



BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM
GÉPÉSZMÉRNÖKI KAR
PATTANTYÚS ÁBRAHÁM GÉZA GÉPÉSZETI TUDOMÁNYOK DOKTORI ISKOLA

SZŐTT KOMPOZIT-ERŐSÍTŐ SZERKEZETEK 3D-S DEFORMÁCIÓS TULAJDONSÁGAINAK ELEMZÉSE

TÉZISFÜZET

AL-GAADI BIDOUR
OKLEVELES GÉPÉSZMÉRNÖK

BUDAPEST
2012

A doktori disszertáció bírálata és a védésről készült jegyzőkönyv a
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Gépészmérnöki Karának Dékáni Hivatalában megtekinthetőek

1. Bevezetés, a kutatás előzményei

A kelméket kiváló teherviselő és deformációs képességük miatt a textíliák hagyományos felhasználási területein túl széles körben alkalmazzák műszaki célokra is. A kelmék már kis igénybevételek következtében is jelentős mértékben deformálódhatnak és már a saját súlyuk hatására is jelentős alakváltozást mutathatnak. Ezt a sajátos viselkedést használják ki minden olyan területen, ahol a kelméket 3D-s formára alakítják, vagy 3D-s testre helyezik rá. Korábban a textíliákból elsősorban hagyományos ruházati és lakástextil termékeket készítettek, napjainkra azonban mind hőre lágyuló, mind hőre keményedő mátrixú kompozitok erősítőanyagaként is teret nyertek. Kompozitok erősítőanyagaként főként a szőtt kelmék, azaz a szövetek terjedtek el. Ennek oka többek között az, hogy ez esetben ismert a szálorientáció, így a belőle készült termék deformációja jobban tervezhető, mint más textilszerkezetek esetében.

Az utóbbi évtizedekben a szövetek kompozit-erősítőanyagként való alkalmazása kapcsán ismét előtérbe kerültek a deformációs képességükre irányuló vizsgálatok. Az első járműipari, szöveterősítésű kompozit termékeket az 50-es években készítették repülőgép alkatrészként. Miután felismerték, hogy a szöveterősítésű kompozit anyagok nagy hajlékonysággal, szilárdsággal és szívósággal rendelkeznek kis fajlagos tömeg mellett, hamarosan széles körben elterjedtek. Az erősítőanyagok először főként üvegszálból készültek, később a szén, az aramid, a bazalt és a természetes szálak is megjelentek. A kompozit anyagok szerkezeti anyagként való alkalmazásával egyre bonyolultabb geometriájú darabok létrehozására is igény volt. Ezzel párhuzamosan nagyobb figyelem fordult az erősítőanyagok teherviselésének tervezésére, amit a szövetszerkezetek sokfélesége is nehezített. Ezeknek a kutatásoknak a célja a szövetek feldolgozás során kialakuló deformációjának megismerése, továbbá annak becslése, hogy megfelelően fognak-e illeszkedni a kívánt formára. A megfelelő illeszkedés nem csak esztétikai szempontból fontos, hanem jelentős szerepe van a késztermék mechanikai tulajdonságaiban is. A 70-es évek óta alkalmazzák az eredetileg a kelme fogásának objektív meghatározására tervezett, mechanikai tulajdonságokat vizsgáló Kawabata kelmeelemző rendszert (KES-FB), amelynek mérési tartománya azonban a hagyományos kelmékre korlátozódik. Emiatt a hagyományos kelméktől sokszor jelentősen eltérő mechanikai tulajdonságokkal rendelkező erősítőszövetek a KES-FB berendezésekkel többnyire nem vizsgálhatóak. Az erősítőszövetek deformációs tulajdonságainak vizsgálatára számos – többnyire képfeldolgozással működő – eljárást fejlesztettek ki.

Képfeldolgozás alkalmazásával lehetőség nyílik a nyúláson kívül más, a szövetszerkezetben végbemenő deformációk meghatározására is. A legáltalánosabban képfeldolgozással mért deformáció a szövetszerkezet egyik különösen jellemző alakváltozása, a nyíróigénybevétel hatására fellépő nyírási szög. A kelmék deformációjának másik, ma már szintén képfeldolgozással vizsgált különösen jellegzetes megjelenési formája a redőződés, amely a kelme térbeli viselkedését globálisan jellemző, egyszerűen mérhető anyagtulajdonság.

A szőtt szerkezetek térbeli deformációjának leírása rendkívül összetett probléma. Bár sok kutatás foglalkozott a szövet deformációs mechanizmusának feltárásával, még máig sem sikerült a valós viselkedést elegendően jól közelítő modellt létrehozni. A CAD rendszerek terjedésével azonban igen fontos lenne a szövetek viselkedését a tervezés igényeit kielégítően leírni és modellezni, ezért a szövetek viselkedésének kutatása jelenleg is aktuális téma.

2. A szakirodalom kritikai elemzése, célkitűzések

A szakirodalom rendszerezése alapján a szövetek speciális vizsgálati módszerei az igénybevétel összetettsége szerint egytengelyű és többtengelyű igénybevételt alkalmazó csoportokra oszthatók.

Az egytengelyű igénybevételt alkalmazó vizsgálatok közé sorolhatók a hagyományos berendezésekkel végzett húzó, nyomó, nyíró és hajlító vizsgálatok, valamint a képfeldolgozós módszereket alkalmazó nyíró, nyírási szög meghatározó vizsgálatok (átlós irányú húzás, keretes vizsgálat).

A többtengelyű igénybevétellel működő vizsgálatok a kéttengelyű húzás, a speciális nyírás, a golyónyomás, amelyeknél a deformációt aktív külső erők hozzák létre, valamint a redőződés mérés, amelynél a deformációt alapvetően csak a gravitáció alakítja ki.

