



Nyugat-Magyarországi Egyetem Faipari Mérnöki Kar
Cziráki József Faanyagtudomány és Technológiák Doktori Iskola
Rosttechnikai tudományok
Doktori program

Textil laptermékek redőződésének és fogásának vizsgálata konfekcióipari 3D-s anyagszimulációhoz

Doktori (PhD) értekezés

Készítette: Dr. Kokasné Palicska Livia
Okleveles gépészmérnök

Témavezető: Dr. Szücs Iván
főiskolai tanár

Budapest, 2008

Textil laptermékek fogásának és redőződésének vizsgálata konfekciópári 3D-s anyagszimulációhoz

Értekezés doktori (PhD) fokozat elnyerése érdekében

Írta:
Dr. Kokasné Palicska Livia

Készült a Nyugat-Magyarországi Egyetem *Cziráki József Faanyagtudomány és Technológiák* Doktori Iskolája Rosttechnikai tudományok programja keretében

Témavezető: Dr. Szücs Iván

Elfogadásra javaslom (igen / nem)
(aláírás)

A jelölt a doktori szigorlaton % -ot ért el,

Sopron/Mosonmagyaróvár
a Szigorlati Bizottság elnöke

Az értekezést bírálóként elfogadásra javaslom (igen /nem)

Első bíráló (Dr.) igen /nem
(aláírás)

Második bíráló (Dr.) igen /nem
(aláírás)

(Esetleg harmadik bíráló (Dr.) igen /nem
(aláírás)

A jelölt az értekezés nyilvános vitáján.....% - ot ért el

Sopron,
a Bírálóbizottság elnöke

A doktori (PhD) oklevél minősítése.....
.....
Az EDT elnöke

Nyilatkozat

Alulírott Dr. Kokasné Palicska Livia kijelentem, hogy ezt a doktori értekezést magam készítettem, és abban csak a megadott forrásokat használtam fel. Minden olyan részt, amelyet szó szerint, vagy azonos tartalomban, de átfogalmazva más forrásból átvettem, egyértelműen, a forrás megadásával megjelöltem.

Budapest,

aláírás

Édesapám emlékére

Köszönetnyilvánítás

Mindenekelőtt köszönettel tartozom családomnak, hogy türelemmel viselték e munkával eltöltött hosszú időt, elsősorban férjemnek, aki mindvégig mellettem állt, és édesapámnak, aki hitt benne, hogy ez a dolgozat egyszer elkészül.

Szeretnék köszönetet mondani **Winkler András** professzor úrnak a bátorításért, témavezetőmnek **Dr. Szücs Ivánnak** a hasznos útmutatásaiért, **Borka Zsoltnak** a szakmai segítségért és **Dr. Koczor Zoltánnak**, aki biztosította a munkában való előrehaladásomat.

Hálás vagyok **Szücs Ágnesnek**, **Nagyné Szabó Orsolyának**, **Koleszár Andrásnak** és **Göndör Verának** a kísérlettervezésben nyújtott segítségükért.

Textil laptermékek redőződésének és fogásának vizsgálata konfekcióipari 3D-s anyagszimulációhoz

PhD értekezés
(Kokasné Palicska Livia)

Összefoglalás

Kutatási munkám célja, hogy eredményeivel hozzájáruljon a textil laptermékek a valóságot jobban megközelítő virtuális megjelenítéséhez. Ennek érdekében vizsgáltam a textília számítógépes modellezésének alapjául szolgáló tulajdonságát, a redőződési képességet, amely komplex alakváltozásként fontos szerepet játszik a ruházat esztétikai megítélésében, de meghatározza a textília alakra illeszthetőségét és térbeli formálhatóságát is.

Közvetlen célom volt egy olyan új, egyszerű számítógépes kiértékelő módszer kifejlesztése, amellyel a virtuális megjelenítéshez a statikus redőződés ismert vizsgálati módszereinél több hasznos adat nyerhető, és amellyel a hagyományosan manuálisan végzett vizsgálat hibaforrásai kiküszöbölhetőek. A redőződött mintákról készített digitális képek kiértékelésére egy munkatársaimmal közösen fejlesztett, új számítógépes programot használtam. A képfeldolgozással átalakított síkvetületi képen meghatároztam a harmonikus analízishez felhasznált kontúrponatok koordinátáit és a vetület területét, amelyből a redőződést jellemző esési tényező értéke számítható.

A redőzött minta vetületi képéből nyert hullámgörbét közelítő Fourier polinom harmonikus összetevőit a szögelfordulásban kifejezett hullámhossz függvényében ábrázolva vonalas spektrumfüggvény kapható, amelyről kimutattam, hogy a textíliák redőződési képességének leírására alkalmas és összehasonlítható vizsgálatokhoz reprodukálható eredményeket biztosít.

Vizsgálattal bizonyítottam és számszerűsítettem a kelmeszerkezetnek és a kikészítés során alkalmazott egyes mechanikai, kémiai és termikus hatásnak a redőződésre gyakorolt jelentős befolyását.

A redőződéssel és fogással kapcsolatos mechanikai jellemzőket a Kawabata-féle KES-FB és a Cusick-féle vizsgálati módszerekkel, véletlenszerűen kiválasztott, valamint az összehasonlítható vizsgálat céljának megfelelően legyártott pamut, pamut/len és viszkóz szöveteken határoztam meg. A redőződés mérésére a saját fejlesztésű számítógépes kiértékelési módszert, a BME-n kifejlesztett Sylvie 3D Drape Tester-t és a koreai Drape Analyser programot használtam. A méréseket a Budapesti Műszaki Főiskola Textiltechnológiai Laboratóriumában, a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen és a Maribori Egyetemen végeztem.

A redőződésről nyert jellemzőket célparamétereként használtam fel többfaktoros kísérlettervezésben a gyártmányfejlesztés lerövidítése érdekében. Kimutattam, hogy 5%-os szignifikancia szinten a vizsgált 4 konfekcionálás-technológiai faktor közül a ragasztós közbélés méretének van szignifikáns hatása az esési tényezőre. A spektrumkép figyelembevételével kapott eredmények alapján gyorsan elkészíthető egy divattervezői elképzelés optimális prototípusa.

Examination of drape and hand of fabrics for 3D material simulation for garment manufacture

PhD Dissertation

(written by Livia Kokas Palicska)

Summary

Objective of my PhD Thesis is to develop a new and simple computerized evaluation method which is suitable to give more useful data on draping properties of textile fabrics than the well known test methods and by which, in addition, sources of errors of the manual method can be eliminated. I could evince that the newly introduced parameter, the spectral function is suitable to describe the ability to draping of textile fabrics and gives reproducible results for quantitative and qualitative analysis. I quantified the influence of wave construction and certain finishing technologies on draping. The pieces of information given by the new method were successfully used as output values at a multifactor design of experiment in realization process of a stylist's envision.

Tartalomjegyzék

Jelölés jegyzék.....	j
1 Bevezetés.....	1
2 Irodalmi áttekintés.....	3
2.1 <i>Az öltözet térbeli szimulációjától a 3D-s tervezésig.....</i>	3
2.1.1 A textíliák számítógépes szimulációjánál jelentkező kihívások.....	5
2.1.2 Számítógépes méretvétel.....	15
2.1.3 Ruhaiipari számítógépes vizualizáló és 3D-s szerkesztő programok.....	17
2.2 <i>A textil laptermék esésével és alakra illeszkedésével összefüggő mechanikai tulajdonságok vizsgálati módszerei.....</i>	21
2.2.1 A fogással kapcsolatos mechanikai tulajdonságok komplex vizsgálata.....	22
2.2.2 A kelme esését befolyásoló merevség vizsgálati módszerei.....	23
2.2.3 A kelme redőződő képességének vizsgálati módszerei.....	25
2.2.4 A redőződést befolyásoló paraméterek hatásának becslése empirikus módszerekkel.....	32
2.2.5 A redőződés és fogás vizsgálatainak tapasztalatai.....	35
2.3 <i>Az áttekintett szakirodalom kritikus értékelése.....</i>	37
3 Elvégzett vizsgálatok és az eredmények kiértékelése.....	39
3.1 <i>A vizsgálatok során alkalmazott mérőberendezések.....</i>	40
3.1.1 A KES-FB mérőberendezés.....	40
3.1.2 A redőződés-mérő készülék.....	47
3.2 <i>A mérés kiértékelésének továbbfejlesztése.....</i>	50
3.2.1 A Cusick-féle esési tényező kiértékelése képfeldolgozással.....	50
3.2.2 A redőződés-méréshez kifejlesztett új számítógépes kiértékelő program.....	51
3.2.3 A készülék kalibrálása.....	54
3.3 <i>A mérés megismételhetőségének vizsgálata.....</i>	54
3.4 <i>A redőződés kiértékelése Fourier elemzéssel.....</i>	57
3.4.1 A Fourier analízis során alkalmazott alapösszefüggések.....	59
3.4.2 A mintavételezés gyakoriságának megválasztása.....	61
3.4.3 A spektrumfüggvény reprodukálhatósága.....	67
3.4.4 A minta méretének befolyása a redőződés mérési eredményeire.....	69
3.4.5 A minta felhelyezésének hatása a redőződésre.....	73
3.4.6 Textíliák minőségi elemzése spektrumfüggvénnyel.....	74
3.5 <i>A textilá redőződését befolyásoló mechanikai tulajdonságok vizsgálata.....</i>	80
3.5.1 A kelmeszerkezeti jellemzők hatása a redőződésre.....	80
3.5.2 A nyersanyag és a fogással kapcsolatos mechanikai jellemzők összefüggésének vizsgálata.....	84
3.5.3 A kikészítés redőződésre gyakorolt hatásának vizsgálata.....	84
3.5.4 Vizsgálati eredmények értékelése, következtetések.....	87
4 Vizsgálati eredmények felhasználása a gyártmányfejlesztésben.....	92
4.1 <i>Célmodell tervezése kísérlettervezéssel.....</i>	93
4.1.1 Regressziós függvény meghatározása.....	97
4.1.2 Következtetések a kísérlettervezés eredményei alapján.....	102
5 Az eredmények összefoglalása.....	104
5.1 <i>Tézisek.....</i>	106
5.2 <i>Gyakorlati alkalmazhatóság.....</i>	108
5.3 <i>További kutatást igénylő területek.....</i>	109
6 Irodalomjegyzék.....	110

7	Függelék	117
7.1	Melléklet <i>Textíliák anyagmodelljeinek irodalmi áttekintése</i>	117
7.2	Melléklet <i>A testszkennerek</i>	119
7.3	Melléklet <i>Kelme szimulációja az üzletben és az interneten (B2C)</i>	124
7.4	Melléklet <i>Drapéria animációs szoftverei</i>	128
7.5	Melléklet <i>Ruhaipari 3D-s tervező rendszerek</i>	131
7.5.1	Az OptiTex™ cég tervező programjai	131
7.5.2	A Gerber cég ruhatervező programja	133
7.5.3	A PAD cég tervező programjai	134
7.5.4	A Browzwear International cég tervező programjai	134
7.5.5	A Lectra cég tervező programjai	135
7.6	Melléklet <i>A fogás szubjektív minőségjellemzői Kawabata szerint</i>	137
7.6.1	Matematikai összefüggések a szubjektív és objektív fogásértékelések között	139
7.6.2	Az összetett fogásérték (THV) megállapítása	139
7.6.3	A KES-FB-rendszer összegzett diagramja	140
7.7	Melléklet <i>Kísérletterv mintáinak technológiai adatai</i>	142
7.8	Melléklet <i>Vizsgálati minták adatai</i>	145
7.9	Melléklet <i>Kísérletterv mintáinak spektrumfüggvénye</i>	152
7.10	Melléklet <i>Kelmeszerkezeti és mechanikai vizsgálatok leírása</i>	155
7.11	Melléklet <i>Kiértékelő algoritmus Fourier analízishez</i>	160

Jelölés jegyzék

WT	fajlagos húzó munka	[cN/cm]
RT	rugalmas visszaalakuló képesség húzó igénybevétel megszűnése után	[%]
LT	erő-nyúlás görbe linearitása húzó igénybevételnél	[-]
EMT	relatív nyúlás maximuma	[%]
G	fajlagos nyírómerevség	[cN/cm °]
2HG	nyíró hiszterézis magasság $\pm 0,5^\circ$ nyírási alakváltozásnál	[cN/cm]
2HG5	nyíró hiszterézis magasság $\pm 5^\circ$ nyírási alakváltozásnál	[cN/cm]
B	fajlagos hajlító merevség	[cNcm]
2HB	hajlító hiszterézis magasság	[cNcm]
GAP	nyílásrés	[cm]
WC	fajlagos nyomó munka	[cN/cm]
RC	rugalmas visszaalakuló képesség nyomó igénybevétel megszűnése után	[%]
LC	erő-nyúlás görbe linearitása nyomó igénybevételnél	[%]
T	vastagság	[mm]
EMC	relatív összenyomódás maximuma	[%]
MIU	súrlódási tényező középértéke	[-]
MMD	súrlódási tényező szórása	[-]
SMD	felületi profil magasságának szórása	[μ m]
DC	esési tényező	[%]
W	területi sűrűség	[g/m ²]
F _L	fajlagos erő	[cN/cm]
T _t	lineáris sűrűség	[g/1000m]
D	hajlító merevség	[Nm ²]
E _h	hajlító rugalmassági modulus	[N/m ²]
I	másodrendű nyomaték	[m ⁴]
l _B	lehajlási távolság Peirce szerint	[mm]
S _p	redőzött mintadarab területe	[mm ²]
G _p	a redők eloszlása	[-]
DC	esési tényező	[%]
F	fedőtényező	[-]
S _L , S _V	lánc-, ill. a vetüléksűrűség	[db/100 mm]
T _{texL} , T _{texV}	a láncfonal, ill. a vetülékfonal lineáris sűrűsége	[g/1000 m]
H	kifejtett fonalak összes hossza	[m]
G	a kifejtett fonalak összes tömege	[g]
A _L , A _V	a lánc- és a vetülék kötésiállandója	[-]
k _L , k _V	lánc-, vetülékfonal helyváltoztatásának átlagos száma a minta-elemben	[db]
n _V , n _L	a vetülékfonalak, ill. a láncfonalak száma a mintaelemben	[db]
X _{rel}	relatív szőhetőségi tényező	[-]
S _n	nyíróerő	[N]
D	kelme szélessége	[mm]
L	kelme hossza	[mm]
DI	redőzési index	[-]
F _A	lánc- és vetülékirányú fonalsűrűség átlaga	[1/100mm]
Y _C	lánc- és vetülékfonal lineáris sűrűségének átlaga	[g/1000 m]
Φ	nyírási szög	[°]

F_s	nyíróerő	[N]
M	nyomaték	[cNcm/cm]
ρ	görbület	[1/cm]
V	időegység alatt áthaladó levegő mennyiség	[l/m ² s]
q	levegő mennyiség	[l]
H	hajlékonyság	[%]
C	lehajlás hossza	[mm]
\underline{M}	tömeg mátrix	[kg]
\underline{S}	merevségi mátrix	[N/m]
\underline{K}	csillapítási mátrix	[Ns/m]
\underline{q}	általános koordináta, az idő folytonos és differenciálható függvénye	[m]
$\dot{\underline{q}}$	sebesség vektor	[m/s]
$\ddot{\underline{q}}$	gyorsulás vektor	m/s ²
$\underline{F}(t)$	erő vektor	[N]

A dolgozatban szereplő rövidítések és idegen szavak

haute couture	exkluzív, egyedi gyártású öltözet (divatcikk)
avatár	virtuális próbababa
EURATEX	az Európai Textil- és Ruházati Szövetség
LEAPFROG	a textil- és ruházati ipar kutató-tevékenységeinek összehangolását megcélzó uniós koordinációs projekt
THV	összesített fogásérték (Total Hand Value)
PHV	elsődleges kifejezés a fogásra (Primer Hand Value)
KES	KAWABATA anyagvizsgáló rendszer (Kawabata Evaluation System)
CCD	A fényt digitális képpé alakító eszköz (Charge-Coupled Device)
3D	Három dimenziós, térbeli
DIN	Német Szabvány, (Deutsche Industrienorm)
JIS	Japán Szabvány
CAD	Számítógéppel támogatott tervezés (Computer Aided Design)
Pixel	a kép egy eleme (Picture element)
ITV-Griff-Tester	fogás vizsgáló készüléktípus
PDP	fogás vizsgáló készüléktípus (Pulling-through with distance plate)
ITADRAPE 3	gömbformára illesztést vizsgáló készülék
OEM	gyártó, akinek termékét a felvásárló beépíti saját termékébe és azt saját márkanéve alatt forgalmazza (original equipment manufacturer)
B2C	az elektronikus kereskedelem kiskereskedelmi formája, amelyben az üzleti szereplő a fogyasztót célozza meg (business-to-customer)
CSIRO	az ausztrál tudományos és ipari kutatóintézet kezdőbetűiből képzett mozaikszó (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation)
FAST	a fogás egyszerűsített mérési módszere (Fabric Assurance by Simple Testing)
KES-FB	a textilálya fogásának objektív vizsgálata Kawabata szerint (Kawabata's Evaluation System for Fabrics),
BMP	bitmap file formátum
ANOVA	varianciaanalízis statisztikai kiértékelő program (analysis of variance)
tex	lineáris sűrűség rövidítése [1 tex = 1g/1000 m]

1 Bevezetés

Az utóbbi években megnőtt az érdeklődés a ruházat számítógépes megjelenítése iránt. Ennek oka, hogy a világban egy olyan, forradalmian új ruhaipari szolgáltatás fejlesztése zajlik, amely a térbeli alakzatok pontos digitalizálásával, virtuális prototípuson teszi lehetővé, hogy a vevő igénye szerint, azonnal beavatkozzanak egy modell tervezési folyamatába.

A fejlesztés kiterjed a számítógépes méretvételtől a szabásminta elkészítéséig a teljes gyártás-előkészítési folyamatra, és az internetes kapcsolat révén lehetővé teszi egyénre szabott tömegtermékek eddigieknél gazdaságosabb gyártását. A kelme-szimuláció és a 3D-s CAD technikával megvalósuló térbeli tervezés hasznélvezője nem csak a ruhaipar, hanem minden olyan terület is, amelynél textil burkolatot kell térbeli formára illeszteni (pl. az építő- és csomagolóiparban alkalmazott műszaki textíliáknál, bútor kárpitozásánál, gépjárművek armatúráinál, ülés-szerkezeteknél, stb.).

A textília bonyolult anizotrop és nemlineáris tulajdonsága miatt számítógépes megjelenítése nagy kihívást jelent. A valós viselkedést pontosan megjelenítő, valósídejű szimulációhoz szükség van pontos mechanikai mérésekre, anyagmodellekre és komplex numerikus megoldásokra. Erre irányuló kutatásokkal évtizedek óta több nemzetközi kutatócsoport foglalkozik. Uniós támogatással óriási európai konzorcium dolgozik annak érdekében, hogy a textil- és ruházati ipar egyéni igények tömegtermelésre és kivitelezési rendszerekre vonatkozó kutató-tevékenységeit összehangolja. Az EURATEX által koordinált LEAPFROG projekt eredményei várhatólag nagy előrelépést jelentenek e területen, és így hozzájárulnak az európai ruhaipar versenyképességének növeléséhez [1,2].

Hazánkban a térbeli ruhatervezéssel a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Polimertechnikai Tanszékének kutatócsoportja foglalkozik, az ott folyó kísérleti munkába kapcsolódott be a Budapesti Műszaki Főiskola Divat, Termék és Technológia Intézete [3].

Csatlakozva e fejlesztéshez, több éve foglalkozom a textil laptermék térbeli megjelenítéséhez kapcsolódóan textilmechanikai vizsgálatokkal.

A dolgozat második fejezetében áttekintem a textíliák szimulációjának lehetséges anyagmodelljeit, a számítógépes méretvétel, valamint a kelme háromdimenziós megjelenítésének módszereit a ruhaipari gyártás-előkészítésben és a kereskedelmi forgalomban. A harmadik részben a textília térbeli deformációs tulajdonságainak a textil- és ruhaipari kutatásban alkalmazott, – hazánkban kevésbé ismert – komplex vizsgálati

módszereit mutatom be, amellyel a dolgozat hozzájárul ahhoz, hogy e módszereket a szakemberek nálunk is megismerjék, és a kutatások eredményeiből nyert információkat hasznosítsák.

Kutatási munkám célja, hogy eredményeivel hozzájáruljon a textil laptermékek a valóságot jobban megközelítő virtuális megjelenítéséhez. Ennek érdekében a textília egy olyan speciális tulajdonságát vizsgáltam, amely a számítógépes modellezés alapjául szolgálhat. Ez a textília redőződési képessége, amely komplex alakváltozásként fontos szerepet játszik a ruházat esztétikai megítélésében, de meghatározza a textília alakra illeszthetőségét és térbeli formálhatóságát is. Közvetlen célom volt egy olyan új, számítógépes kiértékelő módszer kifejlesztése, amellyel a virtuális megjelenítéshez a statikus redőződés ismert vizsgálati módszereinél több hasznos adat nyerhető, és amellyel a hagyományosan manuálisan végzett vizsgálat hibaforrásai kiküszöbölhetőek.

A textil laptermékek redőződésének modellezéséhez szükséges anyagjellemzők meghatározásának érdekében a következő megválaszolendő kérdéseket tettem fel:

- Milyen új megközelítést lehet alkalmazni a redőződés eddigieknél jobb, komplex leírására?
- Hogyan befolyásolja a redőződést és az ezzel összefüggő mechanikai tulajdonságokat a kelmeszerkezet és a kikészítés?
- Hogyan lehet a redőződésről nyert információkat a gyártás-előkészítésben felhasználni?

Ezzel összefüggésben kutatásaim kitértek olyan mechanikai tulajdonságok vizsgálatára is, amelyek a textília konfekcióipari feldolgozása, illetve használata során fellépő, kis erőhatásra bekövetkező alakváltozást befolyásolják (húzó, hajlító, nyíró és nyomó igénybevételnél).

A dolgozat utolsó részében az új módszerrel kapott redőződési információkat célparaméterként egy konkrét divattervezői elképzelés optimális megvalósításához is felhasználom. Itt a kísérlettervezés módszerét alkalmazom ahhoz, hogy meghatározzam több konfekcionálási paraméter két szinten változó beállításának hatását. Ezzel azt kívánom bizonyítani, hogy a kísérlettervezésben alkalmazott paramétertervezés új típusú ruházati alapanyagokkal kísérletező, vagy kevesebb tapasztalattal rendelkező tervezők és konfekcióipari szakemberek által jól használható eszköz.

2 Irodalmi áttekintés

A dolgozat témájához kapcsolódó, itt bemutatásra kerülő szakirodalmi áttekintésben a feldolgozott irodalmak alapvetően három területről származnak, ezek a textíliák mechanikai viselkedésének szimulációjánál jelentkező kihívások, a számítógépes méretvétel és rögzítés, valamint a ruhaipari térbeli tervezés. A fejezet második része a textíliák anyagmodelljeinek felállításához kapcsolódó anyagvizsgálatokat részletezi, majd a fejezet végén, az irodalom kritikai elemzésével bemutatom a feldolgozott területen mutatkozó problémákat, amelyek alapján kitűztem a dolgozatom közvetlen céljait.

2.1 Az öltözet térbeli szimulációjától a 3D-s tervezésig

A ruhaipari gyártmánytervezés folyamatában hagyományosan kétdimenziós tervekből és szabásmintából valósulnak meg a tervező elképzelései. Évtizedek alatt összegyűjtött tudás képezi a térbeli test- illetve a ruhamodellek kétdimenziós leképezésének az alapját. A gyártmánytervezői szakmai tapasztalatokból származó tudás olykor személyhez kötött, így a képzett humán erőforrás hiánya miatt e tudás továbbadása többnyire nem biztosított. A ruhaiparban számos törekvés irányul ezért arra, hogy a tervezői folyamatot továbbfejlesszék. A hagyományos 2D-s szabásminták helyett számos neves tervező nyúl a „térbeli tervezés” módszeréhez, amikor a próbababára illeszti a kétdimenziós alkatrészeket, és azon keresi az anyag viselkedésének és a háromdimenziós testformáknak az összefüggéseit. A divattervezői feladatok térbeli megoldása kétdimenziós tervrajzokkal hosszútávon már nem ad kielégítő eredményt. A megoldást a számítógépes testfelismerő programok, a 3D-s szerkesztői és szimulációs szoftverek megjelenése és fejlesztése hozták.

Az eleinte még csak a játékprogramokhoz felhasznált számítógépes animációk fejlődése és alkalmazása hatalmas lehetőségeket kínál a tervezésben és a ruhaipari gyártás-előkészítésben. A 3D-s szimulációval akár régi, történelmi korok ruhadarabjai, vagy korábbi idők divatmodelljei is életre kelthetők (2-1. ábra). Az 1940-es évek *haute couture* divatrajzai alapján a MiraLab szakemberei szimulálták Robert Piguet és Serge Guérin terveit [4]. Mivel az eredeti rajzhoz mellékleteként megadott 4 x 6 cm-es kelmeminta mérete nem tette lehetővé

a ruha alapanyagának bevizsgálását és a fizikai paraméterek meghatározását, ezért egy – a cég alapanyag adatbázisából kiválasztott – hasonló kelmét használták fel a szimulációhoz. A 3D-s kelme textúrájának megjelenítéséhez figyelembe vették a színekre és az alapanyag összetételére vonatkozó eredeti, kézzel írt információkat. A szimulációhoz a Vicon Motion Tracking programmal létrehozott, korabeli női alakot formázó, virtuális manőkent (sétáló avatárt) és a MiraDreams cég Fashionizer1.0 szoftverét használták.



2-1. ábra Serge Guérin terveinek 3D-s animációja [4]

A hagyományos divattervezés során a divattervező elkészíti az öltözet terveket, a modellt manőkeneken jelenítik meg és a próbát követően esetleg igazítanak rajta. A ruhaterv prototípusának elkészülése hosszadalmas folyamat, amelyet a virtuális szimuláció lényegesen lerövidít. Nemcsak a tervezési munka sebessége, hanem a kreativitás is fokozható az animált karakterek mechanikai szimulációjával.

A virtuális prototípus az alábbi előnyöket biztosítja a gyártmányfejlesztésben:

- Szignifikánsan lecsökkenti a tervezéshez szükséges minták számát.
- Gyors döntéshozatalt tesz lehetővé a termék rövid életciklusához igazodva.
- Lecsökkenti egy új termék kifejlesztésének idejét.
- Jelentősen lecsökkenti a termékfejlesztés költségeit, és mindazon költségeket, amelyek a stílusonként készített minták tervezéséhez és kiszállításához szükségesek.
- Biztosítja a tervezői rugalmasságot a virtuális modellen alkalmazott változtatások révén.
- Javítja a kommunikációt a termék életciklusában érintett összes résztvevő között, függetlenül azok fizikai értelemben vett távolságától.
- Javítja a termék minőségét.
- Lehetővé teszi a drága, költséges ruhatervek térbeli megjelenítését egy prototípuson.

A virtuális prototípus nyomán az új számítógépes programok felhasználásával egyéni igények szerint elkészíthető tömegtermékek jelentek meg, ez a folyamat (angolul mass customization) napjainkban csendes forradalomként zajlik a termelésben és a szolgáltatásokban. A vevő egyéni igényeinek kielégítése a termékek, a szolgáltatások és árak személyre szabásával, a direkt marketing révén valósul meg. Az egyéni igények alapján készült termék a tömegtermelés méret-előnyeiből fakadóan alacsonyabb gyártási költséggel, ugyanakkor nagyobb árréssel értékesíthető, mert magas szintű emberi szükségleteket elégít ki, és a méretre szabott vagy megszemélyesített termék (angolul personalized product) viselője számára az egyediség különleges érzését biztosítja [5]. A ruhaipari szimuláció segítségével ma már számos cég kínál interneten egyedi igények szerint elkészített ruházati termékeket, és egyre több példa van arra is, hogy egyedi méretek alapján készítenek egyenruhákat a katonaságnak, vagy formaruhákat iskolák és vállalatok számára. Igényfelmérésünk szerint az új szolgáltatásra van kereslet Magyarországon is [32], hazai bevezetésére néhány éve pl. a Griff Gentlement's cég [31] is vállalkozott.

A virtuális alkatrész-összeállítás és méretre igazítás azonban csak akkor alkalmazható a ruhaipari gyártás-előkészítésben, ha a ruhadarab megjelenítése megfelelően közelíti a valóságot a virtuális próbababán.

2.1.1 A textíliák számítógépes szimulációjánál jelentkező kihívások

A hagyományos módon, síkban kiszabott textil alkatrészekből álló ruhák virtuális megjelenítéséhez, illetve a térbeli ruhatervezéssel kapott formák kétdimenziós kiterítéséhez szükség van a kelme alakváltozásának modellezésére. A fejezet célja, hogy bemutassa, milyen anyagmodellek léteznek a textília viselkedésének leírásához.

A konfekcionálendő kelmék elméleti modellezése a kelmék változatossága, a csekély erő hatására mutatózó nagy alakváltozási hajlamuk és anizotrop viselkedésük miatt igen nehéz. Problémát jelent, hogy a textileknél a szimuláció eredményeként térben deformálódó teljes görbült alakot kell valóság-hűen megjeleníteni. Az évtizedek óta folyó kutatómunkákban a modellezés alapjául egy komplex tulajdonság szolgál, ez a textília esési, vagy más néven redőződési képessége (A redőződés definícióját ld. a 2.2.3 fejezetben).

A redőződés nemcsak a ruházat esztétikai megítélésében játszik fontos szerepet, de összefügg a kényelemérzet és a térbeli formára illeszthetőség fogalmaival. A redők külső képe az anyag deformációjától függ, de pl. egy drapéria képének reprodukciójánál a vizuális hatást befolyásolja többek között a környezet megvilágítása, a fény és az árnyékok mennyisége, a

redők, illetve kelmeívek felületének fényessége, a színek, a design és a kelmefelület díszítettsége is.

Már évszázadokkal ezelőtt is meghatározó volt az anyagok minőségének megítélésében az, hogy a leomló textil drapéria hogyan emeli ki, illetve fokozza a viselőjéről nyert esztétikai élményt. A római császárkor egyik legelterjedtebb viselete, a tóga vagy a görögök által kedvelt khiton csak bonyolult technika alkalmazásával vált dúsan redőzött, esztétikus öltözeté (2-2. ábra). A jólöltözöttséget ekkor nem az értékes ékszerek tömege adta, hanem az, hogy mennyire tudta egy öltözet viselője leple redőit szépen eligazítani [6]. A varrás nélkül felölthető leplekből készült viselet esztétikusságát nagymértékben meghatározta az, hogy milyen az anyag redőződési képessége.



2-2. ábra Tógaviselet a Kr. u. 1–4. században (balra) és kisázsiai viselet, a khiton egy görög reliefen (jobbra) [6,7]

A középkorban a ruházat a gazdagság egyik szimbólumává vált; a drapériák és leplek a szépséget, a jólétet és a kényelmet tükrözték. Az öltözetek gazdagon redőzött, leomló brokát és bársony drapériáinak bonyolult hajtásai megfigyelhetőek a korabeli festmények élethű ábrázolásain. A drága öltözetek egykor akár egy évig is készültek, és áruk megfelelt egy polgár egyéves jövedelemének. Az anyag esése meghatározó a későbbi századok viseleteiben is, a redők és hajtások nemcsak a XVIII.-XIX. századi, gondos munkával készített öltözékek fontos díszítő elemei (2-3. ábra), de nagy szerepet játszottak a paloták, lakóterek belsőtéri kialakításában is.



2-3. ábra Divatkép a XIX. századból [8]

A mai kor elvárása, hogy a tervező által megálmodott kreáció mérnöki munka eredményeként gyorsan és költségtakarékosan jöjjön létre. A tervezésben, a gyártás-előkészítésnél és a

konfekcionálási technológiában is egyre nagyobb szerephez jutó számítógépes szimulációnál az öltözet a testet burkoló textil drapériaként fogható fel, amelynél – akár a festészetben – a textília mechanikai viselkedésének valóságghű megjelenítése nagy kihívást jelent. Hogyan lehet ezt a viselkedést modellezni?

Egy szilárd test mechanikai viselkedésének leírásához a valóságos tulajdonságokat az egyszerűbb matematikai kezelhetőség érdekében ideálisakkal közelítik. Erre az egyik lehetőség, hogy az anyagot mindenekelőtt folytonos tömegeloszlásúnak, azaz **kontinuumnak** tekintjük. A másik lehetőség szerint a mechanikai rendszert kvázi **rács kontinuumnak** tekintjük, feltételezve, hogy az az adott (háromdimenziós) Euklideszi térben beágyazva egy nem feltétlen periodikus (véges, vagy végtelen kiterjedésű) rácshálózat, és a rácshálózat pontjaiban adottak a nem feltétlen azonos mechanikai tulajdonságú testek és adottak az egyes elemek közötti kinematikai (és dinamikai) kapcsolatok, amelyek az azonos pozíciójú elempárok között nem feltétlen azonosak. Ebben az esetben diszkrét, azaz rács-kontinuumról beszélünk [9].

A 60-as évektől kezdődően nagy számban jelentek meg újabb és újabb (elnevezésben, jelölésrendszerben, kinematikai szabadság fokszámban) magasabb szabadságfokú elméletek. Ezen elméletek közös sajátossága, hogy különbséget tesznek az anyag makro és mikro szerkezete között. A mikro szerkezet nem csupán a molekuláris és atomi szerkezetet jelenti, ide tartoznak mindazon hatások modellezései, melyek abból adódnak, hogy az anyagnak „kis” és „nagy” mikro és makro méreteikben fizikailag vagy geometriailag eltérő sajátosságokat mutatnak. Az elméletekkel a mikro szerkezetből adódó hatások figyelembevétele valósítható meg [10].

2.1.1.1 A textília számítógépes szimulációja

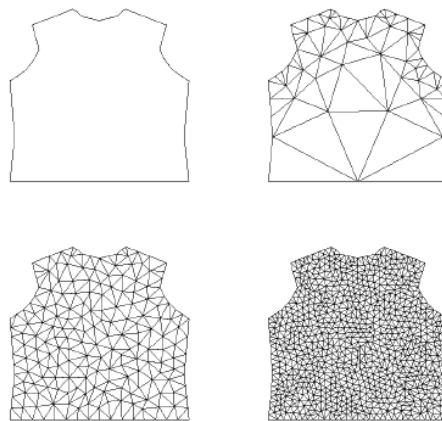
A természetben kialakult vagy mesterségesen létrehozott, rostos vagy réteges kialakítású anyagok - mint pl. a textil laptermékek, rétegelt szerkezetek, bizonyos műanyagok inhomogén anizotropoknak tekinthetők. Az alakváltozás szempontjából viszko-elasztikusak, egyszerre rugalmasan és képlékenyen is viselkednek, és e két tulajdonság aránya rendkívül változatos lehet. A textilanyagok viselkedése egy komplex mechanizmus, amelynél az egyes szálak, illetve fonalak kölcsönhatása speciális tulajdonságokat eredményez.

A textil laptermék viselkedésének szimulációjához – a szakirodalom alapján – a kutatások két irányt követnek, az egyik alapja az animációk többségénél alkalmazott, valóságghű megjelenítésre fókuszáló **geometriai modell**, míg a másiké **mechanikai modell**, amely az

elemi részecskék mechanikájához, az energia elméletéhez és a héjszerkezethez nyúl vissza [12]. A szimuláció fejlesztése során az elmúlt évtizedekben különböző anyagmodelleket alkalmaztak, ezek összefoglalására tesz kísérletet Krzywinski [22] és Fan is [16], az ez alapján összeállított rendszerezést a 7. Függelék 7.1 számú melléklete tartalmazza.

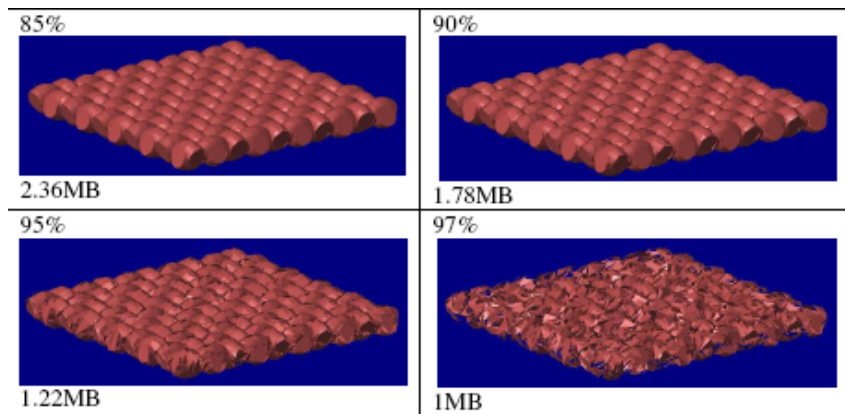
A textíliák szimulációjára vonatkozó első kísérletek a kelmét deformálható felületként definiálják, amely rácsként két vagy három dimenzióban ábrázolható, a redőződést pedig a felület formájának és adott pontjának megközelítésével szimulálják. Az anyag szimulációja geometriai funkciók segítségével történik, amelyek a felületet módosítják. A megoldásokhoz végeelem módszert használtak. A valóságnak már jobban megfelelő első ruha szimulációk a 90-es években jelentek meg, ezzel párhuzamosan fejlesztették a kapcsolódó területeket, mint pl. az emberi test virtuális modellezését és animációját és a test-ruházat kölcsönhatásának szimulációját.

A digitalizáló rendszerekkel nyert pontfelhő a felhasználási cél szerint különböző módon dolgozható fel a szimulációhoz. A legáltalánosabb a **poligon modellezés** vagy trianguláció [13], amelyet elsősorban szimulációs és vizualizációs célra és gyors prototípus elkészítéséhez használnak. A háromszögek mennyisége meghatározza az objektum valósághű megjelenítését (2-4. ábra).



**2-4. ábra Különböző részletességgel triangulált háromszög-hálók
lent: kontúrgörbe és az abból képzett triangulált háló,
lent: Steiner triangulálás 252mm és 52mm maximális háromszög felületekkel [13]**

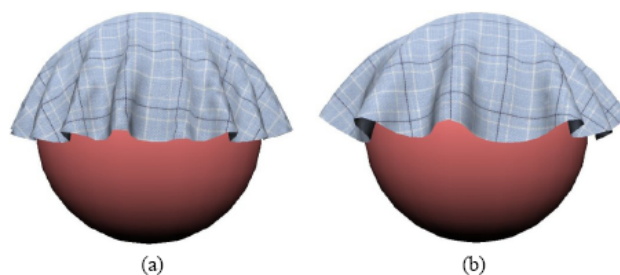
Fazel [14] szerint egy vászonkötésű pamutszövet fogásának szimulációját optimalizáló kísérletben például 95%-nál a valóságot jól megközelítő kép érhető el, de ezt követően a kép szétesik, instabillá válik (2-5. ábra).



2-5. ábra A fogás szimulációja különböző triangulációnál [14]

A ruhaiipari CAD modellezéshez elsősorban a pontokból generált, kontúrgörbékkel meghatározott **felületmodellt** alkalmaznak. A térgörbék segítségével létrehozott felületekkel vagy felület foltokkal modellezhetőek összetett térbeli alakzatok, az így létrehozott felületek lehetnek globálisan és lokálisan változtathatók. Az e területen az utóbbi időkben végbement számítástechnikai fejlesztéseket rendszerezi Hing és Grimsdale [15], akik az elmélet és az alkalmazott módszer szerint sorolták csoportokba a textíliák számítógépes modellezésére alkalmazott irányzatokat. Megvizsgálták a legelterjedtebb módszereket és a szimuláció lefuttatásához szükséges időtartamot is.

Hunter és Fan szerint [16] az irodalomból ismert geometriai modellek az anyagi jellemzőket nem veszik figyelembe, ezért felhasználásuk a térbeli számítógépes ruhatervezésben nem ad kielégítő eredményt. A felület geometriai szimulációjához képest a fizikai alapokon nyugvó szimuláció a beállítható anyagparaméterek alapján már jobban megközelítette a valós viselkedést (2-6. ábra). Fuhrmann disszertációjában [13] leírt tömegpontos részecske rendszerek modelljei már gyorsabb szimulációt is lehetővé tettek.

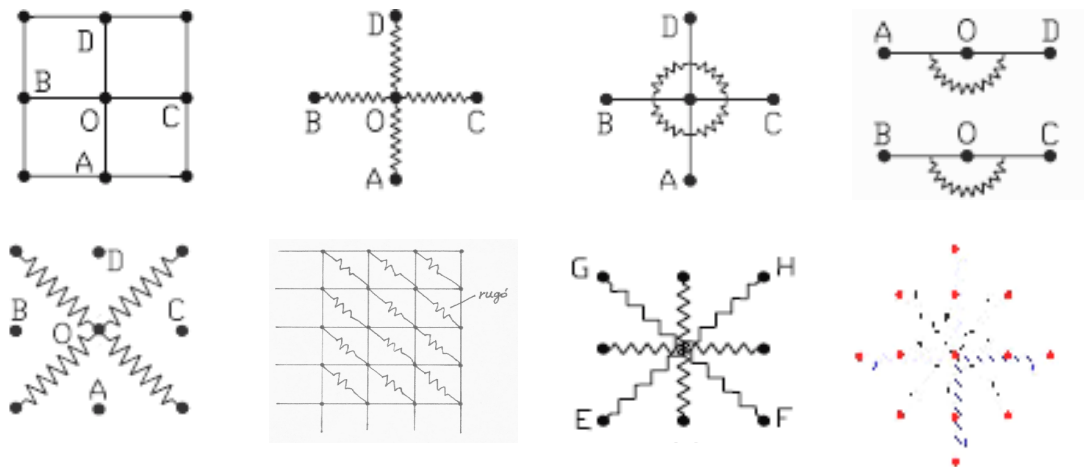


2-6. ábra Egy 3200 háromszögből álló textília valós idejű szimulációja egy gömbre ejtve. A szimulációhoz különböző hajlítási merevséget választottak a) és b) esetben. [13]

Az egyszerűsített modellben a tömegpontok különböző módon állnak kapcsolatban, ez jól szimulálható, de a mért anyagparaméterek optimális átvitele még nem megoldott.

A mérnöki ismeretekre támaszkodó **mechanikai modellek** a hagyományos mechanikai elméletekből indulnak ki, figyelembe veszik a rugalmasságot és/vagy deformációs energiát az olyan komplex kelme-deformációk szimulálásához, mint amilyen például egy lelógó kör alakú textília redőződésekor következik be.

A textíliák mechanikai modelljeit két csoportra lehet osztani, a rács és a kontinuum modellre. A **rács modellben** a kelme olyan rácsként fogható fel, amelyben az anyagi pontok négyzetes hálóba rendezettek, és az egymással kapcsolatban álló egyes rácspontok hálózatot alkotnak (2-7. ábra). A jól ismert legegyszerűbb modellekben a rácsvonalak derékszögűek, a szövetek lánc- és vetülékfonalaihoz hasonlóan, a legközelebbi anyagi pontokat strukturált rugók és csillapítók kötik össze (2-7. ábra, 1. kép). A tipikus O pontban elhelyezkedő anyagi pont nyújtási, nyíró és hajlító energiáját négy lineáris és négy vagy két torziós rugó tárolja (2,3. kép). A négy torziós rugót lehet négy átlós irányú rugóval helyettesíteni (4. kép).



2-7. ábra Példák a textíliák lehetséges mechanikai rácsmodelljeire

A valóságot leginkább azok a modellek közelítik, amelyben az egyszerű tömegpontokból álló rácsok elemei átlósan rugókkal vannak összekötve (2-7. ábra, 5-8. kép). A legtöbb modell alkalmaz hajlító, nyíró rugókat és csillapítókat az anyagi pontok közötti kapcsolatok megteremtésére.

Sharma és Sutcliffe [39] modelljében a tömegpontok átlós irányban rugókkal vannak összekötve. A szálerősített kompozit (bukósisak) deformáció hatására történő változásának szimulálására egyszerűsített véges elemes módszert használtak. A hajlítási energiát a 2-7. ábra 6. képe szerint a rács csomópontjait merőleges és átlós irányban összekötő két-két lineáris rugó tárolja [40].

A textíliák viselkedésének modellezésénél House és Breen [17] a mikroszerkezetet figyelembe véve kifejti, hogy a textília nem egy kontinuum, hanem egy komplex mechanikai

szerkezet. Az alkalmazott többtömegű, csillapított lengőrendszer rácsmodellben fonalirányban a legközelebbi pontokat összekötő strukturális rugók és csillapítók vannak, amelyek mellett nyíró és hajlító rugók kapcsolják össze a tömegpontok második legközelebbi szomszédjait (2-7. ábra, 8. kép). A rácspontok kinetikai szabadságfoka definiált, a rugóerő az elmozdulás, a csillapítás a sebesség függvénye. Minden rugó egyben csillapítást is tartalmaz. A rugókat lineárisan, a csillapításokat a sebességgel arányosan veszik figyelembe. Ezt a modellt alkalmazza Tamás is a térbeli ruhatervező programjának kifejlesztéséhez [37]. Az alapelv az, hogy a tömegpontok mozgása az idő függvényében Newton második törvénye alapján határozható meg. Az alkalmazott Runge-Kutta és az Adams módszerek stabil eredményt szolgáltatnak a numerikus megoldás során. A megoldás során ütközést felismerő algoritmust használtak, érintkezés esetén ennek alapján adták meg a tömegpont új helyzetét és sebességét.

A kelmék másik modellje abból indul ki, hogy a textil laptermék egy olyan **kontinuum**, amelyben a mikroszkópikus szerkezet milyensége nem érdekes. Esetenként a felállított anyagtörvényekben azonban a vastagság a vonatkoztatási alap. E probléma kiküszöbölhető, ha a textil laptermék Cosserat kontinuumként definiált, ahol feltételezik, hogy a héjszerkezet (textília) vastagsága elhanyagolható. Mivel a laptermék vastagsága egyéb méreteihez képest igen csekély, ezért megengedhető ez a kelme szerkezetét leegyszerűsítő, kétdimenziós megközelítés. A textil laptermék e szerint felfogható héjszerkezetként, amelynél az alakváltozás leírásához figyelembe kell venni a nyújtásra, a hajlításra és a csavarásra bekövetkező deformációt, a hajlítási merevséget és a nyírási ellenállást. A kontinuum mechanikai modellnél a szükséges anyagi jellemzők a textíliák ismert vizsgálati módszereivel meghatározhatóak. A szimulációhoz szükség van a hosszanti és keresztmetszeti deformációt meghatározó Poisson tényező figyelembe vételére. Ennek megadása textíliák esetében azonban igen nehéz, hiszen számtalan tényező függvénye, mint pl. a kelmeszerkezet, a nyersanyag, a lineáris sűrűség és a területi sűrűség.

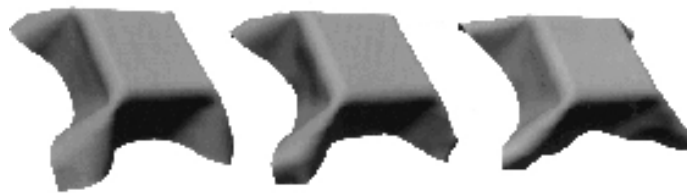
Fischer és társa [18] a klasszikus héjelméletet alkalmazta a szimulációhoz. A modellben figyelembe vették a nyúlási, hajlítási, nyírási és torziós merevséget.

Janski disszertációjában [21] széleskörű irodalomkutatót végzett, kritikusan megvizsgálva a kontinuum-mechanikai és a diszkrét modelleket. Szerinte az irodalomból ismert anyagmodellek nem tudják teljesen figyelembe venni ortogonális megközelítésnél két terhelési irányban a textil laptermék hajlításának és egyidejű nyírásának szimulációjához az anyagi jellemzőket, mint pl. hajlítási, húzási és nyírási merevséget, és a modellek többsége nem veszi figyelembe a laptermék (szövet) átlós irányban eltérő tulajdonságait sem, így a szimulációnál többnyire tapasztalat alapján meghatározott bemenő értékeket alkalmaznak. Az

általával bevezetett anyagmodell hiperelasztikus és ortotrop. A diszkrét modell figyelembe veszi a textil laptermék mezo-szintű inhomogenitását. A laptermék olyan részecskék halmazaként fogható fel, amelyekben azok az egymást keresztező fonalak kötéspontjait jelentik, a kötősszerkezet szerint. Minden egyes részecskének energiafüggvényei vannak, a szerint, hogy milyen az adott textil laptermék.

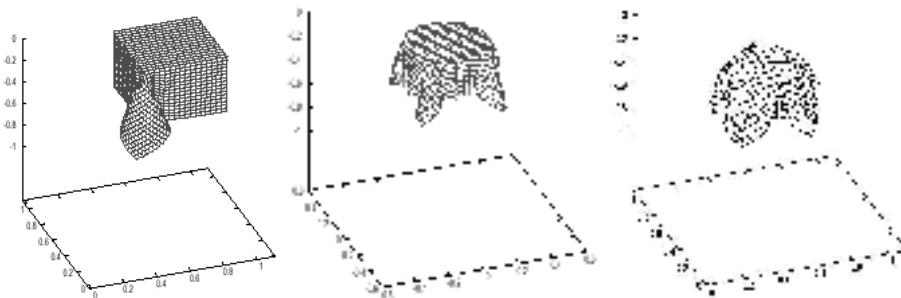
Collier [38] geometriai nem-lineáris végelem módszert használt a redőződés becslésére. A kelmét egy inkább ortotrop, mint izotrop tulajdonságokkal bíró héjszerkezetnek tekintette és úgy találta, hogy három független paraméter elég a redőződés leírására, a húzószilárdság a két síkbeli irányban és a Poisson-tényező.

Chen és Govindaraj [41] a klasszikus héjelméletet alkalmazták a redőződés leírására, egy ortotrop kontinuumként tekintve a kelmét. Szimulációjukhoz végelem módszert használtak, az eredményt numerikusan számolták ki (2-8. ábra). A modell bemenetei: Young-modulus lánc, és vetülék irányban, nyírási modulus és Poisson-tényező. A mechanikai modell szorosan illeszkedik a matematikai modellhez, alkalmazták a redőződés modelljét a ruhaipari CAD folyamatokban és a mérték után készült ruházatok gyártásában. Modelljük alkalmasnak mondható a konfekcionálás során bekövetkező alakváltozások elemzésére.



2-8. ábra Govindaraj szimulációinak eredménye különböző merevségű anyagnál (balról jobbra haladva egyre lágyabb az anyag) [41]

Fare disszertációjában [42] két modellt mutat be: egy nemlineáris héjmodellt és egy nemlineáris héjmodellt kimondottan hajlításra. Matematikailag modellezi a textília és az asztal illetve gömbfelület ütközését (lelógását) és deformálódását, a numerikus szimuláció lefuttatását többféle alátámasztási felületre is elvégezte (2-9. ábra).



2-9. ábra Nadjombé Fare szimulációi a vizsgált mintát sík négyzetes és kör alakú alapra, valamint gömbfelületre helyezve [42]

Gan [43] a redőződés modellezéséhez héjszerkezetként tekinti a textíliát, geometriai nemlineáris végeelem módszert alkalmazott ortotrop és lineárisan rugalmas anyagokra. A redőződést a nemlineáris kis erő hatására bekövetkező nagy alakváltozás problémájaként kezelte, melynek elemzésére végeelem módszert használt és szimulált egy kör alakú mintát, kör alakú alátámasztási felületen. A mechanikai jellemzőket Kawabata mérőkészülékkel határozta meg. Hagyományos Cusick-féle mérési módszert használt a redőződési tényező megállapításához, amelynek értéke 68.4 %, míg a matematikai modell alapján elméletileg számított tényező értéke 71.0 % volt. Vizsgálták a Poisson-tényező megváltoztatásának hatását a redőződési tulajdonságra, és megállapították, hogy a redőződés mértéke szignifikánsan változott más Poisson-tényező esetén.

Postle és Postle [44] egy kereskedelmi célra is alkalmas matematikai modellt fejlesztettek ki a kelme kidomborodására, ráncképződésére és redőződésére. Az alakváltozást hullámok problematikájának tekintették. Vizsgálták a dinamikus redőződést és megállapították, hogy a redők a folyadékban terjedő hullámokhoz hasonlóan alakulnak. A modell figyelembe veszi a kelmén belüli hajlítási merevséget és a fonalak közötti súrlódást, és magában foglalja a nemlineáris differenciálegyenletek analitikus megoldását.

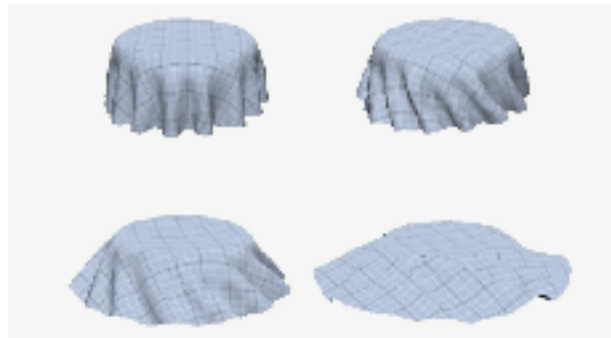
Kang és Yu [45] nemlineáris végeelem módszert fejlesztettek ki a térbeli redőzés szimulációjára, feltételezve, hogy a szövetet rugalmasság és ortotrop anizotropia jellemzi. Figyelembe vették, hogy a redőzés geometriailag nemlineáris jelenség.

