságú műszaki szöveteket és a hajlékony kompozitokat, ponyvákat lehet vizsgálni.

Ez a biaxiális húzó készülék különösen alkalmas a minta szakadásával nem járó, küszási, feszültség-



21. ábra. Poliészterszövet erősítésű, PVC-bevonatú ponyva biaxiális szakító diagramja

relaxációs és ciklikus vizsgálatok végzésére. Szakító vizsgálatot is lehet a készülékkel végezni, de akkor gondoskodni kell arról, hogy – mivel a keret maga a próbatest tartja a levegőben – a minta esetleges hirtelen tönkremenetele esetén a keret és rajta az extenzométer ne zuhanjon le, és ne károsodjon.

Példaként a 21. ábrán egy poliészterszövet erősítésű, PVC-bevonatú ponyva, 20 N/s terhelési sebességű, erővezérelt, biaxiális szakító diagramja látható. Látható, hogy a ponyvát szakadáskor mind láncirányban, mind pedig vetülékirányban azonos nagyságú erő terhelve, és látható az is, hogy a két irányban a megnyúlások között nagy a különbség mind nagyságban, mind pedig a szakítógörbe alakjában.

A készülék segítségével az uniaxiális mérésekhez képes sokoldalúbban és a valós életben előforduló terhelésekhez közelebb állóan lehet a lapszerű hajlékony anyagok húzásra mutatott viselkedését vizsgálni.

Összefoglalás

A textíliák és a szálerősített, nagy hajlékonyságú kompozit lapok nagy alakváltozási képességük révén alkalmasak ráncmentesen, szabás és varrás vagy hegesztés nélkül kis görbületű, ill. kétszer görbült felületek folytonos kialakítására. Ugyanakkor a nagy deformabilitás miatt a tervezéshez, méretezéshez szükséges mechanikai jellemzők meghatározására a szokásos mérési módszerek, készülékek nem alkalmasak.

A BME Polimertechnika Tanszékén a digitális képrögzítés és képfeldolgozás, valamint a modellezés és a nagysebességű számítógépes adatfeldolgozás adta lehetőségek felhasználásával és egyedi, speciális mérési megoldások alkalmazásával újszerű vizsgálati készülékeket, módszereket fejlesztünk ki. Cikkemben ezek közül bemutattam a redőződés, a hajlítás, a nyírás és fonalkihúzás, valamint a biaxiális húzás mérésére szolgáló berendezéseinket.

A redőződés- és a hajlítás mérő berendezéseink közös jellemzője, hogy a vizsgálati minta gravitáció által meghatározott térbeli alakját digitális képrögzítő eszközök segítségével beszkeneljük, majd a keresett anyagparamétereket speciális anyagmodellek alkalmazásával ezekből az alaki információkból számítjuk. A berendezések előnye, hogy mivel nem kell erőt mérni, nincs szükség az erőméréshez szükséges drága eszközökre.

A nyírás és a fonalkihúzás, valamint a biaxiális húzás mérésére szolgáló berendezéseinkben közös, hogy ezeket már meglévő univerzális vizsgáló berendezéshez kell csatlakoztatni. Az általunk készített berendezés lényegében speciális anyagbefogó szerkezetnek tekinthető, míg a méréshez szükséges mozgatót és erőkétféjtést, valamint ezek mérését az univerzális vizsgáló berendezés szolgáltatja. Ennek eredményeként nem szükséges önálló mérőberendezés ezeknek a méréseknek az elvégzéséhez.

Mérőberendezéseink előnye, hogy a ma egyre inkább terjedő, számítógépes szimuláció alapján történő tervezéshez sokkal jobban megfelelő adatokat szolgáltatnak, többek között azért is, mert a mérések során a valós igénybevételhez közelebb álló terheléseket alkalmaznak. Az ilyen vizsgálatok eredményeit a mérési szituáció szimulációjával ellenőrizve pontosabban meghatározhatók a valós körülmények között érvényes anyagparaméterek.