A szőtt szerkezetek alakváltozását számos mechanikai jellemző befolyásolja, amelyek viszont a különböző geometriai, szerkezeti jellemzőktől függenek, ide sorolva az alapanyagot, a területi sűrűséget, a kötésszerkezetet stb. A szövet térbeli deformációt befolyásoló szerkezeti tulajdonságain túl a fonalak szerkezetének, ezen belül főleg a fonalak sodratirányának hatásaival nem foglalkoztak számottevően. A fonalak sodratiránya azonban jelentős szerepet játszhat a szövetek mechanikai tulajdonságainak és így térbeli deformációjának alakulásában is.

A kelmék térbeli deformációját a legelterjedtebben a redőződéssel jellemezték. A redőződés mérését azonban számos esetben módosítva végezték el, ruhaanyagok vizsgálatánál például a minta forgatásával, ezzel is közelítve a valóságban előforduló helyzeteket. A vizsgálatok kiértékelésénél alkalmazott képfeldolgozás még inkább lehetővé tette a hagyományostól eltérő mérési módszerek elvégzését. Több tanulmány is utal arra, hogy a redőződési tényező értéke függhet a redők kialakulásának körülményeitől, azzal együtt, hogy a mérés végzése közben már csak a gravitáció hat a vizsgált anyagra. Mindezek alapján az a következtetés vonható le, hogy a mérés körülményeitől és a külső hatásoktól függően a kelme redőződése egyazon anyag esetében is széles tartományban változhat.

Számos tanulmány foglalkozott a redőződés mechanikai jellemzőkkel való leírásával is, amelyeknek legfontosabb célja volt azokat a tulajdonságokat meghatározni, amelyek a leginkább befolyásolják a kelme térbeli deformációját. Az ehhez szükséges méréseket leggyakrabban a KES-FB berendezésekkel végezték. Ezekből a vizsgálatokból egyértelműen kiderült, hogy a redőződés különösen szoros összefüggésben áll a kelme nyírási és hajlítási tulajdonságaival. Az erősítőszövetek a hagyományos kelmékhez képest általában nagyobb merevséggel, lazább szerkezettel rendelkeznek, redőződésméréskor rendszerint kicsi az alakváltozásuk, amit ezért nehéz megmérni. A redőződési tulajdonság meghatározása azonban erősítőszövetek esetén is érdekes, hiszen fontos információkat ad a feldolgozáskori alakíthatóság szempontjából lényeges térbeli deformációs képességről.

A tanulmányok szerint a kompozit feldolgozás során az erősítőszövetekben végbemenő alakváltozást leginkább a nyírási tulajdonságok és az ezzel szorosan összefüggő fonalak közötti súrlódás befolyásolja. A szövetet alkotó fonalak közötti súrlódási tényező meghatározása meglehetősen összetett feladat, ezen a területen a szakirodalomban is csak néhány speciális módszerrel vagy berendezéssel lehet találkozni. A nyírási tulajdonságokat a nyíróerő mellett a fonalak közötti nyírási szöggel jellemzik. A nyíródeformáció vizsgálatára több olyan berendezést, illetve módszert is kifejlesztettek, amelyeknél a vizsgálat során a

mérni kívánt deformáció meghatározása képfeldolgozással történik. Az egyik legegyszerűbb és leggyakrabban használt mérési módszer az átlós irányú húzóvizsgálat, amelyhez a keresett nyírási szög kiértékelésére több megoldást is kidolgoztak. További nyíróvizsgálati módszerek a keretes vizsgálat és a KES-FB berendezésben alkalmazott megoldás. Megállapították azt is, hogy az átlós irányú húzásból kapott nyírófeszültség értékek a KES-FB berendezésen mértekkel jó egyezést mutattak. Az átlós irányú húzóvizsgálat előnye a keretessel szemben az egyszerűsége, és az, hogy a fonalvégek szabadok a tiszta nyírás zónájában, ezért a folyamat közelebb áll a valóságban végbemenőhöz. Bár a keretes vizsgálat közbeni deformációs folyamat valamelyest közelebb áll a kompozit alkatrészek kialakítása során végbemenőkhöz, mint az átlós irányú húzás esetén, az átlós irányú húzás gyorsabb és megbízhatóbb eredményeket ad. A megismert módszerekből látható, hogy az erősítőszövetek nyíróvizsgálatára nem található egységes, bárhol elérhető, mindenfajta textília vizsgálatára alkalmas módszer.

A feldolgozás során végbemenő deformációs folyamatok vizsgálatára számos más vizsgálati módszert is kifejlesztettek, mint például a kéttengelyű húzást és a golyónyomást, amelyeket többnyire optikai vizsgálattal is kiegészítettek. Ezek a mérési módszerek azonban általában nehezen reprodukálhatóak, és a teljes deformációnak csak egyes részleteit jellemezték a kiértékelés során. Ezekben az irodalmakban is általában a nyírómerevségnek tulajdonították a deformációt befolyásoló legnagyobb hatást. Eredményeiket gyakran végeeselemes modellezésben használták fel a létrejövő termék alakjának előrebecsléséhez.

Áttekintve és elemezve szakterületem irodalmát dolgozatomban célja általában a szőtt erősítőszervek térbeli deformációjának elemzése egyszerűen mérhető, elemi mechanikai tulajdonságok felhasználásával, valamint az eredmények alapján olyan összefüggések felállítása, amelyekből következtetni lehet adott tulajdonságokkal rendelkező erősítőszövet térbeli alakíthatóságára, és amelyek hozzájárulhatnak a szövetek valós viselkedését jobban közelítő modell létrehozásához.