Stump és Fraser egyszerűsített modelljükben a kétdimenziós - a redőződés vizsgáló készüléknél használt - lehajló kör alakú minta elvét használták, a minta geometriáját alapul véve [46]. Modelljükben bevezettek egy olyan anyagi jellemzőt, amely a kelmetulajdonságot és a redőződés geometriáját testesíti meg, és egy sor deformálódott körgyűrűn jellemezték az energiaváltozásra válaszként kapott redőződést. Választ adtak arra a tényre is, hogy ugyanaz a kelme nem mindig ugyanakkora számú redőket mutat a redőződés vizsgálatoknál.

A ruházat szimulációja a kelme bonyolult és nagy alakváltozási képessége miatt jelent nagy kihívást a fejlesztők számára. Először is pontos mechanikai modellre van szükség, amely képes arra, hogy figyelembe vegye a nemlineáris viselkedést, és a ruházat bármely pontján bekövetkező nagymértékű deformációt, mint pl. a ráncokat, redőket. Másodsor azt is figyelembe kell venni, hogy a textília szoros kapcsolatban van a viselőjével, és a ruházat többi rétegével (alsónemű, bélés, stb.). Mindezek igen fejlett számítástechnikai módszereket

kívánnak, mert csak így lehet elérni, hogy az érintkezési pontok geometriáját a mechanikai modellbe integrálják (ütközés érzékelése és reakció).

Volino és Magnenat-Thalman [20] szimulációja (2-10. ábra) eredményesen vette figyelembe a súrlódást. Amennyiben az asztalterítő állványát az alátámasztás középpontja körül forgatják, a terítő a súrlódás következtében átveszi a gyorsulási energiát, ha ezt nem vennék figyelembe, a terítő a forgatás ellenére mozdulatlan maradna.



2-10. ábra A textília esésének dinamikai modellezése [20]

A számítógépes fejlesztések kulcskérdése a hatékonyság és a sebesség. A valós-idejű felhasználáshoz speciális közelítő megoldásra, egyszerűsítésre van szükség.

Összefoglalva a ruha szimulációjánál a következő nehézségek jelentkeznek:

- A ruházat mérete, mert akár 1 m hosszú anyagot is mm pontosan kell megjeleníteni.
- A ruházat bonyolult és nagyon változó formája, amely az adott fazontól függően kölcsönhatásban van viselőjének testével és egyéb ruházati rétegekkel (miközben maga a test is változó valóság).
- A textília nagy deformációs képessége, amelynél az igénybevétel nagyon kis változása nagy redőződést és helyváltoztatást eredményez, ami egészen módosíthatja a ruházati modell vizuális megjelenését.
- A textília nagyon bonyolult anizotrop és nemlineáris mechanikai viselkedése, amely miatt szükség van pontos mechanikai mérésekre, anyagmodellekre és komplex numerikus megoldásokra.

Mindezek miatt a szerkezet viselkedésének nagy pontosságú szimulálása eddig még a fejlett számítógépes programokkal is csak korlátozott mértékben sikerült. Nyilvánvaló, hogy a megbízható szimuláláshoz adekvát mechanikai modellek szükségesek. Ezek felépítéséhez szükség van a széleskörű kísérleti és felhasználói tapasztalatokra. A textíliák modellezésénél problémát jelent az a tény is, hogy a textil laptermékek erő hatására bekövetkező alakváltozása a mikro- mezo- és makro-tartományban nagyon különböző lehet. A szerkezet a

mikro- és a mezotartományban inhomogén, csak a makrotartományban van lehetőség homogén megközelítésre.

Tapasztalat szerint a mikromodellezést különféle okok miatt eddig nem sikerült megvalósítani. Nem ismertek a mikrotulajdonságok annak ellenére, hogy sokan sokat foglalkoztak már ezzel a témával. Realisztikus leképezéshez a mikroszerkezet-modell nagyon sok elemet és sok kis részt kell, hogy tartalmazzon. Ez nagyon hosszadalmassá teszi a számításokat és a számítógépes kapacitás jelenlegi szintjén ez nagyon sok időt vehet igénybe. A világban ma még nincs tudomásunk olyan sikerrel kecsegtető próbálkozásokról, amelyekkel a mikroszinttől a mezo- illetve makro-szintig terjedő alakváltozások szimulálhatók.

2.1.2 Számítógépes méretvétel

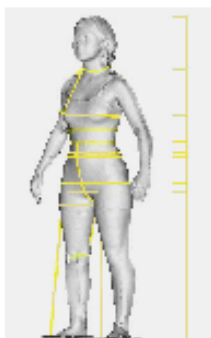
A térbeli ruhatervezés alappillére a megfelelő méretvétel. A méretvétel az öltözék elkészítésének egyik legfontosabb folyamata, ezt hagyományosan mérőszalag segítségével, illetve régebben pergamen csíkokra rögzített szalagokkal végezték (2-11. ábra), ma már azonban lehetőség van arra, hogy automatikus, számítógép vezérelt berendezéssel a teljes testfelület méreteit beolvassák (beszkenneljék).



2-11. ábra Méretvétel pergamen csíkokkal 1769-ből

A méretpontos öltözet elkészítésére vállalkozó szabászatok célpiaca ma meglehetősen szűk, mert az egyedi öltözeteket csak a tehetős, igényes vásárlói réteg képes megfizetni. Az olcsó tömeggyártásnak ugyanakkor az egyik legnagyobb problémája az öltözék alakra illeszkedésével kapcsolatos. Egy fogyasztói felmérés szerint [23] például az amerikai vásárlók 57 %-a elégedetlen a ruhák méretével, mert nem illeszkedik alakjukra, és ennek eredményeként a megvásárolt ruhák 40%-át viszik vissza méretreklamációk miatt. Méretproblémákra vezethető vissza az is, hogy a megkérdezett vásárlók 28 %-a nem vásárol ruhát katalógus alapján, illetve interneten.

Az egyénre szabott konfekcióhoz új, interaktív és automatikus méret-meghatározó megoldást jelent a térbeli formák méretének érintés nélküli megállapítása, parametrizált testmodellen. A méretvételre alkalmas berendezés (testszkennerek) lézer vagy fehér fény segítségével körbefényképezi, vagy letapogatja a test teljes formáját. A mért adatok alapján az emberi alakot digitalizálják, azaz a modellt egy speciális számítógépes program háromdimenziós formában jeleníti meg a képernyőn. A ruházat elkészítéséhez szükséges testméretek meghatározásához egy szoftver automatikusan rögzíti a virtuális test antropometriai mérési pontjait (angolul landmark) (2-12. ábra) és leolvassa a méreteket [22].



2-12. ábra Méret-meghatározás virtuális mérőszalagokkal [22]

Manapság ezek a rendszerek nemcsak 3 dimenziós formából tudnak 2 dimenziós képet, hanem a 2 dimenziós adatokból is képesek 3 dimenziós ábrát kialakítani.

A 3D-s testszkennerek a konfekcióipari méretre gyártásban és a termékfejlesztésben is egyaránt alkalmazható új technológiát jelentenek. Az új szoftverekkel lehetővé vált az automatizált méretvétel. A ma forgalomban lévő legfontosabb térbeli testszkennerek összefoglaló rendszerezését a 2-1. számú táblázat tartalmazza, néhány megoldás bővebb leírása pedig a 7.1. sz. mellékletben olvasható.

2-1. Táblázat A térbeli testszkennerek csoportosítása [22]

Forgalmazó	Human Solution (D)	Telmat (FR)	Wicks and Wilson (UK)	(TC) ² (USA)	Hamamatsu (JP)	Inspeck (Kanada)	Cyberware (USA)
Termék neve	Vitus Smart/Pro	SYMCAD TurboFlash/3D	TriForm BS	3T6,2T4s	BL szkennerek	3D Fully Body Multi Head	WB4,WBX
Méretvételhez alkalmazott fény	lézer	fénycsík vetítése	fénycsík vetítése fehérfénnyel	fénycsík vetítése fehérfénnyel	lézer	fénycsík vetítése	lézer
Méretvétel ideje	20 s-ig	„azonnal”	10 s-ig	8 s-ig	6-11 s	1 s	17 s-ig

A testszkennereknél alkalmazott fényforrás lehet halogén, infravörös vagy lézer. A lézerfényel működő rendszerek a test felületét vízszintesen, szeletenként tapogatják le. A függőlegesen elhelyezett kamerák száma 8-16 is lehet, míg a költségtakarékosabb megoldásnál négy oszlopon 2-2 CCD kamera és egy lézer van. A mai testszkennerek 5-20 másodperc között képesek az emberi testet letapogatni, ugyanakkor a tapasztalatok szerint az ember csak viszonylag rövid ideig (1-2 másodperc) képes mozdulatlanul állni. A 3D-s méretvételre irányuló fejlesztéseknél ezért kulcskérdés az adatbeolvasás sebessége. Az egész alakhoz 1 m x 0,8 m alapterületű és 2,1 m magasságú beolvasási tartomány szükséges. Nem mindegy, hogy a számítógépes méretvételnél a test milyen helyzetben van (álló, ülő helyzet, karját maga mellett kissé kitérve vagy összefonva tartja stb.), mert a testtartás meghatározza a letapogatott felületet, illetve a takart területeket. Ügyelni kell arra is, hogy a modell a torzítások elkerülése érdekében szorosan illeszkedő alsóneműt viseljen és álló helyzet esetén ne inogjon, tehát támaszkodjon meg.

Bár a testszkennelést kapott adatok az objektív méretvételhez és az egyéni testméret adatainak összeállításához megbízhatók, az emberi alakok formájának változatossága miatt az antropometriai mérési pontok elhelyezésekor akadnak még problémák. A méretvétel eredményét befolyásolja a 3D-s szkennelés technikája, a takart felületek aránya, a test pozíciója és mozgása, az iránypontok elhelyezése és a leolvasási pontosság. A fentiek alapján látszik, hogy szükség van a jövőben a testméretek 3D-s meghatározási módjának továbbfejlesztésére.

2.1.3 Ruhaiipari számítógépes vizualizáló és 3D-s szerkesztő programok

Az öltözet szimulációjával hatékonyan ki lehet használni az internet adta lehetőségeket az értékesítésben, pl. közvetlen kapcsolat teremthető a fogyasztóval. A ruházat megjelenítésére alkalmas térbeli prezentációs programok segítségével a vevő el tudja dönteni, hogy a kiválasztott modell stílusban, megjelenésben jól mutat-e az ő alakján. A B2C direktmarketing terjedésével számos cég kínálja interneten egyedi igények szerint alakítható ruházati termékeit és alkalmaz textil szimulációt az öltözet megjelenítésére (7.3 sz. melléklet).

A ruhaiiparban alkalmazott 3D-s technikát két területen alkalmazzák, a virtuális ruhapróba szimulációjában (vizualizáló rendszerek) és a test formáját követő öltözet térbeli tervezésénél (3D-s CAD szerkesztő rendszerek).

2.1.3.1 Számítógépes vizualizáló rendszerek

A vizualizáló rendszereknél a térbeli megjelenítés elsősorban kereskedelmi és marketing célokat szolgál. A szimuláció célja a személy és a ruhadarab valós idejű, megközelítően pontos megjelenítése, amely elsősorban számítógépes grafikai megoldásokra támaszkodik. A vevő megfelelő lekérdezésekkel megszemélyesített próbababán próbálhatja fel a terméket, mielőtt megrendeli. A vizualizáló rendszerek másik fontos előnye, hogy támogatják a tervezői folyamatot azzal, hogy jelentősen lecsökkentik a mintadarabok elkészítésének varrodai költségét, elsősorban az anyag- és bérköltségeket. A geometriai adatok alapján elkészített kétdimenziós alkatrészek virtuálisan összeilleszthetőek és a virtuális manökenre illeszthetőek. A szimulációs szoftverek szignifikánsan lerövidítik azt a folyamatot, amely a ruházat lehető legpontosabb és valós redőződését megközelítő megjelenítéséhez szükséges. Ennél az alkalmazásnál nagyon fontos, hogy a virtuális összeillesztés után a kétdimenziós szabásmintadarabok geometriai adatait mérhetően kapják meg, és hogy a kelme esését az anyag redőződési képességeit figyelembe véve szimulálják. Csak így lehet a modell gyártástechnológiai megvalósításához szükséges kétdimenziós szabásmintáját kiértékelni és szükség esetén változtatásokat fogantatosítani. A változtatások a gyakorlatban ma még elsősorban két dimenzióban történnek, és újabb ellenőrzéseket kívánnak a térbeli modellre próbálva.

A méretre igazítás megfelelőségének értékelésekor sokszor szabad szemmel alig észrevehetőek a méretproblémából eredő ráncok. Amennyiben a testhez szorosan simuló ruházatot számítógépen szimulálják, ott megjeleníthető a ruha és a test közötti távolság, így a ráncok jól láthatóvá válnak (2-13. ábra).



2-13. ábra Méretre igazítás hagyományos módon és a ruházat 3D-s szimulációjával [13]

2.1.3.2 Térbeli ruhatervezés

A számítógéppel támogatott gyártmánytervezés (CAD) széles körben alkalmazott módszer, amelyet a gépgyártásban például már a 70-es évek óta használnak, elsősorban kétdimenziós tervezési folyamatokban. A térbeli tervezést ekkor még csak egyes speciális területeken (pl. karosszériagyártásban) alkalmazták, a kilencvenes évek közepétől azonban ez az új technológia már számos más műszaki területre is betört.

Krzywinski [22] szerint a mérnöki gyakorlatban alkalmazott CAD rendszerek fejlődésében négy irány követhető nyomon:

1. a hagyományos CAD, amelynél a geometriai elemek adatrögzítése és feldolgozása rögzített értékeken történik,
2. a parametrikus CAD, amelynél a geometriai elemek adatrögzítésénél és feldolgozásánál változó értékek figyelembe vehetők,
3. a tulajdonságokra alapuló CAD, amelynél a geometria és a gyártástechnológiai információ együttesen rögzíthető és dolgozható fel,
4. a még csak kísérleti stádiumban lévő, tudásalapú CAD, amely az aktuális konstrukciós helyzet alapján képes következtetések levonására.

A parametrikus modellezésnél először a pontosan bedigitalizált alak alapján jellemző testforma-kategóriákat képeznek, majd a sorozatmérések során néhány adat lemérése után kiválasztják a megfelelő testtípust, és a testtípus paramétereinek változtatásával hozzák létre a mért személy alakját jól leíró térbeli modellt [85].

A térbeli ruhatervezés a második és a harmadik fejlesztési irányhoz kapcsolódik, amelynél már többről van szó, mint a 2 D-s szabásminta elemek alapján a ruházat háromdimenziós ábrázolása és szimulációja. Itt a cél, hogy háromdimenziós formára illesztett modell szabadformájú, térbeli felületeiből 2 dimenziós szabásmintákat hozzanak létre, amelyből a ruházatot végül előállítják. Ez általában nem könnyen kivitelezhető. Miután a ruhafelületek általában nem teríthetők ki síkban, ezért szükség van formázó (szűkítő) varrások alkalmazására. Ennek helyét, méreteit a tervező elképzelése szerint határozhatja meg, vagy azokat a számítógép adja meg, az anyagtulajdonságok (deformáció) figyelembevételével. Itt figyelembe kell venni az anyag fizikai tulajdonságait, leginkább azért, hogy az esetleges feszültségek a legkisebb legyenek, amikor az elemek később ténylegesen legyártásra és varrásra kerülnek. A számítógépes tervezéssel előállított kétdimenziós szabásmintákat ezután virtuálisan három dimenzióban összeillesztik („varrják”) és ellenőrzik, hogy az alakra

illeszkedés megfelelő-e. Ez az új eljárás különösen alkalmas a szokásostól eltérő testalkatokra vagy különleges testformákra készített öltözék készítésénél pl. az illesztések méretpontosságából eredő problémák elkerülésére, de más, nem ruhaipari felhasználáshoz is, pl. autóülések és bútorok kárpitozásához.

A 3D-s CAD rendszerek számos előnyt biztosítanak a 2D-s rendszerekkel szemben, hiszen képesek a termék modelljének komplex leírására és alkalmazásukkal felismerhetőek, illetve elkerülhetőek a funkcionális és gyártástechnológiai problémák. A parametrikus és az anyagtulajdonságokat figyelembe vevő CAD rendszerek intelligens üzemmódot jelentenek, lehetőséget nyújtanak a virtuális gyártmánytervezésre. A térbeli megjelenítés javítja a vállalaton belüli információáramlást, lehetővé teszi az időben párhuzamos tervezési folyamatok összekapcsolását és hozzájárul a kísérleti darabok gyorsabb előállításához.

2.1.3.3 Kereskedelmi 3D-s ruhaipari tervező programok

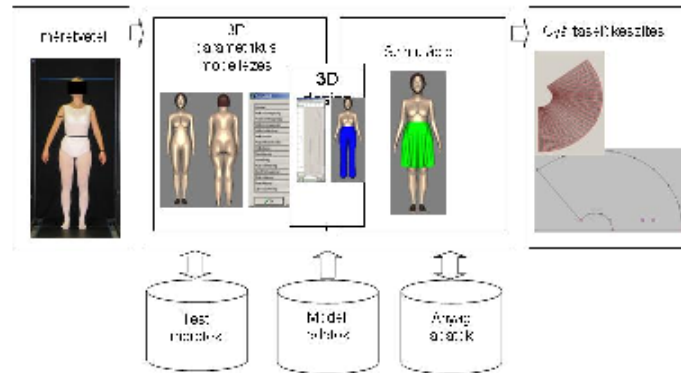
Az egyéni igényekre fókuszáló tömegtermelés gyorsan teret hódított a ruhaiparban. Az internet segítségével megvalósuló ruhapróbához (angolul e-fitting [24]) számos szoftverfejlesztő jelent meg a drapéria virtuális megjelenítését lehetővé tévő számítógépes programokkal (7.4 melléklet). Az öltözet térbeli szimulációját alkalmazó ruhaipari 3D-s tervezőrendszerek közül a legismertebbek az OptiTex™, a Gerber, a PAD, a Browzwear International és a Lectra cég programjai. Ezek rövid ismertetését a 7.5 számú melléklet tartalmazza.

2.1.3.4 Hazai kutatási eredmények és kitekintés

A 3D-s CAD rendszerek elmúlt évekbeli sikeres ruhaipari alkalmazásáról számos kutatási projekteredmény, illetve összefoglaló elemzést tartalmazó mű is beszámol [1][4][22][33][34][35].

Magyarországon a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Polimertechnika Tanszékén és a Mechatronika, Optika és Gépészeti Informatika Tanszékén 1983 óta foglalkoznak ezzel a témával. A témával kapcsolatban az elmúlt évtizedekben született szabadalom, doktori értekezés, és több, ipari és oktatási célú alkalmazás is. A 2D-s “CAT for Windows” rendszer ma már több mint húsz szakirányú oktatási intézményben (BME, BMF Ruhaipari Tanszék, ruhaipari szakközépiskolák) és két ipari vállalkozásnál üzemel.

A 3D-s modellezés lehetőségeit kutatva fejlesztették ki az egyetemen a Sylvie térbeli ruhatervező rendszert. Ebben egy paraméteres testmodell segítségével többféle mérés alapján lehetőség van a test valós méreteinek meghatározására. A ruhadarabok alkatrészeinek alakja és mérete a test geometriai modelljéből származik. A szimulált kelme mechanikai tulajdonságai és textúrája a rendszer adatbázisából előhívható (2-14. ábra).



2-14. ábra A BME-n kifejlesztett Sylvie térbeli tervező rendszer elemei [36, 37, 86]

A térbeli tervezőrendszer fejlesztése során meghatározták a fényképek felbontásából és a képek torzításából eredő hibák nagyságát, valamint feltárták a valós és a mért méretek közötti összefüggéseket. Ennek eredményeként a rendszer a ruhaipari igényeknek megfelelően közelíti a test alakját, és a testmodell kiinduló geometriaként alkalmas testre szabott tervezésére és virtuális ruhapróba lefolytatására [36] [37].

2.2 A textil laptermék esésével és alakra illeszkedésével összefüggő mechanikai tulajdonságok vizsgálati módszerei

A ruházat minőségének alappillérei: az alapanyag jó fogása, a megfelelő illeszkedés és esztétikus megjelenés, valamint az általa biztosított komfortérzet, amelyet kiegészítenek a használati értékkel összefüggő minőségi jellemzők (pl. tartósság) [47]. A mechanikai tulajdonságok mérése megkülönböztethető aszerint, hogy alacsony (a viselés körülményeinél fellépő), vagy magas fizikai igénybevételnél bekövetkező reakciókat vizsgál. Az objektív mérési adatok kulcsszerepet játszanak a tervezésben, a gyártástechnológiai folyamatok alakításában, a minőségmenedzsmentben stb., és közös kommunikációs alapot teremtenek a textil- és ruházati ipar, a kutatás és az értékesítés számára.

Fan és szerzőtársai [16] rendszerbe foglalták a textil mechanikai tulajdonságainak és a ruházat minőségét meghatározó egyes tényezőinek kapcsolatát (2-2. sz. táblázat).

2-2. Táblázat Mechanikai tulajdonságok hatása a felhasználhatóságra [16]

Textil laptermék mechanikai tulajdonsága	Minőség és teljesítmény
Egyirányú és biaxiális húzó rugalmassági modulus	Textília fogása és redőződése, formálhatóság, konfekcionálhatóság
Nyíró rugalmassági modulus	Formálhatóság, konfekcionálhatóság, ruházat megjelenése, varrat-ráncosodás
Hajlító rugalmassági modulus	Mechanikai stabilitás, formatartás
Keresztirányú összenyomhatóság	Relaxáció, zsugorodás, méretstabilitás, duzzadás nedvesség hatására
Hosszirányú összenyomhatóság és kidomborodás	Gyűrődésfeloldás, ránc kisimulás,
Felületi érdesség és súrlódás	Dörzsállóság, pillingesedés, mechanikai és fiziológiai komfort

Vizsgálataim során azokat az anyagtulajdonságokat elemzem, amelyek kihatnak a textíliák számítógépes szimulációjánál a valósághű megjelenítésre. Ezek azok a redőződéssel és fogással kapcsolatos, alacsony fizikai igénybevétel mellett szerepet játszó mechanikai tulajdonságok, amelyek meghatározzák a ruházat külső esztétikai megítélését és a viselés során az alakra (méretre) illeszkedését.

2.2.1 A fogással kapcsolatos mechanikai tulajdonságok komplex vizsgálata

A vásárló ruházatról nyert összbenyomása vizuális élményekből és a tapintás során szerzett tapasztalati érzetből áll össze. Pozitív vizuális élményt jelent a megfelelő design, méret, fazon, szín, stb., amelyet befolyásolnak a viselés során tapasztalt kényelem és a ruházat fiziológiai tulajdonságai. A vásárlásnál fontos, döntést befolyásoló kritérium a textília fogása. Ez egy olyan komplex kritérium, amelynél többek között szerepet játszik pl. a textília hajlékonysága, összenyomhatósága, nyújthatósága és a felületi súrlódás. Ezek azok a tulajdonságok, amelyek a redőződési képességet is befolyásolják. A konfekcionálást és a ruházat viselésének minőségét befolyásoló legtöbb paraméter objektíven mérhető, így például a textília mechanikai tulajdonságai, viselkedése különböző igénybevételek hatására, a komfortérzettel összefüggő tulajdonságai (lég-, nedvesség- vagy hő-áteresztés), a színtartóság, a méretváltozás, a varratmenti csúszás, alakra illeszkedés tökéletessége, stb.

A fogás ugyanakkor többnyire szubjektív megítélés alá esik, pedig e tulajdonság számszerűsítésére szükség lehet akár a textília valósághű megjelenítéséhez a képernyőn, vagy akár különböző gyártástechnológiák összehasonlításához pl.: fogásjavító kikészítés hatásosságának megítélésénél. A számítógépes szimuláció vizuális élményt kelt, amelynek során a tapintás, mint egyébként preferált szubjektív tapasztalás kizárt. Érdekes kérdés tehát

az, hogy vajon hogyan lehet a valósághű szimulációhoz tapintással szerzett pszichofizikai információk összességét figyelembe venni.

A tapintásérzettel keltett reakció alapján a szubjektív ítéletalkotás szerint a szövet lehet pl. puha, lágy, sima, vagy merev. Az értékelés vizsgáló személyenként igen nagy eltérést mutathat, sőt az eredmény esetenként félreérthető is lehet. Ennek oka egyfelől az, hogy az értékelés természetszerűleg függ az értékelést végző személy tanult, azaz tapasztalati élményeitől és gyakorlottságától, másrésztől azonban az, hogy igen nehéz az érzet pontos leírása és egyértelmű meghatározása, hiszen a megfogalmazás, a fogalomtársítás számos pszichológiai, társadalmi és szociológiai tényező függvénye.

Gondosan előkészített kísérlettervezésnél az eredmények viszonylag kevésbé függenek a vizsgálószemély tapasztaltságától, kulturális, nyelvi és egyéb adottságaitól. Optimális vizsgálati körülmények között a vizsgálatot végző különböző személyek képesek majdnem teljesen megegyező és reprodukálható jellemzést is adni (7.6 melléklet).

Az utóbbi évtizedekben több próbálkozás is volt olyan mérési módszer kifejlesztésére, amely alkalmas a textília fogással kapcsolatos minőségének széleskörű, objektív kiértékelésére. A leginkább elterjedt módszerek elsősorban szövetekhez alkalmazhatóak, ilyen a 70-es években megjelent Kawabata-féle kiértékelő rendszer (KES-FB) és az ausztrál tudományos és ipari kutató intézet (CSIRO) gyapjú-részlegének fejlesztése, az egyszerűsített FAST módszer [16] [22] [48] [49] [50]. A dolgozat terjedelme miatt a továbbiakban csak a vizsgálatoknál használt KES-FB vizsgálóberendezést ismertetem (ld. 3.1.1 fejezet).

2.2.2 A kelme esését befolyásoló merevség vizsgálati módszerei

A kelme esése szorosan összefüggő fogalom az anyag merevségével, a merevség pedig a hajlítással és a nyírással szembeni ellenálló képességgel. A szilárd testekhez képest a textil laptermékek hajlítási merevségét nem egyszerű megmérni, mert az nagyon kicsi.

A legegyszerűbb vizsgálati eljárásánál a konzolos lehajlásmérési módszert alkalmazzák (amely a textil szakirodalomban Cantilever-módszerként ismert). Ennél az egyoldalon befogott próbadarab lehajlása során ható hajlító nyomatékból indulnak ki, és a mérőeszköztől függően a hajlított hosszt vagy a hajlító erőt mérik [50]. A hajlító merevség a fajlagos erő F_L és a próbadarab hossza l alapján a következőként számítható:

$$D = F_L \left(\frac{l}{2} \right)^3 \quad 2.1$$

és

$$F_L = g \frac{m}{l} \quad 2.2$$

Ahol

D	hajlító merevség [Nm ²]
l	a próbadarab hossza [m]
F _L	fajlagos erő [N/m]
m	a minta tömege [g]
g	gravitációs gyorsulás [m/s ²]

Elemiszálaknál a hajlítási szöget mérik, amely meghatározható az elemiszál hajlítási hosszának mért vetületéből (l_p) és a lehajlásból (f_B) a geometriai összefüggések alapján:

$$\operatorname{tg} \alpha_B = \frac{f_B}{l_p} \quad 2.3$$

Laptermékeknel pontos számításokra a fentiek szerint csak nagyon kis lehajlás esetén, azaz merev textíliáknál vagy kis hajlítási hossz esetén esetében van mód. Reumann [50] hivatkozik Peirce vizsgálataira, aki ezért bevezette a „lehajlási távolság” (l_B) fogalmát, amely a próbadarab hossza (l) alapján következőképpen számítható:

$$l_B = l \cdot \left(\frac{\cos 0,5 \cdot \alpha_B}{8 \cdot \operatorname{tg} \alpha_B} \right) \quad 2.4$$

Az $\alpha_B=41,5^\circ$ feltételnel a következő összefüggés érvényes:

$$l_B = \frac{l}{2} \quad 2.5$$

A DIN 53362 szabvány szerint ennél a hajlítási szögnél mérik a lehajló próbadarab hosszát lánc és vetülékirányban, illetve szín és fonákoldali mintákon.

A lehajlás méréséhez vizsgálataimnál alkalmazott Flexometer vizsgálóberendezés a lehajlás szögét méri (7.10 melléklet). Ez a vizsgálat azonban túl hajlékony kelme esetében nem ad megfelelő eredményt. Ez esetben olyan módszer alkalmazható, amelynél a szív vagy körte alakban befogott, felfüggesztett minta saját tömege hatására bekövetkező alakváltozását (a lelógás hosszának változását) mérik [54]. A Hohensteini Kutatóintézet [55] által kidolgozott új eljárásnál a keskeny kelme csík hajlítási merevségének érzékelése lézersugárral történik, a mért adat a műszer kijelzőjén közvetlenül leolvasható.

Az anyag merevsége és a hajító modulus közötti arányossági tényező keresztmetszet másodrendű nyomatéka, aminek meghatározása textíliáknál nem könnyű. House és Breen

[17] a hajlító merevség számításánál a kelme hosszúsága (l) mellett a vastagságot (h) is figyelembe veszi, szerintük annak kismértékű megváltoztatása kihatással van a hajlító merevségre (2.13. képlet). A vastagság függ a fonalak lineáris sűrűségétől, a fonalak egységnyi területre eső számától és a szövetszerkezettől. Szerintük a vastagabb szövetszerkezet többnyire nagyobb területi sűrűséget jelent.

$$D = \frac{l^3 \cdot h}{12} E_h \quad 2.6$$

ahol:

D: hajlító merevség [Nm²]

E_h : a hajlító rugalmassági modulus [Pa]

l : kelme hosszúsága [m]

h : kelme vastagsága [m]

Reumann [50] szerint az igen nyitott szövetszerkezetnél a hajlító merevség felírható a fonalsűrűségnek és a fonal lineáris sűrűségének (T_t) szorzataként:

$$B = N \cdot T_t \cdot l^3 \quad 2.7$$

Ahol

B fajlagos hajlító merevség [Nm]

N egységnyi hosszúságra eső hajlításnak kitett fonalak száma [db/m]

l a próbadarab hossza [m]

és ahol T_t a lineáris sűrűség, amely a fonal hosszegységre eső tömegét jelenti:

$$T_t = \frac{m}{l} \cdot 10^3 \quad 2.8$$

m a fonal tömege [g]

l a fonal hossza [m]

A hajlító merevség eddig bemutatott kétdimenziós vizsgálati módszerei nem teszik lehetővé a próbadarabnak olyan, több irányban fellépő deformálódását, mint amilyen a térbeli redőződés során következik be. Így ez a fajta vizsgálat nem jellemzi kellőképpen a textil laptermékek kis erők hatására bekövetkező nagymértékű alakváltozását. A továbbiakban a redőződő képesség vizsgálati lehetőségével foglalkozom.

2.2.3 A kelme redőződő képességének vizsgálati módszerei

A kelme esését jellemző redőződés a lehajláshoz képest egy 3 dimenzióban megvalósuló komplex deformáció. Cusick szerint [71] a redőződés az a deformáció, amely elsősorban a

gravitáció hatására jön létre, miközben a textíliának csak egy része rögzített. A rögzítetlen rész szabadon mozoghat, ennek hatására vesz fel valamilyen deformált alakot, így különböző redőket vet (pl. a lelógó asztalterítő, vagy az összehúzott függöny redői, vagy éppen a harang alakú szoknya szinusz hullámokhoz hasonló íve). Éppen ez az anizotrop, már kis erőnél megmutatkozó nagy deformálódó képesség az, ami megkülönbözteti a textilt a többi szerkezeti anyagtól, és a textilek redőződésének szimulációját összetett problémává teszi.

Akkor mondjuk, hogy egy textíliának jó az esése, szépen redőződik, ha a lelógó anyag képes saját tömege által szabályos hullámokba vagy ráncokba rendeződni, és alakváltozása a külső szemlélő számára esztétikai élményt nyújt. A jelenség értékelése a gyakorlatban szubjektív módon történik, vizuális kiértékeléssel, amelynél a minősítést számos tényező befolyásolja, mint pl. a divat, a személyes preferenciák, a percepció (azaz az érzékelés és észlelés) stb.

A redőződési képesség függ a kelme mechanikai és szerkezeti jellemzőinek, a szubjektíven és objektíven értékelhető tulajdonságoknak a komplex kombinációjától. Ugyanakkor a vizsgálatnál figyelembe kell venni a mozgás során kialakuló ütközések, felületi súrlódások befolyásoló szerepét is (széltől fellibbenő szoknya).

A textíliák esésének szubjektív megítélése a konfekcióipari feldolgozhatóságuk szempontjából nem kielégítő, ezért évtizedek óta foglalkoznak az ezt meghatározó mechanikai tulajdonságok objektív mérési módszereinek kidolgozásával.

A redőződés vizsgálatánál az alábbi két igénybevételi mód különböztethető meg:

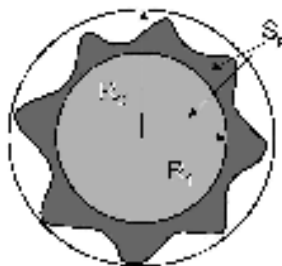
- a textil laptermék szabad deformálódása saját tömege hatására, amely a textília esésében, és (többé-kevésbé) a redők kialakulásában nyilvánul meg, és amelyet az esési tényezővel, valamint további geometriai jellemzőkkel lehet leírni,
- a textil laptermék külső kényszer hatására bekövetkező alakváltozása annak érdekében, hogy az ráncmentesen, vagy minél kevesebb gyűrődéssel legyen képes háromdimenziós formát felvenni.

Az angol nyelvű szakirodalomban a redőződés alatt általánosan elfogadottan az első igénybevételt értik (*drape ability*). Érdekes, hogy a német szakirodalomban [50] a kétfajta igénybevétel szerint megkülönböztetik a jelenséget, az elsöre a *Fallvermögen* azaz az „esés” fogalmat, míg a másodikkra a *Drapierbarkeit*, azaz a „redőződési képesség” kifejezést használják. Ennek a külső kényszer hatására bekövetkező alakváltozásnak a magyar nyelvben nincs megfelelője, leginkább csak körülírható, mint pl. (térbeli vagy domború) formára húzás

illetve gömbformára illesztés. A redőződés és az esés kifejezést a magyar szaknyelvben a saját tömeg hatására bekövetkező szabad deformációra használjuk.

A redőződés megítélhető szubjektív módon pl. az állványra vagy próbababára terített kelme redőződésénél a hullámok méreteinek megítélésével. Az objektív mérésre dolgozták ki a valóságban bekövetkező alakváltozást modellező, és az esés megítélésére gyakorlatban is jól alkalmazható mérési módot az esés-vizsgáló készülék (angol elnevezéssel „drapemeter”) kifejlesztésével, amely ma is a legelterjedtebb műszer a redőződés mérésére.

A készüléken egy sík, kör alakú felületre illesztett minta redőződését vizsgálják, ahol a kör alakú mintadarab mérete nagyobb, mint az alátámasztási felület. A redőződési képességet a Hamburger- vagy Cusick-féle esési tényezővel fejezik ki, amely a lehajlott kelmegyűrű vízszintes síkvetületének és az abszolút merev körgyűrű területének aránya (2-15. ábra). A mértékegység nélküli, vagy százalékban kifejezett esési tényező ma is az elsődlegesen használt ismérv a textil laptermékek térbeli alakformálhatóságának megítélésére.



2-15. ábra Redőződő textília vetületi képe

A redőzött kelme vetületi képéből az alábbi összefüggés alapján határozható meg az esési tényező (DC%):

$$DC = \frac{S_p - \pi R_1^2}{\pi R_2^2 - \pi R_1^2} * 100 \text{ (%)}$$

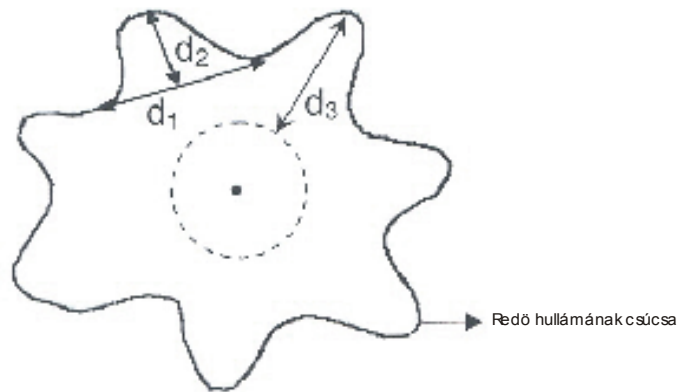
2.9

Ahol

- DC: esési tényező (drape coefficient) [%]
- S_p : redőzött mintadarab területe, beleértve a mintatartón lévő részt is [mm^2]
- R_1 : mintatartó lemez sugara [mm]
- R_2 : nem deformált mintadarab sugara [mm]

A legtöbb kutatás elsődleges kelmejellemzőként veszi figyelembe az esési tényezőt (DC %), annak ellenére, hogy a redőződés nem minden esetben jellemezhető csak és kizárólag ezzel az adattal.

d1, d2, d3 - redő méretei



2-16. ábra A redőződés geometriáját jellemző tényezők[60]

A redőződés jellemzésére használható további adatok a redők száma, az amplitúdó (d_2 és d_3), és két redő közötti távolság (d_1) (2-16. ábra). Ezen kívül megadhatóak az extrém völgy- és csúcsméretek, azaz a minimális (l_{Gmin}) és a maximális redőmélység (l_{Gmax}), a redők eloszlása, illetve egy szövet esetében azok helyzete a vetülék és láncirányhoz képest (2-17. ábra).

A redők eloszlása Jevšnik és Geršak szerint [87] a következő összefüggés alapján számítható:

$$G_p = \frac{\sum [l_{Gmax}(i) - \bar{l}_{Gmax}]^2}{\bar{l}_{Gmax}^2} \quad 2.10$$

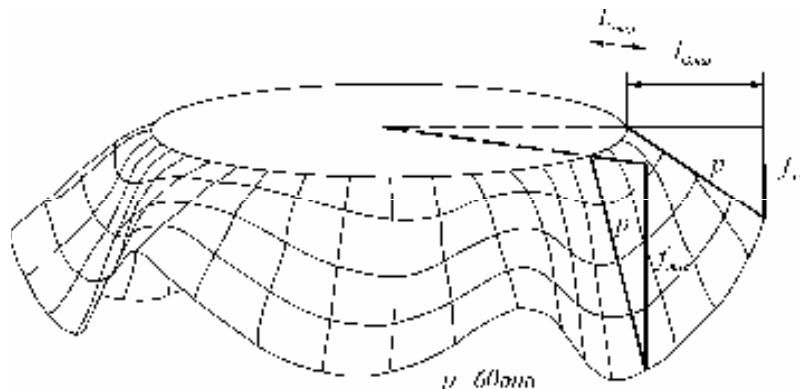
és

$$\bar{l}_{Gmax} = \frac{\sum l_{Gmax}(i)}{n} \quad 2.11$$

$$\bar{l}_{Gmin} = \frac{\sum l_{Gmin}(i)}{n} \quad 2.12$$

ahol

- G_p a redők eloszlása
- \bar{l}_{Gmax} a redők maximális mélységének átlaga [mm]
- \bar{l}_{Gmin} a redők minimális mélységének átlaga [mm]
- l_{Gmax} redők mélységének maximuma [mm]
- l_{Gmin} redők mélységének minimuma [mm]
- n: redők száma

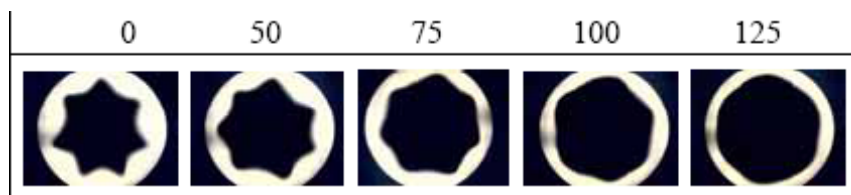


2-17. ábra A redőket jellemző adatok

A statikus redőződés mérésére az elmúlt években számítógéppel támogatott digitális készüléket fejlesztettek ki, ennek alkalmazásáról számol be Collier [61]. Képelemzést használtak a statikus és a dinamikus esési tényező kiértékelésére Matsudaira [62], Vangheluwe és Kiekens, valamint Stylios és társai is [16].

2.2.3.1 A dinamikus redőződés vizsgálati módszere

A ruházat esztétikai megítélésére viselés közben nem elegendő a statikus redőződés vizsgálat eredménye, hiszen mozgás hatására jelentősen változhat a kelme redőződése és alakra illeszkedése. A forgatással mért dinamikus redőződést vizsgálta Shyr, Cheng és Wang [63]. A forgatás sebességét 50-125 fordulat/perc között változtatva, az eredetileg 33%-os esési tényező 49%, 69% és 83%-ra nőtt és a redők egyre inkább eltűntek (2-18. ábra). Azt találták, hogy alacsonyabb sebességnél a dinamikus esési tényezőt a KES-FB adatokból elsősorban a hajlítási merevség, a nyírás és a felületi tulajdonságok (súrlódás), míg magasabb sebességnél csak a hajlítás és a felületi tulajdonságok befolyásolják.

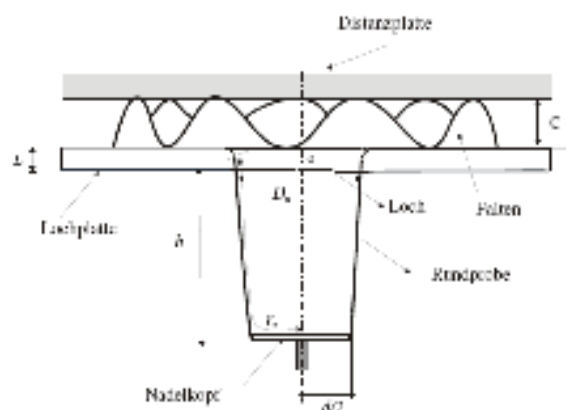


2-18. ábra A redőződés változása a forgatási sebesség növelésének hatására [63]

2.2.3.2 Más mérési elv a redőződés vizsgálatára

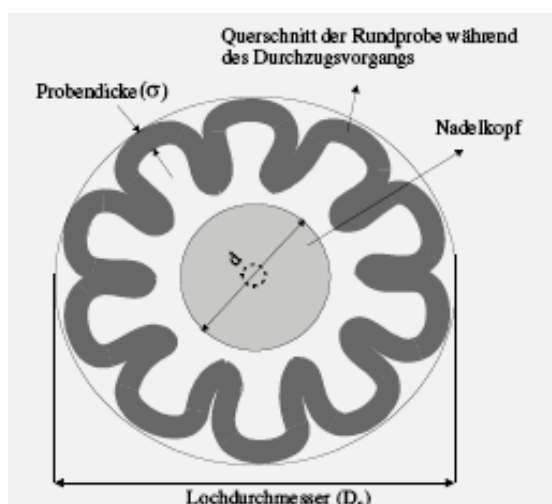
Az eddig bemutatott mérésnél a redőzött kelme vetületi képéből számíthatóak a redőződésre jellemző esési tényező és a redőződés geometriai jellemzői. Más elv az alapja annak az egyszerű módszernek, amelynél azt az erőt mérik, ami ahhoz szükséges, hogy egy kör alakú mintát állandó sebességgel (meghatározott fékezés mellett) áthúzzanak egy meghatározott méretű, kör alakú nyíláson (2-19. ábra). Ez az elv nem új, hiszen a selyemszövet lágyságának megállapítására már a középkorban is hasonló módon egy gyűrűt használtak.

Hasani [65] továbbfejlesztett gyűrűs módszert alkalmaz vizsgálataihhoz, hogy a gyűrűn való áthúzás alatt ne lépjen fel ellenőrizhetetlen ránc illetve redőképződés, mert ezek a mérési eredmények nagyfokú szórását eredményezik.



2-19. ábra: Textilia redőződésének mérése PDP módszerrel (Distanzplatte: távtartó lemez, Lochplatte: furatos lemez, Loch: furat, Falten: redők, Rundprobe: kör alakú minta, Nadelkopf: tű feje) [65]

Ennél az áthúzásos (az angol szakirodalomban PDP-ként ismert) módszernél a kör alakú mintát először egy furattal ellátott lemezre helyezik, amely meghatározott távolságra van a gyűrűtől. A felső lemez távolságának változtatásával lehet a redők képződését változtatni. A véletlenszerű redőződéshez képest így egy ellenőrzött hullámosodás következik be az áthúzás során (2-20. ábra). A mérésnél rögzítik az áthúzási út során felvett erőértékek diagramját.



2-20. ábra Kör alakú minta elméleti redőződése a gyűrűben az áthúzáskor (Probandicke: minta vastagsága, Lochdurchmesser: furat átmérője, Querschnitt der Rundprobe... : A kör alakú minta keresztmetszete az áthúzás folyamán) [65]

A kelme gyűrűn áthúzása egy szakítógépre szerelt egyszerű kiegészítő berendezéssel is végezhető (pl. ITV-Griff-Tester)[66]. Az áthúzás alatt a gyűrődések képződése és a redők következtében kialakuló megvastagodások befolyásolják az áthúzási erőt. Ezt az erőt nevezik a kelmére vonatkoztatott „redőződési ellenállásnak”, amely a textília esését és fogását jellemzi. Ennek mértéke függ a kelme hajlékonyságától, összenyomhatóságától, redőződő képességétől és felületi tulajdonságaitól stb.

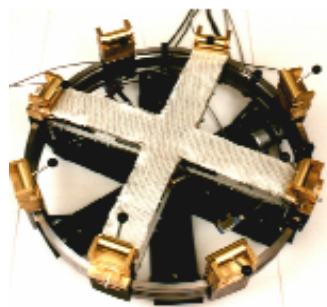
2.2.3.3 Külső kényszer hatására bekövetkező térbeli illeszkedés vizsgálata

A műszaki textíliák konfekcionálásánál a hagyományos szövött vagy kötött szerkezetektől eltérő textil laptermékek is előfordulnak. A szálerősítésű kompozitokban nagy szerepet kapnak a multiaxiális szerkezetek. Ezek térbeli alakíthatóságának megítélésére hasonló vizsgálatok szükségesek, mint a textília optimális térbeli alakra illesztésénél.

Hörsting [67] szerint a redőződés a textilanyagok gömbformára illeszkedésével kapcsolatos, amelynél az illeszkedés ráncmentes. A gyűrődés és ráncok nélküli alakra illeszthetőség feltétele, hogy az anyag olyan alakváltozásra legyen képes, amely biztosítja a térbeli formára illeszkedést úgy, hogy nemkívánatos redő (háromdimenziós alakváltozás) ne jöjjön létre.

A gömbformára illeszkedésnek, a térbeli alakíthatóságnak nagy szerepe van a formára húzásnál (formázott kalapok, kárpitos bútorok, kárpitozott autóülések készítésénél). A textíliák 2D-s alakíthatósága optimalizálható a szálanyagtól, fonaltól függő nyúlás, a fonalelcsúszás és a laptermék nyíróerő hatására bekövetkező alakváltozás alapján.

Hörsting és Wulfhorst [68] a térbeli illeszkedésre a kritikus nyírőszöget adja meg, amelyet redőzhetőségi szöggként definiál. Ez az a szög, amelynél a fonalak annyira tömörödnek, hogy még nem alakul ki térbeli redő. A maximális fonalsűrűség mellett szerintük a kritikus redőzhetőségi szög $\alpha_{\text{krit}} < 90^\circ$. Az RWTH Aachen egyetemen kifejlesztett ITADRAPE 3 elnevezésű műszer (2-21. ábra) jól alkalmazható a nyírási ellenállás vizsgálatához. A 4 befogópofa helyzete a fonaliránynak megfelelően változtatható, így az előírt előterhelés biztosítható.

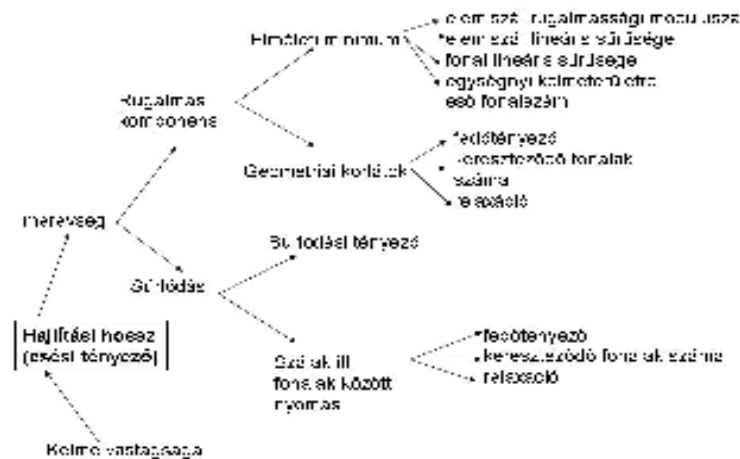


2-21. ábra: Nyírószilárdság vizsgálata Hörsting szerint [68]

A műszerrel készített szimulációk során ortotrop és hiperelasztikus anyagmodelleket állítottak fel az anizotrop tulajdonságok, a rétegek közötti súrlódás, és a többrétegű kötött szerkezet jellemzőinek figyelembevételével.

2.2.4 A redőződést befolyásoló paraméterek hatásának becslése empirikus módszerekkel

A textíliák redőződése az irodalomban talált kutatások szerint [70] szoros kapcsolatban áll a kelme mechanikai tulajdonságaival (2-22. ábra).



2-22. ábra Az esést befolyásoló tényezők [70]

Számos kutatás alkalmaz regressziós elemzést, amelyben a KES-FB rendszer mérési eredményeire alapozva próbálják megtalálni a függvénykapcsolatot az esési tényező elméleti regressziós paramétereinek becslésére, hogy azután ezeket figyelembe vegyék a számítógépes szimulációnál. A kis erőhatásokra változó mechanikai tulajdonságok (x_n) mért adatai alapján (ld. 3-2. táblázat) az esési tényező várható értéke:

$$DC = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad 2.13$$

Cusick [71] szerint az esési koefficiens meghatározó tényezők a hajlási és nyíró modulus. Az általa levezetett regressziós egyenletben csak a Shirley készüléken mért lehajlási hossz (C) és a nyíró szög (Φ) szerepel, mint független változó:

$$DC = 35,6C - 3,6C^2 - 2,59\Phi + 17,0 \quad 2.14$$

Ahol

DC	esési tényező [%]
C	lehajlás hossza [mm]
Φ	nyíró szög °, ha a nyírási ellenállás: 2 N/m

$$C = \frac{1}{4}(C_1 + C_2 + 2C_b) \quad 2.15$$

Ahol

C_1	Shirley készüléken mért lehajlási hossz láncfonal irányban [mm]
C_2	Shirley készüléken mért lehajlási hossz vetülék irányban [mm]
C_b	Shirley készüléken mért lehajlási hossz átlós irányban [mm]

Mooroka és Niwa [72] is figyelembe vette regressziós elemzésében a hajlítási merevségnél a szövet anizotrópiáját. Az esési koefficiens szerintük a KES-FB mérési adatokból leginkább a hajlító merevség, B és a területi sűrűség, W határozza meg. Szerintük a mért és a regresszióval számított esési tényező értékek között jó közelítés érhető el ($R=0,829$) a következő összefüggéssel:

$$DC = 5,1 + 115,03\sqrt{\frac{B_{90}}{W}} + 131,13\sqrt{\frac{B_0}{W}} + 1,23\sqrt{\frac{B_{45}}{W}} \quad 2.16$$

Ahol

W a textília területi sűrűsége [g/m^2]
 B_{90} fajlagos hajlító merevség lánc irányban [Nm]
 B_0 fajlagos hajlító merevség vetülék irányban [Nm]
 B_{45} fajlagos hajlító merevség átlós irányban [Nm]

Bevezetve a három különböző irányban mért hajlítási merevség helyett az azok átlagából számított B/W tényezőt, az összefüggés a következően alakul:

$$DC = 11,3 + 213,53\sqrt{\frac{B}{W}} \quad 2.17$$

Militky és társai [73] a mechanikai paramétereket figyelembe vevő, mértékegység nélküli tényezők logaritmusát használták a lineáris regresszió során, amelynél a kapott korrelációs együttható $R=0,79$ volt:

$$DC = -0,562 + 0,269 \cdot \log(DB) + 0,0813 \log(DS) \quad 2.18$$

ahol

$$DB = \frac{B_H}{g \cdot W \cdot L \cdot b} \quad 2.19$$

$$DS = \frac{S_N}{g \cdot W \cdot L \cdot b} \quad 2.20$$

Ahol

B_H hajlító erő [N]
 S_N nyíró erő [N]
 g gravitációs gyorsulás, $9,81$ [m/s^2]
 W kelme területi sűrűsége [g/m^2]
 L kelme hossza [m]
 b kelme szélessége [m]

Mások úgy találták, hogy az esési tényezőt nem annyira a minta tömege, mint inkább annak hajlítási merevsége, nyírási modulusa és erő/nyúlás értékei befolyásolják [16]. Niwa [47] a hajlítási és nyíró hiszterézist is figyelembe vette az esési tényezőre felállított egyenletében:

$$DC = b_0 + b_1 \sqrt[3]{\frac{B}{W}} + b_2 \sqrt[3]{\frac{2HB}{W}} + b_3 \sqrt[3]{\frac{G}{W}} + b_4 \sqrt{\frac{2HG5}{W}} \quad (\%) \quad 2.21$$

Ahol

b-b ₄	konstans értékek	
B	fajl. hajlítási merevség	[Nm]
2HB	hajlítási hiszterézis magasság	[N/m]
W	kelme területi sűrűsége	[g/m ²]
G	fajlagos nyírómerevség	[N/m [°]]
2HG5	nyíró hiszterézis ± 5 ° nyírási alakváltozásnál	[N/m]

Matsudaira és Yang [62] szerint az esési tényező (DC) és a redők száma (n) a következő összefüggésekből számítható:

$$DC = \frac{4a^2 + 2b^2 + 2a_m^2 + b_m^2 - 4R_0^2}{12R_0^2} \quad 2.22$$

$$n = 12,797 - 269,9 \sqrt[3]{\frac{B}{W}} + 38060 \frac{B}{W} - 2,67 \frac{G}{W} + 13,03 \sqrt{\frac{2HG}{W}} \quad 2.23$$

Ahol

R ₀	Drapemeter készülék alátámasztó tárcsájának sugara [mm]
a és b	konstans értékek (előbbi a vetületi kép méretét, utóbbi a redők amplitúdóját mutatja) [mm]

$$a = 35,981 + 1519 \sqrt[3]{\frac{B}{W}} - 204300 \frac{B}{W} + 23,27 \sqrt[3]{\frac{G}{W}} + 0,0178G \quad 2.24$$

$$b = 29,834 - 1,945n - 0,0188G - 91,84 \frac{2HG}{W} \quad 2.25$$

$$a_m = 9063 \left(\frac{B_1 - B_2}{W} \right)^{2/3} \quad b_m = 6224 \left(\frac{B_1 - B_2}{W} \right)^{2/3} \quad 2.26$$

Ahol

B₁ és B₂ a lánc illetve vetülék irányban mért fajlagos hajlítási merevség,
G,W,2HG értékek is KES-FB rendszerrel meghatározott paraméterek (3-2. táblázat)

Gider szerint [84] a KES-FB készülékeken bevizsgált 185 minta eredményei alapján a 16 paraméterből az alábbi kilenc az, amelyek befolyásolják a redőződést:

$$DC = 69,17 + 25,51(2HB) - 35,69MIU + 3,5G + 0,00049RT + 21,13WC - 0,492RC - 13,04T_0 + 0,303EMC + 0,51W \quad 2.27$$

Az egyenletekben feltüntetett 2HB, MIU, G, WC, RC, EMC a KES-FB mérőrendszer paraméterei, amelyeket a 3-2. táblázatban foglaltam össze.