Köszönetnyilvánítás

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

Irodalom

- Gyimesi J.: Textilanyagok fizikai vizsgálata. Műszaki könyvkiadó, Budapest, 1968
- Al-Gaadi B: Szótt kompozit-erősítő szerkezetek 3D-s deformációs tulajdonságainak elemzése, BME, PhD értekezés, 2013
- Kawabata S.: The Standardization and Analysis of Hand Evaluation, Osaka Science & Technology Center, Osaka 1980.
- Peirce F. T.: The „Handle” of Cloth as a Measurable Quantity. Journal of the Textile Institute Transactions, 21:9, T 377-416, 1930
- 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
- Galliot C., Luchsinger R. H.: A simple model describing the non-linear biaxial tensile behaviour of PVC-coated polyester fabrics for use in finite element analysis. Composite Structures, 90, 438-447 (2009).
- Hegy D.: Ponyvaszerkezetek és ponyvaanyag nemlineáris vizsgálata numerikus és kísérleti módszerekkel. PhD értekezés, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem (2006).
- Al-Gaadi B., Halász M., Tamás P., Gráff J., Vas L. M., Molnár J.: Optical Measurement of textile bending characteristics, Proceedings CD of 3th Aachen-Dresden International Textile Conference, Aachen, November 26-27, 2009, P7, 8 p, ISSN 1867-6405
- Al-Gaadi B., Halász M., Vas L. M., Tamás P.: Testing and modelling the bending behaviour of flexible composite sheets, Proceedings of 14th European Conference on Composite Materials (ECCM-14), 7-10 June 2010, Budapest, Hungary, Paper ID: 648-ECCM14, 10 p
- Halász M., Vas L. M., Paróczy A., Tamás P.: New Measurement method of textile bending characteristics, 12th Autex World Textile Conference, 13th to 15th June 2012, Zadar, Croatia, Book of proceedings, pp 1189-1192, ISBN 978-953-7105-44-0/-48-8/-49-5
- Tatár N., Halász M., Vas L. M., Tamás P.: Optical Methods for Measuring the flexibility of coated fabrics, 4th International Joint Conference on Environmental and Light Industry Technologies, Budapest, Magyarország, 2013. november 20-21. Budapest, CD of Proceedings, paper ID ISITD 2, 10 p ISBN 978-615-5018-93-0,
- Kovács A. Cs., Tamás P., Vas L. M., Halász M., Molnár K., Cherkaoui O., Dalal M.: The Effect of the Relative Weaving Factor and the Texture of the Fabric to the Bending Properties, 4th International Joint Conference on Environmental and Light Industry Technologies, Budapest, Magyarország, 2013. november 20-21. Budapest, CD of Proceedings, paper ID ISITD 5, 8 p, ISBN 978-615-5018-93-0,
- Sörös G.: Hajlékony textil és kompozit lapok hajlítóvizsgálata, BME, Szakdolgozat, 2014
- Tatár N.: Kompoziterősítő szövetek hajlításmérési módszereinek összehasonlítása, BME, TDK dolgozat, 2013
- Tatár N.: Kiértékelési módszer fejlesztése képelemzéses hajlításméréshez, BME, TDK dolgozat, 2014
- Tatár N.: Szótt erősítőszervezetek és hajlékony kompozitjaik hajlítóvizsgálata képfeldolgozással, BME, Diplomatervezés, 2014
- Bakonyi P., Halász M., Molnár K., Szebényi G., Szabó D. K., Füzési T., Hegyi D.: Development of a Biaxial Tensile Grip for Cyclic Tensile Tests of Flexible Technical Textiles, ITMC'2015, 5th Edition of the International Conference on Intelligent Textiles & Mass Customisation, November 4-6 2015, Casablanca, Morocco, CD of Proceedings, ISBN: 978-9954-36-349-2, ID 94, 8p
- Szabó D. K.: Szövet erősítésű hajlékony kompozitok biaxiális húzóvizsgálata, BME, TDK dolgozat, 2014
- Bányai P.: Lapszerű hajlékony kompozitok biaxiális húzóvizsgálata és modellezése, BME, Szakdolgozat, 2016
- Parádi Sz.: Lapszerű hajlékony kompozitok kúszásának vizsgálata biaxiális húzással, BME, Szakdolgozat, 2016