Ezek megvalósítására a következő konkrét kutatási célokat tűztem ki:

1. Szövetek deformációs viselkedésének kutatása képfeldolgozást alkalmazó vizsgálati módszerekkel.
2. A szövet szerkezete, nevezetesen a fonal-sodratirány redőződésre gyakorolt hatásának elemzése.
3. A képfeldolgozáson alapuló Sylvie 3D Drape Testerrel végzett redőződésmérés továbbfejlesztése a redőződési tényező redőkialakulást befolyásoló hatásoktól való függésének vizsgálata és okainak feltárása céljából.
4. Erősítőszövetek nyírási tulajdonságainak meghatározására szolgáló módszer fejlesztése képfeldolgozás felhasználásával.
5. A szövet fonaljai közötti súrlódás meghatározására szolgáló vizsgálati módszer továbbfejlesztése.
6. A szövetdeformáció – redőződés és nyírási szög – és a fonalak közötti súrlódási tényező összefüggésének elemzése.

3. Vizsgálati anyagok, berendezések és módszerek

A kutatásaimhoz alkalmazott vizsgálati anyagokat és a tézisek szempontjából lényeges vizsgálati módszereket az alábbiakban mutatom be. A KES-FB méréseket a Maribori Egyetem Ruháipari Mérnöki Laboratóriumában, a hajlítási vizsgálatokat Flexométer készülékkel az Óbudai Egyetem Textilvizsgáló Laboratóriumában, az összes többi mérésemet pedig a BME Polimertechnika Tanszék Laboratóriumában végeztem.

3.1. Vizsgálati anyagok

A kutatási munkám során üveg, szén és aramid, valamint pamut és poliészter (PES) alapanyagú szöveteket vizsgáltam. A szöveteket jelentősen eltérő mechanikai tulajdonságaik alapján két csoportba osztottam, a két csoport anyagait többnyire különböző módszerekkel vizsgáltam, és az eredmények értékelésénél is két, különálló csoportként kezeltem őket.

Az anyagok alapvető szerkezeti tulajdonságait a megfelelő szabványok alapján határoztam meg, adataikat az 1. és 2. táblázat tartalmazza.

Jelölés	Anyag	Kötésmód	Területi sűrűség [g/m ²]	Lineáris sűrűség [tex]		Fonalsűrűség [1/10 mm]	
				Lánc	Vetülék	Lánc	Vetülék
G163	üveg	2/2 sávoly	163	70	70	12	12
G220	üveg	vászon	220	220	220	5	5
K170	aramid	2/2 sávoly	170	130	130	6	6
C160	szén	vászon	160	200	200	4	4

1. táblázat A vizsgált erősítőszövetek jellemzői

Jelölés	Anyag	Kötésmód	Területi sűrűség [g/m ²]	Lineáris sűrűség [tex]		Fonalsűrűség [1/10 mm]		Sodrat	
				Lánc	Vetülék	Lánc	Vetülék	Lánc	Vetülék
P	Pamut	vászon	156	29	29	26	22	Z	Z
K	Pamut	vászon	156	29	29	26	22	Z	S
F	Pamut	vászon	156	29	29	26	22	Z	Z+S
R	Poliészter	vászon	92	5	18	31	43	-	-

2. táblázat A vizsgált hagyományos szövetek jellemzői

Az üvegszöveteket a PD Interglas és a Saint Gobain Vetrotex cég, a szén- és aramid-szövetet a Sigratex cég gyártotta. Ezeket az erősítőszöveteket különféle kompozit alkatrészek, például járművek, sporteszközök elemeinek előállításához alkalmazzák.

A három, 100% pamutból készült, egyébként minden másban azonos szerkezeti jellemzőkkel rendelkező szövet fonalainak sodratiránya különböző azért, hogy a sodratiránynak a szövet mechanikai tulajdonságaira gyakorolt hatása tanulmányozható legyen. A fonalak különböző sodratiránya miatt azonban a szövetek vastagsága eltérő. Ezeket a speciális pamut vizsgálati anyagokat Magyarországon, a Csárda-Tex Kft. készítette el számomra. A sodratlan multifilament fonalból, szintén vászonkötéssel szőtt poliészter szövetet a magyarországi Lurotex Kft. gyártotta. Ezek a szövetek elsősorban hagyományos textilipari célokra alkalmasak, de előfordulhatnak erősítőanyagként is. A pamut-szövet a most

egyre inkább fejlődő biológiailag lebomló kompozitok területén fordul elő, a PVC-vel kent PES szövet pedig a ponyvák előállításánál általánosan elfogadott.

Mindhárom pamutszövet láncfonalai Z sodratirányúak, az eltérések a vetülékfonalak sodratirányában vannak. A P anyag vetülékirányban is Z sodratirányú fonalakat tartalmaz, a K anyag vetülékfonalai S sodratirányúak és az F anyag vetülékfonalai felváltva Z és S sodratirányúak. Az R poliészter anyag lánc- és vetülékfonalai sodratlanok.