2.2.5 A redőződés és fogás vizsgálatainak tapasztalatai

A Kawabata-féle KES mérőrendszer kötött kelmékre csak korlátozottan használható. Bár a módszerrel a fogást befolyásoló tényezők nagyon precíz meghatározására van mód, a készülékek rendkívül drágák, a módszer nagyon időigényes, és az eredmények interpretációjának bonyolultsága miatt széles körű alkalmazásuk a ruháiparban csak korlátozott. A textíliák térbeli szimulációjához kapcsolódó mechanikai modellekre irányuló kutatásokban azonban elterjedten használják az így meghatározott mechanikai tulajdonságokat a regressziós elemzésekkel megállapított legfontosabb redőződést befolyásoló tényezők és a szimulációban alkalmazott rácsmodell input adatai közötti kapcsolat elemzésére és továbbfejlesztésére.

Hasani [65] kötött kelmék vizsgálatai során megállapította, hogy a redőződő képességet a gyűrűn áthúzásos módszerrel (PDP) érdemes vizsgálni, mert az képes objektív mérési eredményekkel igazolni a fogásban és a redőződésben mutatkozó olyan különbségeket, amelyeknek oka az eltérő szál-, fonal- és kötésszerkezetre, illetve kikészítésre vezethető vissza.

A redőződés vizsgálatánál a mérési eredményeket több tényező is befolyásolja, ilyen a minta felhelyezése és leengedése a mérés során, valamint a minta és az alátámasztó felület mérete. A JIS L-1096 J 999 szabvány szerint a mintát a mintatartóra helyezve 10 s-ig 120 fordulat/perc sebességgel forgatják annak érdekében, hogy a felhelyezéskor bekövetkező mozgás ne befolyásolja a mérési eredményt. A forgás leállítás után a lehajló minta természetes módon lóg le a gravitációs erő hatására. A forgatásából ugyanakkor több probléma adódik, mert a redőződésre ható forgási tehetetlenség miatt a hullámok instabil, komplex folyamatok eredményeként alakulnak ki. A JIS 1018 szabvány szerint a minta felhelyezésénél a mintát a lemezzel együtt háromszor fölemelik és leengedik. A minta emelgetéséből (rázás) vagy forgatásából adódó problémák kiküszöbölésére fejlesztett ki Mizutani [64] egy olyan szerkezetet, amely egy „kelmesüllyesztő” elemet tartalmaz. A redők a süllyesztéssel fokozatosan alakulnak ki, így kevés zavar hat a redők kialakulására. A mérés információt ad a hullámok kialakulásának folyamatáról is. Megállapították, hogy a redők kialakulásának folyamata három szakaszból áll: a hullámcsúcsok megjelenése a korai szakaszban, a redők növekedése, majd a redők stabilizálódása a végső szakaszban. Az esési tényező méréséhez az új módszer reprodukálhatósága nagyobb, mint a hagyományos mérésnél. Az esési tényező mellett bevezetett új paraméter, a hullámkeletkezési faktor alkalmas a redőződési tulajdonságok részletesebb tanulmányozására. Bár a műszeren mért

esési tényező értékek nagyobbak, a szórás kisebb, a relatív hiba tehát fele akkora, mint a hagyományos módszernél.

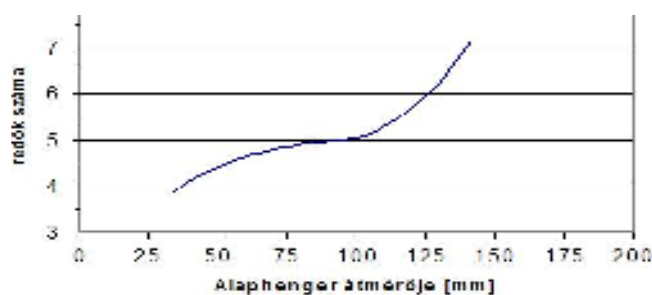
A reprodukálható mérés érdekében Kuzmina, Tamás és Halász [36] is kelmesüllyesztő rendszert alkalmaz a textíliák szimulációjához és a térbeli ruhatervezéshez kifejlesztett Sylvie 3D Drape Tester készülékükön, amely a testszkennerek elvén működik [86].

Morooka és Niwa [72] beszámolnak arról, hogy a redőződést befolyásolja a minta felhelyezésének módja és a deformáció kialakulásának sebessége. Három mintafelhelyezési módszert hasonlítottak össze, az egyiknél a JIS 1018 szabvány szerint a mintát a mintatartó lemezzel együtt háromszor megrázták. A másodikkánál a mintát az alátámasztó lemezre helyezték és az alakját kézzel úgy módosították, hogy a redőződő mintán négy redő alakuljon ki. A harmadik módszernél a mintát úgy helyezték fel, hogy az a leengedést követően kéz érintése nélkül redőződjön. A legjobb reprodukálhatóságot ez utóbbi módszerrel kapták. Azt is megállapították, hogy azoknál a szöveteknél, amelyeknél a nyírási és hajlítási hiszterézis nagy, az esési koeficiens stabilitása és reprodukálhatósága kicsi.

Kenkare és társai [60] a mérés megismételhetőségének vizsgálatához 14 textília redőződését mérték meg, és mindegyiknél 12 ismételt vizsgálatot végeztek. Az esési tényezőnél és a redők méreteinél az átlagtól való eltérés $\pm 15\%$, míg a redők számánál $\pm 1\%$ volt.

Žunič Lojen és Jevšnik [74] megismételt vizsgálatokat végeztek, és azt tapasztalták, hogy az esési tényezőben 24 óra elteltével jelentős, 9-13%-os változás következett be. Nagyobb mintaátmérőnél nagyobb eltérés mutatkozik a hullámok számában, míg az esési tényező értéke az idő függvényében kevésbé változott.

Vámos [75] szerint a redőződés kialakulásakor a végleges deformációs helyzet beállta előtt a mintán sokkal több gyűrődés található. Az egyes redők a deformáció során „összefolynak”, kettőből-háromból egy nagyobb keletkezik, és így alakul ki a végleges görbült alak. A redőződését különböző méretű alátámasztási felületen vizsgálva megállapította, hogy a redők száma függ az alátámasztási felület méretétől, és feltételezte, hogy az inflexiós pont az adott anyagra jellemző (2-23.ábra).



2-23. ábra A redők száma az alátámasztási felület méretének változtatásakor[75]

Ezzel kapcsolatosan végzett kutatásokat Szabó is [85], megállapítva, hogy az alátámasztási felület méretének növekedésével az esési tényező értéke csökken, és az így kapott görbére egy harmadfokú polinomális közelítő függvényt lehet fektetni.

A redőződés függ a kelme geometriai paramétereitől, ezért Leung és társai [77] kísérletet tettek a számított kelmeszerkezeti tényezők redőződésre gyakorolt hatásának számszerűsítésére. Az általuk talált összefüggéssel megadott DI tényező növekvő értéke kisebb redőződési képességet jelent, az általuk bevezetett és az alábbi összefüggés szerint számítható redőzési index (DI) és a DC esési tényező közötti korreláció 0, 5.

$$DI = 104,8 + 12,496T + 0,372W - 0,738F_A - 0,188Y_C \quad 2.28$$

Ahol

F_A	lánc és vetülék irányú fonalsűrűség középértéke [1/100 mm]
T	kelme vastagsága [mm]
W	kelme területi sűrűsége [g/m ²]
Y_C	lánc- és vetülékfonal lineáris sűrűségének középértéke [g/1000 m]

A redőződést és fogást befolyásolja a laptermék kikészítése. Len típusú kelméknél például a háncsrostok okozta egyedi esztétikai hatást rontják a nem megfelelően alkalmazott előkészítési, színezési illetve kikészítési folyamatok, hiszen ha az anyag felülete szúrós, kellemetlen a tapintása, a ruházat viselése fiziológiai kellemetlenséget okozhat. A len ruházati célú felhasználásakor a szövetek merevségét az utóbbi időben környezetbarát enzimes kezelésekkel csökkentik, hogy a kívánt esési tulajdonságot biztosítsák [80]. Korábbi vizsgálatokkal bizonyítottuk, hogy pl. kendertartalmú kelmék esésére és fogással kapcsolatos mechanikai jellemzőire pozitív hatást gyakorolt a lágyításnál a magasabb koncentrációban alkalmazott Softicon TRNP lágyító, de maga a színezés is [82].

2.3 Az áttekintett szakirodalom kritikus értékelése

A ruha gyártási költségeinek több mint a fele a gyártmányfejlesztési döntésektől függ. A kollekció sikerességét meghatározó prototípus térbeli megjelenítése és a virtuális termékprezentáció időt és költségeket takarít meg a gyártmányfejlesztésnél és a marketingben, leegyszerűsíti a döntéshozókkal való együttműködést és kommunikációt. Az interaktív textil animációkat a ruházati ipar mellett a műszaki textíliákat felhasználó egyéb iparágak is alkalmazzák, pl. az autógyártásban, vagy a szálerősítésű könnyűszerkezetes szerkezeti elemek, valamint textil csomagoló- és burkoló felületek tervezésénél.

A ruházat emberi testhez való tökéletes illeszkedésének megvalósítása térbeli tervezéssel kézenfekvőnek látszó, ám igen bonyolult feladat. A tervező számára lényeges kérdés, hogy a számítógép alkalmazásával képes legyen megállapítani, hogy megfelelő-e a tervezett modell, a design, az alkalmazott anyag és az illesztési pontosság. A 3D-s CAD rendszerekhez alkalmazott szkennelés technikája befolyásolja a méretvétel pontosságát, ezért szükség van a jövőben a testméretek 3D-s mérési eljárásának a továbbfejlesztésére. A térbeli tervezés alapja a textília valóság-hű 3D-s megjelenítése. Nyilvánvaló, hogy a megbízható szimuláláshoz adekvát mechanikai modellek szükségesek. Ezek felépítéséhez szükség van széleskörű kísérleti és felhasználói tapasztalatokra. A textil szerkezet viselkedésének nagy pontosságú szimulációja még a fejlett számítógépes programokkal is csak korlátozott mértékben sikerült. Bár a testszkennerek és a különböző számítógépes 3D-s tervező programok alkalmazása ígéretes, a technológiai megoldások javítására az anyagmodellek és a jelenlegi rendszerek folyamatos fejlesztés alatt állnak.

Az elmúlt évtizedekben számos kutatót foglalkoztatott az, hogy a szimulációhoz használt redőződési képesség mitől függ. Regressziós elemzést végeztek annak megállapítására, hogy a redőződésre jellemző statikus esési tényezőt milyen mértékben határozzák meg a kelme Kawabata KES-FB rendszerrel mért mechanikai jellemzői. A regressziós egyenletek többségében a hajlítással és a nyírással kapcsolatos jellemzőket, valamint a területi sűrűséget vették különböző mértékben figyelembe, és így 0,8 körüli korrelációs értéket értek el. Az ehhez szükséges vizsgálatok azonban sokszor nagyon bonyolultak, csak szűk kör számára elérhető, drága műszereken végezhetőek. A vizsgálati eredményekből levont következtetésekben mutatkozó különbségek azt mutatják, hogy az esési tényezőt leginkább meghatározó paraméterek meghatározása regressziós elemzés alapján a bevizsgált minták eltérő tulajdonságai (a különböző kelmeszerkezet és alkalmazott gyártástechnológia) miatt kevésbé eredményes.

A kelmék redőződését az esési tényezővel nem lehet elegendő mértékben jellemezni. Ugyanakkor ezt az alakváltozási képességet lényegében a kelme minden geometriai és mechanikai tulajdonsága befolyásolja. Vizsgálataim célja, hogy feltérképezzem ezeket, és megvizsgáljam, hogy melyik tulajdonság milyen mértékű befolyással van a kelmék esésére és redőződésére. Három olyan befolyásoló tényező vizsgálatára teszek kísérletet, amely feltételezésem szerint leginkább hatással van a redőződésre, ez a kelmeszerkezet, a nyersanyag és a kikészítés (lágycsisztás).

A textil laptermékek számítógépes megjelenítéséhez az irodalomban bemutatott vizsgálati módszerek ismeretében indokoltnak tűnik olyan vizsgálatnak a kifejlesztése, amely egyszerű

módszerrel komplex módon írja le a redőződésnél bekövetkező deformációt. Ez alapján fogalmaztam meg azt a célkitűzésemet, amely a statikus redőződés kiértékelési módszerének továbbfejlesztésére irányul, és amelynek felhasználásával feltételezésem szerint az eddigi vizsgálati módszereknél több információ nyerhető a textil laptermékek redőződési képességéről.

A szakirodalomban többféle adatot találtam a mérőeszköztől függő, mérési eredményt befolyásoló tényezők hatására, ilyen pl. a minta felhelyezése, leengedése a mérés során, a minta mérete, valamint a redőződés alakjának változása az idő függvényében. Érdekes tartom tehát azt is megvizsgálni, hogy ezeknek van-e befolyása a mért eredményekre.

3 Elvégzett vizsgálatok és az eredmények kiértékelése

A textíliák redőződését és fogását a textília nagyon sok tulajdonsága befolyásolja. Az egyes paraméterek hatására az irodalomban különböző eredmények találhatók. Az áttekintett irodalom alapján tűztem ki célul három befolyásoló tényező, a kelmeszerkezet, a nyersanyag és a kikészítés hatásának vizsgálatát, hogy igazoljam az ismert tendenciák létezését és megkíséreljem a vizsgált jellemzők közötti összefüggések számszerűsítését.

E cél elérésére átfogó mechanikai vizsgálatokat végeztem eltérő szerkezetű, nyersanyagú és különböző kikészítési technológiával gyártott textíliákon, megvizsgálva az egyes kiválasztott faktorok hatását az esési tényezőre és a fogással kapcsolatos mechanikai jellemzőkre.

Ezekhez a vizsgálatokhoz a célt szem előtt tartva kellett vizsgálati mintasorozatot legyártatni. A mintasorozatok textíliái összetétel szerint pamut, len valamint viszkóz anyagok voltak, különböző technológiai állapotban (nyers, előkezelt, színnyomott, lágyított, végkikészített).

A redőződés új módszer szerinti kiértékeléséhez a kereskedelemben forgalmazott, illetve magyar alapanyaggyártók elsősorban szövött textíliáit használtam. A vizsgálati minták leírását és egyes adatait a 7. 8 számú melléklet tartalmazza.

A vizsgálati anyagok végfelhasználási cél szerint a következő csoportokba sorolhatóak:

- 75 db szövet felsőruházati célra (140-350 g/m²)
- 33 db könnyű szövet, női nyári ruházati célra (70-139 g/m²)
- 8 db kötött kelme (140-300 g/m²)

Az elemzéseket az alábbiak szerint végeztem:

1. Kelmesterkezet és mechanikai tulajdonságok vizsgálata
 - véletlenszerűen kiválasztott, ismert nyersanyag-összetételű ruházati kelméken (mintaszám 1-20, 35-39, 99-117),
 - a szövéstechnológia tervszerű változtatásával legyártott pamutszöveteken (CsárdaTex Kft. szövetei, mintaszám 49-64).
2. Kikészítés hatásának elemzése különböző kikészítésű
 - pamutszöveteken (65-96),
 - viszkóz és pamut/elasztán kelméken (Maya Kelményomó Rt. szövetei, mintaszám 21-34),
 - len és fél-len alapanyagú kelméken (Pannonflax Rt. szövetei, mintaszám 40-48).

3.1 A vizsgálatok során alkalmazott mérőberendezések

A vizsgálatokat a következő helyszíneken és módon végeztem:

- A BMF RKK Textiltechnológiai Laboratóriumban, ahol a redőződés vizsgálatához a tömegmérés helyett a PhD munkám célkitűzésében megfogalmazottak alapján új, saját fejlesztésű számítógépes kiértékelő rendszert alkalmaztam. Ehhez a főiskolán rendelkezésre álló Cusick Drape-Meter vizsgáló műszert átalakítottam.
- A BME Polimertechnika Tanszéken, ahol a redőződés vizsgálatát az ott kifejlesztett testszkennerrel végeztem, a Sylvie 3D Drape Tester készüléken.
- A Maribor Egyetemen, ahol a redőződést a Cusick Drape Meter készüléken a koreai Drape Analyser szoftverrel értékeltem ki. A fogással kapcsolatos mechanikai jellemzők nagy pontosságú vizsgálatára hazánkban nincs lehetőség, ezért a Kawabata KES-FB készüléken való méréseket is itt végeztem a szlovén kollégák segítségével.

3.1.1 A KES-FB mérőberendezés

A magas minőségű termék előállításához elengedhetetlenül szükséges a technológiai szempontból objektív kommunikáció. A fogás minősítésére kidolgozott egységes és objektív tanúsítási lehetőség figyelembe veszi, hogy melyek azok a - szakirodalomból ismert - fizikai tulajdonságok, amelyek egy textília fogását befolyásolják (3-1. táblázat).

3-1. Táblázat A tapintással kapcsolatos szubjektív és asszociált érzetek

Szubjektív érzet	Asszociált objektíven mérhető tulajdonságok
Simaság	Érdesség, súrlódás, szőrösség, fényesség
Puhaság	Hajlítással, összenyomással, húzással szembeni tulajdonságok, nyírási ellenállás és nyíró hiszterézis, területi sűrűség, súrlódás
Merevség	Hajlítási merevség, vastagság, területi sűrűség, nyírási ellenállás és nyíró hiszterézis, összenyomhatóság
Terjedelmesség	Vastagság, összenyomhatóság, rugalmas visszaalakuló képesség összenyomás után, hajlítási ellenállás és hajlító hiszterézis
Meleg érzet	Hővezető képesség, vastagság, összenyomhatóság, felületi szőrösség, nyírási ellenállás és hajlítási merevség

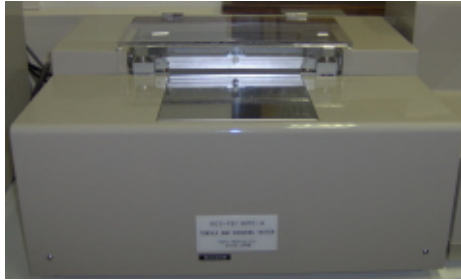
A fogás objektív meghatározásához Kawabata által kifejlesztett KES-FB rendszer 4 készülékből áll, amelyekkel vizsgálható a textilnia négyféle módon (hajlítás, nyírás, húzás és nyomás hatására) bekövetkező alakváltozása és a felülete is (súrlódás és felületi egyenletesség). A négy készülékkel 16 különböző, a fogás szempontjából meghatározó fizikai tulajdonság állapítható meg (3-2. táblázat). Greuel és munkatársai cikkükben [52] részletesen leírják a KES mérőrendszer célját, a KES mérőrendszert alkotó berendezéseket és a mérések kiértékelésének menetét.

3-2. Táblázat A KES-FB mérőrendszerrel mért mechanikai tulajdonságok [52]

Készülék	Vizsgálat	x_i	Jellemző paraméterek	Mértékegység
KES-FB-1	Húzás	WT RT LT	x_1 : fajlagos húzó munka (5 N/cm-ig) x_2 : rugalmas visszaalakuló képesség x_3 : erő-nyúlás görbe linearitása	cN/cm % -
	Nyírás	G 2HG 2HG5	x_4 : fajlagos nyíró merevség (8°-ig) x_5 : nyíró hiszterézis magasság $\pm 0,5^\circ$ -os nyírási alakváltozásnál x_6 : nyíró hiszterézis magasság $\pm 5^\circ$ -os nyírási alakváltozásnál	cN/cm l° cN/cm cN/cm
KES-FB-2	Tiszta hajlítás	B 2HB	x_7 : fajlagos hajlítómerevség (max. 25cNcm) x_8 : hajlító hiszterézis magasság	cNcm cN/cm
KES-FB-3	Nyomás	WC RC LC T ₀	x_9 : fajlagos nyomómunka (5 kPa terhelésig) x_{10} : rugalmas visszaalakulási képesség nyomó igénybevétel után x_{11} : kompressziós görbe linearitása x_{15} : vastagság (50 Pa terhelésnél)	cN/cm % - mm
KES-FB-4	Súrlódás és felületi egyenlőtlenség	MIU MMD SMD	x_{12} : súrlódási tényező középértéke (0,5 N-ig) x_{13} : súrlódási tényező szórása (0,1 N-ig) x_{14} : felületi profil magasságának szórása (érdesség)	- - μm
Mérleg	Tömeg	W	x_{16} : területi sűrűség	g/m^2

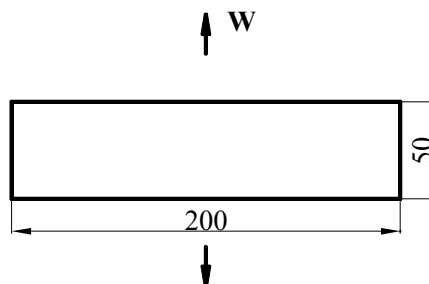
3.1.1.1 Húzóerő és nyírás vizsgálata KES-FB1 készülékkel

A KES-FB-1 készülék (3-1. ábra) feladata, hogy a minták mechanikai tulajdonságait egy adott húzó-, vagy nyíróterheléssel meghatározza. A húzó vizsgálat a DIN 53857 szabvány előírásaihoz hasonlóan történik. A minták nyírási tulajdonságait a lánc-fonalrendszer vetülék-fonalrendszerrel szembeni kétdimenziós nyírásával állapítja meg.



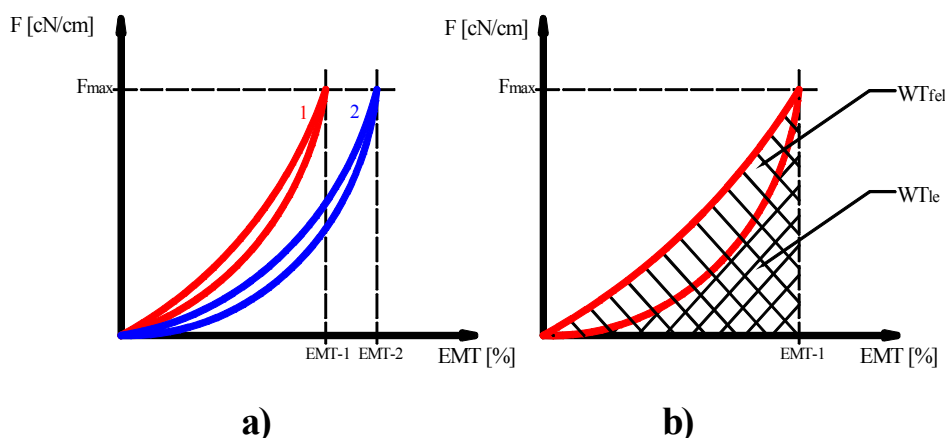
3-1. ábra KES-FB-1 mérőkészülék

A mérés során a minta befogása a mérőberendezés első- és hátsó befogójába úgy történik, hogy a 200 x 200 mm-es próbatestnek csak egy 50 x 200 mm-es darabja marad szabadon, azaz a befogási hossz: 50 mm (3-2. ábra).



3-2. ábra A befogott próbatest

A húzóerő vizsgálatnál a befogott mintadarab a hosszanti tengely irányban húzó-igénybevételnek van kitéve, úgy, hogy a hátsó feszítő berendezés állandó sebességgel mozog az elsőhöz képest. Amikor elérte a maximális húzóerőt, a motor fordított irányban mozgatja a hátsó befogópofákat és tehermentesíti a mintát. A mérés eredményeképpen megkapjuk a maximális húzóerőhöz (F_{max}) tartozó relatív nyúlást (EMT), azaz az erő-elmozdulás görbét lánc- és vetülékirányban (3-3. ábra/a).

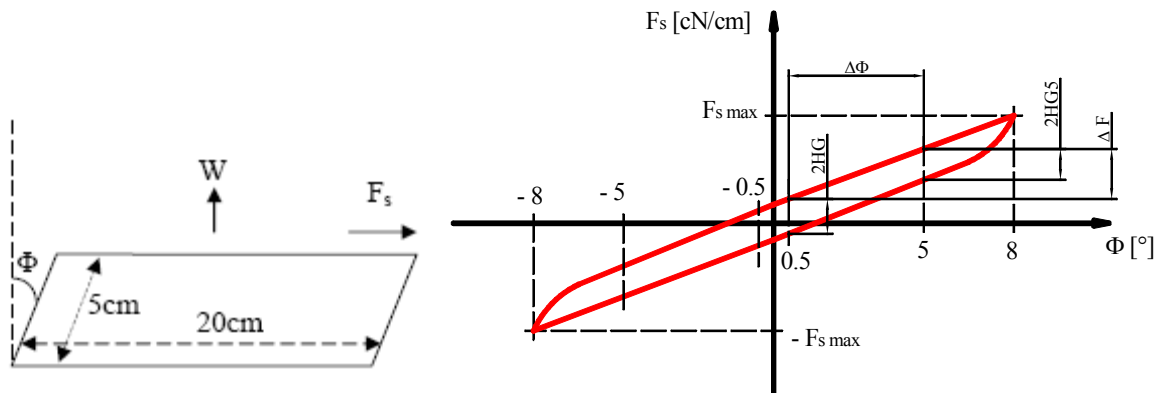


3-3. ábra A szövet erő-nyúlás diagramja (láncirány: piros, vetülékirány: kék görbe) [110]

Ennek kiértékelése során megállapíthatóak a következő értékek:

- A deformációs munka, WT [cN/cm], amely az erő-nyúlás diagram alatti terület és a minta méretváltozását fejezi ki. A minta növekvő nyújthatóságával növekszik a tényleges deformációs munka értéke (3-3. ábra/b)
- A rugalmas visszaalakulási képesség, RT [%], amely azt tükrözi, hogy mekkora a hiszterézis a terhelési és tehermentesítési ciklusban. Ez az érték a terhelés és a tehermentesítés során készített diagramok alatti területek hányadosa.
- A linearitás, LT, amely arról ad tájékoztatást, hogy milyen erőteljes az erő-nyúlás diagram görbülete. Értéke annál kisebb, minél könnyebben nyújtható a minta.

A nyíróvizsgálatnál az előzőekhez hasonlóan befogott minta nyíró igénybevételnek van kitéve. Az előfeszítés egy 200 g-os tömeg segítségével történik. A motor a hátsó feszítő berendezést párhuzamosan mozgatja a nem meghajtott elsővel. Ennek következtében egy nyíró igénybevétel jön létre. A visszafelé mozgás akkor kezdődik meg, amikor a Φ nyírási szög a $+8^\circ$ -ot eléri. A hátsó befogópofa a 0° -os helyzet elérése után elkezdi az ellenkező irányba mozogni, így a minta az első ciklus vizsgálati irányához képest ellentétes irányú nyíró igénybevételnek van kitéve. A $\Phi = -8^\circ$ -os nyírási szög elérésekor ismét fordított irányú mozgás kezdődik. Amikor a befogófej ismét visszaért a kiindulási helyzetébe, a második ciklus is befejeződött. A számítógép felrajzolja a jellegzetes nyíróerő-nyírási szög görbét (3-4. ábra). A hiszterézis görbe alatti területe a fonalak súrlódási ellenállásának mértékét adja meg.

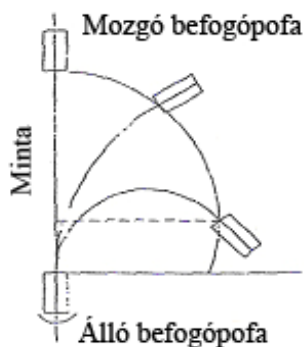


3-4. ábra Próbatetest nyíró igénybevételénél (balra) és a felrajzolt nyíró hiszterézis (jobbra) [110]

A görbe kiértékelésekor megállapíthatóak az anyag rugalmasságára jellemző G , $2HG$ és $2HG5$ paraméterek. G [$\text{cN}/\text{cm}^\circ$] a fajlagos nyírómerevség, amelyet a készülék a $+0,5^\circ$ és $+2,5^\circ$ nyírási szög között számít ki. Ebből következtetni lehet arra, hogy mennyire képesek a fonalak a szöveten belül elmozdulni. $2HG$ [cN/cm] a nyíró hiszterézis magassága $\pm 0,5$ fok nyírási alakváltozásnál, a kelme rugalmasságára utal. Minél kisebb a $2HG$ értéke, annál nagyobb a szövet rugalmassága. A ± 5 foknál mért nyíró hiszterézis magasság a $2HG5$ [cN/cm], a szövet alakíthatóságát jellemzi. Minél kisebb ez az érték, annál könnyebb a szövetet kétdimenziós formában alakítani.

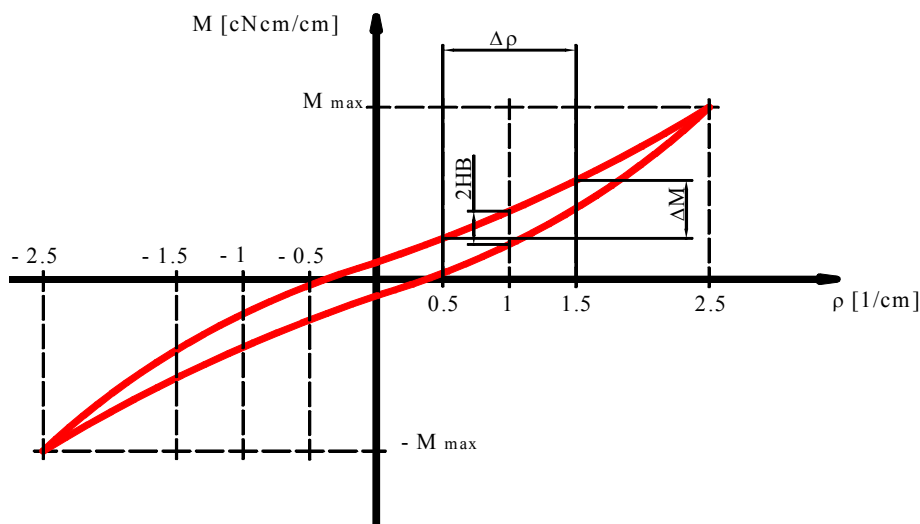
3.1.1.2 Hajlítási vizsgálat KES-FB2 készülékkel

Ezzel a vizsgálattal a mintát egy körív mentén hajlítják meg, aminek következtében a görbület lineárisan növekszik. A hajlítási vizsgálat elvégzése során a mintát két befogópofa közé rögzítik. A két befogópofa közötti szabad hossz 1 cm. Az egyik befogópofánál nyomaték-mérőcella helyezkedik el. A másik befogót úgy mozgatja a készülék, hogy az 1 cm hosszú minta egy ív mentén hajlik meg, miközben a minta görbületi sugara lineárisan csökken (3-5. ábra). A maximális görbületértéket a vizsgálat megkezdése előtt rögzítik. A mozgó befogófej helyzetét, azaz ennek megfelelően a minta görbületét vizsgálat közben egy potenciométer érzékeli.



3-5. ábra A hajlítási vizsgálat mérési elve (balra) és a KES-FB2 készülék (jobbra) [110]

A beállított maximális görbület elérésekor, mint a nyíróvizsgálatnál, a mozgó befogópofa ugyanazon a pályán elindul visszafelé. A kiindulási helyzet elérése után a mérés ellentétes irányú hajlító ciklussal folytatódik. Ez a két mérési ciklus a minta szín- és fonák oldali hajlítással szembeni ellenállását vizsgálja. A mérési eredményeket, a nyomatékot (M) és a görbületet (ρ), mint hajlítási hiszterézist a 3-6. ábra szemlélteti.



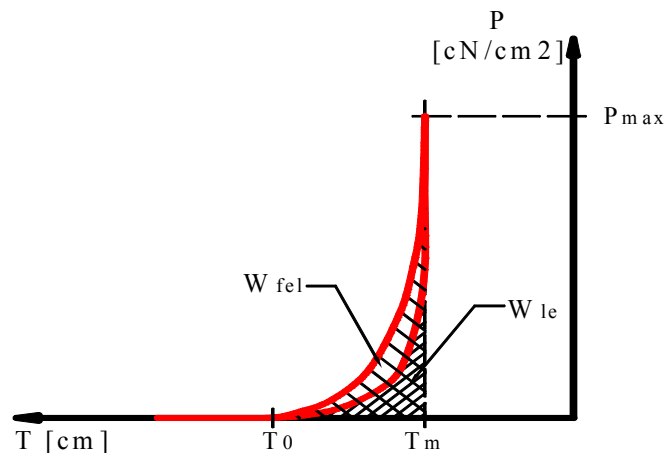
3-6. ábra Hajlítási hiszterézis [110]

Ebből a diagramból a kiértékelő program a fajlagos hajlító merevség, B [cNcm], (továbbiakban hajlító merevség) és a hajlító hiszterézis magasság, $2HB$ [cN] értékét adja meg.

3.1.1.3 Összenyomhatóság vizsgálata KES-FB3 készülékkel

Ennek a készüléknek az a feladata, hogy pontosan meghatározott feltételek között megállapítsa egy szövet összenyomhatósági tulajdonságait. A vizsgálatnál a szövetre egy előre meghatározott, állandóan növekvő mértékű nyomást gyakorolnak.

A készülék alsó és felső nyomófeje közötti távolságot (GAP: nyílásrész) az anyag tulajdonságaitól függően állítják be. A 2 cm^2 területű kör alakú fém nyomófej a mintatartó asztalhoz közelítve lesüllyed, ezáltal állandóan növekvő nyomással terheli a T_0 vastagságú mintát. Amikor a nyomás eléri a beállított maximális értéket (P_{max}), akkor a nyomófej elindul visszafelé. Akkor fejeződik be a vizsgálat, amikor ismét eléri a nyílásrész értéket. A mérőkészülék rögzíti az összenyomó erőt a minta vastagságának függvényében. Itt is egy hiszterézist rajzol a számítógép, ahol a terhelés során kifejtett (W_{fel}) és a terhelés megszüntetése során végzett munkát (W_{le}) hasonlítja össze a görbék alatti területek kiszámításával (3-7. ábra).



3-7. ábra Összenyomhatósági görbe [110]

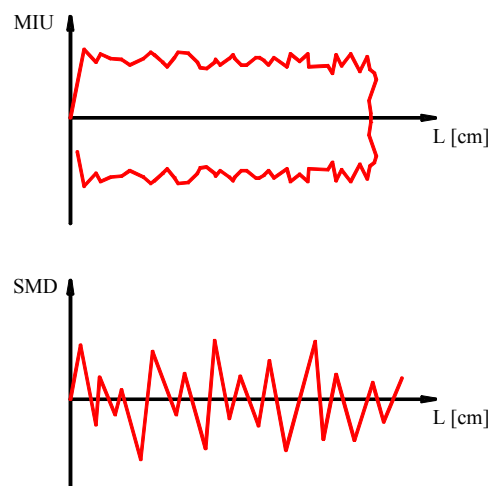
A kiértékelő program megadja a WC, fajlagos nyomómunka, az RC, rugalmas visszaalakuló képesség, az LC, linearitás és a T, vastagság paramétereit (ld. 3-2. táblázat).

3.1.1.4 Felületi tulajdonságok vizsgálata KES-FB4 készülékkel

A készülék feladata, hogy a szövetminta felületi tulajdonságainak, a MIU, MMD, SMD paramétereknek (ld. 3-2. táblázat) a meghatározásával objektíven mérhetővé tegye a szövet által keltett tapintás érzetet.

A súrlódás és a felületi profil vizsgálatához a mintát két feszítő berendezés közé fogják be. Az egyik feszítő berendezés egy henger, a másik feszítő egy befogó csipesz, amely egy emelőkarhoz van csatlakoztatva. Az emelőkaron előfeszítő-súly található, így a minta gyűrődésmentesen húzható át a mérőfej alatt. Ez a mérőfej az emberi kéz ujjaihoz hasonló érzékelő. A cél az volt, hogy a mért súrlódási értékek jól közelítsék az ember szubjektív tapintás érzetét. A súrlódási együttható az anyag és a mérőfej anyagpárostól függ.

A mérőfejet egy 50 g-os tömeggel előterhelik. A mérőkészülék rögzíti a felület és a súrlódó test között ébredő súrlódó erő értékeit, miközben a mintát 1 mm/s sebességgel előre, majd visszafelé húzzák a mérőfej alatt. A szövet 3 cm-t tesz meg. Ezzel egyidejűleg a mérőkészülék méri és rögzíti a felületi érdességet is. A számítógép a mérési eredmények alapján felrajzolja a súrlódó erő görbét. A görbe kiértékelésekor megkapjuk az átlagos súrlódási tényezőt (MIU), a súrlódási együttható átlagtól való eltérését (MMD) és a felületi egyenetlenség átlagtól való eltérését, az érdességet (SMD) (3-8. ábra).



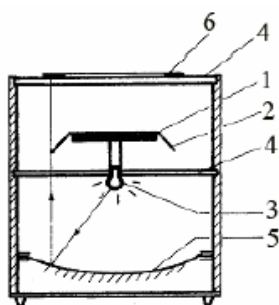
3-8. ábra A súrlódási tényező és a felületi érdesség a vizsgált hossz függvényében ([110]

3.1.2 A redőződés-mérő készülék

A redőződésre irányuló vizsgálataimnál a vizsgált textilá térbeli deformációja gravitációs erő hatására következik be, feltételezve, hogy a redőződésnél a kezdeti és a görbült kerület azonos, tehát, hogy a textilá a széle mentén nem nyúlik meg és nem is nyomódik össze. A feltételezés abból indul ki, hogy egy textilá hajlítási ellenállása nagyságrendekkel kisebb, mint az összenyomásakor tapasztalható ellenállás.

Cusick Drape-Meter készülék

A Cusick-féle készüléken egy fényforrás és egy homorú tükör segítségével a felső üveglapra helyezett kör alakú papír korongra vetíthető a próbadarab vetületi képe (3-9. ábra). A kör alakú mintatartóra (1) helyezett, a mintatartó lemeznél nagyobb átmérőjű kelmeminta (2) az átlátszó alátámasztó lemez (4) lesüllyesztésével a széleken lehajlik a saját tömeg hatására. A fényforrás (3) és a homorú tükör (5) segítségével a felső üveglapra (4) helyezett papírgyűrűre vetítik a próbadarab árnyékát.



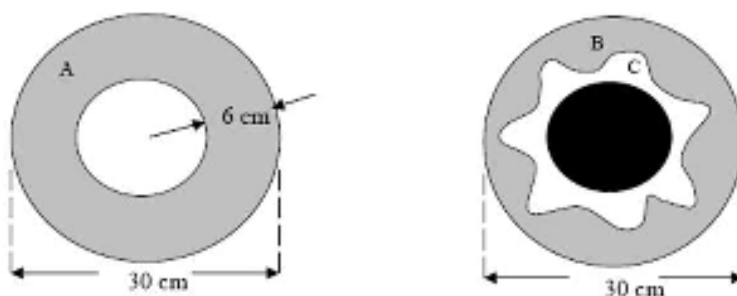
3-9. ábra A Cusick Drape-Meter készülék elvi ábrája

Cusick az esési tényező megállapítására tömegmérést alkalmazott, amelynél az eredeti és a vetületi kép mentén kivágott papírgyűrű tömegét hasonlította össze (3-10. ábra), a következők szerint:

$$DC = \frac{M_2}{M_1} * 100 \quad 3.1$$

Ahol:

- DC esési tényező [%]
- M₁ az eredeti körgyűrű alakú papír tömege [g]
- M₂ az árnyékhatarvonal mentén kivágott papírgyűrű tömege [g]



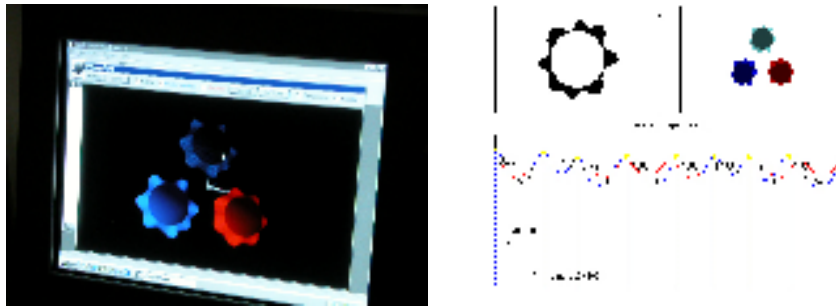
3-10. ábra Az eredeti papír körgyűrű (A), a kivágott körgyűrű (B) és a minta átrajzolt vetületi képe (C)

A számítógépes képfeldolgozási módszerek megjelenése előtt a vetületi terület (C) megállapításának nehézkessége miatt a gyakorlatban nemzetközileg is a tömegmérés módszere terjedt el. A teljesen merev kelme esési tényezője 100%, tehát nincs lehajlása és nem redőződik. A BS 5058 1973 és az ISO 9073-9 szabványok szerint az alátámasztási felület átmérője 18 cm. Kisebb mintaméret választása javasolt a 30% alatti, közepes mintaméret a 30% és 85% közötti tartományba eső, és a legnagyobb méret a 80% fölötti esési tényező értékekhez.

A redőződés kiértékelése számítógépes képfeldolgozó programmal

A Maribori Egyetemen egy CCD kamera készít felvételeket a Cusick-féle mérőeszközön a redőződő kelme síkfelületi árnyképéről és a kiértékeléshez képfeldolgozást használnak.

A képeket a koreai Drape Analyser szoftver értékeli ki, amely megadja az esési tényezőt és az egyéb redőződésre jellemző statisztikai adatokat (3-11. ábra).

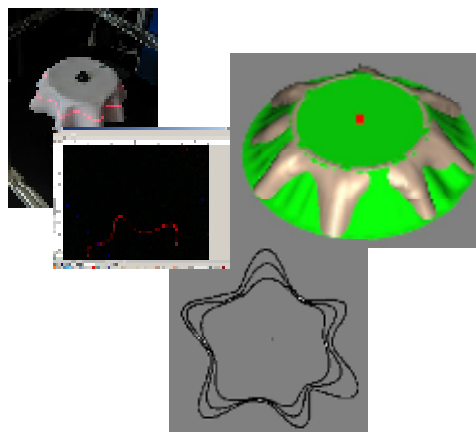


3-11. ábra Redőződés kiértékelése Drape Analyser szoftver segítségével

A számítógép a képernyőn megjeleníti a redőződő szövet 3D-s modelljét, ami virtuális térben forgatható, így az több oldalról is megtekinthető. A számítógépes program megrajzolja a redőződés hullámformáját az ideális szinusz hullámhoz képest (3-11. ábra jobb oldali képe).

A redőződés méréshez egy kamerával nehéz a minta teljes alakját megrajzolni, ezért a legújabbban testszkennereket használnak, és ezzel legalább két nézetből készítene felvételt, úgy, hogy az egyik nézetben a kamerát 90 fokkal elforgatják a másikhoz képest.

A BME Polimertechnika Tanszékén kifejlesztett Sylvie 3D drapériavizsgáló berendezés a testszkennerek működési elvén működik, és számítógépes képfeldolgozással állapítja meg az esési tényezőt (3-12. ábra). A vizsgálathoz 30 cm átmérőjű mintadarabot használnak. A 18 cm-es tárcsára helyezett mintadarab felett rögzített 4 kamera pillanatfelvételeket készít különböző magassági szinteken a lézervonalsugárzókkal megvilágított mintadarabról. A magassági szint változását a tárcsa függőleges mozgásával érik el, amelynek értéke a szoftverben beállítható. A program megadja a redőződési tényezőt, a hullámok számát, minimális és maximális sugarat (mm). A számítógép megrajzolja redőződő kelme síkvetületét, és megjeleníti az adott kelme 3 dimenziós modelljét [37].



3-12. ábra A BME Sylvie-3D testszkennerevel digitalizált textilíria és a szimuláció eredménye [37] [86]

3.2 A mérés kiértékelésének továbbfejlesztése

A Cusick Drape Meter készüléknél az esési tényezőt hagyományosan tömegméréssel vagy planimetrálással határozzák meg (3.1 összefüggés). Az új módszer kifejlesztésével az volt a célom, hogy az árnyékvonal manuális körberajzolásánál keletkező hibalehetőségeket, pontatlanságokat a számítógépes képfeldolgozással kiküszöböljem és az esési tényező mellett olyan jellemzőt adjak meg, amely komplex módon írja le a textília redőződő képességét.

3.2.1 A Cusick-féle esési tényező kiértékelése képfeldolgozással

Az esési tényezőt ($DC\%$) az új módszernél a képfeldolgozással megállapított és pixelekben kifejezett területek arányaival határoztam meg:

$$DC\% = \frac{(P_2 - P_H)}{(P_1 - P_H)} \cdot 100 \quad 3.2$$

Ahol

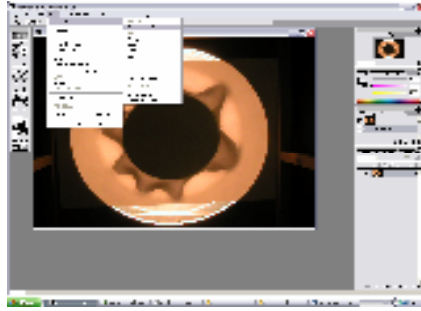
P_1 a nem deformálódott minta pixeleinek száma

P_H az alátámasztási felület pixeleinek száma

P_2 a redőzött minta pixeleinek száma

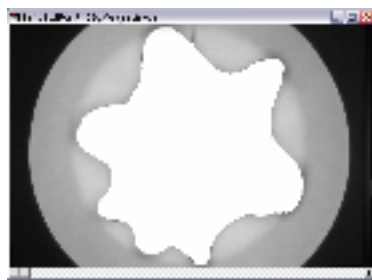
A vizsgálathoz alkalmazott Cusick-féle készüléket először digitális fényképezőgéppel szereltem fel. A reprodukálható mérés érdekében a berendezést kiegészítettem egy fényképezőgépet tartó állvánnyal ahhoz, hogy mindig azonos magasságból és rögzített helyzetből készíthessem el a fényképeket, és kiszűrjem a felesleges fényeket. A fényképezés során mindig azonos zoom-ot használtam. A villanó fényt (vaku) kikapcsoltam, és mindig a fényképezőgép által lehetséges legnagyobb képfelbontást alkalmaztam. A felesleges fények kiszűrése érdekében a készülék tetején egy áttetsző papírlapot helyeztem el. Az állványra szerelt fényképezőgép működtetésekor elmozdulások adódtak, ennek kiszűrésére a további méréseknél a digitális fényképezőgépet egy web kamerával helyettesítettem. (Logitech QuickCam webkamera, 1,3 megapixel). A web kamerát az éles fókusz meghatározó, állandó távolságon rögzítettem a készülék felett.

A digitális képet a számítógépes képfeldolgozáshoz Photoshop 6.0 CE programban előre meghatározott paraméterek alapján átalakítottam (3-13. ábra).



3-13. ábra Szürkeárnyalat beállítása

A képet szürkeárnyalatos formában, tömörítetlenül, BMP formátumban mentettem el. A szürkeárnyalatos képnél egy képponthoz tartozó információt 8 bit hordoz, így az a szürkeárnyalatok 256 féle változatát képes rögzíteni (0-255) (3-14.ábra).



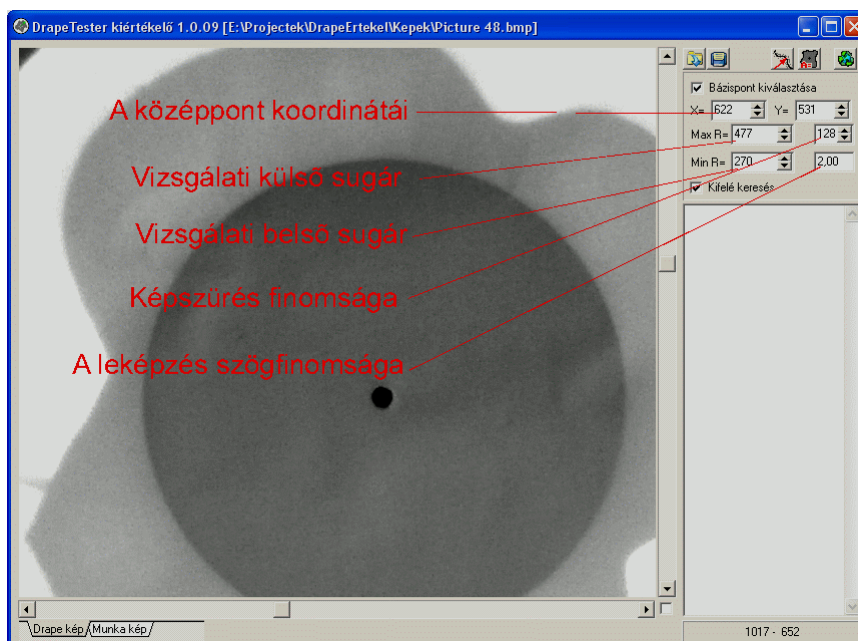
3-14. ábra Redőződés vetületi képe med.bmp formátumban

3.2.2 A redőződés-méréshez kifejlesztett új számítógépes kiértékelő program

A redőzött minta síkvetületi képének számítógépes kiértékeléséhez fontos kiindulási pont a vizsgált kör alakú minta területének középpontja, ezért annak helyét a vizsgált képen pontosan megjelöltem. Ügyeltem arra, hogy a fényképen a kontúrok minél élesebb legyenek, és felismerhető legyen az alátámasztó tárcsa alakja is (megfelelő háttérvilágítás és pontszerű alsó megvilágítás esetén, egy papírlapon is megfelelően átüt az árnykép).

A számítógépes program nyitóképernyője

A program nyitóképernyőjének fő ablakában jelenik meg a betöltött és kiértékelésre váró síkvetületi kép bitmap formátumban (3-15.ábra). Jobb oldalon felül a kiértékeléshez szükséges kezelőgombok (3-3. táblázat) és segéd információk találhatóak, míg az ablak alsó részében a kiértékelt adatok jelennek meg.



3-15. ábra A redőződés kiértékelésére kifejlesztett számítógépes redőződés-kiértékelő program nyitóképernyője

3-3. Táblázat A kezelógombok jelentése:

	A feldolgozandó kép betöltése
	A kiértékelt adatsor elmentése
	A kiértékelő algoritmus indítása
	A teljes árnyékterület meghatározása
	A kiértékelő ablak törlése

A program működtetése

A képátalakító programmal kiértékelésre alkalmassá tett fényképet a „betöltés” parancs-ikon segítségével behívtam, majd megkerestem a képernyőn aktívvá vált célzó kereszttel vagy egérkurzorral a síkvetületi kép középpontját a kiértékelés „bázispontjának” kiválasztásához. A kijelölés után a jelölőnégyzet már inaktív, ekkor kezdi meg a program a kiértékelést. A kiértékelés során a program egy piros színű vonallal körberajzolja a képen látható alakzatot. Amennyiben ez a görbe nem illeszkedik teljesen a vetületi kép kontúrájára, azaz nem megfelelő a görbék átfedése, a képet retusálni, vagy más bemenő paraméterekkel módosítani kell (pl. a kép zaj szűrő értékének módosításával), hogy a kiértékelés elvégezhető legyen.

Tökéletes illeszkedésnél a program meghatározza a síkvetületi kép kontúrpointjainak koordinátáit és elmenti az adatokat, amelyeket azután a Fourier sorba fejtéshez felhasználtam.

Az alakfelismerés algoritmus

A kiértékelésénél a program meghatározott léptékenként (esetünkben $\varphi_i = 1^\circ$), az előzetesen definiált középpontból kiindulva, egy képzeletbeli, sugár irányú egyenes mentén mintát vesz a kép érintett pontjainak fényességi értékeiből. A világosságérték változásának növekvő intenzitása arra enged következtetni, hogy fény-árnyék határvonal átlépés történt. Az algoritmus először egy adatszűrést végez, kiszűri a véletlenszerű képhibákat (képzaj), majd a rögzített fényességi értékekből képzett „függvény” elsőrendű deriváltja alapján felméri annak lokális maximum értékeit. A vizsgálati sugártartományon belül mért legnagyobb fényességváltozás helye lesz a mérendő síkvetületi kép határvonala. A program a mérést az óramutató járásával ellentétes irányban haladva végzi el a teljes $0-360^\circ$ tartományban. Ezt követően az eredménykijelző ablakban először listázza a középpont koordinátáinak adatait pixel értékben, majd alatta a kontúrgörbe egyes középponti szögekhez tartozó, origótól mért távolságát.

A terület meghatározásának elve

Az alakfelismerést követően értékelhető az alakzat területe. A program képpontokban kifejezve adja meg a terület nagyságát („négyzetpixel”). A kamera és a Drape Tester közötti távolság megváltoztatása, a kamera nyílásszöge, leképzési módja és a képérzékelő felület pixelszáma befolyásolják a képfelbontás (pixelek valós mérete) értékét, ezért minden mérési sorozat megkezdése előtt kalibráló méréseket kell végezni.

A terület meghatározásának feltétele, hogy az alakzatot a program felismerje, és a határvonalat egyértelműen a jelölő piros vonallal körberajzolja. Erről a program egy nem megjelenített memóriaterületre másolatot készít, majd egy választott színnel kitölti az így körberajzolt alakzatot. Ezt követően a program megszámlolja a teljes képfelület összes pontjára nézve, hogy hány kiszínezett pixelt talál. Az így kapott értékből a 3-1. összefüggés szerint számítható az esési tényező.

3.2.3 A készülék kalibrálása

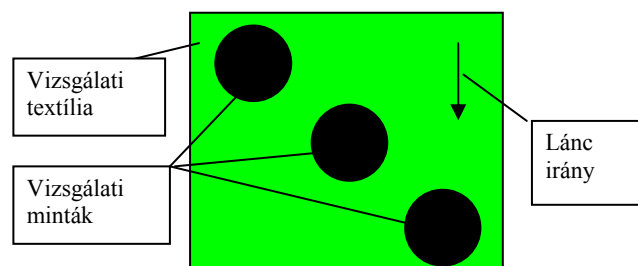
Szabó dolgozatában [85] a redőződés képfeldolgozással történő kiértékeléséhez több módszert is összehasonlít a vizsgálóberendezés kalibrálására. Kimutatta, hogy az általa vizsgált négy eljárás közül az iterációs megoldás a legalkalmasabb a feladat megoldására, de az analitikus geometriai és a numerikus geometriai alapú eljárások is kielégítik a ruhaipari követelményeket.

Vizsgálataimhoz próbamérést végeztem, amelynél a kalibrálás során a készülékre illesztett vonalzóval készült kép alapján számoltam vissza a pixel méretét. A mérések során beállított legnagyobb felbontású (1280 x 1024 pixel méretű) kép és a vonalzó valós, illetve látszólagos hossza (pixelben kifejezve) alapján, a torzítás elhanyagolásával a következő értéket kaptam: 1 mm = 2,51 pixel. A kalibrálást több irányban elvégezve megállapítottam, hogy a képpont X és Y kiterjedése a célkitűzésben meghatározott összehasonlító vizsgálatokhoz elhanyagolható mértékű. A pixel X-Y képtorzítása 1% alatt volt.

3.3 A mérés megismételhetőségének vizsgálata

A vizsgálat célja annak megállapítása volt, hogy elegendő-e az esési tényező méréséhez tételenként egy vizsgálati minta. Erre vonatkozóan nem találtam adatokat az irodalomban, a szokásos gyakorlat szerint egy mintát mérnek meg, céltól függően szín- és fonákoldalon. Az e fejezetben leírt második vizsgálati sorozat elvégzésével azt kívántam ellenőrizni, hogy az esési tényező megállapításához mért értékek ismételt vizsgálatoknál azonosnak tekinthetőek-e, és a különböző mérőeszközzel megállapított mérési eredmények sokasága azonosnak vehető-e.

A mintavételezéshez egy textílián belül különböző lánc- és vetülékfonalakat tartalmazó helyekről vettem ki mintákat a 3-16. ábrán bemutatott módon. A minták átmérője 30 cm volt.

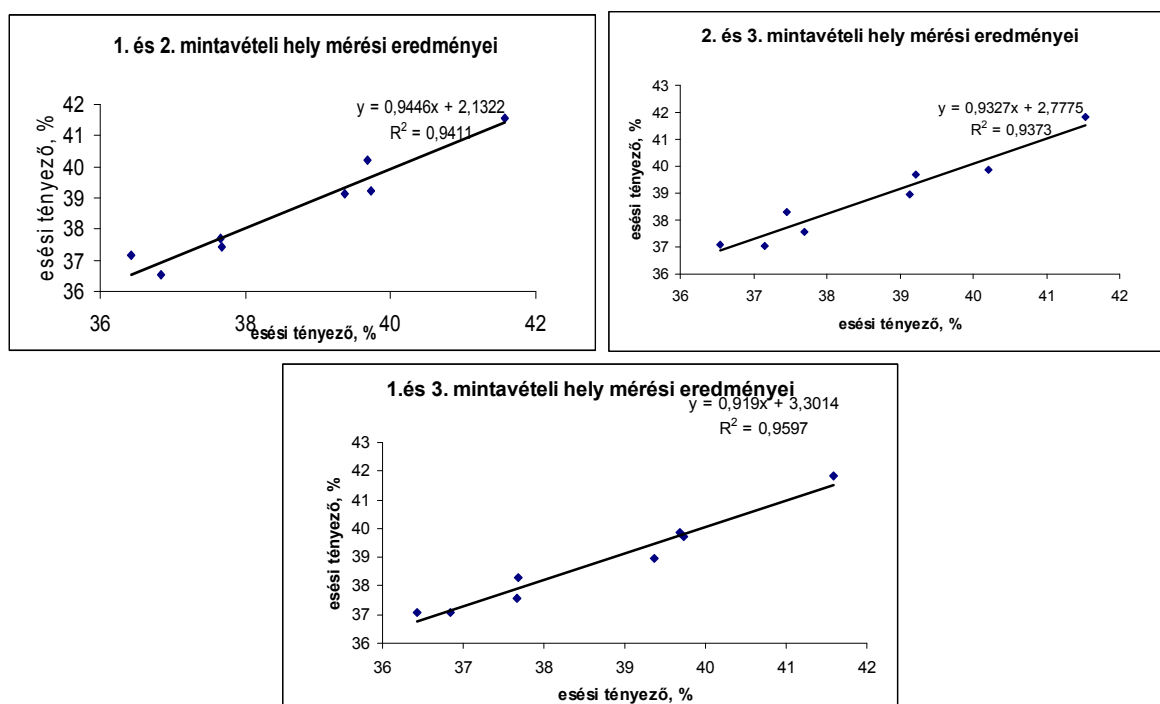


3-16. ábra A mintavétel helyének bemutatása

Nyolc textíliát vizsgáltam meg képfeldolgozással Cusick-féle készüléken úgy, hogy a 3-3 mérési helyről vett mintáról 5-5 mérést készítettem (3-4. táblázat). Az eredmények összehasonlításához megvizsgáltam a korrelációt a tételen belül különböző helyekről kivett minta mért adatai között (3-17. ábra).

3-4. Táblázat Nyolc textília három-három mintavételi helyről vett mintáinak esési tényezői

minta száma	14	20	39	5	111	25	13	110
	átl.esési tényező, %							
1.mintavételi hely	41,58	39,68	39,73	39,37	37,68	36,84	37,66	36,43
2.mintavételi hely	41,53	40,21	39,22	39,13	37,45	36,54	37,69	37,15
3.mintavételi hely	41,82	39,87	39,71	38,94	38,31	37,08	37,56	37,06



3-17. ábra A különböző helyekről kivett minták mért értékeinek összehasonlítása

A kapott korreláció értékek ($R^2=0,94-0,96$ között) alapján megállapítható, hogy a mintavétel helyének nincs szignifikáns hatása az esési tényező mérési eredményére. Ennek alapján a redőződés vizsgálatához a továbbiakban minden textíliánál egy vizsgálati mintát használtam.

A mérés reprodukálhatóságának vizsgálata

A mérés ismételhetőségének vizsgálatánál két minta esési tényező értékéhez szükséges adatokat mértem meg két különböző napon. Az egyik napon ugyanazon a mintán 12, a másik

napon 8 mérést végeztem. A vizsgálatok között 1-1 perc telt el, a vizsgálatok között a mintát a mintatartó tányérról nem vettem le.

A két vizsgálati nap között a mintákat egy asztalon fektetve tároltam. A két napon mért adatokból (3.5. táblázat) a Student-féle t-eloszlás kritikus értékeit figyelembe véve, kiszámítottam az összehasonlító vizsgálatokhoz megfelelőnek ítélt 3 %-os hiba küszöbhez tartozó szükséges mérések számát, és a megismételhetőségre F-próbát végeztem.

3-5. Táblázat: Ismételt vizsgálatok eredménye két különböző pamut szövetmintán

		Esési tényező, DC% átlag	átlagtól való eltérés, %	szórás, %	Variancia s ²	variációs tényező, CV%	szükséges mérések száma
117.minta	A napon, 12 mérés	49,52	1,23	1,64	2,70	3,32	5,81
	B napon, 8 mérés	48,54	1,06	1,46	2,14	3,01	7,62
110.minta	A napon, 12 mérés	36,33	0,77	1,15	1,33	3,17	5,31
	B napon, 8 mérés	36,99	0,77	1,15	1,31	3,10	8,07

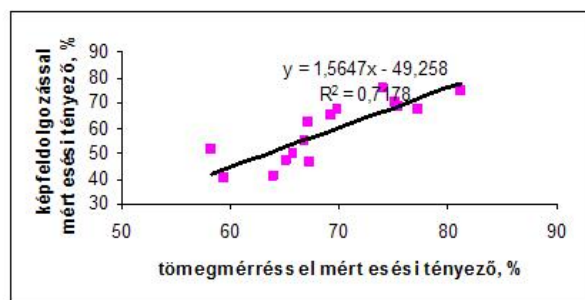
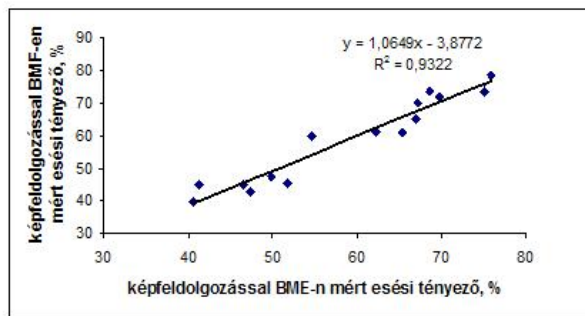
A nullhipotézis szerint: $H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2$

Az 1. mintánál az esési tényezőkből kapott szórásnégyzetek hányadosa 1,26, míg a 2. mintánál 1,01. Az F-eloszlás kritikus értékeiből $\alpha = 0,05$ egyoldali szinten meghatározható az $F_{0,05}(7,11)$ kritikus érték, amelyet az F-eloszlású valószínűségi változó 95%-os valószínűséggel nem halad meg, ha a számláló szabadsági fokszáma 7, a nevezőé 11. Ez 3,01, amely felső határ 90%-os kétoldali szintnek felel meg, minthogy a szokásos gyakorlat szerint a nagyobb értékű szórásnégyzet került a számlálóba. Mivel a szórásnégyzetek hányadosa kisebb, mint ez az érték, a nullhipotézis elfogadható, tehát a két minta esetében a mérés megismételhető, az adatok 10%-os szinten nem különbözik egymástól szignifikánsan.

Az ismételt vizsgálatok eredményeinek kiértékelése alapján az esési tényező variációs tényezője alacsony volt.

Ezt követően összehasonlítottam a három vizsgálati helyszínen mért adatokat. A vizsgált pamut mintáknál (3.18. ábra) a képfeldolgozással kiértékelt adatok korrelációja magas, míg a tömegméréssel és a képfeldolgozással mért adatok között $R^2 = 0,778$ volt.

minta szám	Esési tényező, %		
	BMF-en	BME-en	Manibor- ban
49	69,84	67	65,46
50	77,31	67,1	70,16
51	75,51	68,6	73,54
52	66,88	54,6	60,2
53	67,24	46,5	45,04
54	63,95	41,3	44,88
55	65,15	47,3	42,94
56	59,46	40,5	39,9
57	75,2	69,8	71,8
58	74,14	75,8	78,44
59	81,23	75,1	73,86
61	67,08	62,1	61,24
62	65,79	49,8	47,64
63	69,26	65,3	60,88
64	58,18	51,7	45,6



3-18. ábra A BMF-en és a BME Sylvie 3D Drapé Testerberendezésen megállapított esési tényező adatainak összehasonlítása

A statisztikai kiértékeléshez a következőkben 62 minta 10 csoportba foglalt mérési eredményei alapján ANOVA statisztikai kiértékelő programot futtattunk le. 9 csoport mérési eredményét a 7.8 melléklet 7-2. táblázata, míg a 10. csoportét a 3-18. ábra tartalmazza. A szignifikancia szint $\alpha = 0,05$ volt. A nullhipotézis szerint: $H_0: \{\mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_i\}$, ahol μ_i a mérési paraméterek sokasági értéke (az esési tényező százalékban kifejezett értéke). A 7.8 mellékletben foglalt 9 csoport mért értékei között hétnél $p > \alpha$, tehát nincs elegendő statisztikai evidencia a nullhipotézis elutasítására. A 3., 9. és 10. csoport adatai alapján a nullhipotézis nem fogadható el. Megjegyzendő, hogy a méréseknél nem minden esetben volt biztosítható a szabványos körülmény, ennek hiánya pedig textíliák vizsgálatok befolyásolja a mérési eredményeket és azok reprodukálhatóságát. A redőződési geometria mérésének reprodukálhatóságával a redőződés spektrumképének vizsgálatok foglalkoztam (3.4.3. fejezet).

3.4 A redőződés kiértékelése Fourier elemzéssel

A számítógépek teljesítményének gyors bővülésével javult a redőződés szimulációja, amelyhez kapcsolódóan több fejlődés tapasztalható a redőződés-mérés területén is. Az előzőekben ismertetett legtöbb, a hagyományos mérési módszerre alapozott fejlesztés az esési

tényező mellett csak néhány redőződést leíró további geometriai adatot eredményez, amely adatok nem adnak elegendő információt a redőződés geometriai szimulációs modelljéhez.

Az ebben a fejezetben bemutatott kutatásom célja egy olyan egyszerű, alacsony ráfordítással elvégezhető módszer kifejlesztése, amellyel a kelmék szimulációjához alapul vett redőződési mérést használható információt eredményezően lehet elemezni.

A redőződés vizsgálatának továbbfejlesztéséhez abból indultam ki, hogy

- azonos esési tényező különböző viselkedésű kelmék esetében is adódhat, tehát önmagában nem elegendő a redőződés jellemzésére,
- a redőződés mérésénél eddig megállapított összes adat felhasználása túl bonyolult a textília számítógépes szimulációjához,
- a redőződő minta vetületének körvonala egy körvonalra szuperponált periodikus függvények összegeként előállíthatók.

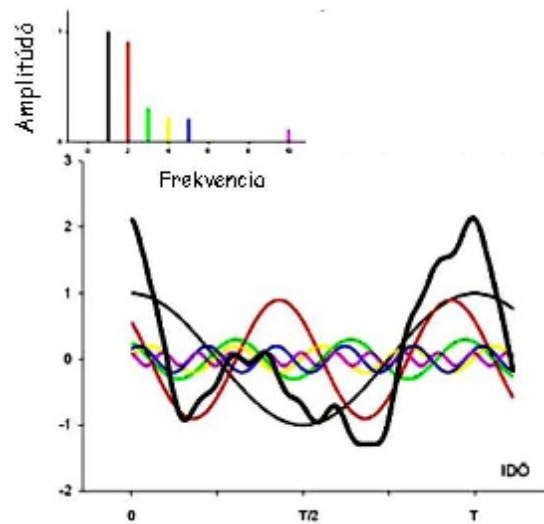
A feltételezés igazolására

- alkalmaztam a 3.2.2 fejezetben bemutatott, munkatársaimmal közösen fejlesztett, új számítógépes programot, amellyel a minta vetületének körvonala egyszerű módon digitalizálható,
- alkalmaztam a diszkrét jelek Fourier sorbafejtését, hogy a redőződő minta síkvetületének körvonalából meghatározzam a vetülethez legjobban illeszkedő kör átmérőjét és azokat a periodikus függvényeket, melyek összegeként az eredeti vetület közelíthető,
- a redőződés kiértékelésére elemeztem a periodikus függvények harmonikus összetevőinek amplitúdóit azok hullámhosszának függvényében ábrázoló spektrum függvényeket és
- megvizsgáltam, hogy a kifejlesztett új eljárás alkalmas-e a textíliát érő különböző hatások kimutatására a spektrum függvények változásán keresztül.

Bár a műszert a próbamérésekhez kalibráltam, méréseimnek nem volt célja a mennyiségi elemzés, mert a spektrumfüggvénnyel elsősorban minőségi elemzést és összehasonlításokat végeztem és a módszer alkalmazhatóságát vizsgáltam a redőződés leírására.

3.4.1 A Fourier analízis során alkalmazott alapösszefüggések

A Fourier sorbafejtés matematikai alapja az a feltételezés, hogy egy $f(t)=f(t\pm T)$ periodikus függvény előállítható a T periódusidőhöz tartozó $f = 1/T$ frekvencia vagy az $\omega=2\pi/T$ körfrekvencia, úgynevezett alapharmonikus egész számú többszöröseinek lineáris kombinációjaként (szuperpozíciójaként). Az $f(t)$ periodikus függvény tehát felbontható egy konstans tag, továbbá végtelen sok harmonikus összetevő összegére. A harmonikus összetevőket általában szinuszos és koszinuszos időfüggvényekkel írják le (3.19. ábra). A periodikus jel T periódusidejének reciproka adja az alapharmonikus frekvenciáját, és a további összetevők frekvenciája ennek az alapfrekvenciának az egész számú többszöröse.



3-19. ábra Jelek felbontása frekvencia szerint

Matematikai formában:

$$f(t) = c_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos(\omega n t) + b_n \sin(\omega n t)) \quad 3.3$$

$$\text{ahol } \omega = 2\pi \frac{1}{T} \quad 3.4$$

A c_0 , stacionárius összetevő:

$$c_0 = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) dt \quad 3.5$$

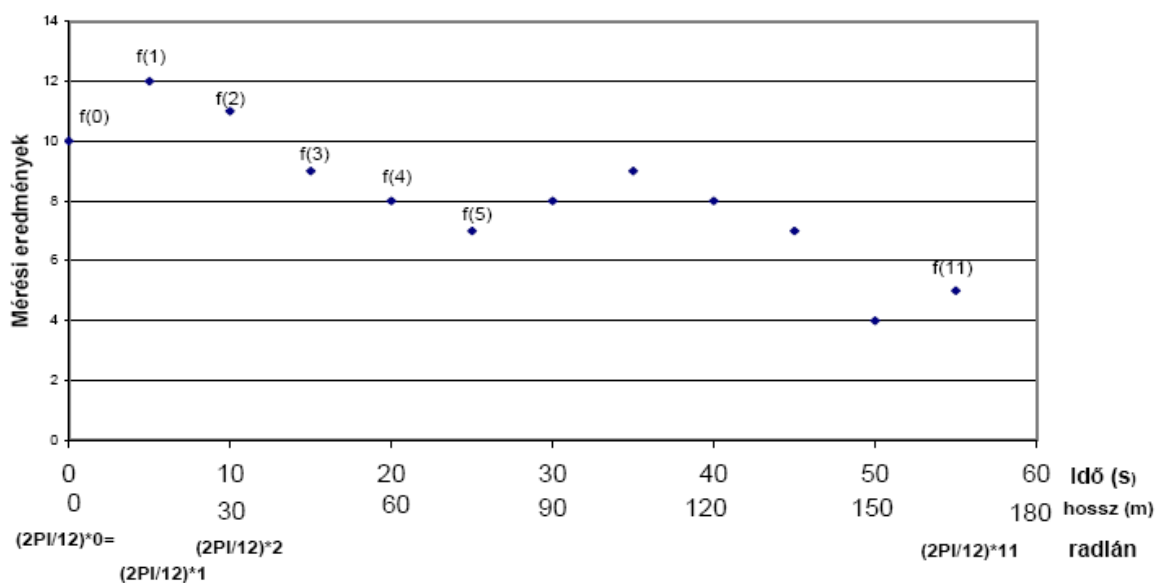
A harmonikus összetevők amplitúdója:

$$a_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cos(\omega n t) dt \quad 3.6$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \sin(\omega n t) dt$$

3.7

A mérnöki gyakorlatban és a természettudományokban gyakori az az eset, amikor a folytonos időtartományú jeleket a mintavételezett értékeiből előállított diszkrét idejű jelekkel helyettesítjük. A Diszkrét Fourier Transzformáció első lépése a mérési eredmények felvétele az idő, vagy a hossz függvényében. Ez azt feltételezi, hogy a mérési eredmények összessége egy periódust alkot, ezért a második lépés a hossz- vagy időváltozó átszámítása radiánná úgy, hogy a mérési eredmények egy perióduson (1 periódus = 2π radián) egyenletesen legyenek elosztva. A független változó átszámítását a 3.20 ábra szemlélteti.



3-20. ábra Független változó átszámítása idő- és hossz- mértékből radiánba

A redőződés mérésénél az alátámasztási felületről lelógó, kör alakú minta vetületének körvonala egy önmagában záródó görbe, amely a középponti szög függvényében, periodikus függvények összegeként előállítható. A további feldolgozás érdekében ezt a hullámgörbét úgy alakítottam át, hogy a folytonos szögtartományú jeleket a redőződés mintavételezett értékeiből előállított diszkrét jelekkel helyettesíttem. Mivel a redőzött minta vetületi képéből nyert hullámgörbe diszkrét pontjait a középponttól mért távolság, azaz a sugár r_i és az elfordulás középponti szöge φ_i határozzák meg, így a hullámgörbe ezekkel kifejezve felírható:

$$r = f(\varphi) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^n [a_k \cos(k\varphi) + b_k \sin(k\varphi)] \quad 3.8$$

Ahol a parciális együtthatók:

$$a_k = \frac{2}{n} \sum_{i=1}^n r_i \cos(k\varphi_i) \quad \text{és} \quad 3.9$$

$$b_k = \frac{2}{n} \sum_{i=1}^n r_i \sin(k\varphi_i) \quad 3.10$$

Ahol

n mérési eredmények száma

k analízishez használt egész számú többszöröse (esetünkben 1-180)

A konstans tag esetünkben az átlag sugárnak felel meg:

$$\bar{r} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f(\varphi_i) \quad 3.11$$

A trigonometrikus egyenletek megoldásánál használt összefüggés szerint az a_k és b_k Fourier együtthatókból meghatározható a c_k :

$$a_k \sin(k\varphi) + b_k \cos(k\varphi) = c_k \sin(k\varphi + \psi_k) \quad 3.12$$

Ahol

$$c_k = \sqrt{a_k^2 + b_k^2} \quad \text{és} \quad \psi_k = \operatorname{tg}^{-1}\left(\frac{b_k}{a_k}\right) \quad 3.13$$

A Fourier sor c_k értékeit nagyság szerint rendezve megállapítható az a tag, amelyik a legnagyobb hatású.

A redőzött vetület területe (A) $0-2\pi$ között egy kettős integrállal a következőképpen számítható:

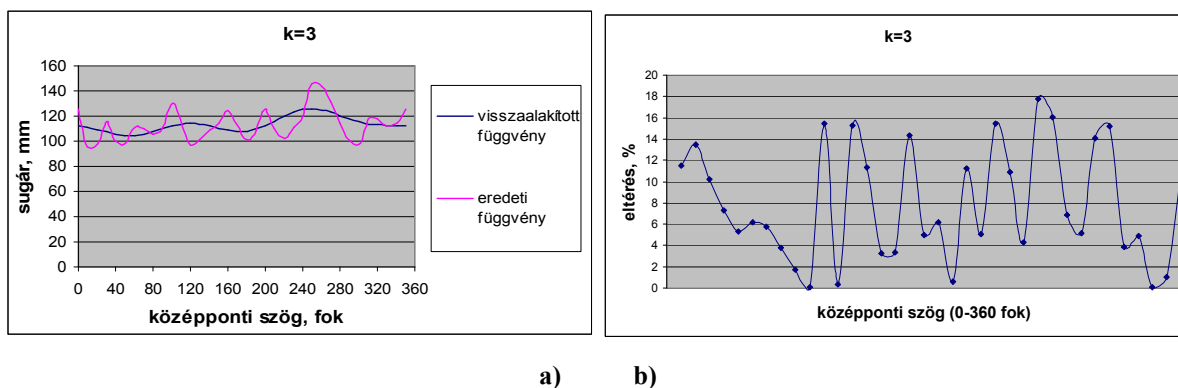
$$A = \int_0^{2\pi} \int_0^{f(\varphi)} r dr \cdot d\varphi = \int_0^{2\pi} \frac{1}{2} f^2(\varphi) d\varphi = \frac{a_0^2}{4} \pi + \sum_{k=1}^{\frac{n}{2}-1} (a_k^2 + b_k^2) \frac{\pi}{2} + \frac{a_{n/2}^2}{8} \pi \quad 3.14$$

3.4.2 A mintavételezés gyakoriságának megválasztása

A vizsgálatoknál minden méréshez azonos beállítást (web kamera távolságot, fényerőt és képfelbontást) alkalmaztam. A köralak geometriája miatt a mintavételezési tartomány $0-360^\circ$ és a hullámok kezdő- és végpontja egybeesik. Koordinátarendszerben ábrázoltam a redők pontjainak középponttól mért távolságát (r_i) a középponti szög (φ_i) függvényében. A hullámgörbéről leolvasható a redők száma, a redők helyzete, a redők hullámhossza és az amplitúdója. Mivel a redőződő kelme vetületét egy kör mentén olvastam le, ezért a redők szélessége, azaz hullámhossza fokban kifejezett érték.

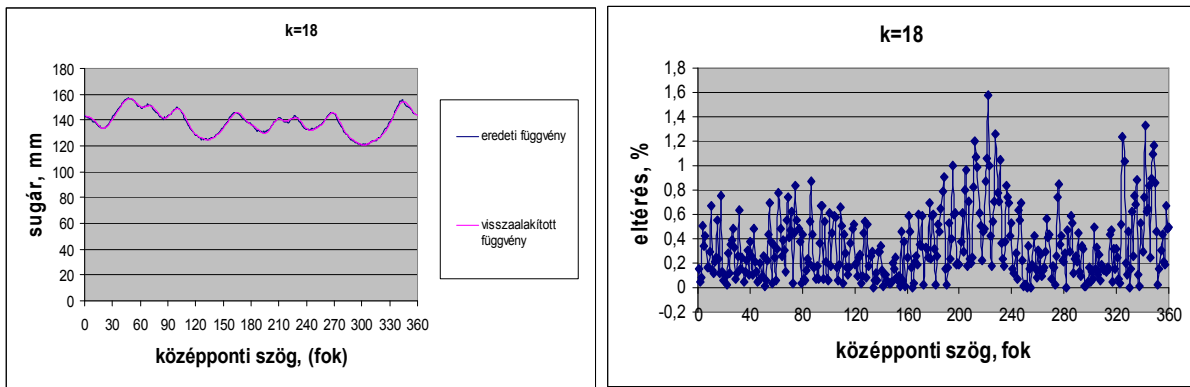
A mintavételezéshez figyelembe vettem, hogy a digitális adatrögzítésnél egy jelben előforduló legmagasabb frekvenciájú (f_{\max}) összetevő egy periódusára legalább két minta kell essen, azaz $f_{\text{minta}} > f_{\max}$ (Shannon tétel), annak érdekében, hogy az eredeti jelet információvesztés nélkül vissza lehessen állítani. Esetünkben nem beszélhetünk frekvenciáról (a redők amplitúdóit a szög függvényében rögzítettem), ezért a középponti szög alapján határoztam meg a mintavételezési gyakoriságot.

A Fourier sorba fejtéshez a 7.11 mellékletben bemutatott számítógépes programmal megállapítottam a vetületi kép felvett kontúrpointjainak adataiból a redőződés hullámgörbéjére jellemző alapharmonikust, valamint a felharmonikusokat. A harmonikus analízis során megvizsgáltam, hogy mekkora az a k érték, amelynél már nincs szignifikáns eltérés az eredeti és a visszaalakított függvény között. Egyértelmű, hogy pl. $k=3$ a mi esetünkben, a vizsgált közepes merevségű textíliáknál túl kicsi, mert a függvény alig illeszkedik a 10 fokonként felvett mérési adatokból kapott redőződési görbéhez (3-21. ábra/a). Az eredeti és a visszatranszformált függvény adatainak az átlagra viszonyított eltérése meghaladja a 18 százalékot (3.21 ábra/b).



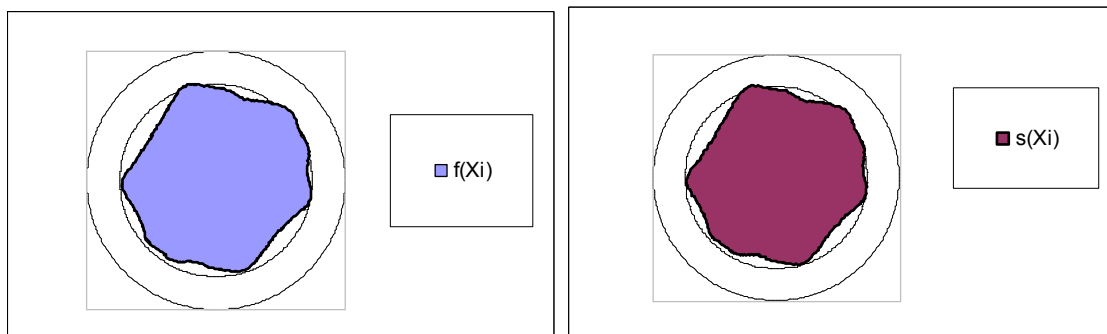
3-21. ábra Fourier analízis eredménye 3 harmonikus összetevővel, 10 fokos mintavételi gyakorisággal a) az eredeti és Fourier-transzformált görbe, b) az illesztés százalékos eltérése

A harmonikusok számát 18-ra emelve a görbe illesztése már sokkal jobb (3-22. ábra), a két görbe pontjai közötti eltérés 1,6% alatt van (3-22. ábra, jobb oldali diagram).



a) b)
3-22. ábra 18 harmonikus segítségével végzett Fourier analízis
 a) az eredeti és Fourier-transzformált görbe, b) az illesztés százalékos eltérése

A vetületi görbe eredeti és transzponált pontjait polárkoordinátán ábrázolva látható, hogy az elsősorban a kis hullámhosszú redőkben mutatkozó különbség elhanyagolható (3-23. ábra) mértékű. Ez várható volt, hiszen minél több tagból (k) áll a (3.7) összefüggés, annál pontosabban írható le az eredeti függvény.



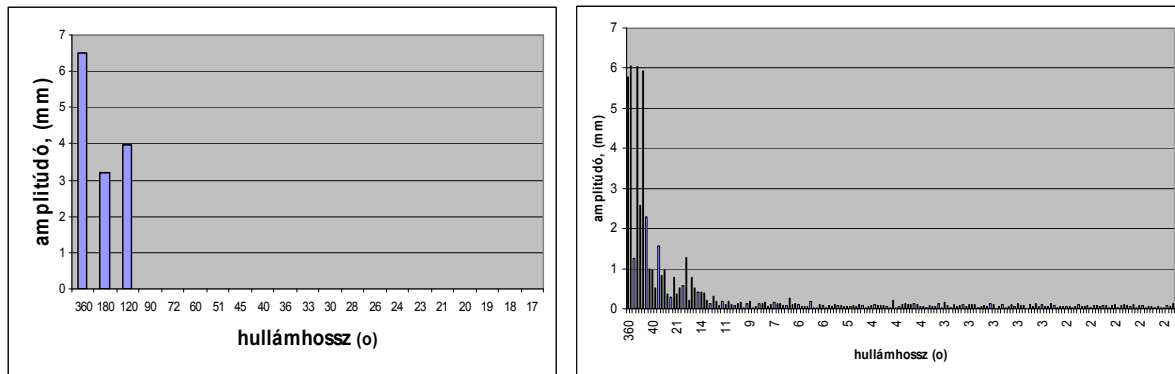
3-23. ábra Az eredeti hullámgörbe és a 18 harmonikus segítségével végzett Fourier analízis eredménye

Bár az eltérés ennél a mintánál megengedhetőnek látszik, az előzetes vizsgálatokból nyert tapasztalat alapján feltételeztem, hogy a jelben előforduló legkisebb redő középponti szöge 2 fok, ezért a további vizsgálatokhoz az új számítógépes kiértékelő program 1 fokként rögzítette a körvonal pontjainak középponttól való távolságát ($n=360$) és a pontos illesztés érdekében 180 harmonikussal számoltam.

Az számított függvény és az eredeti görbe pontjai közötti különbség így már nulla, az esetenként előforduló 0,05 %-os eltérés az adatfeldolgozás technikai hibájára vezethető vissza.

A redőződés spektrumfüggvénye

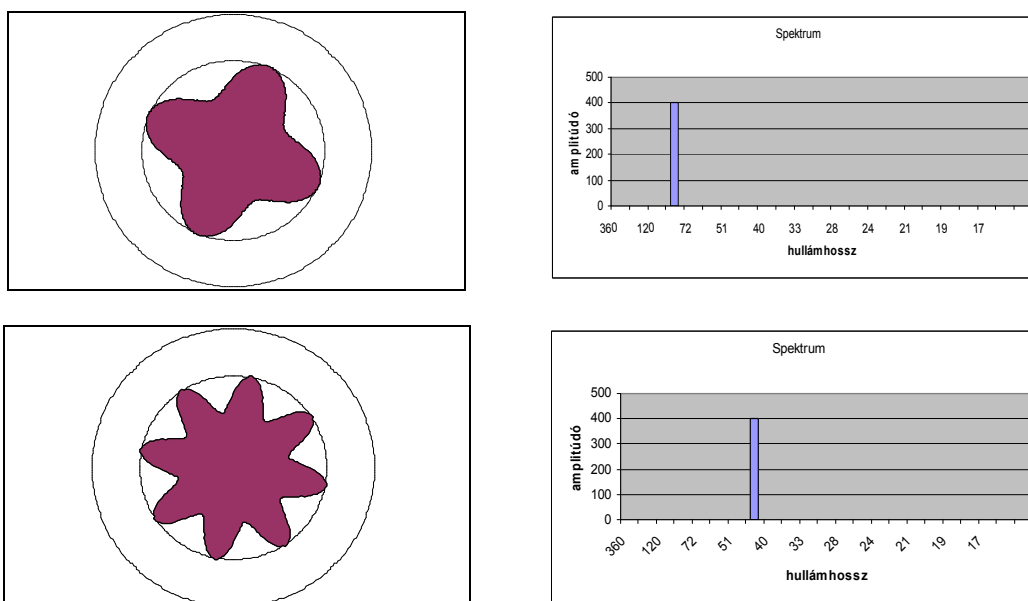
A spektrumfüggvény ábrázolásához az x tengelyen az analízisnél alkalmazott harmonikusok száma (k) szerepel, a hozzá tartozó hullámhossz megadásával ($\lambda = 360^\circ/k$) fokban, míg az y tengelyen a Fourier analízissel kapott a_k és b_k harmonikus összetevőkből számított c_k értéket vettem fel, amplitúdó elnevezéssel. A domináns hullámhossz összetevők szemléletesebb ábrázolása kedvéért az x tengely osztásközét azonos méretűnek választottam és a c_k értékeit a k érték növekvő sorrendjében vettem fel (3-24. ábra).



3-24. ábra Fourier sorfejtéssel kapott spektrumfüggvény ($k=3$ és $k=180$ esetén)

A fenti ábrán a redőződési görbe spektrumfüggvénye látszik, 3 illetve 180 harmonikus függvény illesztésénél. Több parciális együtthatónál az amplitúdók egy adott hullámhossz után ($13-15^\circ$) már nagyon kicsik (3-24. ábra jobb oldali diagram). Tapasztalati úton megállapítottam, hogy a mért mintákon a redőződés jellemző harmonikusai a $360-10^\circ$ hullámhossztartományban vannak és $k < 10$ esetén az amplitúdó értékek a 0-hoz közelítenek, ezért ezeket a továbbiakban az ábrázolásnál elhanyagolhatónak tekintettem.

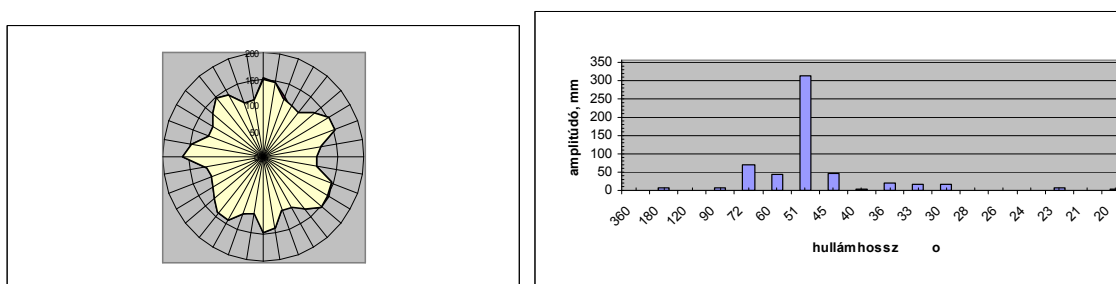
A spektrumfüggvény alkalmazhatóságát először idealizált vetületeken, majd különböző szempontok szerint kiválasztott textil mintákon vizsgáltam. A 3-25. ábrán idealizált eset látható: azonos vetületi terület mellett (azonos esési tényező, DC%) elméletileg előforduló két különböző redőzöttséget mutat. A jellemző redő szögelfordulása az $f(\alpha) = 5 + \cos 4\alpha$ függvényénél 90 fok, míg az $f(\alpha) = 5 + \cos 8\alpha$ függvényénél 45 fok. A bemutatott spektrumfüggvények bizonyítják, hogy az esési tényező önmagában nem ad elegendő információt a redőződés geometriájáról, hiszen az első eset egy nagyobb, merevebb redőket mutató kelmét feltételez.



3-25. ábra Elméleti spektrumfüggvény két olyan kelménél, amelyeknek redőződési tényezője megegyezik

A spektrumfüggvény értelmezéséhez egy erre a célra készített Fourier számolóprogramot használtam. Ennek segítségével tetszőleges elméleti redőződési hullámgörbét lehet kialakítani úgy, hogy a redőződést jellemző hullámhossz(ok)hoz különböző amplitúdó értékeket veszünk fel. A redőződés képek reprodukciója alapján az elméleti adatokból a következőket állapítottam meg:

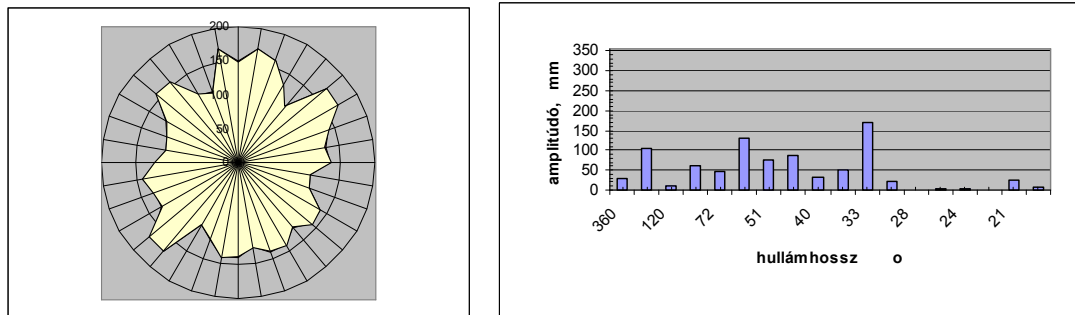
- A redőződés közel szabályosnak vehető, ha azt többnyire egyenletes eloszlásban hasonló hullámhosszú és amplitúdójú redők jellemzik (3-26. ábra). Ilyenkor a spektrumban egy kiugró amplitúdó csúcs (főkomponens) van, és a redőket az ehhez tartozó hullámhossz jellemzi (3-26. ábra), ahol $\lambda_{\max}=51,4$ fok és a hullámok száma $360^\circ/\lambda_{\max}=7$.



3-26. ábra Szabályosnak mondható redőződés spektrumfüggvénye

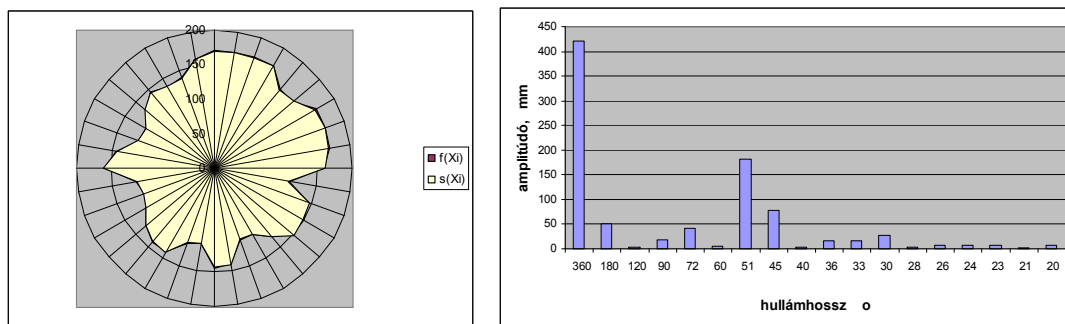
- Ha a redőződés nem szabályos, a redők különböző méretűek. Ekkor a spektrumban több főkomponens van, a hullámgörbét több periodikus függvénnyel lehet közelíteni. Az amplitúdó értékei különbözők lehetnek, attól függően, hogy melyik hullámhosszú függvények jellemzik leginkább a hullámgörbét. Az amplitúdó maximumától az x

tengelyhez közelítve megállapíthatóak a főkomponensek és az azokhoz tartozó hullámhossz értékek (3-27. ábra).



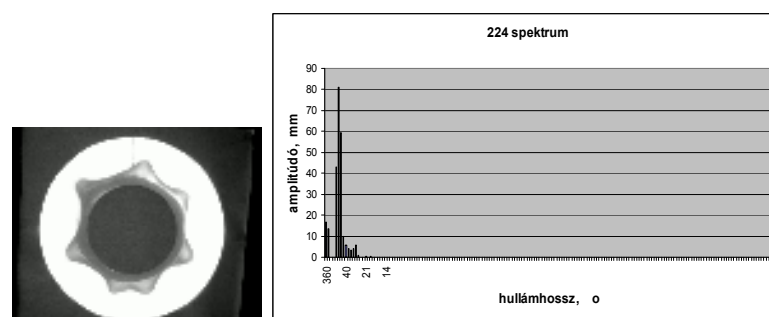
3-27. ábra Szabálytalan redőződés különböző hullámhosszú redőinek spektruma

- A redőződés aszimmetrikus, ha a görbe egyes szakaszain nincsenek jól körülhatárolható redők és a redők eloszlása nem egyenletes (3-28. ábra). Mivel egyes helyeken alig van lehajlás, a spektrumban a legnagyobb hullámhossznál jelenik meg az amplitúdó maximum értéke.



3-28. ábra Aszimmetrikus redőzöttség spektruma különböző hullámhosszú redőkkel

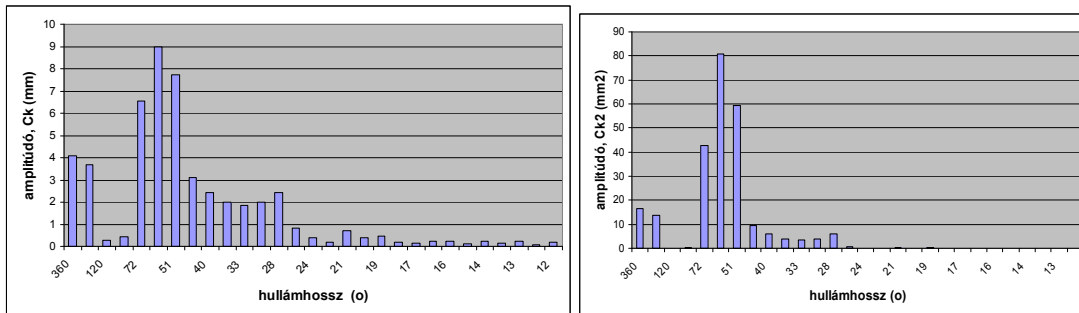
A következőkben azt vizsgáltam, hogy a síkvetület hullámgörbéjéből nyert spektrumfüggvényből hogyan nyerhető minél több információ a redőződésről.



3-29. ábra Síkvetület spektrumfüggvénye

A 3-29. ábrán egy textilá redőződésének digitális vetületi képe és a teljes spektrumfüggvény látható ($k=180$). Az így ábrázolt spektrumfüggvényből nem könnyű leolvasni, hogy a c_k érték nagysága szerint a három főkomponens hullámhossza 60 fok, 51,4 fok és 72 fok. A továbbiakban a főkomponensek hatásvizsgálatához és a jellegzetes

különbségek kiemeléséhez a harmonikus összetevők (c_k) négyzetes hatványát ábrázoltam (3-30. ábra), feltételezve, hogy így könnyebben megállapítható, melyek azok, amelyek leírják a redőződés változatosságának legnagyobb százalékát.

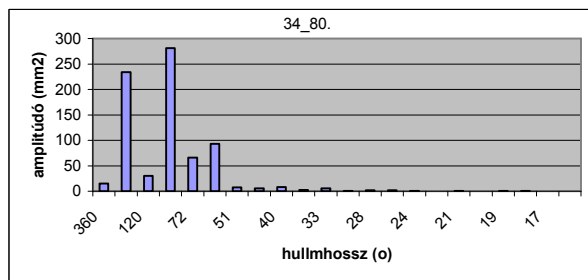
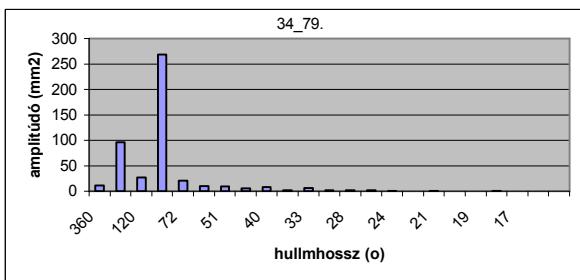
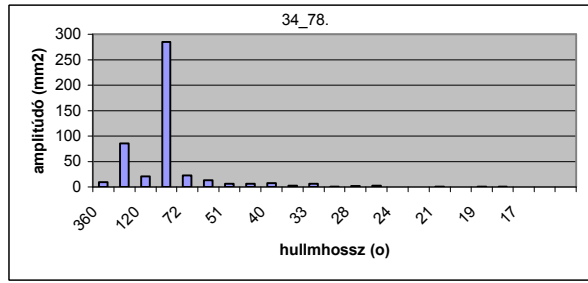
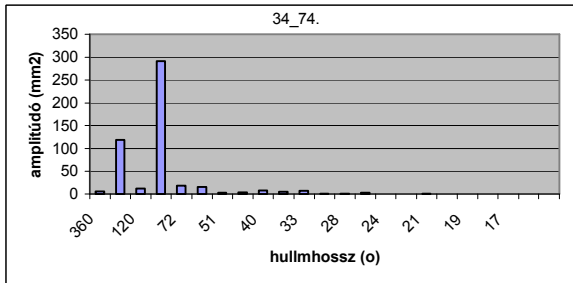
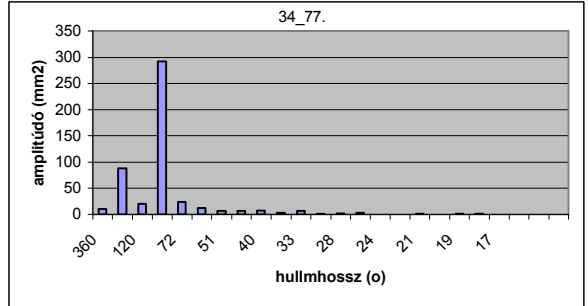
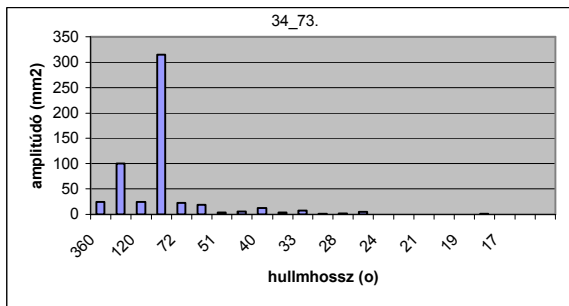
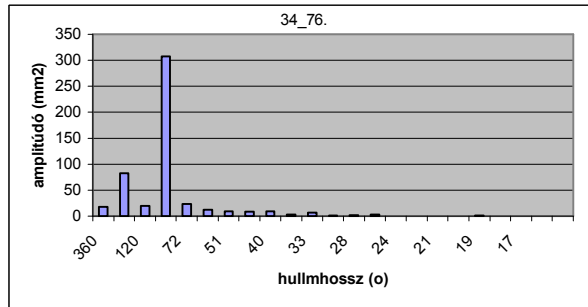
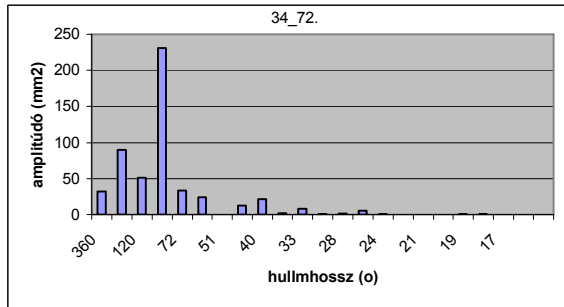
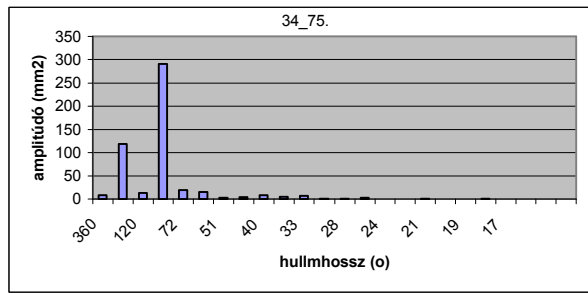
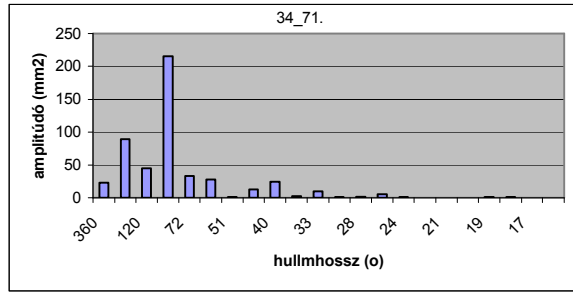


3-30. ábra Spektrumfüggvény változása a c_k értékek négyzetre emelésével (jobb oldali diagramon a hatvány értékek szerepelnek)

3.4.3 A spektrumfüggvény reprodukálhatósága

A következőkben a spektrumképek reprodukálhatóságát vizsgáltam. Ehhez azonos próbadarabot (34. minta) 0,5 perces időközönként, egymás után többször mértem le. A mintatartó tányér leengedése után kapott vetületi képről azonos módon beállított képrögzítő eszközzel készítettem el a felvételt. A vizsgálatot két különböző átmérővel (30 cm és 36 cm), több mintán is elvégeztem, 10-10 felvételt készítve.

Azt tapasztaltam, hogy a spektrumkép a felhelyezést követő néhány perc eltelte után stabilizálódik. A mintatartó tányér többszöri felemelése és leengedése után a redőződött kép nem változott jelentősen. A 3-31. ábrán bemutatott vizsgálati minta 10 felvételéből látható, hogy a redőkre két hullámhossz jellemző. A harmonikus összetevők két főkomponense 90, a és 180 foknál van, ez utóbbihoz tartozó amplitúdó érték a maximum amplitúdó kb. 1/3-a. A megvizsgált redőződött mintákból felvett spektrumfüggvényeken a nagyon kis amplitúdó értékek azt jelzik, hogy a görbe közelítésénél igen kis hullámhosszú harmonikus összetevők is szerepet játszanak. A továbbiakban érdemes lenne megvizsgálni azt a feltételezést, hogy a redőződés spektrumfüggvényein előforduló nagyon kis amplitúdó értékek a maximum érték 1-2 %-a alatt zajnak tekinthetők-e.



3-31. ábra A hullámhossz függvényében ábrázolt harmonikus összetevők amplitúdója azonos kelmén (34. minta), különböző időpontokban készült fényképfelvételek alapján (d=30 cm)

3.4.4 A minta méretének befolyása a redőződés mérési eredményeire

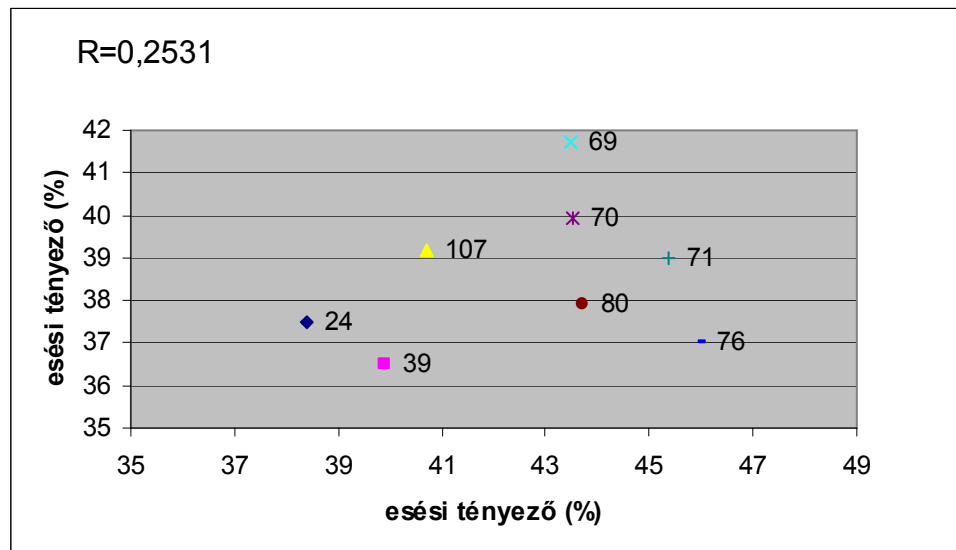
Ennek a vizsgálat sorozatnak az volt a célja, hogy megállapítsa, vajon mekkora befolyása van a redőződésre a vizsgált minta méretének.