3.2. Vizsgálati módszerek

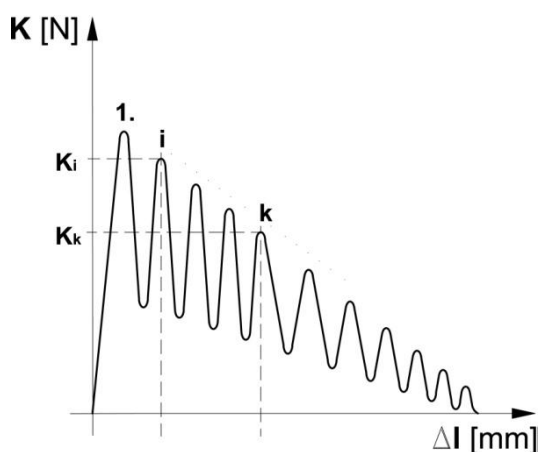
3.2.1. A fonalak közötti súrlódási tényező meghatározása

Az erősítőszövetek fonalai közötti súrlódási tényezőt fonalkihúzó vizsgálat segítségével határoztam meg. A fonalkihúzó vizsgálat során a két szélén és alul befogott szövetmintából egy alulról nem befogott fonalat fölfelé húzunk ki, miközben a fonal elmozdulása függvényében mérjük a kihúzáshoz szükséges erőt. Mivel a szövet lánc- és vetülékfonalai egymást keresztezve görbült formát vesznek fel, ezt a görbületet és a fonalkihúzó vizsgálatnál kapott erőket felhasználva a kötelsúrlódás számításához használt Euler egyenlet alapján, az (1) összefüggés szerint meghatározható a szövetben lévő fonalak közötti súrlódási tényező értéke:

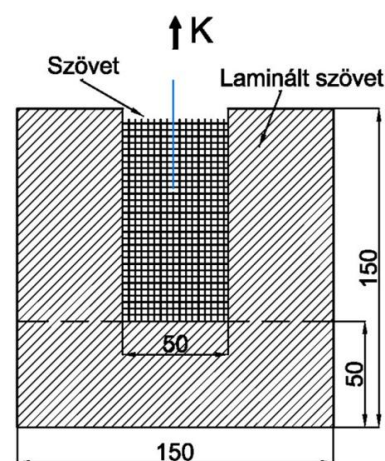
$$\mu = \frac{\ln(K_i / K_k)}{\alpha \cdot 2 \cdot (k - i)} \quad (1)$$

ahol K_i és K_k a fonalkihúzó vizsgálat során regisztrált erő - fonalelmozdulás diagram i -edik, illetve k -edik csúcsához tartozó fonalkihúzó erő, amelyekre teljesül, hogy $K_i > K_k$, $(k - i) \geq 1$ a két kiválasztott csúcs sorszámának különbsége (1. ábra), α a kihúzandó és az azt keresztező fonal érintkezési ívének középponti szöge radiánban, amelyet a szövet keresztmetszetéről elektronmikroszkóppal készített felvételen határoztam meg.

A vizsgálati minta megfelelő befogásának biztosítása és a fonalak szétcsúszásának megakadályozása céljából a vizsgálati mintán laminált részeket alakítottam ki (2. ábra).



1. ábra Elvi fonalkihúzó erő - fonalelmozdulás görbe



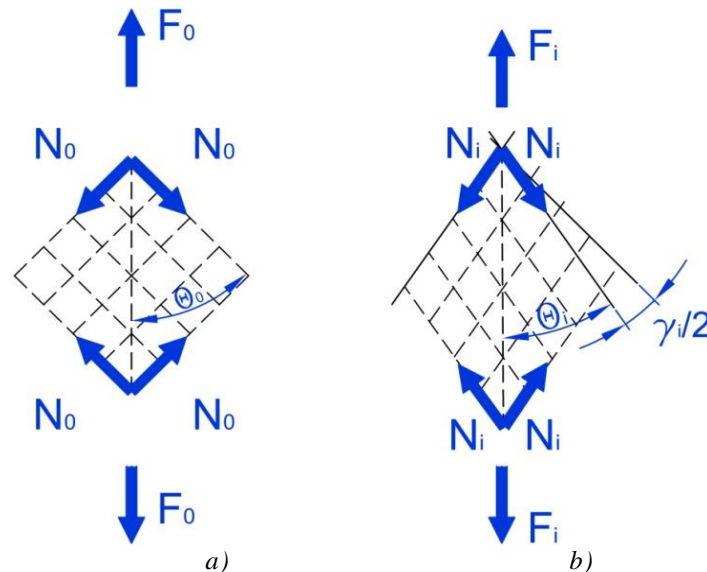
2. ábra A fonalkihúzó vizsgálatra előkészített próbatest vázlata

A fonalkihúzást Zwick Z005 univerzális, számítógép vezérlésű szakítógépen, 20 N-os erőmérő cellával, szobahőmérsékleten végeztem. A szakítógépbe való befogás során a

vizsgálati minta laminált alsó részét általános, 60 mm széles befogóval, felülről a kihúzandó fonalat fonalbefogóval rögzítettem, míg az oldalirányú befogásról a minta belaminált szélei automatikusan gondoskodtak. A mérés megkezdése előtt a szövetben a kihúzandó fonal alsó végét a vizsgálni kívánt keresztesző fonalszám után átvágtam.

3.2.2. Átlós irányú húzóvizsgálat

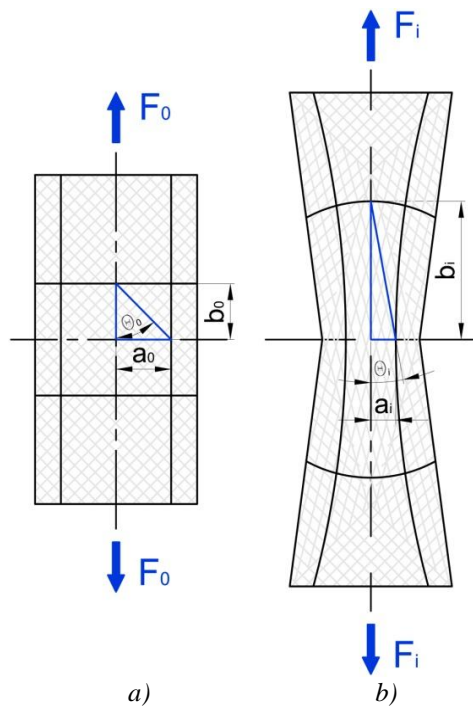
Az átlós irányú húzóvizsgálat során a vetülékirányhoz képest $\pm 45^\circ$ -os szögben kivágott minta húzóvizsgálatából határozható meg a nyíróerő (N) és a nyíródeformáció. A nyíródeformáció a szövet fonalai által bezárt szög (2θ) megváltozásával, azaz a nyírási szöggel (γ) jellemezhető (3. ábra).