Vizsgálataimhoz először nyolc minta esési tényezőjét állapítottam meg Cusick-féle készüléken. Számítógépes kiértékelést alkalmaztam, mintánként öt mérést végezve. A minta átmérője első esetben 30 cm, a második esetben 36 cm volt. Az esési tényező és a variációs tényező értékeit a 3-6. táblázat tartalmazza.

3-6 Táblázat Különböző vizsgálati minták esési tényezői a minta méretétől függően

minta száma	24	39	107	69	70	80	71	76
Minta átmérője, d = 30 cm								
Esési tényező átlaga [%]	38,39	39,9	40,7	43,5	43,51	43,71	45,39	45,96
Variációs tényező, CV [%]	0,9	0,74	0,58	0,5	0,43	0,53	0,63	0,57
Minta átmérője, d = 36 cm								
Esési tényező átlaga [%]	37,5	36,5	39,2	41,7	39,92	37,9	39	37,01
Variációs tényező, CV [%]	1,05	2	2,54	1,08	2,64	2,2	0,88	2,39

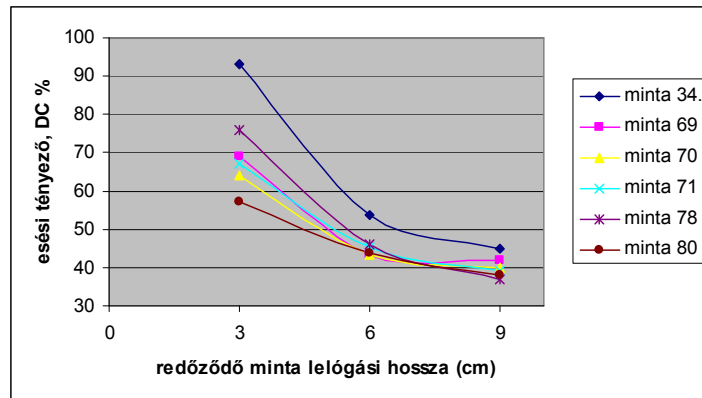
A 3-32. ábra diagramján látható, hogy az értékek közötti korreláció nagyon alacsony, tehát az esési tényező függ a vizsgált minta méretétől.



3-32. ábra Különböző méretű minták esési tényezője

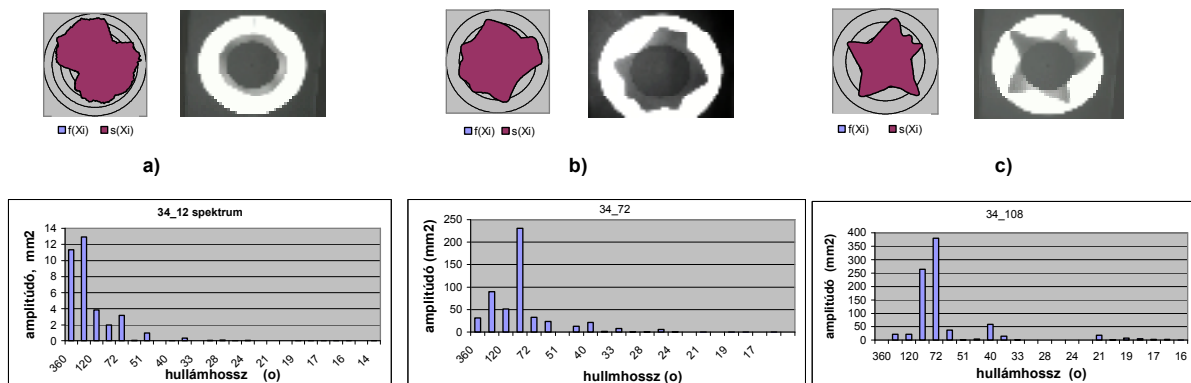
A következőkben három különböző mintamérettel kapott eredményeket hasonlítottam össze (3-33. ábra). Ezek az eredmények is azt bizonyítják, hogy a redőződő textíliák különböző leológási hosszánál eltérő redőződési tényezőt mutatnak, a vizsgálati minta méretének tehát szignifikáns hatása van a mért esési tényezőre, ezért az esési tényező értéke mellé minden esetben meg kell adni a vizsgálati minta méretét is.

Ez megfelel a várt eredménynek, mivel a nagyobb lelógási hosszról függően a redőződő textilálya tömege különböző, és ez befolyásolja az esési tényezőt. A közelítő függvény megállapításához több mintaméretből álló sorozatot lenne érdemes megvizsgálni.



3-33. ábra Esési tényező a redőződő minta lelógási hosszának függvényében

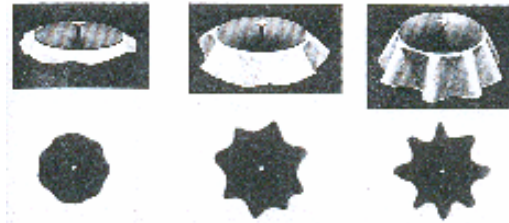
Megvizsgáltam, hogy próbadarab méretének változtatásával a redőződött kelme esési tényezőjén kívül vajon változik-e a redőződés geometriája is. A 3-34. ábrán látható, hogy a lelógási hossz növelésével a redőződött minta vetületi képe is megváltozik és ez a különbség a spektrumfüggvényben is megmutatkozik.



3-34. ábra Vizsgálati minta (34.) redőződésének vetületi képe és spektrumfüggvénye a) 3 cm-es, b) 6 cm-es és c) 9 cm-es lelógási hosszánál

A legkisebb lelógási hosszánál alig redőződött a vizsgált minta, a domináns harmonikus összetevők hullámhossza 180 és 360 fok. A lelógási hossz növelésével a redőződés hangsúlyosabbá válik. A főkomponensek amplitúdója nő és helye a kisebb hullámhossz irányába tolódik. A legnagyobb átmérőjű mintánál lényegesen nagyobb a lelógó minta tömege, vélhetően elsősorban ettől és kevésbé a kelmekonstrukciótól függ a minta redőződése és a redők száma.

A statikus redőzöttség képét tehát befolyásolja a lelógó hossz változása (3-35.ábra), a továbbiakban érdemes lenne azt is megvizsgálni, hogy mekkora hosszúságnál nem változik tovább a redőződés képe és áll be a redőződésnél az egyensúlyi állapot.



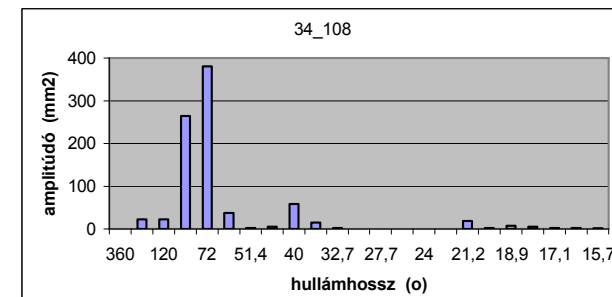
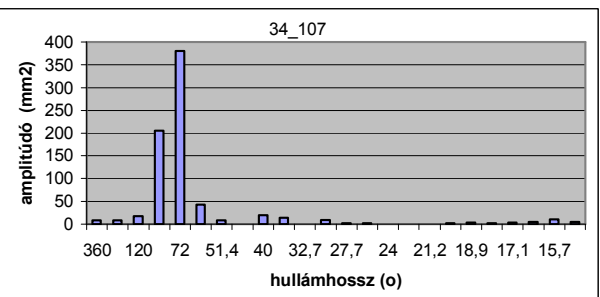
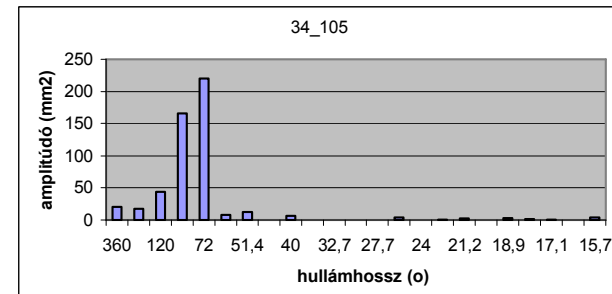
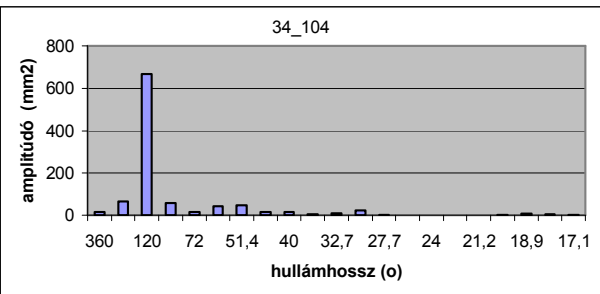
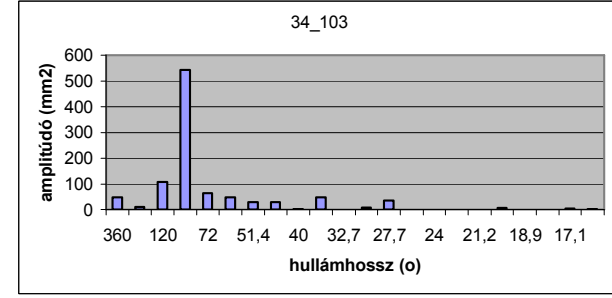
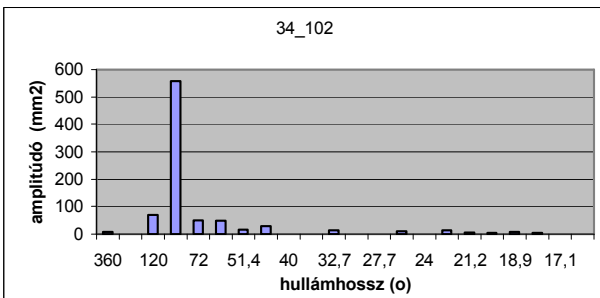
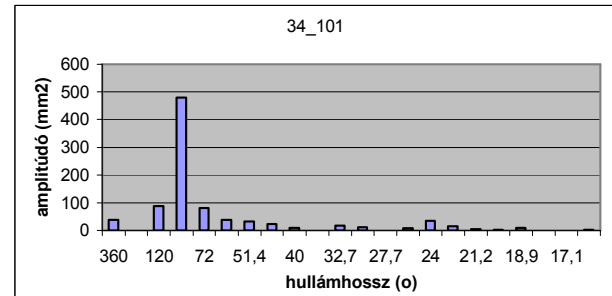
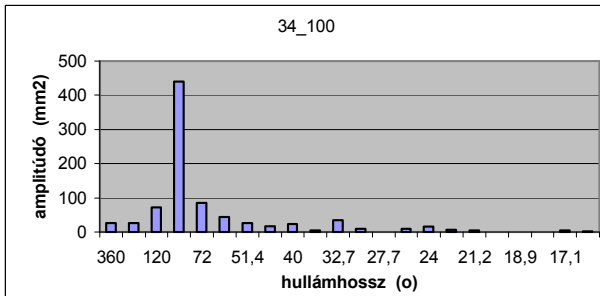
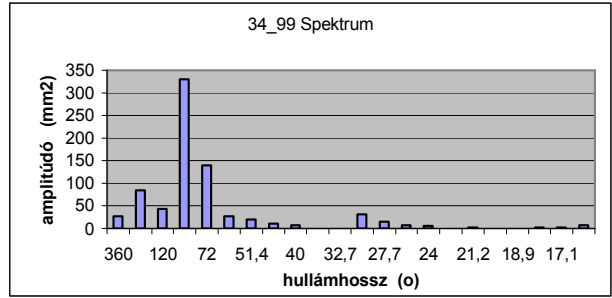
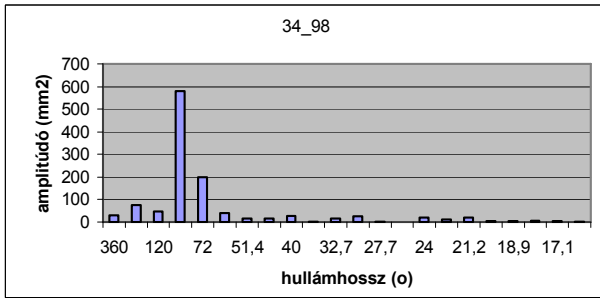
3-35. ábra A próbadarab redőződése az átmérő méretének változtatásával [50]

Nagyobb méretű minta ismételt vizsgálatánál az esési tényező variációs tényezője magasabb lett (3-7. táblázat), ezért annak megállapítására, hogy a spektrumkép mennyire állandó, újabb 10 ismételt vizsgálatot végeztem a legnagyobb szórást mutató, 36 cm-es átmérőjű mintán.

3-7. Táblázat Redőződési jellemzők különböző mintaméretnél

Minta száma	34.		
Lelógási hossz (cm)	3	6	9
Ismételt mérések száma [db]	10	23	10
esési tényező átlaga, DC [%]	93	53,9	44,9
Esési tényező variációjának CV [%]	0,1	2,3	6,3
Domináns harmonikus összetevő hullámhossza [o]	180	90	90
Maximum amplitúdó	80	220	620
Jellemző hullámhossztartomány	360-180	180-90	90-72
Spektrumingadozás ismételt méréseknél	nincs	elhanyagolható	van

Az ismételt vizsgálatoknál az első hat leengedést követően a minta azonos spektrumképet mutatott (3-36. ábra). Ezt követően újabb amplitúdó csúcs jelent meg és a főkomponens hullámhossza 90 fokról 72 fokra tolódott. A minta többszöri leengedésével tehát a redőződés spektrumképe a nagyobb mintaméretnél az idő előrehaladtával módosult. Nagyobb lelógási hosszánál a redők kialakulásának helye és mérete kevésbé állandó.

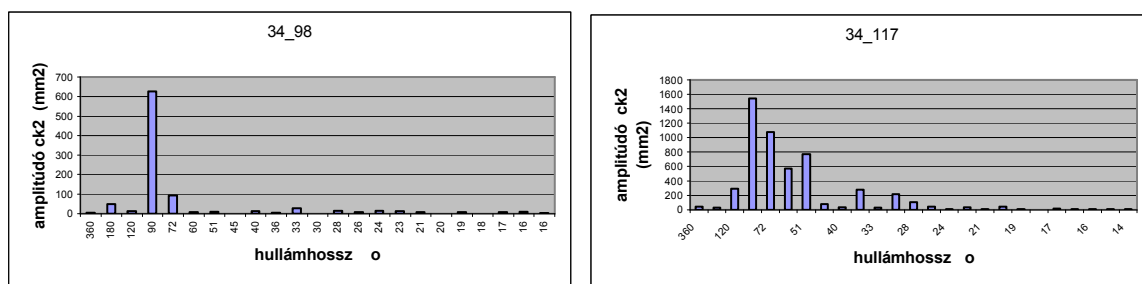


3-36. ábra A hullámhossz függvényében ábrázolt harmonikus összetevők amplitúdója azonos kelmén (34. minta), különböző időpontokban készült fényképfelvételek alapján (d=36 cm)

3.4.5 A minta felhelyezésének hatása a redőződésre

A redőződés szimulációjához az anyag valós viselkedését kell virtuális módon leképezni. A valóságban a textília a ruha viselése, vagy a ruhapróba alatt számos kis erőhatásnak van kitéve, pl. a mozgás, a különböző felületek ütközése és egyéb dinamikus hatások következtében. A redőződés vizsgálatára vonatkozó szabványok különböző mintafelhelyezési módokat írnak elő. Több irodalomban is szerepel, hogy a redőződést befolyásolja a minta felhelyezése és leengedése a mérés során [72], [74], [75], ezért megvizsgáltam, hogy milyen befolyása van ennek a spektrumképre.

A vizsgálathoz a Cusick-féle készülékre helyezett mintát a leengedés előtt a mintatartón kézzel igazgattam és forgattam, olyan manuális erőhatásokat szimulálva, amelyek pl. a ruházat viselésekor, vagy egy abrosz leterítésénél léphetnek fel. Tíz ismételt vizsgálatot végeztem, és azt az eredményt kaptam, hogy a forgatással okozott kis erőhatásra a spektrumkép a 36 cm-es átmérőjű mintánál változott jelentősen. Itt az eredetihez képest több csúcs jelent meg a spektrumfüggvényben (3-37. ábra). Az ilyen módon vizsgált minták esési tényezőjének variációs koefficiense a megismételt méréseknél nagyobb lett, mint forgatás nélkül, és az ismételt vizsgálatoknál kapott spektrumkép nem azonos (ingadozik) (3-8. táblázat).



3-37. ábra Forgatás nélkül (balra) és forgatás után (jobbra) mért spektrumfüggvény 36 cm-es átmérőjű mintán

3-8. Táblázat Redőződési jellemzők változása a mintára ható kis erőhatás következtében

Minta száma	Esési tényező átlaga, DC (%)		Variációs tényező, CV (%)		Spektrumkép	
	Forgatás nélkül	forgatással	Forgatás nélkül	forgatással	Forgatás nélkül	forgatással
34. (d=30 cm)	54,1	53,6	2,15	2,4	azonos	eltérő
34. (d=36 cm)	44	45,7	6,04	6,59	hasonló	eltérő
111. (d=30 cm)	37,43	35,3	2,96	3,22	hasonló	eltérő
48. (d=30 cm)	49,5	53,3	3,32	4,16	hasonló	eltérő

3.4.6 Textíliák minőségi elemzése spektrumfüggvénnyel

E vizsgálat célja az volt, hogy megállapítsa, vajon a vetületi kép hullámgörbéje alapján Fourier analízissel nyert spektrumfüggvény alkalmas-e a textíliák összehasonlítására és egy kelme azonosítására.

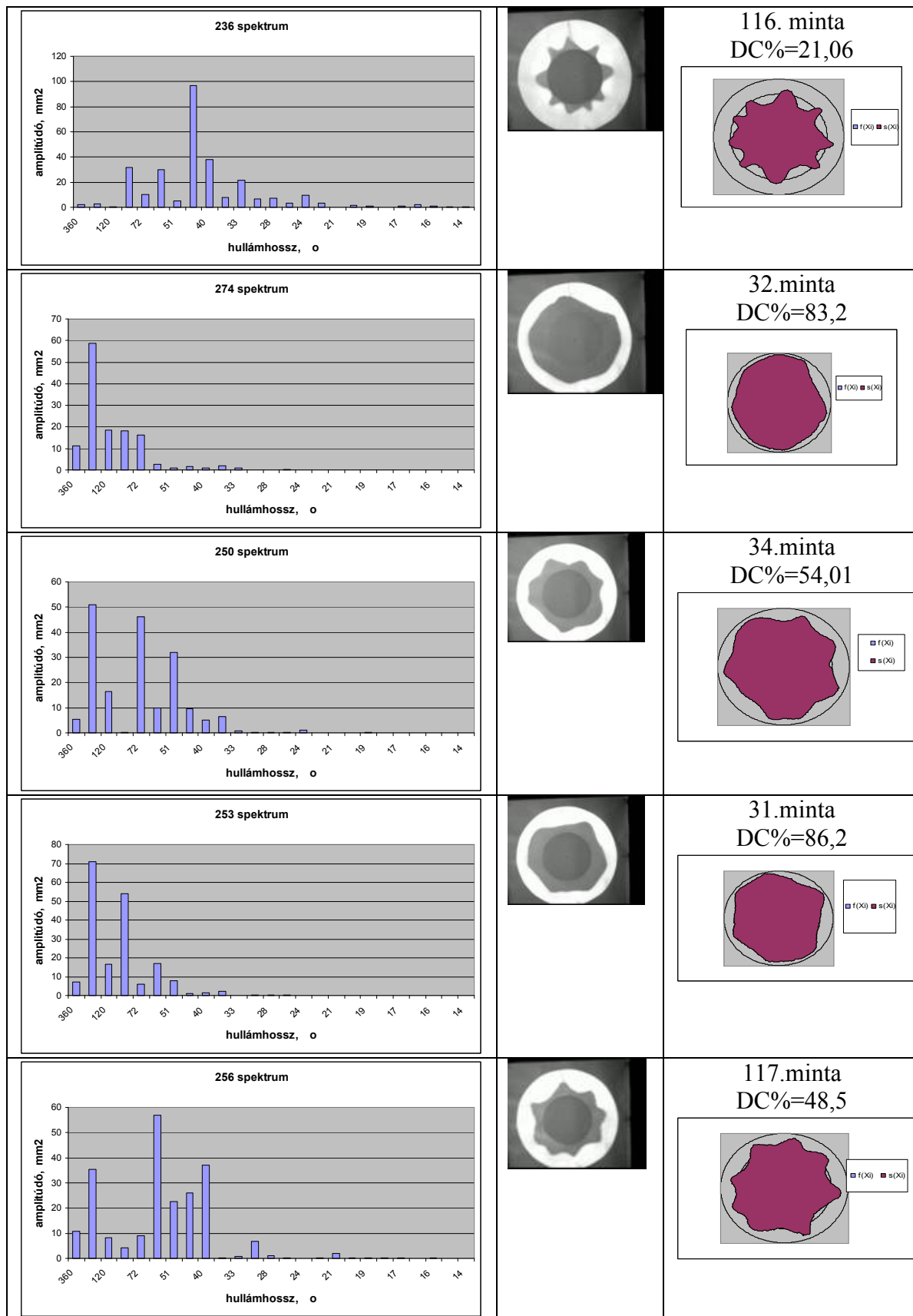
3.4.6.1 Különböző textíliák összehasonlítása spektrumfüggvény alapján

A vizsgálathoz véletlenszerűen kiválasztott 15 különböző textília spektrumfüggvényét vettem fel. A Cusick-féle készüléken a vizsgálathoz a minták redőződését legjobban szemléltető, 30 cm-es mintaátmérőt választottam. A spektrumfüggvények mellett feltüntettem a redőződött képet, a visszatranszformált függvényt polárkoordinátában és a mért esési tényező értékét is. A 3-38. ábra alapján a spektrumfüggvény alkalmas annak a feltételezésnek az igazolására, hogy az a textília redőződésére jellemző, így minőségi elemzésre, illetve összehasonlításra alkalmas információkkal szolgál. Az esési tényező alapján a 15 mintát három kategóriába soroltam (lágy, közepes és merevebb) (3-9. táblázat). A minták 4 főkomponensét vizsgálva megállapítottam azok középértékét és az ahhoz tartozó hullámhosszt. A lágyabb minták jellemző harmonikusa 55 fok körüli, míg a merevebb minták spektruma a nagyobb hullámhossz (92 fok) irányába tolódik el.

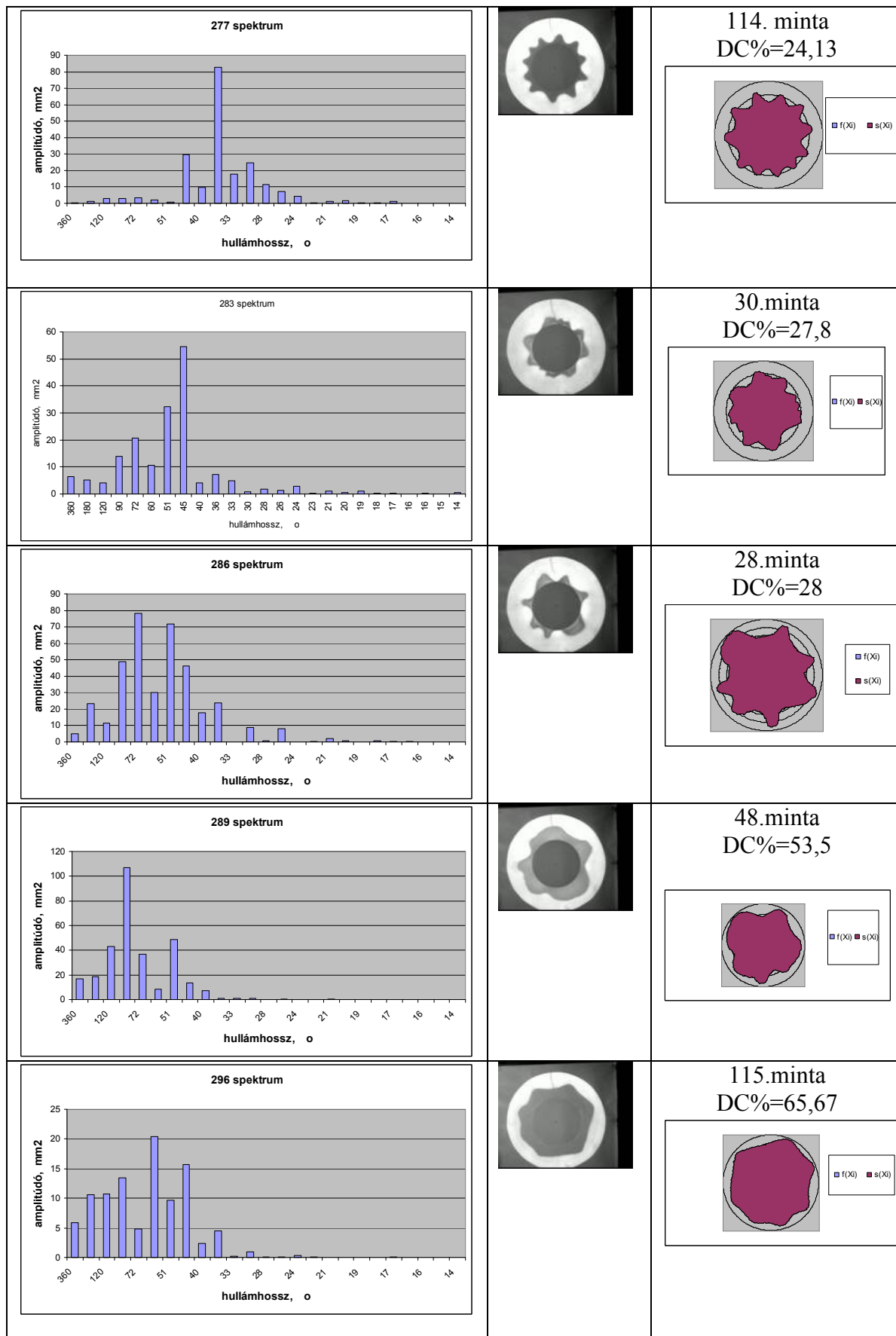
3-9. Táblázat Véletlenszerűen kiválasztott textíliák harmonikusainak jellemző hullámhossza

vizsgált minták esési tényezőinek értéktartománya, DC [%]	54-86	36-49	20-36
főkomponensek k értékének átlaga	3,9	4,88	6,58
k értéktartományának terjedelme	1 és 8 között	2 és 8 között	2 és 12 között
főkomponensek k értékének szórása	1,29	0,75	2,22
főkomponensek átlagértékéhez tartozó hullámhossz ($360^\circ/k$) [°]	92,31	73,85	54,68

A redőzöttség alapján könnyebbnek tűnik az alacsonyabb esési tényezőjű minták összehasonlítása. A szövött minták mellett egy kötött kelme redőződését is megvizsgáltam, ez a 114-es minta. A szabályos redőződést mutató kelme spektrumfüggvényére jellemző, hogy a redőzött görbe a többi mintához képest kisebb hullámhosszú periodikus függvényekkel írható le. Egy domináns felharmonikusa van, e főkomponens hullámhossza 36 fok, és a többi felharmonikusaira is kis hullámhossz a jellemző.



<p>259 spektrum</p>		<p>23.minta DC%= 35,5</p>
<p>262 spektrum</p>		<p>27.minta DC%= 28,9</p>
<p>268 spektrum</p>		<p>110.minta DC%=36,3</p>
<p>271 spektrum</p>		<p>111.minta DC%=37,43</p>
<p>274 spektrum</p>		<p>113.minta DC%=40,41</p>



3-38. ábra Véletlenszerűen kiválasztott textiliák redőződésének spektrumfüggvénye a digitalizált vetületi képpel, a visszatranszformált függvénnyel és a számított esési tényező értékével

3.4.6.2 A kikészítés hatásának bemutatása a spektrumfüggvényen keresztül

Ebben a fejezetben azt vizsgáltam, hogy a redőződés spektrumképe alkalmas-e különböző kikészítés technológia hatásának kimutatására. A mintasorozat a 3-10. táblázatban részletezett vizsgálati anyagokból állt.

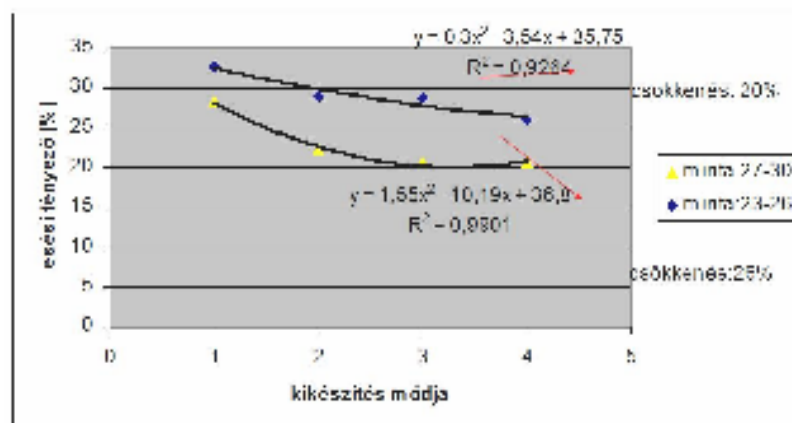
3-10. Táblázat Különböző kikészítést kapott vizsgálati minták adatai

<i>mintá</i>	<i>Területi sűrűség [g/m²]</i>	<i>Alapbeállítás</i>	<i>Változó</i>		
23-26	90	100% nyomott viszkóz , filament lineáris sűrűsége 333 dtex (1)	normal kikészítés (2)	szanforizált (3)	soft kikészítés (4)
27-30	90	100% nyomott viszkóz , filament lineáris sűrűsége 200 dtex (1)	normal kikészítés (2)	szanforizált (3)	soft kikészítés (4)

Az összehasonlító vizsgálatokhoz a következő technológiai lépcsőben vettem mintákat:

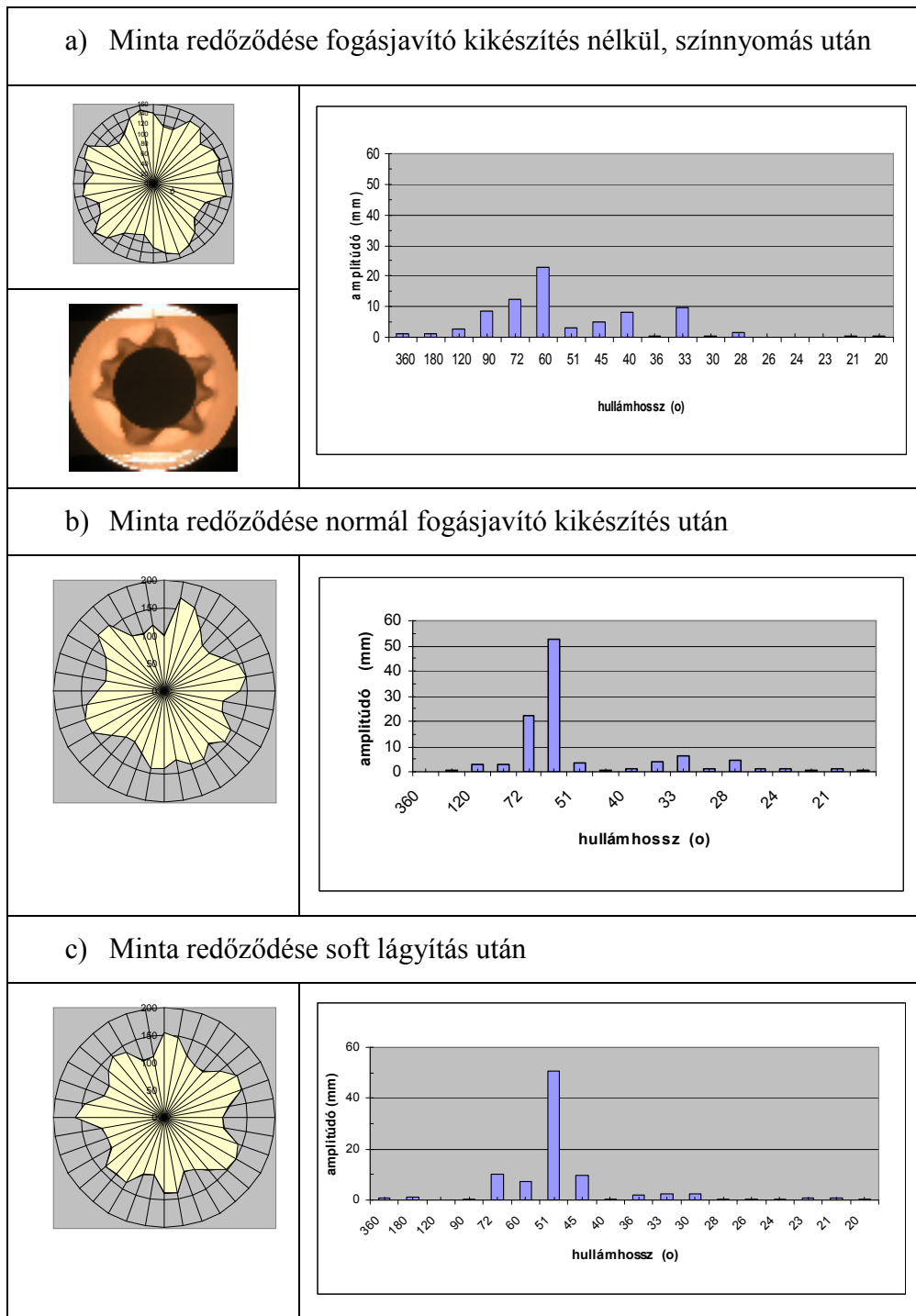
1. Nyomás után.
2. Normál fogásjavító kikészítés után. A kikészítés formaldehid-szegény műgyanta (Reaknitt BFA), zsírsav kondenzátum alapú lágyító (Tubingal WBH) és csúszásgátló (Fornax W) felhasználásával történt.
3. Normál fogásjavító kikészítés és mechanikai méretrögzítés (szanforizálás) után.
4. Soft kikészítés után: a normál kikészítéshez képest kétszeres mennyiségű szilikonos lágyító (Tubingal FAM) és csúszásgátló (Syntharesin) felhasználásával [83].

Bár a minták esési tényezői között csekély különbség mutatkozott (3-39. ábra), a minták tapintás alapján jól megkülönböztethetőek. A különbség tehát elsősorban az anyag olyan jellemzőiben lehet, amelyek a redőződéssel és tapintással összefüggnek, ezért megvizsgáltam az esési tényezőjük mellett a KES-FB rendszerrel meghatározható mechanikai tulajdonságait is. Az esési tényező mindkét sorozatnál 20-26 %-al csökkent a kikészítés hatására.



3-39. ábra Az esési tényező változása a fogásjavító kikészítés hatására

A 3-40. ábrán a spektrumfüggvények és az adatokból visszaalakított polárdiagram látható.



3-40. ábra Spektrumfüggvény különböző kikészítést kapott kelmén (23. 24. és 26. minta)

A diagramok azt mutatják, hogy a lágyítás hatására eltűntek a nagyobb hullámhosszú redők, és csökkent a redőződést leginkább jellemző redő hullámhossza is. A c) diagramon látható, hogy a redőzött jelfüggvény harmonikus összetevőinek száma csökkent, a függvény egy kiugró csúcspontot tartalmaz, amely az előzőekhez képest kisebb hullámhossznál jelentkezik.

Ez arra utal, hogy a soft kikészítéssel a redőződés egyenletesebb lett, kisebb hullámhosszú redők a jellemzőek.

Vizsgáljunk meg másik textíliát is, vajon hasonló eredményre jutunk-e! Különböző fogásjavító kikészítést kaptak a 3-38. ábra 28-as és 30-as mintái, amelyek spektrumfüggvényeit összevetve az eredeti színnyomott mintáéval (27-es), látható, hogy a domináns harmonikus összetevők itt is a kisebb hullámhossznál jelentkeznek. A soft lágyított minta főkomponensei a kisebb hullámhossz irányába tolódtak el.

3.5 A textília redőződését befolyásoló mechanikai tulajdonságok vizsgálata

A mechanikai jellemzők redőződésre gyakorolt hatásának megállapítására végzett vizsgálatokhoz ismert nyersanyag-összetételű ruházati kelméket használtam.

A kelmeszerkezeti vizsgálatok során a vonatkozó szabvány előírásai szerint (7-11. melléklet) megállapítottam a minták területi sűrűségét, kötésszerkezetét, vastagságát, fonalsűrűségét lánc- és vetülék irányban, a fonalak lineáris sűrűségét, a szövetek fedőtényezőjét, a síkbeli és térbeli porozitását. A BMF Textiltechnológiai laboratóriumában a vonatkozó szabvány előírásai szerint megvizsgáltam a kelmék merevségét Cantilever módszerrel, (lehajlás lánc és vetülék irányban), a gyűrődés-feloldási szögét és a légáteresztő képességét (7.10 melléklet) [54]. A 3.1 fejezetben ismertetett módon megállapítottam az esési tényezőt és a Maribori Egyetem Textiltechnológiai laboratóriumában szabványos légköri körülmények között a KES-FB rendszerrel megmértem a redőzést befolyásoló mechanikai tulajdonságokat.

3.5.1 A kelmeszerkezeti jellemzők hatása a redőződésre

A kelmék alakváltozással kapcsolatos tulajdonságát számos tényező befolyásolja, ezért véletlenszerűen kiválasztott minták (mintaszám 1-20) mechanikai tulajdonságai és kelmeszerkezeti jellemzői között nem lehetett összefüggéseket kimutatni.

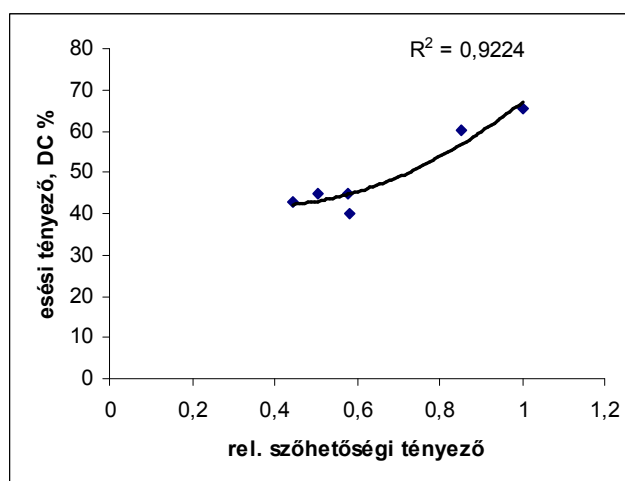
Az összefüggések feltárásához ezért olyan, célzottan ezekhez a vizsgálatokhoz készített mintasorozatot használtam, amelyeknél a kelmeszerkezetnek csak egy paramétere függőváltozó (3-11. táblázat). A Dornier DLW SN, 8 nyüstös, légsugaras szövőgépen szőtt mintákat azonos láncfonallal és láncsűrűséggel készítettük el úgy, hogy az alapszövethez

képest mindig csak egy jellemző beállítási értéket változtattunk. A beállítási változatok kijelölésekor 2-4 szignifikánsan eltérő értéket határoztunk meg. A szövetek kötésszerkezetének összehasonlításához kiszámítottam a relatív szőhetőségi tényezőt (7-10. melléklet).

3-11. Táblázat A kelmeszerkezet redőződésre gyakorolt hatásának vizsgálatához gyártott minták adatai

<i>minta</i>	<i>jellemző</i>	<i>Területi sűrűség [g/m²]</i>	<i>Alapbeállítás</i>	<i>Változó</i>					
52-56	Kötés-szerkezet	190	vászonkötés, 100 % pamut 25 tex 42/20 fonal cm ⁻¹ (lánc/vetülék irányban)	panama $P \frac{3}{.3}$	Vetülék ripsz $P_w \frac{3}{.3}$	sávoly $K \frac{2}{.1} Z$ $K \frac{.1}{1} S$	sávoly $K \frac{3}{2} Z$	Atlasz (6-fonalas)	
57-59	Vetülékfonal összetétele			67% viszkóz/33% len				50% poliészter/50% pamut	
60-62	Vetülékfonal lineáris sűrűsége			29.4 tex		16.6 tex		10 tex	
63-64	Láncfonal sűrűség			160 /10 cm			120 /10 cm		

A mért esési tényező és a relatív szőhetőségi tényező közötti összefüggést a 3-41. ábra mutatja. A relatív szőhetőségi tényező növekedésével nő az esési tényező a vizsgált tartományban, a tendencia polinomiális függvénnyel jól közelíthető ($R^2=0,9224$). Ez azt jelenti, hogy a nagyobb fonallebegéseket tartalmazó, tehát kisebb relatív szőhetőségi tényezőjű szövetek hajlékonyabbak, mint a több kereszteződési pontot tartalmazó, szorosabb pl. vászonkötésű szövetetek.

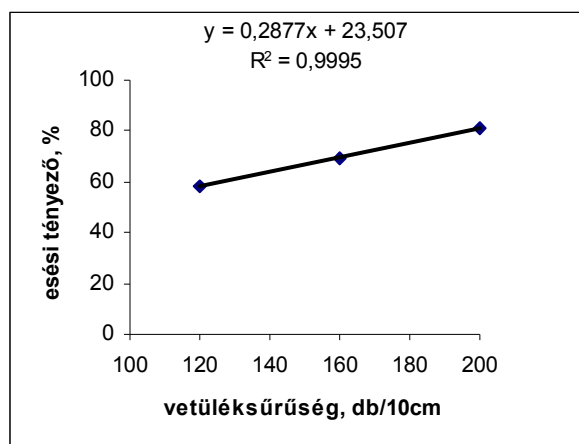


3-41. ábra Különböző szövetszerkezettel leszőtt nyers szövetek esési tényezői

Egy vászon kötésszerkezetű kelme esési tényezője tehát nagyobb, mint az ugyanolyan fonalból készült sávoly kötésű kelméé.

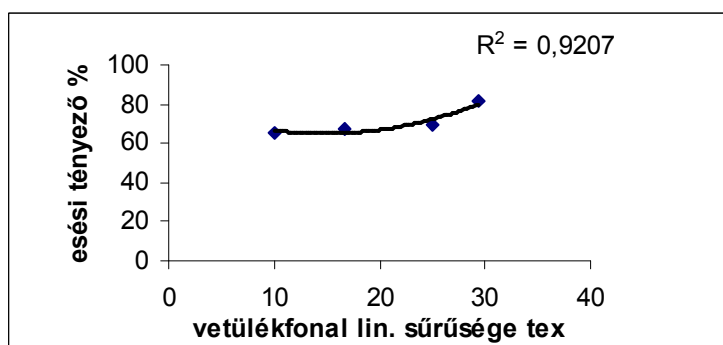
A 3-42. ábra az egységnyi hosszúságra eső vetülékfonalak számának befolyását mutatja az esési tényezőre. Megállapítható, hogy a vetülékek számát 120 db/10 cm-ről 160-ra növelve az

esési tényező lineárisan nő, a változás mértéke 20-25%. Ismert ugyanakkor, hogy egy küszöbérték felett több vetülék bevetése már nem okoz számottevő változást.



3-42. ábra Esési tényező a vetüléksűrűség függvényében

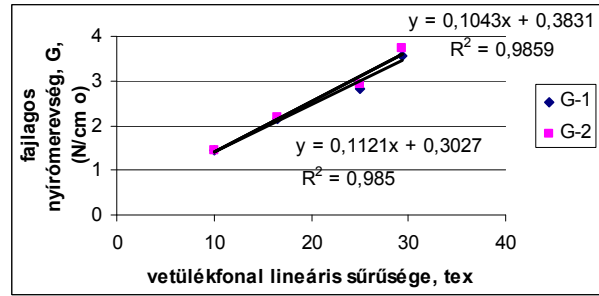
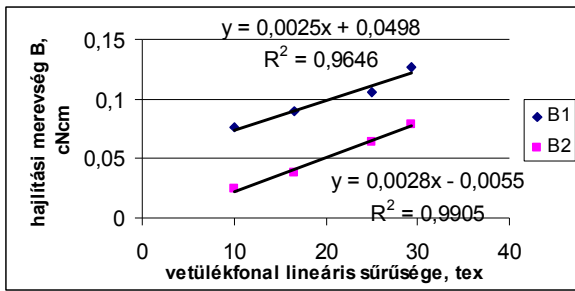
A következőkben megvizsgáltam, hogy a fonal lineáris sűrűségének változása hatással van-e az esési tényezőre. A vizsgált pamutszövet vetülékfonalának lineáris sűrűségét emelve nvekedik az esési tényező, a kettő közötti összefüggés másodfokú polinomiális függvénnyel közelíthető (3-43. ábra). A regresszióval kapott korrelációs együttható $R^2=0,9995$



3-43. ábra Esési tényező a vetülékfonal lineáris sűrűségének függvényében

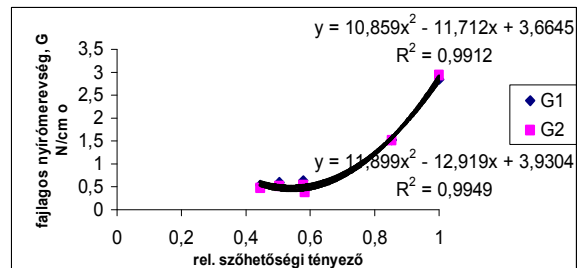
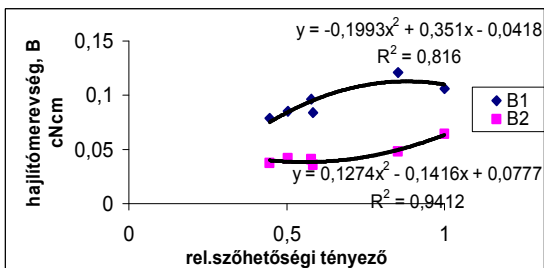
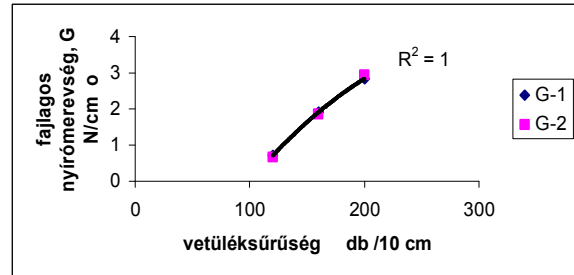
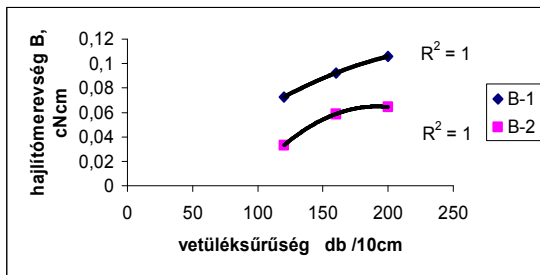
A 3-44. ábrán a lánc (1) és vetülékirányban (2) vizsgált hajlítási és nyírási merevséget a vetülékfonal lineáris sűrűségének függvényében ábrázoltam. A feltüntetett R^2 értékéből megállapítható a két változó lineáris kapcsolatának erőssége és a regressziós egyenes meredekségéből az összefüggés tendenciája.

A 3-45. ábrán feltüntettem a vetüléksűrűség hatását a hajlítási és nyírási merevségre. A relatív szőhetőségi tényező a kelme több geometriai adatát, azaz a vetülékfonal lineáris sűrűségét és a vetüléksűrűséget is figyelembe veszi, ezért a mechanikai jellemzőket a kiszámított relatív szőhetőség függvényében ábrázoltam. A 3-45. ábra diagramjain látható a mechanikai tulajdonságok és a szövetszerkezetre jellemző relatív szőhetőségi tényező közötti kapcsolat erőssége.



3-44. ábra A szövet hajlítással és nyírással szembeni merevségének változása a vetülékfonal lineáris sűrűségének függvényében

A relatív szőhetőségi tényező növekedésével nagyobb a szövet hajlítási merevsége és a nyírással szembeni ellenállása. Kimutattam, hogy a két jellemző közötti kapcsolat másodfokú polinomiális függvénnyel közelíthető.



3-45. ábra Különböző szövetszerkezetű minták hajlító és nyírási merevsége a vetüléksűrűség és a relatív szőhetőségi tényező függvényében

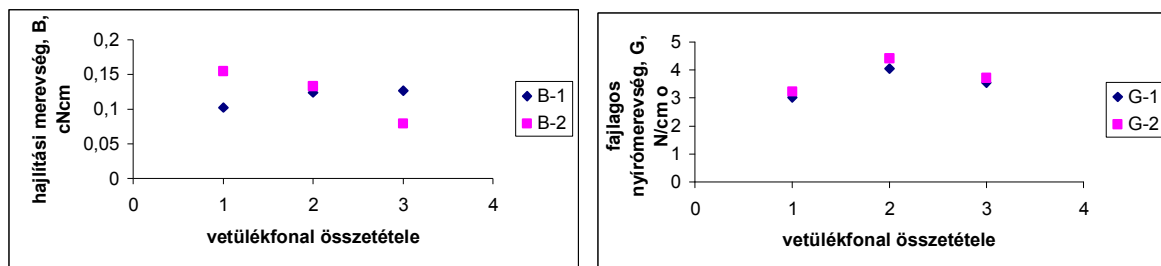
A vizsgált vászon kötösszerkezetnél a hajlítási merevség és a nyírási ellenállás is magas, de szembetűnő, hogy a fajlagos nyírómerevség többszöröse a többi kelmeszerkezetnél mért értéknek.

A KES-FB4 készüléken vizsgáltam a felület jellemzőit is a szövetszerkezet függvényében és a mért adatok alapján megállapítottam, hogy a felület érdessége is függ a kötösszerkezettől.

3.5.2 A nyersanyag és a fogással kapcsolatos mechanikai jellemzők összefüggésének vizsgálata

Ebben a fejezetben azt vizsgáltam, hogy milyen hatása van a nyersanyagoknak a fogással kapcsolatos mechanikai jellemzőkre. Ehhez a szövőgép azonos beállításánál változtattam a vetülékfonal összetételét, azonos lineáris sűrűségű vetülékfonalak beszövésével. Az első esetben a vetülékfonal összetétele 67% len/33%viszkóz, a második esetben 50% pamut/50%poliészter, míg a harmadik esetben 100 % pamut volt (3-11. táblázat).

Az első és a harmadik esetben nagy különbség mutatkozott a két fonalirányban mért hajlítási merevség között (3-46. ábra), ami 100% pamut vetülékfonalnál volt a legkisebb, vetülékirányban. A nyírási ellenállás pamut/poliészter vetülékfonallal lett a legnagyobb, ez mindhárom beállításnál alig különbözik lánccs és vetülék irányban.



3-46. ábra A hajlítási és nyírási merevség különböző vetülék összetételénél (1=67% len/33%viszkóz, 2=50% pamut/50%poliészter, 3= 100 % pamut)

3.5.3 A kikészítés redőződésre gyakorolt hatásának vizsgálata

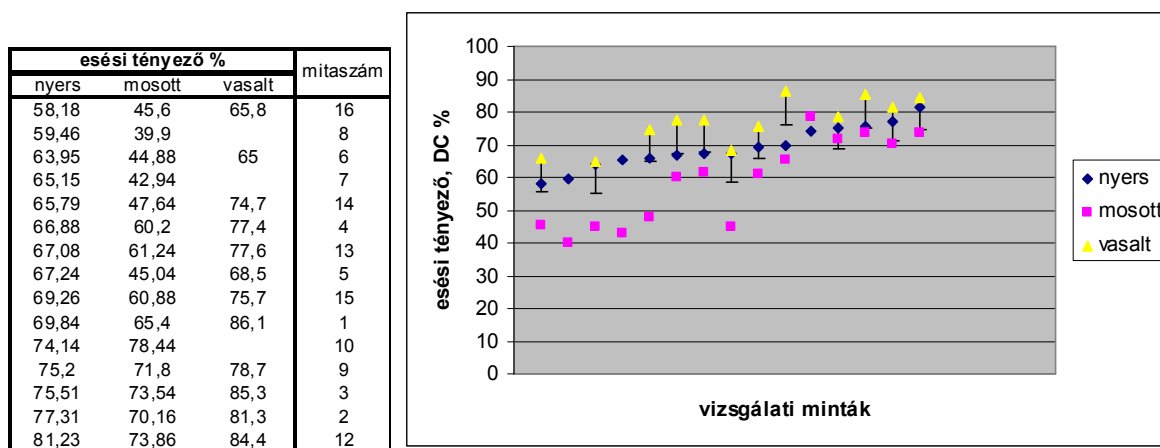
A textília kikészítése jelentősen befolyásolja a kelmék esztétikai és használati tulajdonságait. A különböző kezelések hatását vizsgáló kutatások szerint [79-81] a textília mechanikai jellemzőit nagymértékben befolyásolja a kelmét ért kikészítés. Egyes kikészítéstechnológia redőződésre gyakorolt hatásának számszerűsítésére pamut, viszkóz és len típusú minták felhasználásával végeztem vizsgálatokat. A vizsgált minták előkezelést és különböző fogásjavító kikészítést kaptak. Tanulmányoztam a hőmérséklet, az alkalmazott kikészítőszer koncentrációjának és a technológiának a textília redőződésére és fogással kapcsolatos mechanikai jellemzőire gyakorolt hatását.

3.5.3.1 Kétféleképpen előkezelt pamutszövet vizsgálata

A 3-11. táblázatban feltüntetett 16 nyers pamutszöveten a következő előkezelést végeztem:

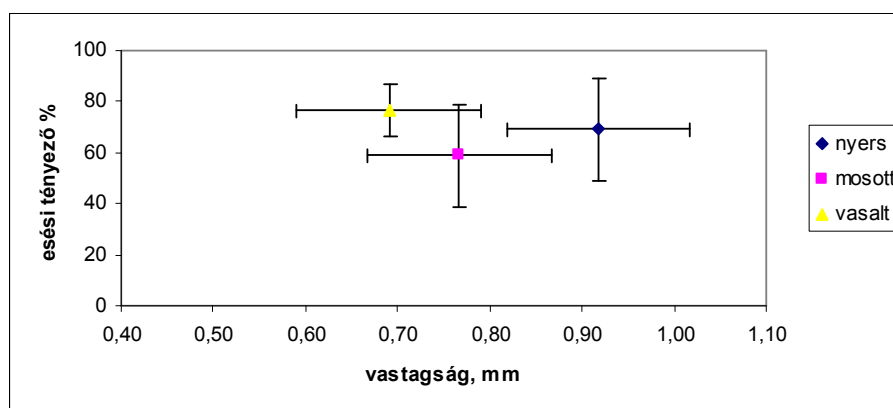
- Mosás: 95C°-on lefőzés (háztartási mosógépben) ezután levegőn szárítás és enyhén átvasalás (kézi vasalóval, 180 C°-on, nedvesítéssel) (Mintaszám: 65-80).
- Vasalás: a mosott minták ipari vasalópréson vasalása (T=220 C°, gőzöléssel, présnyomás: 5N/cm²) (Mintaszám: 81-96).

A 3-47. ábra diagramján ábrázoltam a nyers pamutszövetek esési tényezőjét és azok változását az alkalmazott két előkezelés után.



3-47. ábra Előkezelés hatása az esési tényezőre pamutszövetnél

A nyers minták merevsége mosás után átlagosan 10 %-al csökkent, míg az erőteljes vasalás a mintákat átlagosan 24 %-al tette merevebbé. A 3-48. ábrán az esési tényezőt a minták vastagságának függvényében ábrázoltam. A vasalás hatására bekövetkező vastagságcsökkenés átlagosan 25 % az eredeti állapothoz képest.

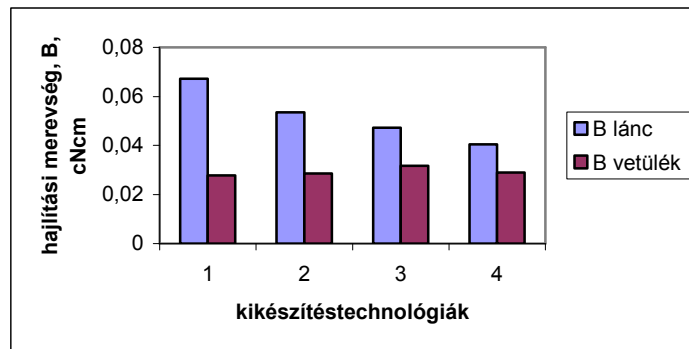


3-48. ábra Esési tényező változása az előkezelés hatására bekövetkezett vastagságcsökkenés függvényében

3.5.3.2 Különböző kikészítéssel lágyított viszkóz szövetek mechanikai vizsgálata

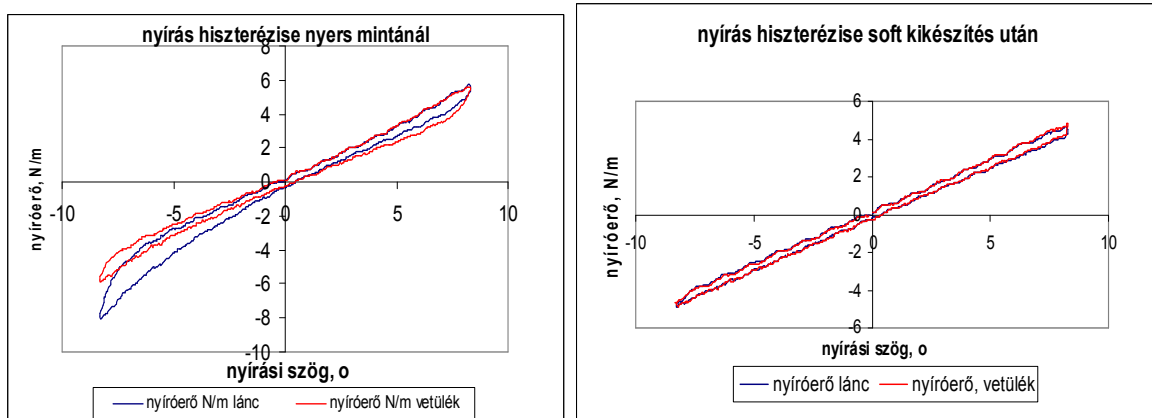
A 3-10. táblázatban ismertetett vizsgálati minták mechanikai tulajdonságait KES-FB rendszerrel vizsgáltam. A vizsgálati eredmények a 7.8 számú melléklet 7-8. táblázatban

találhatóak. A 3-49. diagramon látható, hogy a viszkózus kelmén 40 %-al csökkent láncirányban a hajlítási merevség a fogásjavító kikészítés hatására.



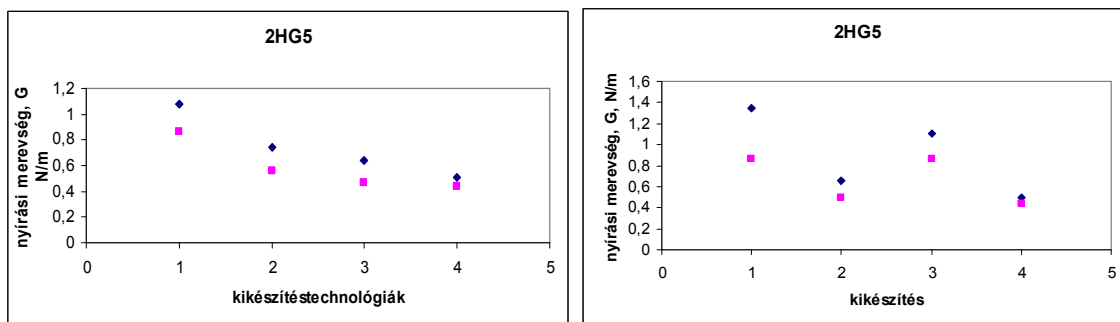
3-49. ábra Hajlítási merevség viszkózus kelmén színnyomás (1), normál kikészítés (2), szanforizálás (3) és soft lágyítás (4) után

A 3-50. ábra a nyers (balra) és a soft lágyított minta KES-FB 1 készüléken felvett nyíró diagramjait mutatja lánc- és vetülékirányban. A soft lágyítás hatására csökkent a hiszterézis veszteség és az anizotrópia.



3-50. ábra Nyers és lágyított viszkózus szövetek nyíró vizsgálati diagramja lánc- és vetülékirányban

A 3-51. ábra a minták nyíró-igénybevételénél mért nyíró ellenállását mutatja lánc és vetülék irányban. Mindkét vizsgált minta esetében átlagosan 25 %-al csökkent a nyírási ellenállás és az esési tényező a soft lágyítás hatására és csökkent az anizotrópia.



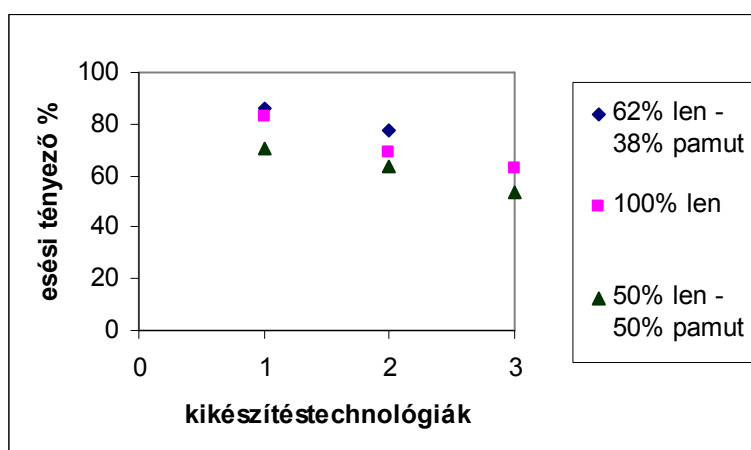
3-51. ábra Két mintasorozat fajlagos nyírómerevsége lánc és vetülék irányban a kikészítés függvényében (balra a 23-26. minták, jobbra a 27-30. minták adatai)

3.5.3.3 Különböző kikészítéssel lágyított len és pamut keverék szövetek vizsgálata

A vizsgált 100% len, illetve 67% len / 33% pamut és 50% len / 50% pamut keverék szövetek (mintaszám: 40-48) háromféle kikészítést kaptak:

1. Fehérített, nedvszívósított, zsugorított,
2. Fehérített, lágyított, zsugorított,
3. Fehérített, lágyított, tört, zsugorított.

Az alkalmazott három kikészítés esési tényezőre gyakorolt hatása a 3-52. ábrán látható. Az eredmények értékelésénél meg kell jegyezni, hogy a len-pamut keverék szövetek területi sűrűsége nagyon különböző volt, a 38% pamutot tartalmazó mintáé 200 g/m^2 , míg az 50% pamutot tartalmazó mintáé 100 g/m^2 volt. A len szövet merevsége a kikészítés során alkalmazott lágyítás és törés együttes alkalmazásával (a diagramon a 3. számmal jelölt technológia) 30 %-al csökkenthető. Ugyanolyan kikészítéssel 20%-al kisebb lett az esési tényező 50% len/50%pamut keveréknél, mint a 100%-os len szövetnél. A diagramból látható, hogy ugyanolyan lágyítás nagyobb hatást eredményezett a kisebb területi sűrűségű mintánál.



3-52. ábra Lágyított és tört len és fél-len szövetek esési tényezője a kikészítés függvényében (%-ban)

A száraz törés előtt alkalmazott, védő funkciót betöltő szilikonos kezeléssel a sziloxán polimer kis mértékben mérsékelte a mechanikai törés hatását azáltal, hogy simább, csúszósabb szövetfelületen történt a mechanikai kezelés. A törés után is alkalmazott szilikonos kezelés megszüntette a mechanikai törés után kialakult nyugtalan szövetfelületet és hozzájárult a sima, esztétikus külső kép kialakításához.

3.5.4 Vizsgálati eredmények értékelése, következtetések

Bár a redőződésnél bekövetkező alakváltozásra befolyással van a vizsgált minta tömege, véletlenszerűen kiválasztott mintákon közvetlen korreláció nem mutatható ki a textil

laptermék területi sűrűsége, kelmeszerkezeti jellemzői, a merevség, illetve az esési tényező között. Ennek oka, hogy a redőződés egy olyan komplex deformáció, amelynél az alakváltozást a kelme egyéb mechanikai jellemzői erősen befolyásolják. A hajlításkor fellépő deformáció az elemiszálak megnyúlásából, kismértékű összenyomásából, kihajlásából és a szövetszerkezet belső szerkezetében keletkező elemiszál/fonaltorzulásból tevődik össze. A laptermék hajlítási merevsége függ a fonalat alkotó szálak hajlítási merevségétől, így a nyersanyag-összetételtől és a fonalszerkezettől, valamint a kelmeszerkezet kötéspontjaiban fellépő – a fonalak ill. szálak közötti – súrlódási erők és tapadási erőktől.

Az elvégzett mechanikai vizsgálatok bizonyították ezeket az ismert összefüggéseket és számszerűsítették a célkitűzésben megfogalmazott jellemzők redőződésre gyakorolt hatását.

A befolyásoló paraméterek vizsgálata alapján levont következtetések

- Az esési tényező vizsgálata közben ható külső erő hatása

Bizonyítottam, hogy a redőződés mérésének reprodukálhatósága a Cusick-féle készüléken függ a minta felhelyezésétől. A vizsgálat eredményét befolyásolja, ha a gravitációs erőn kívül a mintára egyéb külső erők is hatnak. Megbízható mérési eredmény tehát annál a módszernél érhető el, amelynél a mintát kézzel csak kevéssé befolyásolják, és nem hat rá jelentős külső erő, amikor ráhelyezik mintatartó felületre, és a tányérra lesüllyeszti, ezért a mérések összehasonlíthatóságához biztosítani kell a mintafelhelyezés azonos körülményeit.

Kimutattam, hogy azoknál a mintáknál, amelyeknél az ismételt vizsgálatokkal kapott esési tényező variációs tényezője magasabb ($CV\% > 5$), a redőződés spektrumképe is változó. A redőzött alakzat egy egyensúlyi állapot következménye, ezért a deformáció a redőződés kialakulásának időbeni lefolyása alatt, illetve a deformációt követően eltelt hosszabb idő után, a textíliákra jellemző kúszás és a feszültség relaxációjának időfüggősége miatt módosulhat.

- Kelmeszerkezet hatása

Kimutattam, hogy a kelme kötésszerkezetét jellemző relatív szőhetőségi tényező szignifikáns összefüggést mutat a laptermék konstrukciójával. Növekedésével nő az esési tényező, az azt meghatározó hajlítási merevség valamint a fajlagos nyírómerevség. Ez az összefüggés másodfokú polinomiális függvénnyel közelíthető a vizsgált kelmék esetében. Megállapítottam, hogy a szőhetőségi tényező csökkenése erőteljesebben csökkenti a nyírási ellenállást, mint a hajlítási merevséget. A szövetszerkezettől függően módosult a szövet tapintása, szignifikánsan változott felületének érdessége és a szövet külső képe is.

– Nyersanyag hatása

Kimutattam, hogy 100% pamut lánc- és vetülékfonalból készült szövet esetében 65% len/33% viszkóz, illetve 50% pamut/50% poliészter összetételű vetülékfonal bevetésével megváltozik a kelme hajlítási merevsége és nyírással szembeni ellenállása. Ennek oka, hogy nagyon eltérő a szálak alakú tényezője (kör keresztmetszet esetén 1), térfogati sűrűség $1,1 - 1,6\text{g/cm}^3$ között változik, és eltérő a kezdeti rugalmassági modulusuk is. Ez a szálasanyagra jellemző érték például alacsonyabb viszkóz (2-300 cN/tex) és magasabb len esetében (akár 1000 cN/tex is lehet). Azonos lineáris sűrűségű szál esetében pl. a poliészternek nagyobb a hajlító merevsége, mint a poliakril vagy a poliamid szálnak. Egy elemiszál annál merevebb, minél nagyobb a rugalmassági modulusa és keresztmetszetének másodrendű nyomatéka. A nagyobb inerciája miatt merevebb pl. egy profilszál egy kör keresztmetszetű szálnál.

Pontosabb összefüggések meghatározásához azonban több mintából álló mintasorozatra van szükség.

– Kikészítés hatása

Méréseimmel bizonyítottam, hogy a textíliát ért mechanikai, vegyi és termikus hatások jelentősen befolyásolják a redőződési képességet. A viszkóz szöveten alkalmazott fogásjavító kikészítés 20-26 %-al csökkenti az esési tényezőt. A spektrumfüggvény kimutatta, hogy a lágyítás egyenletesebb redőződést eredményez, a lágyított kelme síkvetületi képeinek hullámgörbéje az eredeti mintához képest kisebb hullámhosszú harmonikusokkal közelíthető.

Megállapítottam, hogy azonos lágyítással 10%-al nagyobb fogásjavító hatás érhető el egy finomabb filamentból készült és kisebb területi sűrűségű viszkóz szövetnél.

A technológia optimalizálásához azonban figyelembe kell venni, hogy bár a lágyító javítja a fogást, ugyanakkor ismeretes, hogy a varratmenti fonalcuszás romlását idézi elő, míg a receptúrában e hatás egyensúlyozására alkalmazott csúszásgátló ezzel ellenkező hatást fejt ki. A két hatás optimális egyensúlya ezek megfelelő együttes használatával érhető el.

Kétszeres mennyiségű lágyító alkalmazása csökkenti a vizsgált viszkóz szövet anizotrópiáját, 26 %-al csökkenti az esési tényezőjét és 25%-al a fajlagos nyírómerevséget, mindezek a textil laptermék térbeli formálhatóságának javulását eredményezik.

A jelenség oka az, hogy a kikészítési folyamatok eredményeként lecsökken a textil laptermék belsejében a fonalak közötti súrlódás és a feszültség, így a fonalak könnyebben elcsúsznak egymáson.

A lentípusú szövetek lágyítása fokozható a kémiai és a mechanikai kikészítés (lágyítás és törés) együttes alkalmazásával, így az eredeti vizsgált anyaghoz képest 25 %-al csökkenthető az esési tényező. Bár az appetúra felvitele kb. 2-10 %-os területi sűrűség növekedést eredményezett, vélhetően nem ez, hanem a mikro- és makro-szerkezetben bekövetkezett változások befolyásolták a textília esését.

Az előkezelés hatásának vizsgálata során kimutattam, hogy a 95 C°-os mosás átlagosan 10 %-al csökkentette, míg az ipari vasalóprésen, 220 C° hőmérsékleten végzett gőzölős vasalás átlagosan 24 %-al növelte a vizsgált nyers pamutszövetek esési tényezőjét. Ez részben azzal magyarázható, hogy nedves kezelés a feszültségek feloldásával lágyabb, egyenletesebb, relaxálódott árut eredményez, míg vasalás hatására a minták tömörödnek (vastagságuk átlagosan 20 %-al csökkent).

Az új kiértékelési módszerrel végzett redőződés mérés tapasztalatai

A redőződő képesség hagyományos vizsgálati módszereinél kapott adatok (esési tényező, hullámszám, max. és min. amplitúdó) nem adnak elegendő információt a redőződés valóságos formájáról. A redőződést jellemző hullámok számát például sok esetben nehéz meghatározni, és így ez az adat félrevezető is lehet. Az esési tényező általam kifejlesztett új kiértékelési módja a képfeldolgozási technikát és a Fourier elemzést használva reprodukálható eredményt ad. Ez a módszer lényegesen egyszerűbb és gyorsabb mérést jelent, mint a papírgyűrűk körberajzolása, kivágása és az ezt követő tömegmérés. Az erre a célra írt számítógépes programmal a redőződés geometriájáról az eddigieknél több, komplex információ nyerhető.

Kimutattam, hogy bár a redőződés az idő függvényében bizonyos mértékben változhat, a Fourier elemzéssel kapott spektrumkép az adott anyagra jellemző. A vizsgált minták redőződésének leírásánál további vizsgálatokkal lehet igazolni azt a feltételezést, hogy figyelmen kívül hagyhatók-e a Fourier elemzés azon periodikus összetevői, amelyek hullámhossza 15 fok alatti, és azok az együtthatók, amelyek értéke az amplitúdó maximumának 1-2%-a alatt van.

Kimutattam, hogy a spektrumkép alkalmas a textíliák redőződésének összehasonlítására, ez alapján a hasonló esési tényezőjű minták jól megkülönböztethetőek és a különbség nagyobb a kisebb esési tényezőjű mintáknál. A spektrumképpel összehasonlíthatóak a különböző lágyítást kapott kelmék is és elemezhető a fogásjavító kikészítés hatása.

Vizsgálatokkal igazoltam, hogy a redőződő minta leológiai hosszának növelésével nemcsak az esési tényező, hanem a spektrumkép is megváltozik, tehát a spektrumkép függ a minta

méretétől. Nagyobb lelógási hosszánál (6 és 9 cm) a főkomponensek a kisebb hullámhossz irányába tolódnak.

A spektrumfüggvény (feltételezésem szerint) a textília redőződéséről olyan „ujjlenyomatot” készít, amely alapján a textíliát azonosítani lehet, illetve amely alkalmas a térbeli szimulációhoz szükséges adatszolgáltatásra is. A Fourier transzformációval nyert, a redőződés geometriáját komplex módon leíró információk a hagyományos vizsgálati adatokhoz képest jobban felhasználhatóak a redőzött modell térbeli szimulációjához.

4 Vizsgálati eredmények felhasználása a gyártmányfejlesztésben

Ebben a fejezetben hasznosítani kívántam a redőződés vizsgálataiból leszűrt következtetéseket egy ruhamodell tervezési és megvalósítási folyamatában.

Ruhát tervezni majdnem olyan nehéz, mint egy szobrot elkészíteni. Térben kell gondolkodni, a színeken, formákon kívül az anyag viselkedését és a mozgást is bele kell kalkulálni a készülő öltözetbe (4-1. ábra).



4-1. ábra Hongkongi tervezők modelljei [76]

A tervezői elképzeléseket a ruhaipari technológusnak kell a modellrajz és a tervező által mellékelt anyagminta alapján megvalósítania. Ez nem könnyű feladat, hiszen a 4-1 és 4-2. ábrán bemutatott modellek ugyan jól szemléltetik az anyag esését és a sziluettet, de ahhoz, hogy az elkészült ruha a valóságban is ilyen legyen, nagyon fontos az anyag és konfekcionálási technológia optimumának kiválasztása.



4-2. ábra Különböző redők és formák a tervező gyártmányrajzain

4.1 Célmodell tervezése kísérlettervezéssel

Egy konkrét modell tervezése és megvalósítása tehát felveti a kérdést, hogy hogyan lehet a leginkább megközelíteni a papírra vetett elképzeléseket. A 4-3. ábrán bemutatott ruhatervezői elképzelés megvalósításához a (statisztikai) kísérlettervezés (Design of Experiment, DOE) módszerét használtam. Ez egy hatékony eljárás a modellkísérletek megtervezésére és elemzésére, mert a kapott adatok valós és objektív konklúziók levonását teszik lehetővé. Az alkalmazott kísérlettervezés célja, hogy lerövidítsem a gyártmányfejlesztés szakaszát annak érdekében, hogy az optimális prototípus kiválasztásához ne kelljen különböző alapanyagból és technológiával több változatot is elkészíteni.



4-3. ábra Kísérlettervezés alapjául szolgáló divattervezői modell

Nagy tapasztalat birtokában a technológus ki tudja választani az alapanyagot az áruismeret, a fogás és az esés alapján, és képes tökéletesen megvalósítani a tervezői elképzeléseket. Ugyanakkor a fejlesztések eredményeként megjelenő új típusú, különleges alapanyagok felhasználásánál szerzett tapasztalat hiánya, valamint az a tény, hogy a sziluettet, a ruha esését nagyban befolyásolja a választott anyag térbeli formálhatósága, a varratok kialakítása és merevítése, arra ösztönöz, hogy előzetes kísérletek lefolytatása és kielemezése után készítsük el a prototípust. A célmodell például az alapanyag és a technológia választásától függően módosítható az „A”, vagy a „B” variáció irányába (4-4. ábra). A kísérlettervvel választ kerestem arra a kérdésre is, hogy mitől függ az, hogy a modellben hangsúlyt kapott redők esztétikusan rendezett, vagy véletlenszerűen formálódó, szabálytalan hullámokat alkotnak.



„A modellterv”

„B modellterv”

4-4. ábra A célmodell elméleti variációi az alapanyagtól függően

A modell optimális konfekcionálási technológiájának kiválasztásához 2^4 faktoros modell kísérletet végeztem azzal a céllal, hogy megállapítsam, vajon a modell derék- illetve csípővonalra tervezett díszítőeleme (a körszabott fodor illetve szoknya) melyik beállításnál közelíti meg legjobban a tervcentrumot (a modelltervet). A kísérletben két szinten (-1 és 1) változtattam négy konfekcionálás-technológiai (mennyiségi és minőségi) változót, hogy megfigyeljem azok hatását a redőződés minőségét jellemző egy vagy több válasz-változón (4-1. táblázat). A kísérletben használt 4 faktor kiválasztása a konfekcionálási tapasztalatok figyelembevételével történt. Függő változó az esési tényező, de az értékelésnél figyelembe vettem a spektrumfüggvényből nyert legfontosabb információkat is (7.9 melléklet). A 4-2. táblázat bemutatja azt a kísérletek elvégzése előtt felállított kísérlettervet, amely a részletes beállításokat, sorrendet tartalmazza. A redőződés vizsgálatához a ruhamodell díszítőelemének

megfelelően 16 vizsgálati mintát készítettem. Ehhez egy viszkóz alapanyagból (30. minta) két mintaelem összeillesztésével kialakított kísérleti mintákat készítettünk úgy, hogy a 18 cm-es kör alakú mintaelemhez 6 cm-es körgyűrűt varrtunk. A minták elkészítésének gyártástechnológia adatait a 7.7 számú melléklet tartalmazza.

4-1. Táblázat A 2⁴ faktoros kísérletterv változói

Változók	X _j min	X _j max
x ₁ : minta-elemek illesztésének módja	átlapolt varrás	összefordított varrás
x ₂ : varrat térbeli kiegyenlítése	vasalás nélkül	vasalva
x ₃ : közbélés esési tényezője, DC [%]	31,52	50,37
x ₄ : közbélés mérete	2 cm	3,5 cm

Az összeillesztés során a mintaelemeket az egyik szinthez átlapolva egymásra varrtuk, míg a másiknál a mintaelemeket 1 cm-es varrasszélességgel összevarrtuk. Ezeket vasalás előtt és levasalva is megvizsgáltam. A varratok merevítéséhez a kísérletterv szerint két különböző merevségű, 50 g/m² területi sűrűségű, nemszött ragasztó-bevonatos közbélést alkalmaztam, keskenyebb (2 cm) illetve szélesebb (3,5 cm) méretben.

A zaj faktorok, mint a varrás technológiája (öltéssűrűség, sebesség, fonalfeszítés, varrócérna fajtája, stb.), a vasalási, valamint a ragasztási körülmények a 16 kísérleti minta elkészítésénél azonosak voltak.

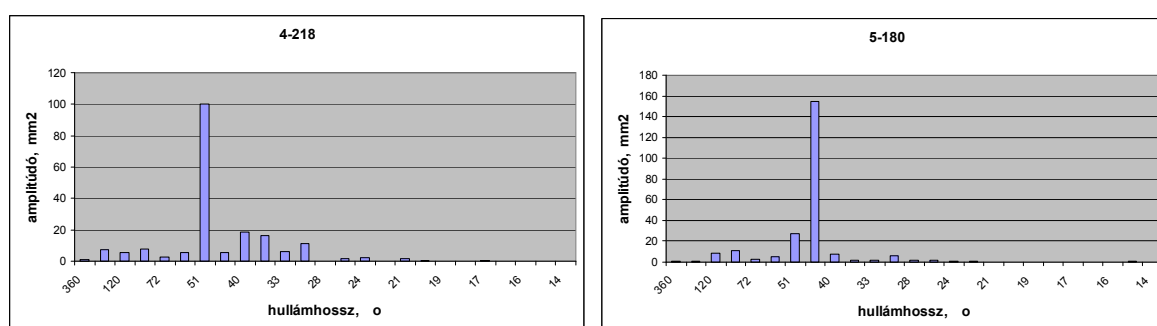
4-2. Táblázat 2⁴ faktoros kísérlet beállításának mért eredményei

beállítás szintje	illesztés módja	varrat levasalás	közbélés merevsége	közbélés szélesség	Átl. esési tényező DC (%)	Variációs tényező CV (%)	Főkomponens hullám-hossza
30. minta	-	-	-	-	28	1,7	45
1	-1	-1	-1	-1	26,03	0,33	45
2	1	-1	-1	-1	29,00	6,65	40
3	-1	1	-1	-1	28,27	3,73	60
4	1	1	-1	-1	38,55	4,25	51,4
5	-1	-1	1	-1	30,74	1,30	45
6	1	-1	1	-1	32,53	1,00	90
7	-1	1	1	-1	33,37	3,15	45
8	1	1	1	-1	29,96	2,60	45
9	-1	-1	-1	1	36,07	4,47	51,4
10	1	-1	-1	1	47,97	5,47	51,4
11	-1	1	-1	1	38,03	1,54	45
12	1	1	-1	1	30,33	0,48	51,4
13	-1	-1	1	1	47,76	2,42	90
14	1	-1	1	1	52,91	2,90	360
15	-1	1	1	1	54,28	3,24	360
16	1	1	1	1	45,39	6,86	51,4

A kísérlettervben megadott 16 beállítás szerint elkészített kísérleti minták redőződéséről 3-5 felvételt készítettem. A mért esési tényezők 26-53 % között voltak (4-2. táblázat).

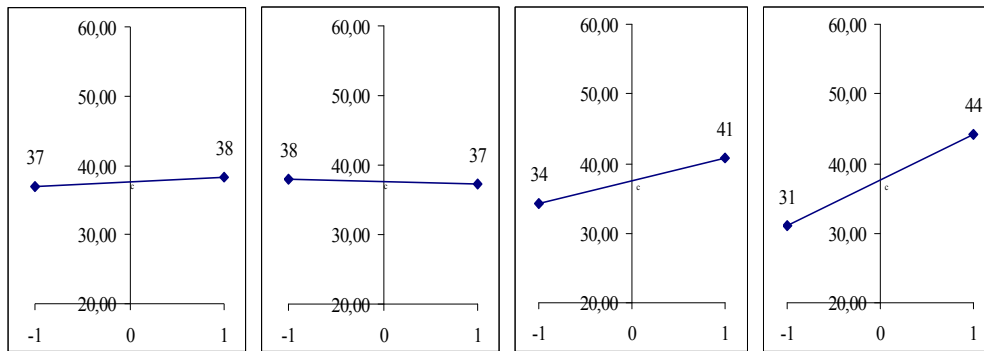
A kísérlettervben felhasznált 30. számú minta esési tényezője 30 cm-es átmérőnél 28% volt. Korábbi vizsgálataink bizonyítják, hogy a közbélés jelentősen módosítja a textília redőződési tulajdonságait [81], ezért megvizsgáltam a kísérlettervhez választott két közbélés redőződésre gyakorolt hatását. Ehhez egy-egy vizsgálati mintára azonos körülmények mellett felvasaltam a ragasztós közbéléseket. A ragasztós közbélés hatására az esési tényező értéke és a redőződés spektrumképe is megváltozott: a merevebb közbéléssel az esési tényező 54,48 %, a kevésbé merevebbel 33,96 % lett. Az eredeti minták spektrumképe jelentősen eltér a ragasztós közbéléssel erősített mintákétól. Az előbbinél a spektrumfüggvényben nincs kiugró főkomponens és a redők hullámhossza egészen széles tartományban mozog, míg az utóbbinál 2 főkomponens jelent meg a 60, illetve 51 fokkal jellemzett hullámhossznál.

A 16 kísérleti minta spektrumképe egymástól és az eredeti mintától is nagyon eltérő lett. Egyes faktorok a redőződést egyenletesebbé, szabályossá tették, míg más beállítások ezzel ellentétes hatást váltottak ki (ld.7.9 melléklet, 7.9 táblázat). A 2, a 10. és a 16. kísérleti minták esési tényezőjének variációs koefficiense a többihez képest magasabb lett, ezek spektrumképe az ismételt vizsgálatkor nagyobb ingadozást mutatott. A spektrumfüggvények alapján az összefordított mintaelemek levasalásával illetve az átlapolt varrat enyhe merevítésével szabályos redőzés érhető el (4-5. ábra).



4-5. ábra A 2⁴ faktoros kísérletterv mintáinak szabályos redőzést mutató spektrumfüggvényei

A esési tényezőt célértéknek tekintve arra a faktorok közül kettőnek, a közbélésnek és a közbélés méretének van erőteljes hatása (4-6. ábra 3. és 4. kép).



4-6. ábra A 4 faktor hatásának elemzése a kísérletterv kiértékelése alapján (1.kép:x₁, 2.kép:x₂, 3.kép:x₃, 4.kép:x₄)

4.1.1 Regressziós függvény meghatározása

A regressziós függvény általános egyenlete 4 paraméter esetén:

$$y = \beta_0 x_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_4 x_4 + \beta_{12} x_1 x_2 + \beta_{13} x_1 x_3 + \beta_{14} x_1 x_4 + \beta_{23} x_2 x_3 + \beta_{24} x_2 x_4 + \beta_{34} x_3 x_4 + \beta_{123} x_1 x_2 x_3 + \beta_{124} x_1 x_2 x_4 + \beta_{134} x_1 x_3 x_4 + \beta_{234} x_2 x_3 x_4 + \beta_{1234} x_1 x_2 x_3 x_4 \quad 4.1$$

A méréssel kapott pontokhoz a legjobban közelítő függvényt keressük. Ez a függvény írja le a jelenség belső összefüggéseit. A függvényben szereplő konstansokat a mérési pontok segítségével határozzuk meg: $b_j \rightarrow \beta_j$.

A többváltozós függvények regresszió számításánál az elméleti függvény paramétereit a mérési pontok segítségével az alábbi összefüggéssel becsüljük:

$$b_j = \frac{\sum_i y_i \cdot x_{ji}}{N} \quad 4.2$$

Ahol

- j az oszlopok sorszáma
- i a sorok sorszáma
- y_i a méréssel meghatározott kimeneti érték (esési tényező)
- x_{ij} az egyes kísérleti beállítások normált faktorai
- N a kísérletek száma (16)

4-3. Táblázat 2⁴ kísérletterv paramétereinek számítása

i	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	b ₄	b ₁₂	b ₁₃	b ₁₄	b ₂₃	b ₂₄	b ₃₄	b ₁₂₃	b ₁₂₄	b ₁₃₄	b ₂₃₄	b ₁₂₃₄
1	26,0	-26,0	-26,0	-26,0	-26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	-26,0	-26,0	-26,0	-26,0	26,0
2	29,0	29,0	-29,0	-29,0	-29,0	-29,0	-29,0	-29,0	29,0	29,0	29,0	29,0	29,0	29,0	-29,0	-29,0
3	28,3	-28,3	28,3	-28,3	-28,3	-28,3	28,3	28,3	-28,3	-28,3	28,3	28,3	28,3	-28,3	28,3	-28,3
4	38,6	38,6	38,6	-38,6	-38,6	38,6	-38,6	-38,6	-38,6	-38,6	38,6	-38,6	-38,6	38,6	38,6	38,6
5	30,7	-30,7	-30,7	30,7	-30,7	30,7	-30,7	30,7	-30,7	30,7	-30,7	30,7	-30,7	30,7	30,7	-30,7
6	32,5	32,5	-32,5	32,5	-32,5	-32,5	32,5	-32,5	-32,5	32,5	-32,5	-32,5	32,5	-32,5	32,5	32,5
7	33,4	-33,4	33,4	33,4	-33,4	-33,4	-33,4	33,4	33,4	-33,4	-33,4	-33,4	33,4	33,4	-33,4	33,4
8	30,0	30,0	30,0	30,0	-30,0	30,0	30,0	-30,0	30,0	-30,0	-30,0	30,0	-30,0	-30,0	-30,0	-30,0
9	36,1	-36,1	-36,1	-36,1	36,1	36,1	36,1	-36,1	36,1	-36,1	-36,1	-36,1	36,1	36,1	36,1	-36,1
10	48,0	48,0	-48,0	-48,0	48,0	-48,0	-48,0	48,0	48,0	-48,0	-48,0	48,0	-48,0	-48,0	48,0	48,0
11	38,0	-38,0	38,0	-38,0	38,0	-38,0	38,0	-38,0	-38,0	38,0	-38,0	38,0	-38,0	38,0	-38,0	38,0
12	30,3	30,3	30,3	-30,3	30,3	30,3	-30,3	30,3	-30,3	30,3	-30,3	-30,3	30,3	-30,3	-30,3	-30,3
13	47,8	-47,8	-47,8	47,8	47,8	47,8	-47,8	-47,8	-47,8	-47,8	47,8	47,8	47,8	-47,8	-47,8	47,8
14	52,9	52,9	-52,9	52,9	52,9	-52,9	52,9	52,9	-52,9	-52,9	52,9	-52,9	-52,9	52,9	-52,9	-52,9
15	54,3	-54,3	54,3	54,3	54,3	-54,3	-54,3	-54,3	54,3	54,3	54,3	-54,3	-54,3	-54,3	54,3	-54,3
16	45,4	45,4	45,4	45,4	45,4	45,4	45,4	45,4	45,4	45,4	45,4	45,4	45,4	45,4	45,4	45,4
37,6	0,8	-0,3	3,3	6,5	-2,0	-1,4	-0,7	0,2	-1,8	2,7	-0,4	-2,2	0,4	1,7	1,1	

A 4-5. táblázat számításai alapján b_0 , b_3 , b_4 és b_{34} paraméter különbözik nullától.

A regressziós felület egyenlete:

$$y = 37,6x_0 + 0,8x_1 - 0,3x_2 + 3,3x_3 + 6,5x_4 - 2x_1x_2 - 1,4x_1x_3 - 0,7x_1x_4 + 0,2x_2x_3 - 1,8x_2x_4 + 2,7x_3x_4 - 0,4x_1x_2x_3 - 2,2x_1x_2x_4 + 0,4x_1x_3x_4 + 1,7x_2x_3x_4 + 1,1x_1x_2x_3x_4 \quad 4.3$$

Mintegy így a 16 kísérleti pontból 16 paramétert becsültem, a függvény az összes kísérleti ponton keresztülmegy. A b becsült paraméterek értékei különböznek egymástól, ezért szükségesnek látszik annak vizsgálata, hogy mindegyik szignifikánsan különbözik-e zérustól.

Szignifikancia és adekvátság vizsgálat

A reziduális szórásnégyzet (s_r^2) adott modell alapján számítható ki:

$$s_r^2 = \frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{N-1}; \quad 4.4$$

Ahol

l : a bennmaradt paraméterek száma (esetünkben $l=11$)

Ismételt beállítások híján a valamennyi interakciós tagot tartalmazó modellel nem marad szabadságfok a reziduális szórásnégyzet számításához, legalább egy tagot el kell hagyni. Ésszerű választással a három- és négyfaktoros interakcióknak megfelelő tagokat hagyjuk el. Így 5%-os szignifikancia szinten csak a 4. faktor szignifikáns. A 3,4 faktor és a 3*4 faktoros interakció 5-10% közötti szinten válik szignifikánssá, lásd az alábbiakat:

4-4. Táblázat Regressziós függvényérték számítása

i	y	(SZUMB1/N) X11	(SZUMB2/N) X21	(SZUMB3/N) X31	(SZUMB4/N) X41	(SZUMB1B 2/N)X1X21	(SZUMB1B3 /N)X1X31	(SZUMB1B 4/N)X1X41	(SZUMB2B 3/N)X2X31	(SZUMB2B4 /N)X2X41	(SZUMB3B4 /N)X3X41	Ŷ számított értékek	(Y-Ŷ) ²	Sr ² =SZUM (Y-Ŷ) ² / N- 1
1	26,03	-0,756	0,302	-3,293	-6,518	-1,971	-1,426	-0,698	0,184	-1,783	2,699	24,315	2,941	29,980
2	29,00	0,756	0,302	-3,293	-6,518	1,971	1,426	0,698	0,184	-1,783	2,699	34,015	25,150	
3	28,27	-0,756	-0,302	-3,293	-6,518	1,971	-1,426	-0,698	-0,184	1,783	2,699	30,850	6,656	
4	38,55	0,756	-0,302	-3,293	-6,518	-1,971	1,426	0,698	-0,184	1,783	2,699	32,668	34,604	
5	30,74	-0,756	0,302	3,293	-6,518	-1,971	1,426	-0,698	-0,184	-1,783	-2,699	27,985	7,590	
6	32,53	0,756	0,302	3,293	-6,518	1,971	-1,426	0,698	-0,184	-1,783	-2,699	31,983	0,300	
7	33,37	-0,756	-0,302	3,293	-6,518	1,971	1,426	-0,698	0,184	1,783	-2,699	35,258	3,563	
8	29,96	0,756	-0,302	3,293	-6,518	-1,971	-1,426	0,698	0,184	1,783	-2,699	31,373	1,995	
9	36,07	-0,756	0,302	-3,293	6,518	-1,971	-1,426	0,698	0,184	1,783	-2,699	36,915	0,714	
10	47,97	0,756	0,302	-3,293	6,518	1,971	1,426	-0,698	0,184	1,783	-2,699	43,823	17,202	
11	38,03	-0,756	-0,302	-3,293	6,518	1,971	-1,426	0,698	-0,184	-1,783	-2,699	36,318	2,933	
12	30,33	0,756	-0,302	-3,293	6,518	-1,971	1,426	-0,698	-0,184	-1,783	-2,699	35,343	25,125	
13	47,76	-0,756	0,302	3,293	6,518	-1,971	1,426	0,698	-0,184	1,783	2,699	51,383	13,123	
14	52,91	0,756	0,302	3,293	6,518	1,971	-1,426	-0,698	-0,184	1,783	2,699	52,588	0,104	
15	54,28	-0,756	-0,302	3,293	6,518	1,971	1,426	0,698	0,184	-1,783	2,699	51,523	7,604	
16	45,39	0,756	-0,302	3,293	6,518	-1,971	-1,426	-0,698	0,184	-1,783	2,699	44,845	0,297	
		-2,764	-3,821	-0,226	2,999	-5,490	-4,945	-4,217	-3,335	-5,302	-0,820		149,9	

SS _r	149,90	
s _r ²	29,98	
S _{bi}	1,369	(s _r ² / N) ^{1/2}
α	0,05	
v	5	
t _{kritikus}	2,571	
s _{ri} × t _{kritikus}	3,519	

A számított reziduális szórásnégyzet 29,98. A faktorok közül csak egynek együttthatója jelentősen nagyobb 3,519-nél, így 5%-os szignifikancia szinten a modell a szignifikáns együttthatóval:

$$\hat{y} = 37,6 + 6,5 x_4$$

4.5

SS _r	149,90	
s _r ²	29,98	
S _{bi}	1,369	(s _r ² / N) ^{1/2}
α	0,1	
v	5	
t _{kritikus}	2,015	
s _{ri} × t _{kritikus}	2,758	

10%-os szignifikancia szinten a 3. faktor és a 3,4. kölcsönhatás szignifikanciájával:

$$\hat{y} = 37,6 + 3,3 x_3 + 6,5 x_4 + 2,7 x_3 x_4$$

4.6

Adekvátság vizsgálatához szükséges szórás becslése

A kísérleti térre jellemző ingadozás becsléséhez ismételt mérést végeztem a 4. beállítás mellett, melyből becsültem az error szórásnégyzetet.

y_1	37,66
y_2	39,42
y_3	45,12
y_4	38,24
y_5	35,61
Y átlag	39,2
s^2	12,8

A 4.6 összefüggés szerint felírt modell adekvátságának vizsgálata során összehasonlítottam a reziduális szórásnégyzetet a tervcentrumban felvett értékek szórásával.

4-5. Táblázat Adekvátság vizsgálat

i	x_0	x_3	x_4	x_3x_4	\hat{y}_i	y	$(y_i - \hat{y}_i)^2$
1	1	-1	-1	1	30,46	26,03	19,6
2	1	-1	-1	1	30,46	29,00	2,1
3	1	-1	-1	1	30,46	28,27	4,8
4	1	-1	-1	1	30,46	38,55	65,4
5	1	1	-1	-1	31,65	30,74	0,8
6	1	1	-1	-1	31,65	32,53	0,8
7	1	1	-1	-1	31,65	33,37	3,0
8	1	1	-1	-1	31,65	29,96	2,9
9	1	-1	1	-1	38,10	36,07	4,1
10	1	-1	1	-1	38,10	47,97	97,4
11	1	-1	1	-1	38,10	38,03	0,0
12	1	-1	1	-1	38,10	30,33	60,4
13	1	1	1	1	50,09	47,76	5,4
14	1	1	1	1	50,09	52,91	8,0
15	1	1	1	1	50,09	54,28	17,6
16	1	1	1	1	50,09	45,39	22,0
$\sum (y_i - \hat{y}_i)^2$							314,4

Az F-eloszlás kritikus értékeiből $\alpha = 0,05$ egyoldali szinten meghatározható az $F_{0,05}(12,4)$ kritikus érték, amelyet az F-eloszlású valószínűségi változó 95%-os valószínűséggel nem halad meg, ha a számláló szabadsági fokszáma 12, a nevezőé 4. A kritikus érték $F_{12,4} = 5,91$.

$$F = \frac{s_r^2}{s_{y^0}^2} = \frac{26,2}{12,8} = 2,047 \quad 4.7$$

Mivel a szórásnégyzetek hányadosa kisebb (ld. 4.7), mint a kritikus érték ($2,047 < 5,91$), a modell adekvátnak tekinthető. A függvény adekvátság vizsgálata alapján a modell megfelelően leírja a kísérleti térben a kimenet változását.

A szignifikáns tagként megjelent 4. faktor 3. faktorra való kölcsönhatása miatt az egyenlet nem lineáris, de az x_3x_4 paraméterek lineáristól eltérítő hatása kicsi, a szélsőérték a tartomány szélén várható. Ezért a szélsőérték megegyezik a regressziós egyenletbe behelyettesített kísérleti pontok közül a maximummal. Ráadásul a faktorok diszkrét, ezért csak kísérleti pontnál lehet értelmezni az optimumot.

Az „A” modelltervhez a 3. és 4. változót (faktort) a vizsgált viszkóz alapanyagból a „+1”-es szinten kell alkalmazni. A mintaelemek összeillesztésénél szélesebb méretben alkalmazott merevebb közbélés erőteljesen kihangsúlyozza a díszítőelem redőit.

Bár 5 %-os szignifikancia szinten a közbélés merevsége, a varrás módja és a vasalás mértéke nem adott szignifikáns értéket, és a vizsgált variációs intervallumban nem befolyásolta az esési tényező mértékét, hozzájárult a szabályos redők kialakulásához (7.9 melléklet). Ezért ezek beállítása az esési tényezőkön kívül megjelenő szempontok szerint választandó ki.

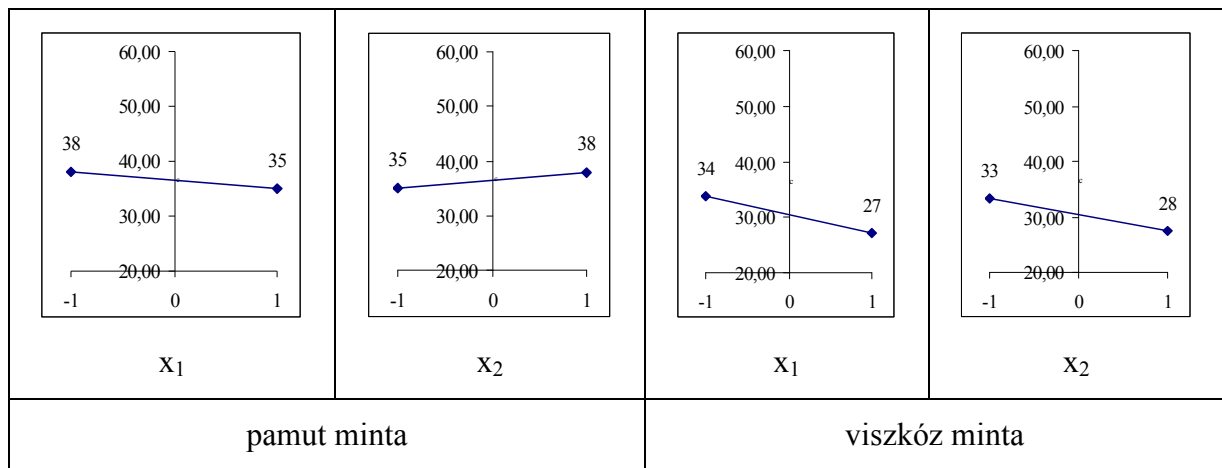
A következőkben két tényező hatásának vizsgálatát végeztem el egy másik szöveten, hogy megállapítsam a spektrumfüggvényen keresztül, hogy függ-e az alapanyagtól az összevarrás módjának és a vasalásnak a redőződésre gyakorolt hatása. A választott pamut szövet (112-es mintaszám) esési tényezője DC=32%, a faktorok az előző kísérlettervben már alkalmazott változók voltak, ezek az összevarrás módja (x_1) és a levasalás (x_2) voltak. A 2^2 kísérleti terv kiértékelése alapján a pamut mintánál a feltételezett regressziós függvény:

$$\hat{y} = 36,53 x_0 + 1,5 x_1 - 1,39 x_2 - 1,04 x_1x_2 \quad 4.8$$

míg a viszkóz mintánál:

$$\hat{y} = 30,46 x_0 + 3,31 x_1 + 2,95 x_2 + 1,83 x_1x_2 \quad 4.9$$

A pamut minta redőződéséről felvett spektrumfüggvény mindegyik kísérleti beállításnál különböző (ld. 7.9 melléklet 2. táblázata), de látható, hogy az összefordított mintaelemek levasalásával szabályosabb redőződés érhető el (4. beállítás). Bár ismételt vizsgálatokat nem végeztem, úgy tűnik, hogy mindkét szövetnél csekély hatást gyakorol a két változó az esési tényezőre. A spektrumfüggvények alapján. A 4-7. ábrán bemutatott adatokból látszik, hogy a faktorok között additív hatás van, míg a 30. mintaszámú viszkóz mintánál nincs kölcsönhatás a két faktor között.



4-7. ábra A faktorok hatásának grafikus szemléltetése két különböző alapanyagú minta esési tényezőin

4.1.2 Következtetések a kísérlettervezés eredményei alapján

A kísérlettervvel a tervezői elképzelések gyorsabb megvalósítására van lehetőség. A kísérletterv alapján megállapítottam, hogy a mintaelemek összeillesztésénél szélesebb méretben alkalmazott közbélés erőteljesen kihangsúlyozza a díszítőelem redőit. A vizsgált négy konfekcióipari paraméterből 5%-os szignifikancia szinten csak a 4. faktor, a közbélés mérete szignifikáns. A közbélés merevsége és mérete (3,4 faktor) és a 3*4 faktoros interakció 5-10% közötti szinten válik szignifikánssá.

Az elvégzett többfaktoros vizsgálatok eredményei azt mutatták, hogy a spektrumfüggvény alapján a modell sziluettjét, az anyag redőződését a célzott kísérletek alapján tudatosan lehet kialakítani. A kísérletterv eredményei a 4-2 és 4-4. ábrán bemutatott különböző modellek optimális anyag- és technológia választásához jól felhasználhatóak, mert a modellek esztétikai értékét a redők formái és az anyag esése nagymértékben befolyásolják.

Amennyiben véletlenszerűen kialakuló és szabálytalan formájú redők létrehozása a cél, azokat a beállításokat lehet a modellhez felhasználni, amelynél a spektrumképben széles hullámhossz-tartományban jelennek meg harmonikus összetevők és a spektrumkép reprodukálhatósága csekély. Az „A” modelltervhez a 3. és 4. faktort a vizsgált viszkóz alapanyagból a második szinten (1) célszerű alkalmazni. A 2^4 kísérletterv spektrumfüggvényei alapján a szabályos redők a viszkóz szövetből a 4. és 5. beállítással érhetők el.

- A modell díszítőelemének illetve a szoknya hosszának növelésével - a lelógási hosszak a redőződésre gyakorolt (előzőekben) bizonyított hatása miatt - a redőződési kép a kívánt mértékben módosítható.
- A különböző alapanyagoknál a faktorok hatása eltérő, ezért érdemes ezt pl. a vasalás és a varrási technológiánál figyelembe venni.

A vizsgált redőződő képességen kívül azonban szem előtt kell tartani a modell kialakításánál, hogy az öltözet minőségét meghatározza a textil laptermék konfekcionálás során fellépő kis erőhatásoknál mutakozó formálhatósága. Egy körszabott anyag konfekcionálásánál pl. figyelembe kell venni a lelógó anyag saját tömege hatására bekövetkező megnyúlását.

A textília mechanikai tulajdonságai befolyásolják a szabást (a rétegek elcsúszása) és a varrás során szükséges anyagtovábbítás folyamatát (pl. különböző hosszúságú alkatrészek összeillesztése, mint a vállrész kialakításánál vagy ujjá bevarrásnál). A konfekcionált termék minőségét meghatározza a varrat hullámosodása és a méretváltozás pl. nedvesség (gyapjútartalmú anyagnál) vagy relaxáció következtében. Ezért a konfekcionálónak figyelembe kell vennie a méretstabilitást, a kelmeszerkezetet és az anyag viselkedését húzó, hajlító és nyíróerő hatására. A textil laptermék nyújthatósága fontos konfekcionálástechnológiai ismérv. Egy könnyű, alacsony hajlítási merevségű anyagot nehéz gyűrődésmentesen illeszteni. A pontos illeszthetőséget a kelme hosszanti irányú összenyomhatósága határozza meg, ami pedig nehezen mérhető. Erre az alacsony húzóerőnél (20 cN/cm alatt) mért nyújthatóság utal.

A körszabott ruhadaraboknál gyakran jelentkezik mérettorzulás az anyag megnyúlása következtében. Ezt az átlós irányban fellépő nyúlás illetve a csekély nyírási ellenállás okozza, ami pedig befolyásolja a keresztirányú varratok minőségét és esztétikai hibaként jelentkezik az öltözetnél.