3. ábra Nyírási szög és a nyíróerők alakulása terhelés hatására
 a) Szövet lánc- és vetülékirányú fonala közötti szög terheletlen állapotban
 b) Szövet lánc- és vetülékirányú fonala közötti szög terhelt állapotban

Az átlós irányú húzóvizsgálatot 5 kN-os erőmérő cellával felszerelt, Zwick Z005 típusú, univerzális, számítógép vezérlésű szakítógépen végeztem el. A vizsgálat során a szakítógép a keresztfej elmozdulás függvényében rögzíti a húzóerőt. A keresztfej elmozdulás függvényében a nyírási szöget az irodalomból ismert geometrián, illetve képfeldolgozáson alapuló módszerek mellett egy saját fejlesztésű új módszerrel is meghatároztam. A saját fejlesztésű új módszerhez a szakítógépen kívül a Messphysik ME-46 Full Image típusú videoextenzométert, a képfeldolgozós módszerhez a videoextenzométerhez tartozó kamerát alkalmaztam.

Az átlós irányú húzóvizsgálat kiértékeléséhez kifejlesztettem egy új módszert, amellyel a nyírási szög egyszerűen és pontosan határozható meg. Az új módszer egyik lényeges eleme, hogy a γ nyírási szög kiszámításához nem csak a vizsgálati minta hosszirányú nyúlását, hanem a keresztirányú szélesség-csökkenését is felhasználja. A minta kétirányú méretváltozásának meghatározásához a vizsgálat megkezdése előtt a minta középső részére, ahol a vizsgálat során tiszta nyíródeformáció jön létre, a 4. ábra szerint kell a hosszanti és a keresztirányú vonalakat felrajzolni, majd a vizsgálat közben az ábrán jelölt a és b szakaszok hosszát videoextenzométerrel folyamatosan rögzíteni.

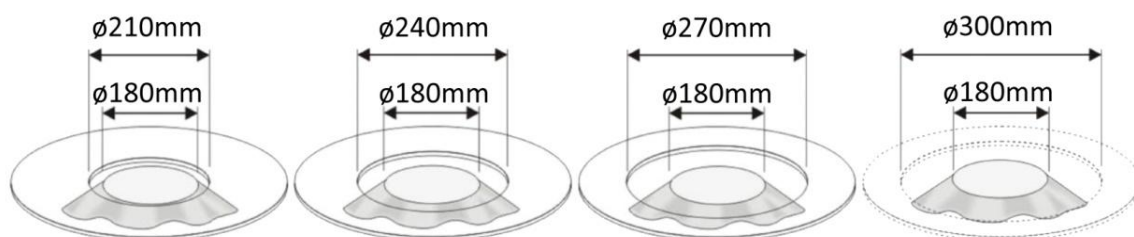


4. ábra A γ nyírószög meghatározása átlós irányú húzóvizsgálattal és videoextenzométerrel
 a) Jelölt vizsgálati minta terheletlen állapotban b) Jelölt vizsgálati minta terhelt állapotban

3.2.3. Redőződés mérés

A redőződést a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen, a Polimertechnika Tanszék és a Mechatronika, Optika és Gépészeti Informatika Tanszék együttműködésében kifejlesztett, 3D optikai beolvasást, számítógépes vezérlést és kiértékelést alkalmazó Sylvie 3D Drape Tester berendezéssel mértem. A berendezés geometriai méretei megfelelnek az MSZ 93-4 szabványnak, és kiértékelő szoftvere egyéb adatok mellett a szabványnak megfelelő paramétereket is meghatározza.

A vizsgálati mintát a redők kialakulása közben különböző mechanikai hatások érhetik, amelyek annak ellenére, hogy mérés közben már kizárólag csak a gravitáció hat a vizsgálati mintára, befolyásolják a redőződés mérés eredményét. Azért, hogy ezt a jelenséget reprodukálható módon lehessen tanulmányozni, a Sylvie 3D Drape Tester berendezést egy új eszközzel egészítettem ki, amelynek segítségével jól definiált, ugrásszerű deformációgerjesztés hatása után lehet a kelme redőződését vizsgálni. A kiegészítő eszköz egy cserélhető körgyűrű alakú lemez, amely három méretben, 210, 240 és 270 mm-es belső átmérővel készült el. A hagyományos, gyűrű nélküli mérést 300 mm belső átmérőjű gyűrűvel – amely már nincs hatással a 300 mm átmérőjű kelmemintára – végzett mérésnek vettem figyelembe (5. ábra).