A kísérlettervhez felhasznált viszkóz szövet túl alacsony fajlagos nyírómerevsége erősen kihat az illesztés minőségére és ez befolyásolhatja az elkészült öltözet redőinek formáját is. A vizsgált minta ± 5 foknál mért fajlagos nyírómerevségének értéke (2HG5) lánc és vetülék irányban 0,4-0,5 cN/cm^o, ami nem éri el a Kawabata-féle tapasztalati értékek alapján nyári ruha alapanyaghoz meghatározott 0,8-1,5 cN/cm^o értéket [102]. Mindezek alapján kijelenthető, hogy a célmodell elkészítéséhez különleges gondossággal kell eljárni a konfekcionálás során (pl. anyagrétegek együttlátása a szabásnál és a varrás folyamán, varrógép kelmetovábbító-berendezésének beállítása, varrócéna és tűfinomság megválasztása stb.).

5 Az eredmények összefoglalása

A textíliák számítógépes szimulációja a csekély erő hatására bekövetkező alakváltozási hajlam és anizotrop viselkedés miatt igen nehéz, adekvát anyagmodell felállítását igényli. Az irodalmi áttekintés első részében bemutattam a textília virtuális megjelenítéséhez leggyakrabban használt anyagmodelleket és a geometriai és mérnöki ismeretekre támaszkodó mechanikai modellekkel végzett kísérletek eredményeit. A kontinuum-mechanika elméletén nyugvó modellek numerikus kezelését a mérnöki szemlélethez jól igazodó végeselem-módszer többnyire jól biztosítja. Az anyagmodellhez szükséges anyagi jellemzőket (pl. hajlítási merevség, nyírási ellenállás ortogonális megközelítésnél két terhelési irányban) a textíliák ismert vizsgálati módszereivel határozzák meg.

A ruhaiparban a fokozódó konkurencia, a kiélezett verseny és a divattermékek rövidebb élekciklusa miatt világszerte új technológiai megoldások után kutatnak. A divattervezői feladatok térbeli megoldása kétdimenziós tervrajzokkal hosszútávon már nem ad kielégítő eredményt. A megoldást a számítógépes testfelismerő programok, a 3D-s szerkesztői és szimulációs szoftverek megjelenése és fejlesztése hozták. Ehhez kapcsolódóan ismertettem a ruhaipari új, automatikus méret-meghatározó megoldásokat, bemutattam az egyéni igényekre szabott tömeggyártásban és a ruhaipari gyártmányfejlesztésben alkalmazható virtuális prototípus előnyeit és a szimulációk lehetséges két célját, a vizualizáló és a 3D-s szerkesztő rendszereket.

Bár a textília virtuális megjelenítése, a testszkenneres és a különböző számítógépes 3D-s tervező programok alkalmazása ígéretes, a technológiai megoldások javítása érdekében az anyagmodellek és a jelenlegi rendszerek folyamatos fejlesztés alatt állnak.

A dolgozatban a textíliák azon tulajdonságának vizsgálatával foglalkoztam, amely a szimuláció alapjául szolgál. Ez a redőződő képesség, amely az esési tényezővel és a redőződésre jellemző geometriai adatokkal írható le. Az irodalomban talált regressziós elemzések eredményei szerint a redőződésre jellemző statikus esési tényezőt a kelme fogását meghatározó (Kawabata KES-FB rendszerrel mért) mechanikai jellemzők közül számos paraméter befolyásolja (a területi sűrűség, a hajlítással és a nyírással kapcsolatos jellemzők). A levont következtetésekben mutatkozó különbségek azt mutatják, hogy az esési tényezőt leginkább meghatározó paraméterek meghatározása regressziós elemzéssel a bevizsgált

minták eltérő tulajdonságai (a különböző kelmeszerkezet és alkalmazott gyártástechnológia) miatt kevésbé eredményes.

Textilmechanikai vizsgálataim során a redőződésre feltételezésem szerint leginkább hatást gyakoroló tényezőket elemeztem, ez a kelmeszerkezet, a nyersanyag és a kikészítés (lágyítás). Az elemzésekhez alkalmaztam a textíliák fogásának Kawabata-féle vizsgálati módszerét és a Cusick-féle redőződésmérést. Számszerűsítettem pamutszövet esetében a kelmeszerkezetnek és az előkezelésnek a redőződésre gyakorolt hatását, valamint viszkóz és pamut/len szöveteknél a fogásjavító kikészítés hatását.

Az irodalomban bemutatott vizsgálati módszerek ismeretében kifejlesztettem egy olyan egyszerű kiértékelő módszert, amellyel az eddigieknél több információ nyerhető a textil laptermékek redőződési képességéről. A módszer kidolgozásánál abból indultam ki, hogy a redőződés mérésénél az alátámasztási felületről lelógó, kör alakú minta vetületének körvonala egy önmagában záródó görbe, amely a középponti szög függvényében, periodikus függvények összegeként előállítható. A vizsgálati módszer alkalmazásához egy munkatársaimmal közösen fejlesztett, új számítógépes programot használtam a redőződött mintákról készített digitális képek kiértékelésére. A program a képfeldolgozással átalakított síkvetületi képen meghatározza a harmonikus analízishez felhasznált kontúrponatok koordinátáit, és a vetület területét, amelyből a redőződést jellemző esési tényező értéke számítható.

Javaslatot tettem egy új jellemző bevezetésére a redőződés kiértékeléséhez, ez a periodikus függvények harmonikus összetevőinek amplitúdóit azok hullámhosszának függvényében ábrázoló spektrumfüggvény. Vizsgálattal megállapítottam, hogy a kifejlesztett új kiértékelési módszer alkalmas különböző textil laptermékek összehasonlítására és a textíliát érő különböző hatások kimutatására a spektrumfüggvények változásán keresztül.

A szakirodalomban többféle adatot találtam a mérőeszköztől függő, mérési eredményt befolyásoló tényezők hatására, ilyen pl. a minta felhelyezése, leengedése a mérés során, a minta mérete, valamint a redőződés alakjának változása az idő függvényében, ezért megvizsgáltam, hogy ezeknek van-e befolyása a mért eredményekre.

Az így elvégzett komplex mechanikai vizsgálatokkal új információkat nyertem az anyagok térbeli illeszkedésével kapcsolatos redőződési tulajdonságáról, amelyeket felhasználtam egy 4-faktoros és 2-faktoros kísérlettervezésben a gyártmányfejlesztés szakaszának lerövidítése érdekében. Az eredmények alapján a választott alapanyagból készítendő célmodellhez kiválasztható az optimális konfekcionálási technológia.

5.1 Tézisek

1. Tézis

A kelme kötésszerkezetére jellemző relatív szőhetőségi tényező és a laptermék redőződési képessége között szignifikáns összefüggés van. A relatív szőhetőségi tényező növekedésével nő a kelme esési tényezője, a hajlítási merevsége, valamint a fajlagos nyírómerevsége. Méréseim alapján megállapítottam, hogy ez az összefüggés másodfokú függvénnyel közelíthető a vizsgált kelmék esetében.

- 1.2. A közelítő másodfokú polinom alapján kimutattam, hogy a szövetszerkezet változásának mértéke erősebb hatást fejt ki a nyíróellenállásra, mint a hajlító merevségre. Vászonszövetű pamutszövet nyíróellenállása háromszoros mértékű a sávolykötésű szövethez képest.
- 1.3. A hajlító merevség, illetve a nyíróellenállás és a vetülékfonal lineáris sűrűsége között lineáris kapcsolat van, míg ez a kapcsolat másodfokú polinomiális függvénnyel közelíthető a vizsgált mechanikai jellemzők és a vetüléksűrűség esetében.

2. Tézis

Bizonyítottam és számszerűsítettem egyes, a kikészítés során alkalmazott mechanikai, kémiai és termikus kezelés redőződésre gyakorolt jelentős hatását.

- 2.1. Szilikonos lágyító és csúszásgátló felhasználásával végzett fogásjavító kikészítés után 20%-al csökken az esési tényező és erőteljesen csökken az anizotrópia a vizsgált viszkóz kelme esetében, aminek eredményeként javul a textília térbeli alakra illeszthetősége és formálhatósága. Kétszeres mennyiségű lágyító ugyanazon a vizsgált ruházati alapanyagon 26 %-os csökkenést eredményezett az esési tényezőben. Azonos fogásjavító kikészítés nagyobb hatást fejt ki, ha a kelmét alkotó fonalak lineáris sűrűsége, vagy a kelme területi sűrűsége kisebb.
- 2.2. Len-típusú szövetek esési tényezője 25%-al csökkenthető a kémiai (fogásjavító lágyítás) és mechanikai kikészítés (törés) együttes alkalmazásával.
- 2.3. Nyers pamutszövet esési tényezője átlagosan 10 %-al csökken 95 C°-on végzett lefőzés hatására, míg az ipari vasalóprésen alkalmazott kezelés 24 %-os növekedést eredményez a vizsgált jellemzőben.

3. Tézis

Kidolgoztam a redőződés eddigi mérési módszereinél hatékonyabb kiértékelési megoldást, amellyel a redőződésről az ismert vizsgálatokhoz képest több információ nyerhető. A textíliák redőződési képességének leírására új jellemzőt vezettem be, ez a redőződés spektrumfüggvénye, abból kiindulva, hogy az alátámasztási felületről lelógó, kör alakú minta digitális síkvetületi képéből nyert hullámgörbe harmonikus analízishez sorba fejthető.

- 3.1. A redőzött minta vetületi képéből nyert hullámgörbét közelítő Fourier polinom harmonikus összetevőit a szögelfordulásban kifejezett hullámhossz függvényében ábrázolva vonalas spektrumfüggvény kapható, amelyről kimutattam, hogy a textíliák redőződési képességének leírására alkalmas és reprodukálható eredményeket biztosít.
- 3.2. Bizonyítottam, hogy az általam meghatározott spektrumfüggvény alkalmas a redőződési képesség gyors és objektív mennyiségi elemzésére úgy, hogy a textíliák eséséről az eddig ismert mérési módszerekhez képest átfogóbb, komplex statisztikai adatokat szolgáltat. A spektrumfüggvényről leolvasható, hogy melyik periodikus összetevővel közelíthető meg leginkább a redőződés görbéje (domináns hullámhossz), hány felharmonikusa van és azok milyen hullámhosszúak, következtetni lehet a redők méretére, a különböző hullámhosszú redők előfordulásának gyakoriságára és a redőződés szimmetriájára.
- 3.3. A spektrumfüggvényen keresztül bizonyítottam, hogy a redőződés a vizsgált ruháipari kelme 6 cm-es lelógási hosszánál állandó, amennyiben a vizsgálat során a textíliát külső erőhatás nem éri, tehát a mérési adatok alapján statisztikai számítások végezhetőek.

4. Tézis

Kutatási eredményeimmel bizonyítottam, hogy a spektrumfüggvény a textíliák összehasonlításához minőségi információkat is tartalmaz.

- 4.1. A spektrumfüggvény alkalmas különböző ruházati alapanyagok redőződési képességének összehasonlítására, valamint a gyártás során alkalmazott fogásjavító kikészítés hatékonyságának kimutatására. Kimutattam, hogy

lányított kelme esetében a redőződést leíró hullámgörbe harmonikus összetevőinek főkomponensei eltolódnak a kisebb hullámhossz irányába.

4.2. Az új módszerrel nyert információk alkalmazhatóak többfaktoros kísérlettervezés kimeneti értékeként a gyártás-előkészítésnél az optimális alapanyag és konfekcionálási technológia kiválasztásához egy divattervezői elképzelés megvalósítási folyamatában. Az utóbbi állítás bizonyítására négy konfekcionálás-technológiai paramétert vizsgáltam, ezek az alkatrészek illesztésének varrasmódja, a varrat térbeli kiegyenlítése, a merevítő ragasztós közbélés merevsége és mérete. Kísérlettervezéssel kimutattam, hogy a vizsgált négy faktor közül 5%-os szignifikancia szinten a közbélés méretének, míg 5-10 % között a közbélés méretének, merevségének és ezek kölcsönhatásának is szignifikáns hatása van az esési tényezőre. A varraterősítésnél a vizsgált viszkóz kelméhez képest 60%-al merevebb ragasztós közbélést 3,5 cm-es szélességben alkalmazva közelíthető meg leginkább a célmodellként meghatározott divattervezői elképzelés.

5.2 Gyakorlati alkalmazhatóság

A redőződésről a spektrumfüggvénnyel nyert többletinformációk hozzájárulnak a kétdimenziós vetületi kép pontosabb háromdimenziós transzformációjához, a textúra figyelembevételével a textília redőződésének valóságot megközelítő térbeli szimulációjához, és a modell virtuális prototípusán végezhető módosításokkal a gyártmánytervezői folyamat lerövidítéséhez, illetve a térbeli tervezéshez.

A redőződés spektrumfüggvénye nagyon merev mintáknál (esési tényező > 80 %) nem ad elegendő információt. Ezeknél a mintáknál a vizsgálathoz nagyobb mintaméretet (azaz nagyobb lelógási hosszt) érdemes választani, ez a Cusick-féle készüléken 36 cm-es átmérőt jelent.

A redőződés vetületi képének vizsgálata abból a feltételezésből indul ki, hogy az anyag teljes lelógó felülete deformálódik, és ennek eredménye a kerület görbült alakja, illetve, hogy a kerület deformált alakja határozza meg a teljes felületet, azaz mintha a kerület egy drótvázként megadná a teljes felület alakját. A vetületi kép alapján azonban nem nyerhető

információ olyan deformációról, amely az árnykép felvételéhez szükséges fénysugár útjának takarásában következik be (kelme kihajlását követő aláhajlása).

További kísérleteket igényel annak a kérdésnek a megválaszolása, hogy vajon mekkora az elfogadhatósági tartomány a spektrumfüggvénnyel megállapított és a szimulált redőződési jellemzők (esési tényező, redők száma, mérete, eloszlása, stb.) között ahhoz, hogy a textíliát valóságghűen jelenítsük meg a virtuális térben.

5.3 További kutatást igénylő területek

A térbeli alakra illeszthetőséget a redőződés statikus vizsgálatánál sík felületről lelógó textília redőződésével ítélik meg. A redőzött anyagot a sík alátámasztási felület helyett különböző átmérőjű gömb vagy hajlított ívű alátámasztási felületen vizsgálva a textíliák modellezéséhez újabb információk nyerhetők.

Egy öltözet viselésékor az anyagot dinamikus hatások is érik, ezért a valóságghű számítógépes megjelenítéshez a továbbiakban a statikus redőződés mellett érdemes vizsgálni az anyagok dinamikus redőződési képességét is. A dinamikus vizsgálat végezhető a szakirodalomban nyilvánosságra került mérési módszerekkel. Ez új mérőeszköz kifejlesztését igényli. Feltételezésem szerint a dinamikus mérésnél is elvégezhető a dinamikus hatásra változó hullámgörbe harmonikus analízise. További vizsgálatokat igényel annak bizonyítása, hogy ez alkalmas-e a dinamikus redőződés leírására. A redőződésről az idő függvényében felvett spektrum feltételezésem szerint az eddig a dinamikus redőződés jellemzésére használatos esési tényezőnél több és használhatóbb információt tartalmaz.

Következő kutatási célkitűzés lehet annak vizsgálata, hogy jellemző-e a statikus redőződés vizsgálatánál általam alkalmazott spektrumfüggvény az egyes árucsoportokra. Különböző ruházati (pl. batiszt, velúr, flanel stb.) és műszaki textíliák átfogó vizsgálatával bizonyítható, hogy lehet-e a spektrumfüggvény alapján ezeket az egymástól nagyon különböző anyagokat katalogizálni. Amennyiben a spektrumfüggvény egy adott alapanyag típusra jellemző, akkor az hasznos anyagparaméterként felhasználható az adott típusú alapanyag szimulációjához.

6 Irodalomjegyzék

- [1] <http://www.leapfrog-eu.org/>
- [2] <http://www.euratex.org>
- [3] Nagyné Szabó O., Tamás P., Halász M. (2005): Garment construction with a 3 dimension designing system, Proceeding, IN-TECH-ED'05, pp.348-357
- [4] Magnenat-Thalmann N., Volino P. (2005): From early draping to haute couture models: 20 years of research, Visual Comput. (2005) 21: 506–519, Springer, Vol. 21, No. 8, pp. 506–519, 2005. október
- [5] Squire B. (2006): Customisation for Free? The Impact of Mass Customisation on Manufacturing Trade-offs, <http://www.mbs.ac.uk/research/supplychain/documents/MassCustomisationOct2006.pdf>
- [6] P. Szeoke Judit: Római császárkori viselet és divat, <http://art-fashion.hu>
- [7] Szilágyi Nagy Ildikó, PR Herald, <http://www.prherald.hu>
- [8] Divatkép Alter és Kiss udvari szállítók női divatterméből 1874-1875, <http://mek.oszk.hu/04500/04534/04534.pdf>
- [9] Lámer G.: Kinematikai szabadságfokok a klasszikus és az általánosított kontinuumokban, <http://www.me.bme.hu/esemeny/szilszem/lamer00.htm>
- [10] Vas J: Szemcsés anyagok mechanikai modellje, www.zmne.hu/tanszekek/kvt/digitgy/20011/vszt/vas.html - 47k -
- [11] Páczelt I. munkásságának méltatása a Szilárd Leo ösztöndíjhoz, http://www.mzfk.hu/dl/SzilardLeo_2005.pdf
- [12] K. Y. Sze and X. H. Liu (2005): A new skeletal model for fabric drapes, International Journal of Mechanics and Materials in Design, Vo.2, No.3-4 , pp.79-97
- [13] Fuhrmann (2006): Interaktive Animation textiler Materialien, disszertáció, TU Darmstadt,
- [14] Naghdy F., Wood Conroy D., Armitage H. (2007): Geometric and Haptic Modelling of Textile Artefacts, G. Qiu et al. (Eds.): VISUAL 2007, LNCS 4781, pp. 502–511, 2007.
- [15] H. N. Ng, R. L. Grimsdale (1996): Computer graphics techniques for modelling cloth. IEEE Computer Graphics and Applications, 16(5):52–60, 1996.

- [16] J.Fan, W.Yu, L.Hunter (2000): Clothing appearance and fit: Science and technology, Woodhead Publishing Limited, The Textile Institute, Cambridge, England
- [17] D.H. House, D. E. Breen (2000): Cloth Modeling and Animation, pp.19-107, 197-214, AK Peters, Natick, MA
- [18] Fischer, P., Krzywinski, S., Rodel, H., Schenk, A., and Ulbricht, V. (1999): Simulating the Drape Behavior of Fabrics, Textile Res. J. Vol. 69, No.5, pp. 331-334
- [19] P. Volino, N. Magnenat-Thalmann: Implicit Midpoint Integration and Adaptive Damping for Efficient Cloth Simulation, MIRALab, Univ. of Geneva, <http://www.miralab.unige.ch/repository/papers/186.pdf>
- [20] F. Cordier, N. Magnenat-Thalmann (2002): Real-Time Animation of Dressed Virtual Humans. Computer Graphics Forum, Blackwell Publishing, Vol. 21, No. 3, pp. 327-336, September 2002
- [21] Janski L. (2003): Numerische Simulation des mechanischen Verhaltens textiler Flächentragwerke, Dissertation, TU Dresden, Fakultät Maschinenwesen
- [22] S.Krzywinski (2005): Verbindung von Design und Konstruktion in der textilen Konfektion unter Anwendung von CAE, habilitáció, TU Dresden
- [23] Su-Jeong Hwang Shin, Cynthia L. Istook (2007):The importance of understanding the shape of diverse ethnic female consumers for developing jeans sizing systems, International Journal of Consumer Studies, Vo 31 , No 2, pp. 135 – 143
- [24] <http://www.techexchange.com>
- [25] www.optitex.com
- [26] www.gerbertechnology.com
- [27] www.gerbertechnology.com/downloads/pdf/AccuMarkMTM_Apparel_G.pdf
- [28] <http://padsystem.com>
- [29] <http://www.browzwear.com>
- [30] <http://www.lectra.com>
- [31] <http://www.griff.hu/meretes.aspx>
- [32] Fekete Zs.,Kokasné Palicska L.(2007): Egyénre szabott ruha a tömeggyártásban – „virtuális szabóság”, Magyar Textiltechnika, 2007/6, 170-173

- [33] T. May-Plumlee; J.Eischen: 3D Virtual Draping with Fabric Mechanics and Body Scan Data,
<http://www.ntcresearch.org/pdf-rpts/AnRp05/F02-NS08-A5.pdf>
- [34] e-tailor projekt, http://www.atc.gr/e-tailor/E-TAILOR_BROCHURE.pdf
- [35] Fairhurst C. (2008): Advances in apparel production, Manchester Metropolitan University, Woodhead Publishing, UK, ISBN 1 84569 295
- [36] J. Kuzmina, P.H.Tamás, M.Halász, Gy.Gróf (2005): Image-based cloth capture and cloth simulation used for estimation cloth draping parameters, IN-TECH-ED'05, Int. Conference, Budapest, Budapest Tech, Proceedings, ISBN 9639397067
- [37] Tamás P (2008), Térbeli ruhatervezés, disszertáció, BME
- [38] Collier, B. J. (1991): Measurement of Fabric Drape and Its Relation to Fabric Mechanical Properties and Subjective Evaluation, Clothing and Textile Research Journal, 1991, Vol. 10, No. 1, pp. 46-52
- [39] Sharma, SB, Sutcliffe. (2004): A simplified finite element model for draping of woven material. Composites A 35 pp.637-643,
- [40] Choi and Ko (2002): Stable but Responsive Cloth, ACM Transactions on Graphics, 21(3):604-611, SIGGRAPH 2002,<http://graphics.snu.ac.kr/~kjchoi/publication/cloth.pdf>
- [41]: Chen, B., and Govindaraj, M., (1995): A Physically Based Model of Fabric Drape Using Flexible Shell Theory, Textile Research Journal, Vol. 65, No. 6, pp. 324-330
- [42] Nadjombe Fare (2002): Modéllisation mathématique et simulation numérique du drape d'un textile, Université de Haute Alsace - Mulhouse <http://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00001702/en/>
- [43] Gan L, Ly N G and Steven G P (1995): A study of fabric deformation using non-linear finite elements, Textile Research Journal, Vol. 65 No.11, pp.660-668
- [44] Postle J R and Postle R, (1995): Depicting the drape, Text Asia, Vo.26, No.10, pp.29-31
- [45] Yu, W. R. Kang, T. J. and Chung, K. (1997): Drape Simulation of Woven Cloth Using Explicit Dynamic Analysis, Journal of the Textile Institute, Vol. 91, No. 1-2, pp.285-301
- [46] Stump D. M. and Fraser W. B., (1996): A simplified model of fabric drape based on ring theory, Textile Research Journal, Vo.66, No.8, pp.506-514

- [47] Niwa M.: Clothing science, the way ahead, Text Asia, 2002 31(2) 27.
- [48] http://en.wikipedia.org/wiki/Kawabata_Evaluation_System
- [49] http://www.kod.tul.cz/laboratore/Kes/index_eng.html
- [50] Reumann R.-D. (Hrsg.) (2000): Prüfverfahren in der Textil- und Bekleidungstechnik, ISBN 3-540-66147-6,
- [51] S.Kawabata et al (1992): Application of Objective Measurement to Clothing Manufacture, International Journal of Clothing Science and Technology 48 (1992) 2, pp.18-25/1991, pp.36-45.
- [52] M.Greuel F.,Weisse, U.Zastrow (1991): Der Griff eines Gewebes - subjektive Beurteilung und objektive Messung, I. és II. rész, Bekleidung und Wäsche 4/1991 pp.22-25 és 5/1991, pp.36-45.
- [53] Tokody Zita (2002): Ruházati textília vizsgálata KES és FAST módszerrel, BMF szakdolgozat, 2002
- [54] Gyimesi J. (1968): Textilanyagok fizikai vizsgálata, Budapest, Műszaki Könyvkiadó, 1968
- [55] <http://www.hohenstein.de>
- [56] BS 5058 1973 : Methods for the Assessment of Drape of Fabrics
- [57] DIN54306:Bestimmung des Fallvermögens von textilen Flächengebilden, 1979,
- [58] JIS R 3418: Textile Glass Fabric Curtains for Casement and Drapery,
- [59] ISO 9073-9 Textiles - Test Methods for Nonwovens - Part 9: Determination of Drape Coefficient,
- [60] N. Kenkare, T. May-Plumlee, P. Pandurangan J Eischen: Mechanics of Fabric Drape, http://www.mae.ncsu.edu/directories/faculty/eischen/TRJ2004-Paper_1-Final.pdf
- [61] Collier J.R,Collier B J,O'Toole G and Sargand S M (1991): Drape prediction by means of finite-analysis, Journal of the Textile Institute,Vol.82, No.1, pp.96-107
- [62] Matsudaira et al (2002): Polyester "Shingosen" Fabrics Characterized by Dynamic Drape Coefficient with Swinging Motion, Textile Research Journal, Vol. 72, No. 5, 410-416
- [63] T. W. Shyr, P. N. Wang,K. B. Cheng (2007): A Comparison of the Key Parameters Affecting the Dynamic and Static Drape Coefficients of Natural-Fibre Woven Fabrics by a Newly Devised Dynamic Drape Automatic

- Measuring System, *Fibres & Textiles in Eastern Europe* July / September 2007, Vol. 15, No. 3 (62), pp.81-86.
- [64] Mizutani, Chiyomi (2005): A New Apparatus for the Study of Fabric Drape, *Textile Research Journal*, 2005, vol. 75, no1, pp. 81-87
- [65] Hosien Hasani (2007): Analyse der physikalischen Grundlagen zur Entwicklung eines integralen Messverfahrens für die Bestimmung des Warengriiffs an Maschenwaren, *disszertáció*, Universität Stuttgart, 2007
- [66] Eugenija Strazdienė, Matas Gutauskas (2005): New Method for the Objective Evaluation of Textile Hand, *FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe* April / June 2005, Vol. 13, No. 2 (50) pp.35-38
- [67] Hörsting K. (1994): Rationalisierung der Fertigung langfaserverstärkter Verbundwerkstoffe durch Einsatz multiaxialer Gelege, *disszertáció*, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen
- [68] Wulfhorst, B.; Hörsting, K (1990): Rechnergestützte Simulation der Drapierbarkeit von Geweben aus HL-Fasern für Verbundwerkstoffe *Chemiefasern/Textilindustrie*, 40/92 Jahrgang, 7/8 (1990), pp.118-123.
- [69] <http://www.ika.rwth-aachen.de/lehre/>
- [70] Anon: Fabric drape,(1981): (A review), *IWS F.A.C.T. Technical Information Letter*, (1981)
- [71] G.E. Cusick (1965): The dependence of fabric drape on bending and shear stiffness, *Journal of the Textile Institute*,1965, Vol. 56. pp.596
- [72] H. Morooka, M. Niwa (1974): Relation between Drape Coefficient and Mechanical Properties of Fabrics, *Journal of The Textile Machinery Society of Japan*, Vol. 27 No. 12. pp. 201-207
- [73] Militky,J.Velekova,L.Hes (2003): Prediction of drape from mechanical characteristics, 4th International Conference Innovation and Modelling of Clothing Engineering Process, ICEP 2003, Faculty of Mechanical Engineering, October 9-11, Maribor, Slovenia
- [74] Darja Žunič Lojen, Simona Jevšnik, (2007): Some Aspects of Fabric Drape *FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe* October / December 2007, Vol. 15, No. 4 (63), pp. 39-45.
- [75] Vámos R. (2003):*Textilanyagok esésének modellezése*, Diplomaterv, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki Kar
- [76] <http://www.itc.polyu.edu.hk/news/newsletter/NewsletterIssueNo13.pdf>

- [77] Leung K.Y.C et all (1998): Draping performance of Fabric for 3D Garment simulation”, Proc. 28th Mt Fuji Conference
- [78] Kokas Palicska L., Halász M. (2005): A szövetek szerkezeti jellemzőinek hatása az esésre, Magyar Textiltechnika 2005/6, 170-172 o.
- [79] Frydrych,G.Dziworska, M.Matusiak (2003): Influence of the Kind of Fabric Europe July/September 2003, Vol.11, No.3(42) pp.31-37.
- [80] E. Csiszár E., A. Somlai (2004): Improving Softness and Hand of Linen and Linen-Containing Fabrics with Finishing, AATCC. Review, Vol. 4, 2004, pp. 17–21
- [81] Kokas P. L., Kiss Sz. (2005): A szövetek esési tulajdonságainak és fogásának összehasonlító vizsgálata ruhaipari feldolgozáshoz, Magyar Textiltechnika, 2005/3, 60-63.o
- [82] Maczák A.,Kokasné Palicska L. (2003) Kender típusú kelmék a ruházatban, Magyar Textiltechnika, 2003/05, 129.o
- [83] L. Kokas Palicska, J. Gersak, Halász M.: The Impact of Fabric Structure and Finishing on the Drapery Behavior of Textiles, 5th World Textile Conference AUTEX, 27-29. June 2005, Portoroz, SI, ISBN 86-435-0709-1, P 891-897
- [84] A.Gider (2004), An On-line Fabric Database to Link Fabric Drape and End-use Properties, Louisiana University and Agricultural Mechanical College, The School of Human Ecology, MSc diplomamunka
- [85] Szabó L. (2008), Képkalkulációra alapozott ruhaipari mérés technikák, BME, disszertáció, Budapest
- [86] P. Tamás; J. Geršak; M. Halász: 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
- [87] Simona Jevsnik, Jelka Gersak (2003): The analysis of fused panel drape using the finite element method, 4th. Int. Conference IMCEP 2003, Maribor Slovenia
- [88] <http://www.digitaltutors.com/store/product.php?productid=43>
- [89] http://en.wikipedia.org/wiki/Maya_%28software%29
- [90] http://es.wikipedia.org/wiki/3D_Studio_Max
- [91] <http://www.americanfitclothing.com/>
- [92] <http://www.ic3d.com/index.html>
- [93] <http://beyondclothing.com>

- [94] <http://www.landsend.com>
- [95] http://troyderego.com/project.php?projectName=levis_web&tab=design
- [96] <http://www.brooksbrothers.com/digitaltailor.tem>
- [97] <http://www.intexma.info/index.php?show=news&lang=ger>
- [98] <http://www.tukaweb.com>
- [99] http://www.human-solutions.com/apparel_industry/intailor_en.php
- [100] <http://telmat.com>
- [101] <http://www.tc2.com>
- [102] Kawabata S, Niwa M. (1989), Fabric performance in clothing and clothing manufacture, J Text. Institute, Vo. 80 No. 19
- [103] Jederán M., Való G. (1984) Szövetek kötése, Műszaki Könyvkiadó, Budapest,
- [104] MSZ EN 121 27:1999,
- [105] MSZ EN ISO 5084:1999
- [106] MSZ EN 1049-2:1999
- [107] MSZ 93-4:1987
- [108] MSZ 93-11:1987
- [109] MSZ EN ISO 9237:1999
- [110] Molnár I. (2008): Textíliák redőződés-mérési módszereinek összehasonlítása Diplomaterv, BME
- [111] <http://www.assyst-bullmer-intl.com/vidya.php>

7 Függelék

7.1 Melléklet Textíliák anyagmodelljeinek irodalmi áttekintése

A textíliák számítógépes grafikai szimulációjának területén 87-ben megjelent első megoldások Terzopoulos nevéhez fűződnek, amely a mozgást és rugalmas felület energiáját figyelembe vevő Lagrange egyenletre alapozott.

$$\underline{\underline{M}}\ddot{q} + \underline{\underline{K}}\dot{q} + \underline{\underline{S}}q = \underline{F}(t) \quad 7.1.$$

Ahol:

$\underline{\underline{M}}$ tömeg mátrix [kg]

$\underline{\underline{S}}$ merevségi mátrix [$\frac{N}{m}$]

$\underline{\underline{K}}$ csillapítási mátrix [$\frac{Ns}{m}$]

q általános koordináta, mely az időnek folytonos és differenciálható függvénye [m]

\dot{q} sebesség vektor [$\frac{m}{s}$]

\ddot{q} gyorsulás vektor [$\frac{m}{s^2}$]

$\underline{F}(t)$ erő vektor [N]

A kontinuum-mechanika elméletének új eredményei a fizikai jelenségek korábbi időkben nem tapasztalt mélységű és komplexitású elemzésére, modellezését teszik lehetővé. A számítógépek módot adnak a felépített modellek gyors, megbízható kiszámítására, az eredmények látványos grafikai megjelenítésére és ezen keresztül azok sokoldalú elemzésére. A kapott eredmények körültekintő értékelésével a bonyolult elméletek a mindennapos mérnöki gyakorlat alkalmazott eszközévé váltak. Számos hazai kutatócsoport dolgozik eredményesen különböző számítógépes szimulációs területeken, így például a nemlineáris feladatok egy fontos csoportjának, a különféle szálakkal erősített, gumiipari termékek, gumiköpenyek stb. vizsgálatában. Mindegyik szimulációnál közös cél az, hogy a szimulálással az anyag mechanikai, szilárdsági, dinamikai viselkedését megfelelő mechanikai modellel, annak számítógépen történő megoldásával kövessük nyomon, mellőzve a konkrét „prototípus” legyártását. A paraméterek megváltoztatásával, újbóli számításokkal tisztázhatóvá válnak azok hatásai. A gyártmánytervezői folyamatot támogató szimulációs

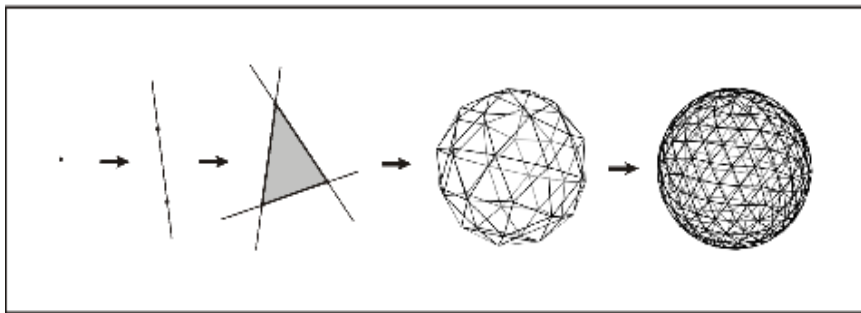
művelet így jóval gyorsabb és olcsóbb, mint a prototípus legyártása, annak vizsgálata illetve azt követő módosítások bevezetése [11].

7-1. Táblázat Textíliák anyagmodelljeinek rendszerezése [16, 22]

1. Mechanikai modellek	
Számítógépes grafika:	Terzopoulos 87, 88, Aono 90,
Mérnöki tudományok	Shanan 1978, Lloyd 1980, Amirbayat 1986, 89, 91,94; Hearle 1994, Collier és társai 1990, 91; Kan és társai 1995,98, 00; Postle és Postle 1995,97; Gan és társai 1995; Kang és Yu 1995; Chen és Govindaraj 1995; House és társai 1996; Eberhardt és társai 1996; Ascough és társai 1996; Tan és társai 1999; Teng és társai 1999; Zhang and Yuen 2001; Meyer és társai 2001; Gong és társai 2001; Choi és Ko 2002; Sze 2002; Sze és Liu 2003; Lin és társai 2003; Villard és Borouchaki 2005; Etmuss és társai 2003;
Számítógépes grafika, mérnöki tudományok:	Breen és társai 1992, 94; Stylios és társai 1995, 96; 03,04; Eischen és társai 1996;
2. Geometriai modellek	
Számítógépes grafika:	Weil 1986; Hinds 1991; Ng 1994, 96; McCartney 1992; Rodel és társai 1998; Dai és társai 2001.
3. Hibrid modellek:	
Számítógépes grafika,	Kunil és Gotoda, 1990, 1998; Dhande és társai 1993; Taillefer 1991

7.2 Melléklet A testszkennerek

A háromdimenziós ábrázolás arra ad lehetőséget, hogy az adott tárgyat a számítástechnika segítségével egyszerre három síkban építsük fel. Bár az így kapott kép ugyan kétdimenziós lesz, de ez abból adódik, hogy a monitor képernyője egy síkú, de a számítógép megteremti az interaktív 3D-s ábrázolás lehetőségét. A háromdimenziós grafika vektorgrafika, tehát egy pont helyzetét koordinátákkal határozzák meg. Ebben az esetben hárommal, a térsíkok száma szerint. Két pont egy egyenest, három viszont három egyenest és egy síkot határoz meg (7.1. ábra). Az így meghatározott sík látható része a három egyenes által közbezárt terület (polygon). A tárgyak ilyen háromszögekből épülnek fel, és a mennyiségük egy objektumon belül meghatározza az objektum részletességét. Az utóbbi években egyre újabb algoritmusokat fejlesztettek ki a háromszögre bontás folyamatának az automatizálására.



7-1. ábra Polygonokkal meghatározott felület

A 3D-s grafika a fent felsorolt módon épül fel, ez a geometriai felépítés. A valóság hű látványt egy „rendező” folyamattal érhetjük el, ebben szerepet játszanak az anyag textúrája, a fények és más vizuális effektusok. A tárgyak részletessége itt komoly szerepet játszik. Az egyes polygonok közti hatásokat a szoftver elsimítja, különben a sima felülethez nagyon nagy felbontásra lenne szükség. A tárgy részletessége a hálórácsuk sűrűségén látszik, ugyanis a hálórács minden kereszteződése egy feljebb említett síkmeghatározó pontot jelent. A valóságos modellezéshez a hálórács kereszteződések számának egyeznie kellene pl. a szövetdarabban lévő fonalkereszteződések számával.

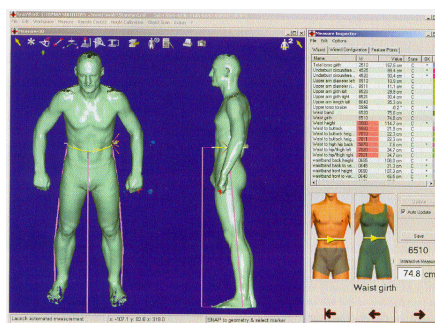
A szkenneléskor létrehozott pontfelhő a triangulációt követően interaktív vagy automatikus módon mérhető. A számítógépes adatbázissal a program különleges alakzatokat is képes megjeleníteni. A gép észleli az emberi test mindazon pontját, amelyek szükségesek ahhoz, hogy az adott formát valósághűen lehessen a számítógépen megjeleníteni. Az automatikus testméret meghatározáshoz olyan szoftverre van szükség, amely képes interpretálni az ember

anatómiai geometriáját. Miután az emberi test geometriái nagyon különbözőek lehetnek, ma még félautomata eljárásokat részesítenek előnyben, amelynél lehetőség van pl. virtuális mérőszalaggal történő testkerület méréséhez az egyes pozíció utólagos korrigálására. Mindehhez figyelembe kell venni a nemzetközi méretvételre vonatkozó szabványok előírásait is (pl. ISO 8559), mivel a fotogrammetriai letapogatás módszerét csak abban az esetben fogadható el, ha legalább olyan pontos, mint a szabványokban előírt módszer. A testszkennerrel felvett méret-eltérések ± 3 cm között mozognak.

Az emberi test számítógépes méretvételi módjait általánosságban implicit és explicit eljárásokra oszthatjuk. Az előbbinél az egyéni testméretek felismerése után (pl. csípő, derék, váll) a virtuálisan megjelenített felületre ún. antropometriai jelölőpontokat vesznek fel (landmarks), amelyekkel a szabásmintához a szokásos számítási módszerekkel megállapíthatóak a hossz-, kerület- és szögadatok. Az explicit eljárás felhasználja a testméretek, formák és mozgás-mechanizmusok statisztikai ismeretét, alkalmas kinematikai felületmodellek tervezésére is. Nagyon magas követelményeket jelent hardver- és szoftver oldalról is, ezért csak különleges alkalmazásoknál használják.

Ma már léteznek olyan egyszerű módszerek is, amelyek kombinálják a kontúrletapogató és lézeres méretvételt, és amellyel a szkennelés eredményeként megjeleníthető a próbatest a releváns adatokra redukált leképezés alapján. Ezek a megoldások nem igényelnek költséges hardvereket [22].

A **Human Solutions GmbH. Kaiserslautern** [99] szoftvere parametrikus testméretek felvétele után az adatokat felhasználja a késztermék legyártásához. A cég Anthroscan (7-2. ábra) elnevezésű új rendszere a nagy embercsoportok testméreteinek gyors és hatékony feldolgozására alkalmas, sorozatos mérések végzésével. A rendszer alapja egy olyan precíz 3D lézer szkennert és egy egyedülálló szoftvert, amely képes a különböző egyéni testméretek és testtartások felismerésére és megjelenítésére.



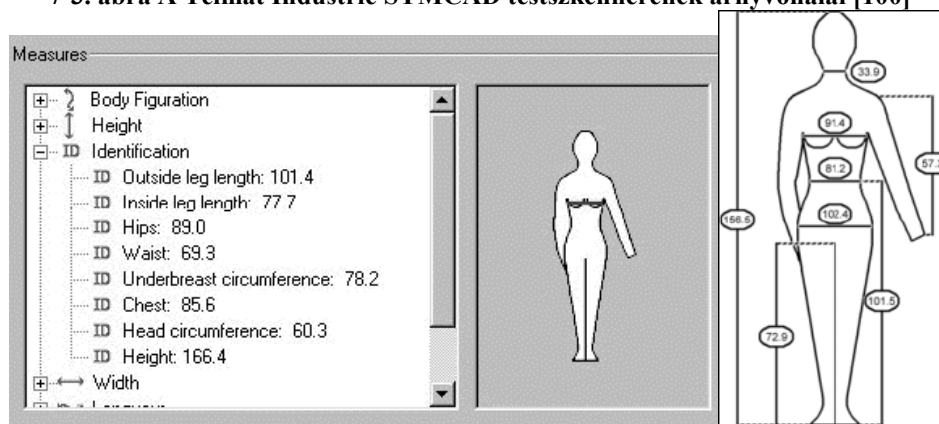
7-2. ábra Anthroscan rendszer[99]

A **Telmat Industrie** cég [100] 3D-s testméretek méretvételére alkalmas biomechanikus szoftvere, a SYMCAD ST ergonómiai méretvételt tesz lehetővé, automatikus antropometriai karakterizációra képes; definiálja a különböző populációkhoz tartozó test típust. A nagysebességű 3-D-s szenzor fehér fénnel tapogatja le a testet (7-3. ábra) és veszi fel a méreteket konfekcióipari alkalmazásokhoz, az ISO-8559 szabvány alapján (7-4. ábra). A rendszer része az a különleges szerkezet, amely képes a test antropometriai jelölőpontjainak automatikus felismerésére és ezek közötti parametrikus méret meghatározásra az ISO-7250 szabvány szerint. A méretvétel különböző szabványosított pozitúrákban is végezhető, álló, ülő vagy valamit tartó helyzetben. Dinamikus mérésre is módot ad, amelynél olyan kinematikai modellek is alkalmazhatóak, mint pl. forgás, szögelfordulás, hajlítás, dőlés, nyújtás, emelkedés. A méretvétel során figyelembe vehető az is, hogy visel-e a modell alsóneműt, vagy egyéb speciális ruhadarabokat.

A SymCad TurboFlash 3D-s testszkennere a cég és a francia tengerészet közös fejlesztésének eredménye. A szkennelés során vízszintes árnyvonalak láthatóak. A szkennerek a másodperc 25-öd része alatt képes információkat felfogni, és 30 másodperc alatt letapogatja a teljes alakot. Számítógépes adatfeldolgozással kevesebb, mint 15 másodperc alatt képes 70 pontos méret generálására. A szkennerek az ISO 8559-es szabvány alapján készíti méretszelekción adatlapjait.

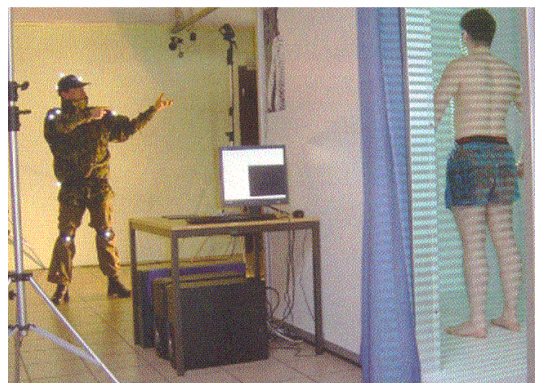


7-3. ábra A Telmat Industrie SYMCAD testszkennereinek árnyvonalai [100]



7-4. ábra SYMCAD testméret kártya az ISO 8559 alapján

A Telmat Industrie antropometrikus méretező rendszere, a M.A.C.A.O. a testméreteken kívül olyan testmozgásokat is képes regisztrálni, amelyek a tűzoltók, a rendőrség és a katonaság ruházataira, illetve az azt viselőire jellemző. A 3D-biomechanikai rendszer az emberi test antropometrikus méreteit statikusan és dinamikusan is tudja mérni, és a mozgásokat fel tudja jegyezni (7-5. ábra). A katonai ruházathoz az M.A.C.A.O. segítségével tesztek és méréseket értékelnek az új ruházat és felszerelés kialakításához a gyalogság részére. Egy adatbank segítségével az M.A.C.A.O. mind ruha nélküli, mind felöltötött és felszerelt személyeket is le tud írni, azok adatai és testi méretük alapján. A dinamikus méréseknél a mérőrendszer egyszerű mozgásokat jellemez, mint járás, hanyattfekvés, ülés, és különböző reflexszerű mozgások. A tesztek a ruházat fizikális terhelhetőségét is értékelik, mint pl. bőség, súly, mozgási szabadság és legnagyobb mozgási csúcserték.

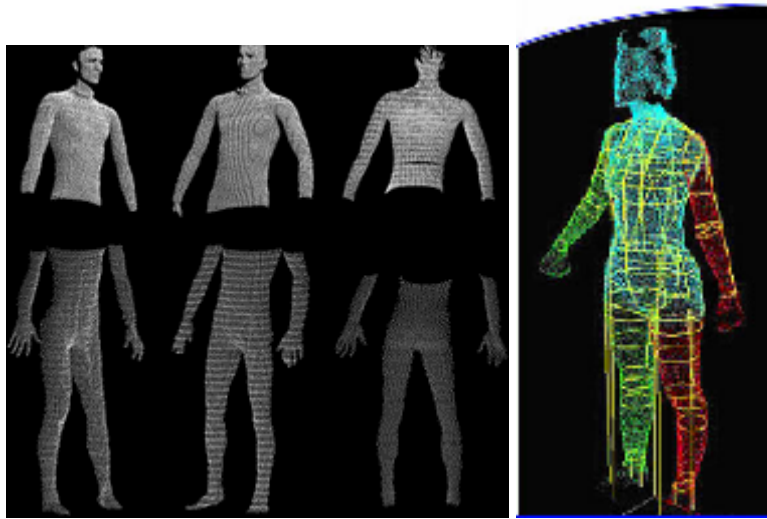


7-5. ábra Passzpontos vizsgálat katonai öltözékeknél[100]

Az M.A.C.A.O. méretvételi rendszert a FÉLIN program keretében vezetik be, amelyet a francia fegyveres erők közbeszerzési gyakorlatában alkalmaznak. Ez az egész világon egyedülálló analitikus program magában foglal statikus és dinamikus mérési folyamatokat, amelyeket a gyalogos erők felszereltségénél vizsgáltak. A FÉLIN-programban vizsgált katonai felszerelés megfelel a sokoldalú követelményeknek: golyóálló mellény nehéz és könnyű kivitelben, elektronikus páncél és küzdőkabátok. Mindegyik fel van szerelve különböző integrált technikai elemmel, mint pl. komputer, rádió, elemek, gránátok. Ezek mind a ruházatra, mind a technikai felszerelésre elhelyezhetők. A gyalogosokat ezen kívül még egy ABC- védelemmel is ellátják. A projekt előrevetíti, hogy egy adatbankot kell felépíteni ahhoz, hogy a megfelelő ruhaméretet a gyalogság részére meg tudják határozni. A kísérletek, valamint a dinamikus és statikus mérések teljes egészében követhetők visszamenőleg is. A M.A.C.A.O. lehetővé teszi, hogy a ruházat terhelhetőségét is meg tudják

határozni, amelyre extrém helyzetekben figyelemmel kell lenni, pl. a tűzoltóknál, bűvároknál, katonai és rendőri gyalogsági erők valamint kommandós egységek tagjainál.

A (TC)² cég testszkennere fehér fénnel működik, 6 másodperc alatt beszkeneli az emberi alakot és néhány perc alatt megjeleníti valóságként a képernyőn [101]. A szkennert a hagyományos méretvételi szabványok alapján fejlesztették ki, a ruhaiparon kívül alkalmazható a gépjárműiparban autóülésekhez és egyéb célokra is. 3Ds grafikai alkalmazásaival képes a test formájának elemzésére, felhasználható orvosi célokra, egészségügyi valamint fitness menedzsmentre és animációra is (7-6. ábra).



7-6.ábra TC2 testszkennere 6 kameraállással. A sárga vonalak mutatják a méretvételi pontokat [101]

7.3 Melléklet Kelme szimulációja az üzletben és az interneten (B2C)

A direkt marketing új módszerénél összekapcsolódik az internetes információszerzés, a megrendelés és a házhoz szállítás folyamata. Ez a 1:1 (one-to-one) trend, amely egyetlen konkrét fogyasztónak szándékozik minél több és minél többféle terméket eladni. Ezzel remélhetőleg lefékeződnek azok a tendenciák, amelyek segítik a kereskedelmi márkák (privat label) és az OEM (original equipment manufacturer) termékek terjedését, és az igényes piacokon újra a termelői márkák fognak előtérbe kerülni. A B2C, tehát a gyártó és a fogyasztó közvetlen kapcsolatának erősödésére utaló trend megfigyelhető a ruhagyártóknál is, hiszen világszerte kísérleteznek egy olyan gazdaságos megoldással, amely minden vásárló számára lehetővé teszi a divatos és alakjukra tökéletesen illeszkedő ruhák kínálatát. Ennek eredményeként az elmúlt években olyan szolgáltatások jelentek meg az interneten keresztül, ahol személyre szabott, „just for you” ruhákat lehet vásárolni.

Az **Intailor** rendszer ezt a koncepciót követi: a mérték után készült termék készítőjét összeköti a saját üzleteivel [99]. Az automatikus méretvételek és megrendelések átviteli hibái kizárhatóak, és a feldolgozási idő lényegesen csökken. Az üzletben minden méretet levesznek, amelyek a termeléshez szükségesek. A gyártó kollektív könyve digitálisan visszakereshető és a vevőnek adott (ár, rendelési folyamatra vonatkozó) tanácsokkal is segíti az eladót. A rendszer átvisz minden adatot a kívánt modellre. A nagy teljesítményű software leegyszerűsíti az új méretes tömegkollektív bevezetését. A testhezálló minőség és a modellfejlesztés felgyorsításának biztosítására a cég egy 3D-s egyedi próbababát (alsótest-, felsőtest- vagy teljes test-próbababát) ajánl. A női és férfi felsőruházat, vagy gyermekruházat térbeli megjelenítéséhez olyan könnyű és formatartó, kis sűrűségű polietilén anyagból készült próbababát alkalmaz, amelyknél puha betétek vannak a mell, has és csípők területén, hogy a test emberi formáit valóságosan vissza tudják tükrözni.

A **Reutlingeni Főiskola** IntEXMa kutatási projektje [97] (7-7. ábra) kifejezetten a méretes konfekcióra épülő, fejlesztés alatt lévő üzletek körére épül. Célja, hogy a méretvételt már az üzletekben meg tudják valósítani. A vevő mérete alapján generált modellen az általa kiválasztott ruhadarabot egy képernyőn jelenítik meg, amely így akár tükörként szolgál. A

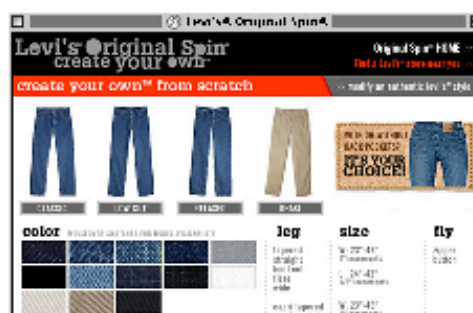
vevőnek lehetősége van arra, hogy valamennyi komponenst, (szín, mandzsetta, gallér, zseb, stb.) egyszerűen kiválassza és a módosított ruházatot (pl. inget) a 'tükörben' megnézhesse.



7-7. ábra A reutlingeni főiskola IntExMa testszkennere [97]

A **Brooks Brothers** [96] testszkennert alkalmaz a mérték után készült elegáns öltözékek (öltönyök és kosztümök) értékesítéséhez. A New York City kereskedelmi áruházban a 3D testszkennel segítségével veszik le a méreteket. A számítógép segítségével a vásárló stílust, anyagot, fazont és színt választhat. Szabadalmaztatott szabásminta készítő program készíti el a testszkennel által megadott adatokból a szabásmintát. Az elkészült modelleket az áruházba szállítják, ahol átvehetik, az egyéni igények szerint készült, tökéletes méretű öltözéküket. A rendszer elmenti a vásárlók adatait, amiket bármikor újra fel tudnak használni.

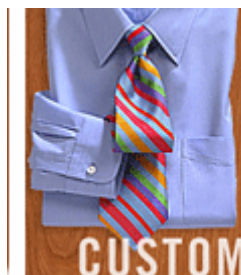
A **Marks and Spencer** 1996 óta alkalmazza öltönyök konfekcionálásánál az egyéni igényeket is figyelembe vevő tömeggyártást, amely során a vásárlóval internetes kapcsolatot létesít. A **C&A** 2001 őszén vezette be Németországban mérték utáni szabásmintát. A hamburgi üzletükben működtetnek egy testszkennert, amely 10 másodperc alatt 2 millió mérési pontot tapogat le és így megjeleníti a vásárló virtuális modelljét. A számítógépes terminálon kiválasztott egyéni kritériumokat, pl. alapanyag, szabásminta és egyéb részleteket, adatátvitel útján közvetlenül továbbítják a gyárba. A vásárló 4 héten belül kézhez kapja az igényei szerint legyártott árut. A **Levi Strauss & Co.** [95] volt az első a ruhagyártó cégek közül, amely 1999-ben bevezette a személyre szabott „Personal Pair” farmereket, melyeket „Original Spin” néven dobtak piacra.