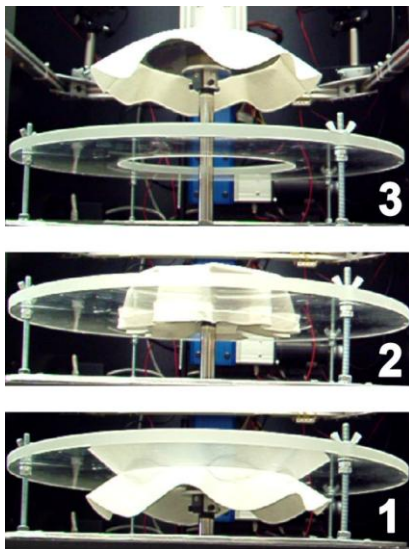
5. ábra Gyűrűk különböző belső átmérővel

A mérőberendezés a redőződő kelme alakjának optikai beolvasását megelőzően a mintatartó asztalra helyezett vizsgálati mintát a 6. ábra szerint, a körgyűrűn keresztül emeli fel, aminek hatására a minta redőződése megváltozik. Munkám során ezt a megváltozást vizsgáltam különböző tényezők függvényében.

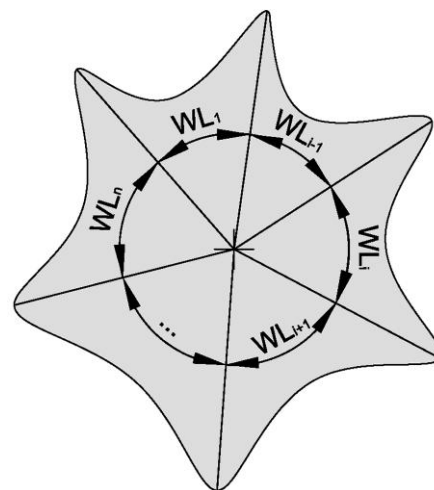
A hagyományos redőződésméréskor tapasztalható nagy szórások együtt járnak a kialakuló hullámok egyenlőtlenségével és a véletlenszerűnek látszó, aszimmetrikus redőződési képpel (7. ábra). A redőződő kelme geometriai aszimmetriájának és a redőződéskor kialakuló hullámok egyenlőtlenségének számszerűsítésére egy új, e területen eddig nem használt jellemzőt alkalmaztam. Az új jellemző a DU-val jelölt redőződési egyenlőtlenség (Drape Unevenness), amely matematikailag a redőződő kelme síkvetülete kerületén kialakult hullámok hullámhosszának relatív szórása (2).

$$DU = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (WL_i - \overline{WL})^2}{n-1}}}{\overline{WL}} [-] \quad (2)$$

ahol a WL_i két szomszédos maximum amplitúdó közötti középponti szög (azaz az egyes hullámok hullámhossza, 7. ábra), \overline{WL} az egy hullámra eső átlagos középponti szög (azaz az átlagos hullámhossz, $\overline{WL} = 360/n$), n pedig a hullámok száma.



6. ábra Körgyűrűvel kiegészített redőződésmérés



7. ábra A redőződő minta síkvetülete kerületén kialakult hullámok hullámhossza

Minél kisebb a redőződési egyenlőtlenség értéke, annál egyenletesebb a vizsgált kelme redőződése. A redőződési egyenlőtlenség számítása beépítésre került a Sylvie 3D Drape Tester kiértékelő szoftverébe, így a program a redőződési tényezőt, a hullámok számán, a minimum és maximum amplitúdón, valamint az amplitúdó szórásán kívül a redőződési egyenlőtlenséget is automatikusan kiszámítja.

4. Új tudományos eredmények – tézisek

1. TÉZIS: Kidolgoztam egy új, a vizsgálati szövetminta redőinek kialakulását különböző belső átmérőjű, cserélhető körgyűrűvel befolyásoló redőzödésmérési módszert, amely a valós, használati körülményeket közelíti, miközben a gyűrű nélküli méréshez képest növeli a szövetek redőződésének mértékét, szabályosabbá teszi a redőződési képet és csökkenti a redőződési tényező szórását. Az új mérési módszer lényege, hogy a berendezés az optikai beolvasást megelőzően a kelmemintát állandó sebességgel a körgyűrűn keresztül emeli fel, amelynek során a körgyűrű a kelmével érintkezve az átmérője által meghatározott ugrásszerű deformáció-gerjesztéssel befolyásolja a kelme alakjának változását, csökkentve a redők kialakulására ható tényezők véletlenszerűségét. Mérésekkel igazoltam, hogy a körgyűrűvel befolyásolt, képfeldolgozáson alapuló redőzödésméréskor a 156 g/m^2 területi sűrűségű, vászonkötésű, azonos lánc- és vetülékfonalakkból, azonos lánc- és vetüléksűrűséggel szőtt pamutszövetek esetén a 210 mm belső átmérőjű gyűrűvel mért redőződési tényező szórása átlagosan 39%-kal kisebb, mint a gyűrű nélkül mért redőződési tényezőé. [1-4]

2. TÉZIS: Mérésekkel kimutattam, hogy a körgyűrűvel kifejtett ugrásszerű deformáció-gerjesztés következtében a gyűrű belső átmérőjének csökkenésével a pamutszövetek redőződése egyenletesebb lesz, azaz a redőződési egyenlőtlenség csökken, valamint a redőződési kép egyenletesebbé válik. A redőződési egyenlőtlenség gyűrűátmérőtől való függése a (T1) összefüggéssel közelíthető lineáris trenddel írható le.

$$DU = aD + b \quad (\text{T1})$$

ahol DU a redőződési egyenlőtlenség [-], D a gyűrű belső átmérője [m] és $D \geq 210$ mm. A paraméterek értékei és a közelítő egyenest jellemző determinációs együttható értéke az azonos sodratirányú fonalakkból (Z-Z) készült szöveteknél: $a=0,0378$; $b=0,085$; $R^2=0,907$; az ellentétes sodratirányú fonalakkból (Z-S) készült szöveteknél: $a=0,0345$; $b=0,2064$; $R^2=0,9338$ és a láncirányban azonos (Z), vetülékirányban váltakozó sodratirányú fonalakkból (Z/S) készült szöveteknél: $a=0,0183$; $b=0,1542$; $R^2=0,9308$. [1-4]

3. TÉZIS: Mérésekkel igazoltam, hogy redőzödésméréskor a redők kialakulását befolyásoló gyűrű belső átmérőjének csökkenésével a redőződési tényező csökken. Pamut- és poliészter szöveteknél a 210 mm és annál nagyobb gyűrűátmérők esetén a redőződési tényező értékének változását a (T2) logisztikus görbe írja le.

$$DC = \frac{1}{1 + e^{aD-b}} - c \quad (\text{T2})$$

ahol DC a redőződési tényező [%] és D a gyűrű belső átmérője [m]. A paraméterek értékei az azonos sodratirányú fonalakkból (Z-Z) készült pamutszövetnél: $a=0,15$; $b=42,42$; $c=6,54$, az ellentétes sodratirányú fonalakkból (Z-S) készült pamutszövetnél: $a=0,12$; $b=33,21$; $c=6,25$, a láncirányban azonos (Z), vetülékirányban váltakozó sodratirányú fonalakkból (Z/S) készült pamutszövetnél: $a=0,16$; $b=45,92$; $c=6,92$ és a sodratlan fonalakkból készült poliészter szövetnél: $a=0,14$; $b=35,71$; $c=29,67$. [1, 2, 4-6]

4. TÉZIS: Mérésekkel igazoltam, hogy a fonalak sodratiránya hatással van a redőződési tényezőre. A Z-Z, a Z-S és a Z-Z/S sodratirányú lánc- és vetülékfonalakkól szőtt, pamut alapanyagú kelmék vizsgálata alapján kimutattam, hogy az azonos sodratirányú fonalakkól készült szövet esetén a redőződési tényező átlagosan 7%-kal nagyobb, mint az ellentétes sodratirányú fonalakkól készült szövet esetén. Ez azzal magyarázható, hogy a fonalak sodratiránya befolyásolja az egymást keresztező fonalak egymáson való elfordulását, azaz súrlódását és ezáltal a redők kialakulását akadályozó nyíró ellenállást. Amennyiben az egymást keresztező fonalak azonos sodratirányúak, a sodrat következtében a kereszteződő fonalak felületein elhelyezkedő elemi szálak közel párhuzamosan találkoznak egymással, és egymás közé hatolva jobban akadályozzák a fonalak egymáson való elfordulását, ezáltal átlagosan 37%-kal nagyobb nyíró ellenállást okoznak, mint ellenkező sodratirányú fonalak esetében, ahol a sodrat következtében a kereszteződő fonalak felületein elhelyezkedő elemi szálak egymást keresztezően találkoznak, és emiatt nem tudnak egymás közé hatolni. Az azonos sodratirányú, kereszteződő fonalak felületén elhelyezkedő elemi szálak egymás közé hatolását bizonyítottam azzal is, hogy az ilyen fonalakkól szőtt szövet vastagsága átlagosan 16%-kal kisebb, mint ellenkező sodratirányú fonalak esetében. [1, 7, 8]

5. TÉZIS: Kifejlesztettem egy videoextenzométert alkalmazó kiértékelési módszert az erősítőszövetek nyíródeformációját jellemző nyírási szög átlós irányú húzóvizsgálattal történő meghatározásához. Az új módszer lényege, hogy a szövet vetülékirányához képest 45°-ban kivágott mintára felrajzolt jelölések közötti hossz- és keresztirányú távolságok rögzítése a teljes vizsgálat alatt folyamatosan videoextenzométerrel történik, és a nyírási szög, azaz a nyíróigénybevétel következtében a szövet fonalai által bezárt szög megváltozása a szövet hossz- és keresztirányú méretváltozásából a (T3) összefüggéssel számítható.

$$\gamma_i = 2\theta_0 - 2\theta_i = 2\theta_0 - 2\arctg \frac{a_i}{b_i} \quad (T3)$$

ahol γ_i a pillanatnyi nyírási szög [°], θ_0 a lánc- és vetülékfonalak által közbezárt kezdeti szög fele [°], θ_i a lánc- és vetülékfonalak által közbezárt pillanatnyi szög fele [°], a_i a felrajzolt jelölések közötti keresztirányú pillanatnyi távolság fele [mm], b_i a felrajzolt jelölések közötti hosszirányú pillanatnyi távolság fele [mm]. Az új módszer pontossága azonos a „képfeldolgozáson alapuló”, közismert és elfogadott kiértékelési módszer pontosságával, és jobb, mint a „geometrián alapuló” módszeré. Mérésekkel igazoltam, hogy a mérési eredményeknek a „képfeldolgozáson alapuló” kiértékelési módszer eredményeihez képest kiszámított négyzetes hibája a saját fejlesztésű, videoextenzométeres módszer esetében átlagosan 30%-kal kisebb, mint a „geometrián alapuló” módszernél. A saját fejlesztésű módszer további előnye, hogy univerzális szakítógépek és videoextenzométer birtokában egyszerűen alkalmazható minden egyéb kiegészítő eszköz nélkül. [9, 10]

6. TÉZIS: Vizsgálataimmal kimutattam, hogy a fonalak közötti súrlódási tényező és a fajlagos nyíróerő között szoros összefüggés van. Mérésekkel igazoltam, hogy vászon- és sávolykötésű erősítőszövetekre a jellemző 8°-os nyírási szögnél meghatározott fajlagos nyíróerő a fonalak közötti súrlódási tényező növekedésével a (T4) összefüggés szerint a 0,32 és a 0,44 súrlódási tényező közötti tartományban $R^2=0,999$ determinációs együttható mellett exponenciálisan nő.

$$f = 0,0098(e^{14,56\mu} - 1) \quad (T4)$$

ahol f a fajlagos nyíróerő [N/m], μ a fonalak közötti súrlódási tényező [-]. [9, 11]

7. TÉZIS: Vizsgálataimmal kimutattam, hogy a vizsgált erősítőszövetek redőződési tényező különbsége a fonalak közötti súrlódási tényező növekedésével a (T5) összefüggés szerint exponenciálisan nő a 0,32 és a 0,44 súrlódási tényező közötti tartományban $R^2=0,993$ determinációs együttható mellett.

$$\Delta DC = 0,101(e^{11,3\mu} - 1) \quad (T5)$$

ahol ΔDC a redőződési tényező különbség [%], amely az ugrásszerű deformáció-gerjesztést kiváltó gyűrű nélkül és a – 210 mm belső átmérőjű – gyűrűvel mért redőződési tényezők különbségét jelenti, μ a fonalak közötti súrlódási tényező [-].

Hasonló tendencia mutatható ki a pamutszövetek vizsgálatával is, ahol a fonalak közötti súrlódási tényezővel szoros összefüggésben álló nyírómerektség 0,5 N/m mértékű növekedésével a redőződési tényező különbség átlagosan 0,5%-ot növekszik. [9, 11]

5. Saját publikációk jegyzéke

- [1] **Al-Gaadi B.**, Göktepe F., Halász M.: A new method in fabric drape measurement and analysis of the drape formation process. *Textile Research Journal*, **82**, 502-512 (2012). IF: 1,122
- [2] **Al-Gaadi B.**, Halász M., Tamás P.: Textiles dynamically influenced drapability. *Materials Science Forum*, **659**, 361-366 (2010).
- [3] **Al-Gaadi B.**: 3D-s szkennelés alkalmazása a redőződés mérésére. *Magyar Textiltechnika*, **2**, 56-59 (2010).
- [4] **Al-Gaadi B.**, Halász M., Tamás P.: Textilíák dinamikusan befolyásolt redőződése. in 'Proceeding of Országos Anyagtudományi Konferencia. Balatonkenese, Magyarország' poszter, (2009).
- [5] **Al-Gaadi B.**, Geršak J., Göktepe F., Halász M., Tamás P., Göktepe Ö.: Fabric drape examination using ring-controlled equipment. in 'Proceeding of 4th International Technical Textiles Congress. Isztambul, Törökország' 9 oldal (2010).
- [6] Tamás P., Göktepe F., Halász M., **Al-Gaadi B.**: New method for dynamic drape measurement of fabrics. in 'Proceeding of AUTEK 2009 World Textile Conference. Izmir, Törökország' 579-584 (2009).
- [7] Göktepe F., Halász M., Tamás P., Göktepe Ö., Geršak J., **Al-Gaadi B.**, Özdemir D.: Twist direction and yarn type effect on draping properties. in 'Proceeding of 41th International Symposium on Novelties in Textiles. Ljubljana, Szlovénia' 171-177 (2010).
- [8] Göktepe F., Kaya O., Halász M., Tamás P., **Al-Gaadi B.**: The effect of yarn twist direction on fabric drape: A case with OE-rotor spun yarns. in 'Proceeding of CIRAT-4, 4th International Conference of Applied Research in Textile. Monastir, Tunézia' 398 (2010).
- [9] **Al-Gaadi B.**, Halász M.: Deformation analysis of composite reinforcing fabrics through yarn pull-out, drape and own developed shear tests. *Fibers and Polymers*, **(elfogadva, megjelenés alatt)**, (2012). IF: 0,836
- [10] **Al-Gaadi B.**, Halász M.: Analysis of shear behaviours of woven fabrics with image processing. in 'Proceeding of International Joint Conference on Environmental and Light Industry Technologies. Budapest, Magyarország' 6 oldal (2010).
- [11] **Al-Gaadi B.**, Halász M.: Effects of yarn-yarn friction on shear behavior and on drapability of reinforcing fabrics. *Fibers and Polymers*, **(benyújtva)**, (2012). IF: 0,836
- [12] **Al-Gaadi B.**, Molnár K., Halász M., Vas L. M., Tamás P., Molnár J., Hegyi D.: Biaxial mechanical testing method using image processing. in 'Proceeding of Aachen-Dresden International Textile Conference. Drezda, Németország' (2010).
- [13] **Al-Gaadi B.**, Halász M., Vas L. M., Tamás P.: Testing and modelling the bending behaviour of flexible composite sheet. in 'Proceeding of 14th European Conference on Composite Materials. Budapest, Magyarország' (2010).
- [14] Czigány T., Deák T., **Al-Gaadi B.**, Balogh G., Kmetty Á., Sikló B., Tuba F.: Hibridkompozitok - áttekintés. *Műanyag és Gumi*, **46**, 471-474 (2009).
- [15] **Al-Gaadi B.**, Halász M., Tamás P., Gräff J., Vas L. M., Molnár J.: Optical measurement of textile bending characteristics. in 'Proceeding of Aachen-Dresden International Textile Conference. Aachen, Németország' (2009).
- [16] **Al-Gaadi B.**, Halász M., Szabó L.: A Sylvie® 3D Body Scanner beállítási paramétereinek vizsgálata. *Magyar Textiltechnika*, **61**, 67-70 (2008).
- [17] **Al-Gaadi B.**, Halász M., Szabó L.: Comparison of calibration processes of a surface determining measurement system. in 'Proceeding of Gépészet 2008 Konferencia. Budapest, Magyarország' (2008).