7-8. ábra Megfelelő méret kiválasztása a Levi's on-line ruhaboltjában [95]

A vevő számítógépes program segítségével (7-8. ábra) kiválaszthatja a megfelelő fazont, stílust, anyagot, színt, derék magasságot és lábhosszt. Az egyedi igényeket figyelembe vevő tömeggyártással az üzletekben már a „tökéletes farmert” lehet megvásárolni.

A **Lands’ End** [94] egyéni méretű ruháit weboldalukon keresztül árulja (7-9. ábra). A megrendelők fazont, anyagot és méretet választhatnak. A speciális méretekről egy automatizált szabásmintakészítő program készít szabásmintákat, ezek alapján elkészítik az öltözetet, majd kiszállítják a vevő otthonába. A Lands’ End a megadott méreteket egy fájlba menti, így a vásárlóknak bármikor lehetőségük van utánrendelésre.



7-9. ábra Lands’End egyéni méretű öltözetek [94]

A vásárlók saját virtuális modelljüket is megszerkeszthetik test méreteik, és külső jegyeik (haj szín, frizura) megadásával. A My Virtual Model internetes felületen a virtuális próbababa forgatható és a kiválasztott öltözékbe felöltöztethető. A programban a kiválasztott modell valósághű megjelenítése kereskedelmi célokat szolgál.

Számos internetes áruház kínál vevői számára egyéni stílus és méretválasztékot, az egyszerű pólótól, a farmeren és pulóveren át a legigényesebb esküvői ruhákig. A fenti kiragadott példákon kívül megemlítendő az **American Fit** [91] még az **IC3D** (Interactive Custom Clotches Company Designs) [92] vagy a **BeyondFleece** [93], amely egyéni igények szerint készít szabadidő ruházatot, többretegű polár dzsekiket.



7-10. ábra Virtuális manöken (avatár) az on-line ruhaboltban egyéni igényekre készített öltözék „felpróbálására” [92]

A TUKAweb e-fit szolgáltatása

TUKAweb egy olyan világhálón működtetett szolgáltatás, amely felhasználóit összeköti tapasztalt ruhaipari mérnökökkel, technológusokkal, tervezőkkel, szériázókkal, modellezőkkel és a ruhaipar automatizált folyamatainak szakértőivel [98]. Teljes körű CAD CAM CIM rendszerei kompatibilisek a LECTRA, INVESTRONICA, GERBER, ASSYST és MICRODYNAMICS rendszerekkel. TUKAweb teljes körű CAD CAM CIM gyártás-előkészítési szolgáltatást kínál bármilyen CAD rendszeren. A felhasználó beküldi kézi vagy CAD adatait és 36 órán belül interneten megkapja a mintatervet bármelyik általa kiválasztott CAD nyelven. A cég CAD fájlokat is konvertál más formátumba. Prototípus gyártása helyett költségtakarékos 3D-s szimulációval virtuális próbagyártást kínál, a virtuális prototípus gyorsan változtatható és ezután automatikusan kiadja a 2D-s szabásmintákat. A termék előállításának folyamatában a gyártmánytervezésre és jóváhagyásra fordított idő a teljes idő 68 %-a, ennek a lerövidítése és a tervezői folyamat költségeinek csökkentése a legnagyobb kihívást jelenti. A virtuális próbababán elektronikusan elküldhető modell forgatható és kinagyítható (7.11 ábra). A pillanat tört része alatt közvetlenül a marketing és kereskedelmi osztály döntéshozóihoz kerülhet véleményezésre.



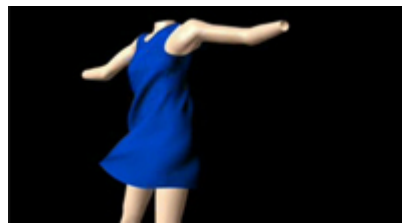
7-11. ábra Virtuális próbababák az egyénre szabott öltözék megjelenítésére[98]

7.4 Melléklet Drapéria animációs szoftverei

A drapéria modellezése, a divatterv térbeli megjelenítésénél az öltözet esésének realisztikus szimulálása a mai számítógépes tervezőrendszerek alapja.

Syflex ruha animációs szoftver

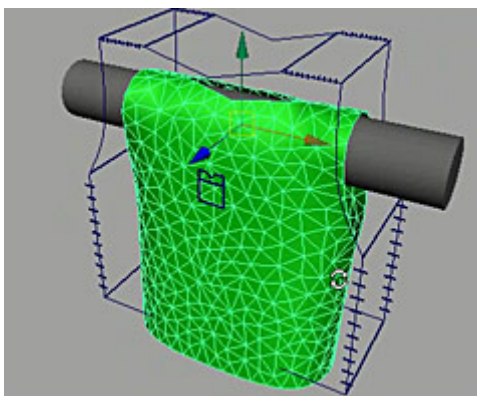
A Syflex LLC [88] rendszert a PAD és a Syflex cég fejlesztette ki a 3D-s animációs piacra. A sebesség, stabilitás és egyszerű felhasználás tekintetében piacvezető szoftver alkalmas a kelme kollíziójának szimulálására bármilyen statikus és dinamikus modellen. A szimulátor különféle mozgásformát képes megjeleníteni, pl. futó, táncoló alakot a legkülönbözőbb öltözékben, pl. pólóban, nadrágban, szoknyában vagy dzsekiben (7-12. ábra). A program képes különböző anyagtípusok, pl. selyem, pamut vagy bőr virtuális megjelenítésére is.



7-12. ábra Syflex animáció dinamikus modellen[88]

Maya Cloth animációs szoftver

A Maya egy felsőkategóriás 3 dimenziós grafikai szoftvercsomag az Alias-tól [89]. Az akadémiai díjnyertes, 3D modellező, animációs és renderelő megoldást a felhasználók széles skálája használja valóságos térbeli ábrázolásra egész estés mozifilmekben, interaktív játékokban, televíziós műsorokban és reklámokban (többek között a BMW, a CNN, a Disney, az Epic Games, az Industrial Light & Magic, a Midway Games és a Weta Digital). Az Autodesk Maya 2008 kifejezetten az újgenerációs termelési igényeknek felel meg. A programmal a terjedelmes adatkészletek letöltése és a velük való munka minden eddiginél hatékonyabb. Újítások sokaságát ajánlja, különösen modellezéshez és textúrázáshoz (7-13. ábra).



7-13. ábra Ruházat szimulációja Maya Cloth oktatóanyagban [88]

A Maya Cloth szoftver alkalmas ruha szimulációjára, tehát a ruházat és textilek mozgásának szimulációjára egy animált karakteren. A ruházat térbeli redőződése változtatható a fazon és az anyagminőség-opciók közötti választással. A változtatható anyagtulajdonságok között szerepel a vastagság, súly, rugalmas nyúlás és merevség, amelyeknek értékei a megjelenítendő kelme redőződésének alakításához egy relatív skálán változtathatóak (nem a szigorúan vett mechanikai tulajdonságok értelmében) [88].

A Speed Step, Todgau cég a DesignSoftware-rel együttműködésben képes a textil anyagokat valósághűen megjeleníteni. A 3D betöltés lehet 3 D Studio Max, Maya vagy VRML. Ezáltal egy virtuális divatbemutatót is meg lehet rendezni.

3D Studio Max

A ruha animációknál gyakran használt másik két szoftver a Discreet 3D Studio Max és a MetaCreations Poser. Ezeket a szoftvereket a '90-es években kezdték kifejleszteni CAD rendszerből. A cél olyan szoftver program létrehozása volt, amely a kész terveket látványosan tudja prezentálni. A **3D Studio Max** egy 3 dimenziós modellező és animációs program, fejlesztője az Autodesk Media and Entertainment divíziója (korábban a divízió neve Discreet Logic, még korábban Kinetix volt). A 3D Studio Max fejlett animációs eszközökkel rendelkezik, aminek a lényege, hogy számítógéppel tervezett alakokra átvihető az élő ember előre rögzített mozgása. A szoftver a látványelemeken kívül dinamikai lehetőségekkel is rendelkezik, tehát az objektumok egymásra gyakorolt fizikai hatását nagy pontossággal tudja leképezni a megadott paraméterek alapján. A program későbbi verzióiban megjelent az úgynevezett „lágytest generálás” is, ami tulajdonképpen lehetővé teszi, hogy a textíliák viselkedését természetszerűen lehessen utánozni. A program tetszőlegesen bővíthető segédprogramokkal. Léteznek segédprogramok a textil alapú objektumok generálásához is, vagy a ruházati termékek felépítéséhez is.

A MetaCreations cég Poser nevezetű háromdimenziós tervező rendszerének alapvető feladata az emberi alak dinamikus megjelenítése. Létrehozhatóak különböző nemű, korú emberi testek, amelyek különböző pózokba állíthatóak, vagy mozgathatóak. A Poser szoftverben különböző ruházati modellek találhatók, azonban a ruhadarabok nem dinamikus modellek. A megjelenített ruhadarabok inkább plasztikus testként viselkednek, mintsem textilként. Ez leginkább a nagy bőségű ruhadaraboknál figyelhető meg, ahol az elvárt redőződés helyett a ruhadarab merev lemezként hajlik. Ezért általában a két program használatát ötvözik és a Poserben létrehozott alakokat a 3D StudioMax-ban öltöztetik fel. A Poser Pro Pack több előre definiált figurát is tartalmaz, ezek közül a megadott menüből lehet választani. Itt lehet új alakokat, pozitúrákat, arcokat, és öltözékeket betölteni [90].

Az Assyst/Bullmer cég (Mehrstetten) szimulációs szoftvere a Fraunhofer Institute for Computer Graphics Research (IGD) darmstadt-i cég vydia termékének a „virtual try on” kutatási témájának egy továbbfejlesztett változata [111].

7.5 Melléklet Ruhaipari 3D-s tervező rendszerek

7.5.1 Az OptiTex™ cég tervező programjai

OptiTex™ rendszer [25] 3D Runway designer szoftverének részletesen paraméterezzhető virtuális manökenjein tetszőlegesen beállítható 40 testméret és különféle testtartások (7-14. ábra). A szoftver része egy kelmeadat-könyvtár és egy beépített kelmetesztelő rendszer, amelyben megadhatóak a kelmetárban nem található kelmék fizikai jellemzői, mint a szakítószilárdság, területi sűrűség, hajlítási merevség és nyírási ellenállás. A szoftver alkalmas még varratnélküli ruhadarabok háromdimenziós szimulációjára is. A szimulációval lehetőség van egy ruhadarab több változatának összehasonlítására a képernyőn, az összeállított kollekción elvégezhetőek a kívánt módosítások.



7-14. ábra OptiTex™ cég 3D Runway designer szoftvere [25]

A legújabb 3D Runway designer 10 szoftver lehetővé teszi a 2D és 3D-s fájlok küldését a tervezői folyamatba bekapcsolt partnerek bármelyikének. A kifejlesztett új rajzolóeszköz segítségével az egymástól távol lévő tervezők és döntéshozók közösen dolgozhatnak a képernyőn a gyors változtatások érdekében [25].

Az OptiTex 3D-s elemei a szabásminta-tervező modul (PDS), az automatikus és kézi szériázást lehetővé tevő szériázó modul, a digitalizáló modul, terítékrajz készítő, felfektető modul, a térbeli megjelenítő program (3D Runway Designer) és a méretes szabászati program (Modulate). Az OptiTex™ rendszer felhasználási területei: divatáru, ruházat táskák és bőrárúk; lábbelik; kárpitok és lakberendezési cikkek gyártása és értékesítése; valamint a szállítás (autók, repülőgépek, hajók) és minden olyan terület, amely textil alapanyagokat, műszaki textileket és kompozit anyagokat használ fel.

Egyénileg adható meg:

- A formázóvarrások helye, mélysége
- A varrásszélesség mértéke

- A méretváltoztatások
- Az összetett görbéket

A PDS-hez illeszthető egy 3D-s modul, amelynek segítségével az elkészített szabásminták „ráadhatóak” a modellre. A szabásminta-tervező modullal (PDS) könnyedén lehet új modelleket készíteni, vagy meglévő mintákat felhasználni. Egyénileg adható meg a formázóvarrások helye, szélessége, a varrásszél, a különleges sarkok, részletes mérési eljárások, hajtások, összetett görbék, méretváltoztatások és hajtókák. A PDS-hez illeszthető 3D-s modul segítségével az elkészített szabásminták „ráadhatóak” a modellre. Ez kiküszöböli a próbavarrásokat, mintavarrásokat és próbákat, mert láthatóvá válnak a hibák és rögtön korrigálhatók.

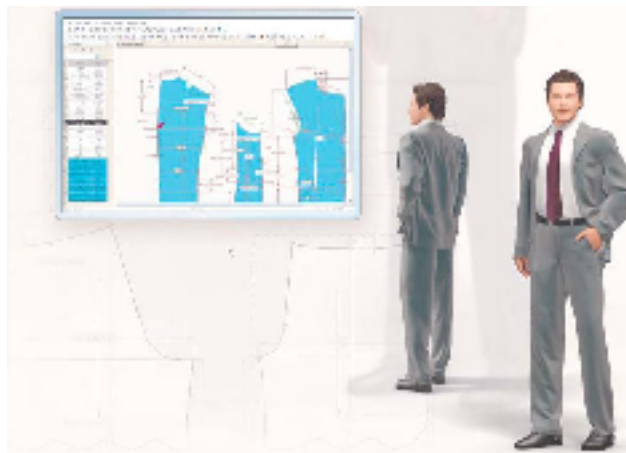
A Digit modul nemcsak a bevétel után, hanem már a folyamat közben is láttatja a mintát a képernyőn. Mindenfajta körvonal és belső rész bedigitalizálható és szériázható; a beolvasás alkalmával alkatrész-tulajdonságok, illetve a terítékrajz elkészítéséhez szükséges jellemzők is hozzárendelhetők. A rendszer tartalmaz egy hatékony és intelligens szoftvert a terítékrajzok készítésére és automatikus felfektetéshez is. Az OptiTex™ bármilyen automata szabásgép, rajzológép vagy más szoftver számára feldolgozható fájlformátumot felismer (néhány támogatott formátum: DXF, AAMA, ASTM, NC, ISO, HPGL, HPGL-2, MicroJet és egyebek), és teljes mértékben kompatibilis a főbb gyártók termékeivel.

A 3D Runway Designer szoftver olyan élethű kelmeszimulációs rendszer, amellyel szimulálhatóak az igazítással, megjelenítéssel és színvariációkkal kapcsolatos gyártás-előkészítési műveletek. A 3D divatbemutatót kifejezetten a viszonteladókkal, alvállalkozókkal, szabásminta-készítőkkel, gyártókkal és mérnökökkel, kereskedőkkel és vezetőkkel történő kommunikáció céljára fejlesztették ki. A 3D divatbemutató eszközkészletével háromdimenziós formában lehetőség van valós idejű megjelenítésre, a szabásminta bármilyen módosítására, a pontos CAD minták és a kelmék valós jellemzői alapján. Az OptiTex™ képes bármilyen rendszerből alkatrész és modell fájlokat fogadni (pl.: Lectra, Investronica, Gerber).

Egyszerű vizualizációra alkalmas a 3D Viewer modul is. A Modulate™ (MTM) egy interaktív, méretes szabászati program, amely lehetővé teszi a modell méretre igazítását a módosításra kijelölt méretek változtatásával. Egy paraméterezett zakót például a “vállszélesség”, “mellbőség”, “derékbőség” és “csípő” méreteivel lehet meghatározni. A paraméterezett modellen a felhasználó lépésenként változtathatja a folyamat során ezeket az értékeket. Amikor a “vállszélesség” méretet megváltoztatják, a Modulate™ az egész zakó adatait újraszámítja. A hatás azonnal látható a képernyőn. Ha a módosítás nem a kívánt

eredményt adja, a felhasználó rögtön visszaváltoztathatja a méretet, illetve hozzátehet vagy elvehet valamely másik méretből. Az értékeket elmentheti a “Mérettárba” későbbi felhasználásra. Minden jellemzőt, méretet, stílust és megrendelést egy szabványos adatbázisban tárol a rendszer, így azok hozzáférhetők az újabb megrendeléseknél.

A 3D divatbemutató alkalmazások felismerik a méreteket és a legtöbb három dimenziós testszkenner által beolvasott adatokat. A háromdimenziós szkennelvel bevitt adatok automatikusan megváltoztatják a modellek stílusait. A Modulate™ leegyszerűsíti a vállalatok méretes szabászati szabásminta-készítési módszereit. Lehetőség van más CAD rendszerekből átvenni adatokat a Modulate™-ben való használatra. A módosított mintákat azután a rendszer automatikusan előkészíti a hatékony rajzoláshoz és szabáshoz (7-15. ábra).



7-15. ábra OptiTex™ Modulate™ méretes szabászati szoftvere [25]

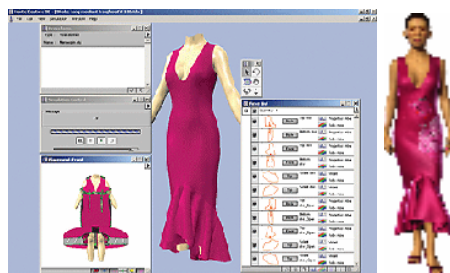
7.5.2 A Gerber cég ruhatervező programja

A Gerber Technology cég [26] AccuMark APSD-3D programjával a ruhán térben változtatható az alakra illeszkedés vagy a fazon. A térben virtuálisan megjelenített ruhán valóságúen szimulálható az anyag textúrája és redőződése. A program lehetővé teszi a tervezőknek, hogy - felhasználva a pontos testméretet - kiválasszák a modellt egy file könyvtárból, a két- vagy három-dimenziós térben módosítsák, majd az így kapott modellt újra térben megjelenítsék. A program a méretvételhez a Telmat Industry testszkennerét használja. A ruhaalkatrészek virtuálisan összevarrhatóak, a kapott modell egy virtuális standra helyezve forgatható, hogy minden irányból jól megsejmelhető legyen. A modell szabványos vagy egyedi méretre egyaránt alakítható. A program közvetlen kapcsolat révén továbbítja az eredményeket az AccuMark Pattern Design szoftverhez. A valóságú megjelenítéshez itt is megválaszthatóak az egyes anyagi jellemzők, pl. selyem anyagnál az esés lágyabb, mint

pamut alapanyag esetében. A kelme mechanikai jellemzőinek KES-F mérésekkel kapott mérési adatait a fuzzy logika segítségével paraméterekbe foglalják. Ezeket egy határon belül lehet változtatni, és az anyag viselkedésének így kapott változásait a szimulált ruhadarabon lehet ellenőrizni [26]. A valós redőződést megközelítő megjelenítés eredményessége nehezen ítélni meg. Az AccuMark MTM szofver a méretes szabóság komplex igényeit is kielégítő automatizálást tesz lehetővé a megrendelés felvételétől a teljesítésig tartó gyártási folyamatban [27].

7.5.3 A PAD cég tervező programjai

A montreáli PAD cég a textil-, ruha- és bőripari CAD/CAM rendszerekhez fejlesztette ki 3D-s virtuális ruhaszimulációs szoftverét a modell valós idejű megjelenítésére és változtatására. A szoftver az anyagminta-könyvtára alapján változatos textúrák, színek megjelenítésére alkalmas, megadja a könyvtárból kiválasztott modellek méreteit és illesztő varratainak vonalait. A 3D-s modellből képes gyorsan megjeleníteni a 2D-s szabásmintát, illetve fordítva. A „Haute Couture 3D szoftver” foto-realistikus, térbeli megjelenítést tesz lehetővé (7-16. ábra). Integrált Syflex (ld. 7.4 sz. melléklet) anyag-szimulátora segítségével gyors és pontos kelme szimulációra képes. Az alapanyag mechanikai jellemzői módosíthatóak, mert a program könyvtárába új anyagtulajdonságok is bevihetőek. A szimulált modellek méretre igazíthatóak, de szimulálható a különböző nyúlás, feszítés és alakra illeszkedés is [28].



7-16. ábra A PAD cég Haute Couture 3D szoftvere [28]

7.5.4 A Browzwear International cég tervező programjai

Az izraeli Browzwear International cég térbeli ruha-szimulációs programjával, a V-Stitcher™ 4.2-vel javított az előző kelme szimulációs programján. Az új program még alkalmasabb drapéria valós idejű megjelenítéséhez. A tervezőnek megadja a térbeli adatokat és a kamera beállítási szögét is. A bő, tehát a testhez szorosan nem illeszkedő öltözékek szimulációjához

egy új, ún. „köpeny-hatást” alkalmaz. A térbeli modellen végrehajtott változtatások automatikusan átkerülnek a 2D-s szabásmintára (7-17. ábra). A szimulációhoz anatómiailag pontos bébi és nagyméretű női avatárok is kialakításra kerültek, amelyeknél figyelembe vették a legújabb frizuradivatot is [29].



7-17. ábra A Browzwear V-stitcher szimulációs programja [29]

7.5.5 A Lectra cég tervező programjai

A Lectra cég a parametrizált modell elkészítéséhez a német Human Solution GmbH testszkennerét használja. Kaledo Style szoftvere segítséget nyújt a tervezőknek a szín-management, a digitális nyomás és a prototípus elkészítésében. Kompatibilis a Lectra textiltervező rendszereivel (U4ia és PrimaVision), a megtervezett stílus, termék, illetve termék specifikáció elkészítéséhez. A gyártmányfejlesztéshez könnyen átültethető további Lectra rendszerekre, így a tervezői folyamat leegyszerűsíthető [30].



7-18. ábra A Lectra System 3D-s szimulációs programja [30]

A ruházat valósághű megjelenítéséhez a fazon, a szabásminta és a szükséges varratok mellett megjeleníthető az anyag textúrája, pl. szín, fényesség, átlátszóság és mintázat. A térbeli ruhatervezésnél a textúra megjelenítésére az anyagmintát a DC3D szoftverprogram segítségével beszkenneklik, grafikus formátumban (jpg, tiff) egy adatbankba elmentik, és a kívánt mintaméretben jelenítik meg a 2D-s felülethez rendelve (7-18. ábra). A

hozzárendeléskor térbeli kapcsolat jön létre a 2D-s textúra koordinátái és a háromszög csúcspontjai között, és a 2D-s háromszög textúrája így a hozzátartozó térbeli háromszög felületére kerül át. A szabásminta modellek illesztése a virtuális anyagmintára transláció révén vagy rotációval lehetséges. A három dimenzióban megtervezett szabásminta modellek kétdimenziós síkban való kiterítéséhez a felületeket háromszögekre kell bontani. A háromszögek élei és csúcspontjai által meghatározott poligon méretét úgy kell megválasztani, hogy az így kapott háló minél pontosabban illeszkedjen a szabásminta körvonalai mentén, de ne növelje meg túlságosan hosszúra a számítógépes lefuttatás idejét. A tervező által térben megtervezett funkcionális vagy divatmodell szabásmintájának generálása a legújabb szoftverekkel már automatikusan történik.

A Modaris 3D Fit a 2006-os IMB vásáron bemutatott új prototípus-tervező program. A szoftver alapanyag-könyvtára 120 anyag mechanikai jellemzőit tartalmazza, avatárok segítségével szimulálható a design, az anyag, a színbeállítás és a modell. A tervező a Modaris Expert szoftver segítségével változtathat a színeken, a stíluson. A program összehasonlítja a vevő által megadott méreteket az adatbankjában elmentett méretekkel és kiszámítja a különbséget. Az adatbankjában található 2D szabásminták alapján automatikusan kiadja az egyéni igényeknek megfelelő modellt. Így lehetőség van a standard modelleken kívül az egyéni igények alapján kialakított virtuális 3D modell valóság-hű, térbeli megjelenítésére is [30].

7.6 Melléklet A fogás szubjektív minőségjellemzői Kawabata szerint

Egy öltönyszövet megtapintása után többen is állíthatják, hogy az anyag merev. Ugyanakkor a preferenciavizsgálatnál már nagyon különbözőek az ugyanazon vizsgálószemélyek által hozott ítéletek, hiszen ezeket számos tényező befolyásolja, pl. a tapintó ujj bőrfelülete, a felfogott érzet, vagy az elvárások, amelyeket többek között a divat és a kulturális hatások alakítanak. Ezért a különböző vizsgálószemélyek által meghatározott fogásértékek között sokkal nagyobb a szórás, mint például az érzet erősségét leíró értékeknél. Ez utóbbi adatok tehát sokkal inkább használhatók a műszeres vizsgálatok eredményeinek korrelációjához. A korreláció eredményének szempontjából nem mindegy, hogyan nyerték a szubjektív adatokat. Miután nem létezik szabvány a fogás vizsgálatához, szubjektív megítélés szempontjából Reumann szerint [50] a következő tényezőket kell figyelembe venni:

- a vizsgálatokat végző személy kiválasztása (textilszakember vagy felhasználó)
- minősítő kritériumok (az érzetek, benyomások körülírása)
- környezet (klímaviszonyok)
- minősítő technika (szabadon vagy előírt módon végzett tapintás)
- rangsorolási rendszer
- eredményvizsgálat (pl. az érzetek súlyozása, korrelációk, faktoranalízis).

A szubjektív értékelés a fogással kapcsolatos érzetet arra jellemző fogalmakkal írja le pl. simaság, puhaság, érdeesség, vastagság, tömeg, meleg hatás, merevség és elsősorban az érzet erősségére utal, pl. hogy a szövet tapintás alapján egy etalonhoz képest merevebb-e vagy lágyabb-e. A fogásérzethez lehet komplex új fogalmakat alkotni pl.: a terjedelmesség, ami utal a vastagságra és a tömegre, vagy ellentétpárokat képezni, mint pl.:” érdes-sima” vagy „kemény-puha”.

A textília fogásának reprodukálható minősítésére Kawabata [102] matematikai összefüggésekbe foglalta az objektív méréssel megállapított mechanikai jellemzőket és a szubjektív fogásérzetek összefüggését. A fogás terminológiájának összeállításához összegyűjtött nyolc elsődleges kifejezést (Primary Hand Value: PHV). Magyar nyelven e nyolc fogalom többnyire nem írható le egy-egy szóval, ezért a lefordításuk néha csak több kifejezés együttes alkalmazásával lehetséges (ld. a 7-2. sz. táblázatban, a zárójelben feltüntetett japán kifejezések mellett).

7-2. Táblázat A fogást meghatározó fogalmak nyolc csoportja Kawabata szerint [51]

A fogás elsődleges érzete (PHV)		Meghatározás
I.	Rugalmas visszaalakuló képesség és merevség (Koshi)	a rugalmas deformációnak és a hajlítási merevségnek meghatározó szerepe van („kirúgja magát a szövet”). Pl. sűrű és elasztán-tartalmú szövetek.
II.	Hajlékonyság, simaság (Numeri)	A fogásérzés több komponensből tevődik össze. Ide tartozik a simaság, hajlíthatóság, a hajlékonyság, valamint a puhaság is. Pl. a kasmírból készült szövetek.
III.	Teltség, terjedelmesség (Fukurami)	Erre a fogásérzékelésre a duzzadt és telt érzet jellemző. A szövet összenyomás hatására kialakult deformációja rugalmasan visszaalakul. E fogási paraméterrel szoros kapcsolatban áll a meleg érzet.
IV.	Érdesség (Shari)	Egyenlőtlenség az érdes felület és magas sodratú fonalak miatt. Hűvös tapintás.
V.	Merevség (Hari)	Az I. fogáskifejezéssel ellentétben itt egy olyan merevségről van szó, amely független a relaxálódási képességtől, tehát a rugalmas visszaalakulástól. (gyűrtenített)
VI.	Puhaság (Sofutosa)	Ez a fogás az I-II-III-ből tevődik össze, és fontos összbnyomást ad a női felsőruházati áruk esetében. Elsődlegesen a puhaságot fejezi ki.
VII.	Ropogósság (Kishimi)	A selyemszövetek okoznak gyakran ilyen fogási érzetet.
VIII.	Alakíthatóság, simulékony lágyság (Shinayakasa)	Ez az összbnyomás I., III., IV., V., VII-ből tevődik össze. Vékony női felsőruházati áruk esetében ez a legfontosabb összbnyomás.

Ezeket a kifejezéseket rendelték hozzá a felhasználási cél szerint elkülönített, alábbi 5 csoporthoz (7-3. táblázat):

7-3. Táblázat Az egyes csoportokhoz tartozó, a fogást elsődlegesen meghatározó fogalmak [51]

Ruházati alanyagok csoportja	A fogás elsődleges érzete (PHV)
1. Téli férfiruházat	Rugalmas visszaalakuló képesség és merevség, Hajlékonyság, simaság, Teltség, terjedelmesség
2. Nyári férfiruházat	Rugalmas visszaalakuló képesség és merevség, Teltség, terjedelmesség, Érdesség,
3. Középhez női felsőruházat	Rugalmas visszaalakuló képesség és merevség, Hajlékonyság, simaság, Teltség, terjedelmesség, Puhaság
4. Vékony könnyű női felsőruházat	Rugalmas visszaalakuló képesség és merevség, Merevség, Teltség, terjedelmesség, Érdesség, Ropogósság, Alakíthatóság, simulékony lágyság
5. Kötött férfi felsőruházat	Rugalmas visszaalakuló képesség és merevség, Hajlékonyság, simaság, Teltség, terjedelmesség

Minden csoportban 500-500 reprezentatív japán szövetmintát értékelték egy 10-es fokozatú skálán, szubjektív minősítéssel (7-4. táblázat). A minősítésnél a textíliák felhasználási területének elvárásaihoz rendelték a primer fogáskifejezéseket. A szubjektív minősítés alapján összeállítottak mind a nyolc PHV kategóriához egy 8-10 darabból álló etalon-sorozatot. A standard mintakártyákkal lehetővé vált a textíliák fogásának egységes és számszerű értékelése.

7-4. Táblázat A tapintásérzet intenzitásának csoportosítása kézi kiértékelés alapján [51]

Csop.	XH	A (erős)			B (közepes)			C (gyenge)			XL
		A-A	A-B	A-C	B-A	B-B	B-C	C-A	C-B	C-C	
Szubjektív érték (HV)	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0

Bár e szubjektív minősítő paraméterek objektív értékelése előrelépést jelentett a fogás értékelésénél, nemzetközi méretekben nem terjedt el, mert referenciaértékei a japán tapasztalati érzeteken alapulnak. A mintakártyákat elsősorban a japán textil- és ruházati iparban használják a vizsgálati minták fogásának kiértékeléséhez.

7.6.1 Matematikai összefüggések a szubjektív és objektív fogásértékelések között

A matematikai értékeléshez Kawabata és munkatársai [102] az előzetesen szubjektíven kiértékelt minták mechanikai tulajdonságainak mért értékeit normalizálták (7-3.). A fogásra vonatkozó elsődleges kifejezéshez (PHV) nagyszámú vizsgálati minta eredményei alapján regressziós analízissel felállítottak egy egyenletet (7-2), amellyel bármelyik mintánál átszámítható a mért fizikai paraméter egy 10-es skálán kifejezett fogásértékre.

$$Y = C_0 + \sum_{i=1}^{16} C_i X_i \quad 7.2$$

$$X_i = \frac{(x_i - \bar{x}_i)}{\sigma_i} \quad 7.3$$

Ahol

Y	a keresett fogásérték
X_i	a fogással kapcsolatos mért fizikai jellemző normalizált értéke
x_i	a fogással kapcsolatos mért fizikai jellemző értéke (ld. 2.18.táblázat)
\bar{x}_i	a fogással kapcsolatos mért fizikai jellemző átlaga
σ_i	a fogással kapcsolatos mért fizikai jellemző szórása

Az Y fogásértékeket minden egyes elsődleges fogás értékhez külön-külön számolták ki (pl.: Y_{KOSHI} és Y_{NUMERI} és így tovább). A C_0 és C_i a szubjektív vizsgálat és a KES-FB műszerrel mért adatok normalizált értékeiből regressziós elemzéssel megállapított konstans értékek, amelyeket a Kawabata által összeállított „tapasztalati táblázat” tartalmaz [52].

7.6.2 Az összetett fogásérték (THV) megállapítása

A fogás minősítésére Kawabata és munkatársai [102] egy összetett fogásértéket is meghatároztak (THV), szem előtt tartva, hogy egyszerre több paraméter figyelembe vételével

nő a korreláció. Ez alapján egy 5 fokozatú skálán minősítették a különböző osztályokba sorolt szöveteket (ahol 0= felhasználásra alkalmatlan, míg az 5= kitűnő fogás). Az értékek a szubjektív megítélésen alapulnak [5: kiváló, 3: átlagos, 1: gyenge].

A szubjektív úton meghatározott primer fogásértékekből transzformációs egyenletek segítségével kiszámították az összetett fogásértéket. Az egyenleteket a szubjektíven meghatározott összesített fogásérték (THV) regresszió analízisével állapították meg. A THV érték és a KES-F paramétereiből számított PHV értékek regresszió elemzésével felállítottak egy egyenletet (7-4) egy adott szövetosztályra (pl. „téli férfiruházat”, „nyári férfiruházat”).

$$THV = C_0 + \sum_{i=1}^n Z_i \quad 7.4$$

ahol:

$$Z_i = C_{i1} \left(\frac{Y_i - M_{i1}}{\sigma_{i1}} \right) + C_{i2} \left(\frac{Y_i^2 - M_{i2}}{\sigma_{i2}} \right) \quad 7.5$$

THV összesített fogásérték

C_0 a regresszió analízissel megállapított konstans

Y_i számított elsődleges fogásértékek

M_{i1}, M_{i2} az Y és Y^2 értékek középértéke (Kawabata által az 500 mintából megállapított fogási középérték)

σ_{i1} Y szórása

σ_{i2} Y^2 szórása

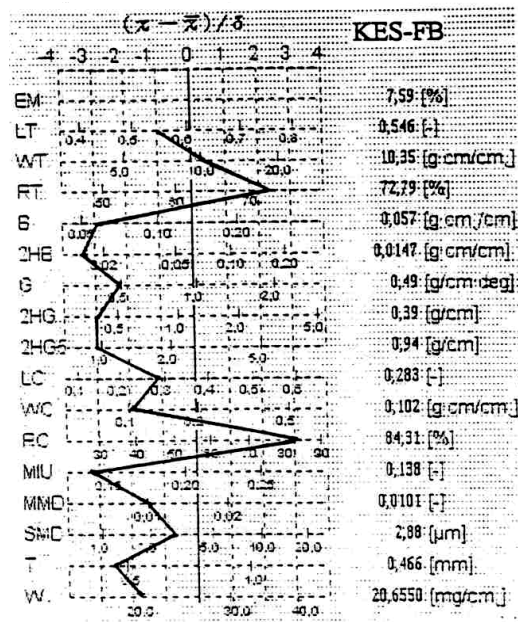
C_{i1}, C_{i2} a regresszió analízissel megállapított konstansok (táblázatból)

A $C_0, C_{i1}, C_{i2}, M_{i1}, M_{i2}, \sigma_{i1}$, és σ_{i2} értékeit a Kawabata-féle „tapasztalati táblázat” tartalmazza [52].

7.6.3 A KES-FB-rendszer összegzett diagramja

A Kawabata mérőkészülék segítségével a textíliákról ún. „ujjlenyomat” készül, amely egy összegzett diagram és a könnyebb kiértékelhetőséget szolgálja. A skálán függőlegesen a 16 mért mechanikai paraméter (x_1 - x_{16}), vízszintesen pedig az adott paraméterhez tartozó várható mérési eredmény intervalluma jelenik meg. A „kígyóvonal” a különböző paraméterek végeredményeinek összekötéséből áll (7-19. ábra). A szövetre jellemző diagram alapján - a tapasztalatok nyomán felállított optimális értéktartomány összevetésével - tanácsokat lehet adni a konfekcionáláshoz (pl. a hajlítási és nyírás mérvesség alacsony, ezért figyelmet kell

fordítani a szabásra és a szegélyek varrására) [16]. A módszert gyapjútípusú szövet minősítésénél mi is alkalmaztuk [53].



7-19. ábra KES-FB paraméterek ábrázolása „kígyóvonal” formában a fogás jellemzésére [53]

7.7 Melléklet Kísérletterv mintáinak technológiai adatai

Alapanyag:

Összetétel: 100% viszkóz

Területi sűrűség: 90g/m²

Szövetszerkezet: vászon

Kikészítés: lágyított, nyomott mintás

Közbélések:

7-5. Táblázat Kísérlettervben alkalmazott ragasztóbevonatos közbélések jellemzése

Ragasztóbevonatos textíliák fajtái	Hordozóanyag összetétele	Ragasztószer		Területi sűrűség (g/m ²)
		anyaga	Mesh száma	
Fehér 100% poliészter nemszőtt kelme	100% poliészter	Pontokban felvitt poliamid paszta	110 (P/cm ²)	50
Fekete 100% poliészter nemszőtt kelme	100% poliészter	Pontokban felvitt poliamid paszta	52 (P/cm ²)	30

Kellékek:

Cérna: 100% Poliészter (120 tex)

Ragasztás körülményei mindkét közbélés esetén:

Hőmérséklet: 120 °C

Idő: 10s

Vasalóberendezés:

Ragasztóprés: Theobald ART 301 típusú szakaszos működésű síkragasztóprés,

Prés nyomás: 5N/cm²

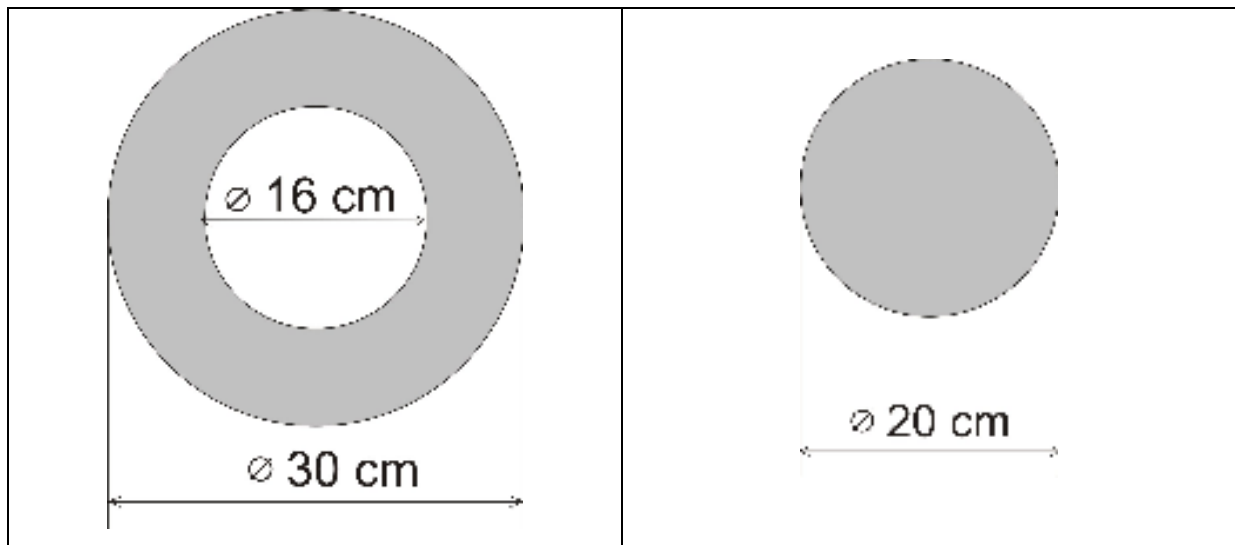
Présfej fűtés: felső préslap

Felhasznált gépek:

Pfaff huroköltésű gyorsvarrógép

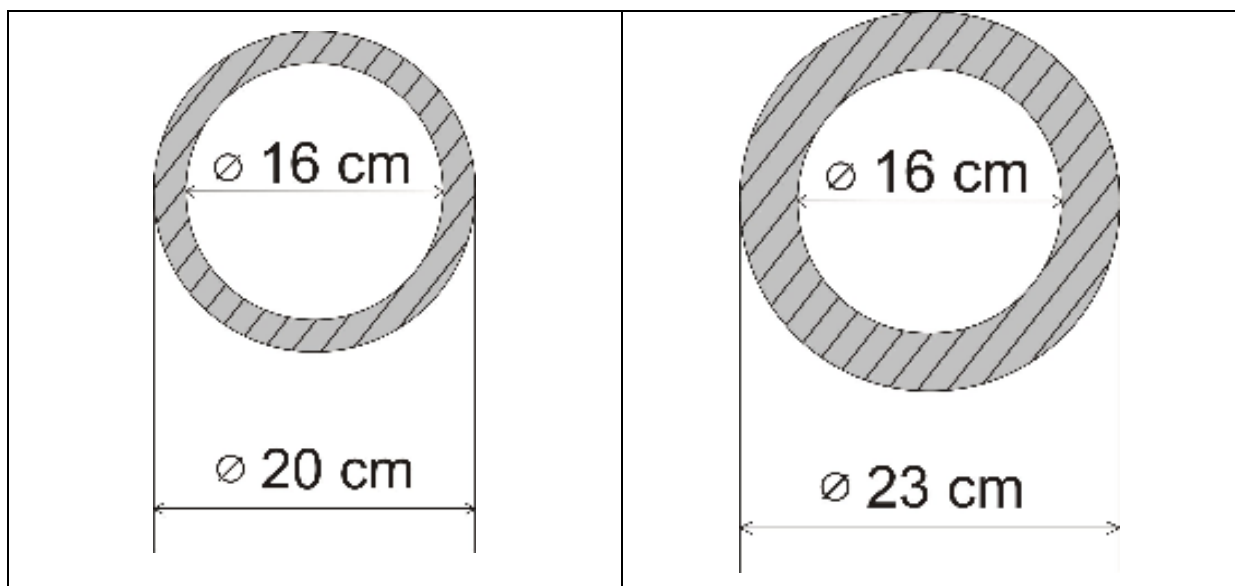
Kísérlethez használt minták és összeállítási módok:

Alapanyagból:



7-20. ábra Vizsgálati mintaelemek méretei a kísérlettervhez

Közbélésből:



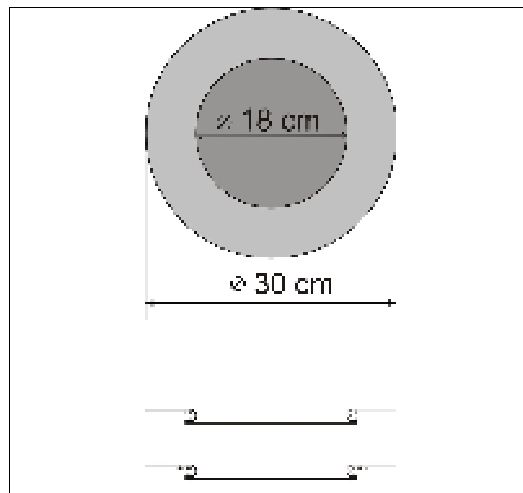
7-21. ábra Közbélés méretei a kísérlettervhez készített vizsgálati mintához

Összeállítási módok:

Összevarrás:

Varrásszélesség: 1cm

Öltéssűrűség: 45/100mm



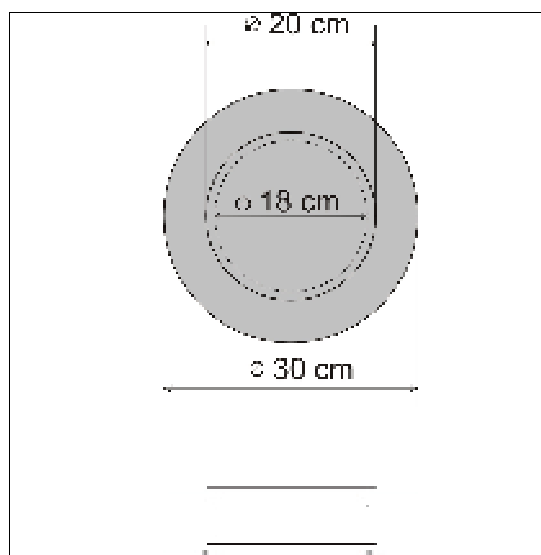
7-22. ábra Összevarrt mintaelemek

Átlapoló összevarrás:

Átlapolás mérete: 2cm

Varrásszélesség: 1cm

Öltéssűrűség: 45/100mm



7-23 ábra Átlapoló összevarrással illesztett mintaelemek

7.8 Melléklet Vizsgálati minták adatai

minta	összetétel	állapot	Kötés- mód	Terü- leti sűrű- ség g/m ²	minta	összetétel	állapot	kötésmód	területi sűrűség g/m ²	minta	Össze- tétel	állapot	Kötés- mód	terüle- ti sűrű- ség g/m ²	minta	összetétel	állapot	Kötés- mód	terüle- ti sűrű- ség g/m ²
1	pamut	vég- kikészítet	kétszínol- daltas,	207	11	poliészter	Vég- kikészítet	sávoly	175	21	100% viszkóz	nyers	vászon	90	31	98% pamut 2% elasztán,	normál kikészítet	atlasz	220
2	gyapjú /akril	vég- kikészítet	sávoly	346	12	pamut/ poliészter	Vég- kikészítet	krepp	109	22	100% viszkóz	fehérített	vászon	90	32	98% pamut 2% elasztán,	csiszolt és lágyított	atlasz	220
3	poliészter	vég- kikészítet	sávoly	288	13	100% pamut	Vég- kikészítet	vászon	176	23	100% viszkóz,	nyomás után	vászon	100	33	96% pamut 4% elasztán,	normál kikészítet	vászon	130
4	pamut	vég- kikészítet	vászon	167	14	40% Gy/40% PAN/20% PA	Vég- kikészítet	vászon	129	24	100% viszkóz,	normál fogásjavító kikészítés	vászon	103	34	96% pamut 4% elasztán,	csiszolt és lágyított	vászon	130
5	poliészter	vég- kikészítet	sávoly	248	15	poliamid	Vég- kikészítet	Egyszín- oldaltas	224	25	100% viszkóz	normál fogásjavító kikészítés szanfor.	vászon	98	35	100% pamut	Vég- kikészítet	Kétszín- oldaltas	300
6	poliészter	vég- kikészítet	vászon	131	16	poliamid	Vég- kikészítet	vászon	79	26	100% viszkóz	soft kikészítés	vászon	102	36	100% pamut	Vég- kikészítet	Kétszín- oldaltas	290
7	Poliamid/ viszkóz	vég- kikészítet	vászon	222	17	pamut	Vég- kikészítet	sávoly barchent	250	27	100% viszkóz	nyomás után	vászon	101	37	100% pamut	Vég- kikészítet	Egyszín- oldaltas	170
8	poliamid	vég- kikészítet	cloque jaquard	92	18	pamut	Vég- kikészítet	vászon	137	28	100% viszkóz	normál fogásjavító kikészítés	vászon	95	38	96% pamut 4% elasztán	Vég- kikészítet	Egyszín- oldaltas	140
9	poliészter	vég- kikészítet	merekék sávoly	205	19	pamut	Vég- kikészítet	krepp	118	29	100% viszkóz	normál fogásjavító kikészítés szanfor.	vászon	98	39	96% pamut/ 4% elasztán	Vég- kikészítet	Egyszín- oldaltas	240
10	poliészter	vég- kikészítet	vászon	205	20	pamut	Vég- kikészítet	vászon (batszt)	80	30	100% viszkóz	soft kikészítés	vászon	97	40	62% len - 38% pamut	¾ fehérít. nedvszív zsugorít.	vászon	200

minta	összetétel	állapot	kötésmód	területi sűrűség g/m ²	minta	összetétel	állapot	kötésmód	területi sűrűség g/m ²	minta	Összetétel	állapot	kötésmód	területi sűrűség g/m ²	minta	összetétel	állapot	kötésmód	területi sűrűség g/m ²
41	62% len - 38% pamut	^{4/4} fehérített, lágyított, zsurgított	vászon	200	51	100% pamut	nyers	vászon	193	61	100% pamut	nyers	vászon	166	71	100% pamut	mosott	panama	190
42	100% len	^{3/4} Fehérített, nedveszívos, zsurgított	vászon	130	52	100% pamut	nyers	sávoly	196,66	62	100% pamut	nyers	vászon	150	72	100% pamut	mosott	vetülék ripsz	190
43	100% len	^{3/4} fehérített, lágyított, zsurgított	vászon	130	53	100% pamut	nyers	sávoly	196	63	100% pamut	nyers	vászon	189	73	lác100% pamut/vetülék 67% viszkóz 33% len	mosott	vászon	190
44	100% len	^{4/4} fehérített, lágyított, zsurgított	vászon	130	54	100% pamut	nyers	atlasz	198	64	100% pamut	nyers	vászon	175	74	lác100% CO /vetülék 50% poliészter 50% pamut	mosott	vászon	190
45	100% len	fehérített, lágyított, tört, zsurgított	vászon	130	55	100% pamut	nyers	panama	193	65	100% pamut	mosott	vászon	190	75	lác100% pamut vetülék 100% poliészter	mosott	vászon	190
46	50% len - 50% pamut	^{3/4} fehérített, zsurgított	vászon	110	56	100% pamut	nyers	vetülék ripsz	190	66	100% pamut	mosott	vászon	190	76	100% pamut	mosott	vászon	190
47	50% len - 50% pamut	^{3/4} fehérített, lágyított, zsurgított	vászon	110	57	lác100% pamut, vetülék 67% viszkóz /33% len	nyers	vászon	206	67	100% pamut	mosott	vászon	190	77	100% pamut	mosott	vászon	170
48	50% len - 50% pamut	^{4/4} fehérített, lágyított, tört, zsurgított	vászon	110	58	lác100% pamut, vetülék 50% poliészter 50% pamut	nyers	vászon	205	68	100% pamut	mosott	sávoly	190	78	100% pamut	mosott	vászon	140
49	100% pamut	nyers	vászon	191	59	lác100% pamut, vetülék 100% poliészter	nyers	vászon	200	69	100% pamut	mosott	sávoly	190	79	100% pamut	mosott	vászon	190
50	100% pamut	nyers	vászon	192	60	100% pamut	nyers	vászon	204	70	100% pamut	mosott	atlasz	190	80	100% pamut	mosott	vászon	190

minta sor-szám	összetétel	állapot	Kötés-mód	területi sűrűség g/m ²	Minta sor szám	összetétel	állapot	kötésmód	területi sűrűség g/m ²	minta	Összetétel	állapot	Kötés-mód	Területi sűrűség g/m ²	minta	összetétel	állapot	Kötés-mód	területi sűrűség g/m ²
81	100 % pamut	vasalt	vászon	190	91	vetülék 100 % poliszter	vasalt	vászon	190	101	95%poliészter /4% EL	vég-kikészített	sávoly	247	111	pamut	Vég-kikészített	vászon	188
82	100% pamut	vasalt	vászon	190	92	100 % pamut	vasalt	vászon	190	102	95%PEs /4% EL	vég-kikészített	sávoly	229	112	pamut	Vég-kikészített	vászon	208
83	100 % pamut	vasalt	vászon	190	93	100 % pamut	vasalt	vászon	170	103	Poliészter	vég-kikészített	vászon	56	113	97%poliszter/3% elasztán	Vég-kikészített	vászon	175
84	100 % pamut	vasalt	sávoly	190	94	100 % pamut	vasalt	vászon	140	104	Poliészter	vég-kikészített	vászon	75	114	poliszter	Vég-kikészített	kötött	170
85	100 % pamut	vasalt	sávoly	190	95	100 % pamut	vasalt	vászon	190	105	Poliészter	vég-kikészített	vászon	124	115	pamut	Vég-kikészített	sávoly	180
86	100 % pamut	vasalt	atlasz	190	96	100 % pamut	vasalt	vászon	190	106	Poliészter	vég-kikészített	vászon	148	116	pamut	Vég-kikészített	vászon	140
87	100 % pamut	vasalt	panama	190	99	95%poliszter/4%elasztán	végkikészített	vászon	233	107	Poliészter	vég-kikészített	vászon	168	117	pamut	Vég-kikészített	vászon	180
88	100 % pamut	vasalt	vetülék ripsz	190	100	95%poliszter/4%elasztán	végkikészített	sávoly	228	108	Poliészter	vég-kikészített	vászon	156					
89	vetülék 67 % viszkóz /33 % len	vasalt	vászon	190			vasalt	vászon		109	Poliészter	vég-kikészített	vászon	133					
90	vetülék 50% poliszter 50 % pamut	vasalt	vászon	190			vasalt	vászon		110	pamut	vég-kikészített	sávoly	124					

7-6. Táblázat Egyes vizsgálati minták kelmszerkezeti jellemzői

anyag sorszám	területi sűrűség [g/m ²]	vastagság [mm]	Fonal sűrűség [db]			Fonal lineáris sűrűsége (Ttex)	
			lácirány kötötténi: szemsor-sűrűség	vetülékirány kötötténi: Szemoszlop-sűrűség (db/10 cm)	lácirány, kötötténi: szemsorirány	vetülékirány, kötötténi: szemoszlopírány	
1	207	0,71	130	125	18,62	n.a.	
2	346	1,92	150	100	n.a.	n.a.	
3	288	0,62	290	250	44,1	46,2	
4	167	0,35	230	295	23,6	43,2	
5	248	0,47	400	290	25,9	26	
6	131	0,26	400	330	4,8	18,8	
7	222	0,61	350	340	36	17,5	
8	92	0,34	800	200	2,44	17,3	
9	205	0,48	225	200	44,9	41	
10	205	0,41	225	200	43,4	41,3	
11	175	0,37	235	465	23	36,2	
12	109	0,19	270	300	6,7	7,4	
13	176	0,59	190	175	23,16	58	
14	129	0,65	100	90	60	61,3	
15	224	0,57	170	300	17,9	n.a.	
16	79	0,13	430	250	7,9	18,29	
17	250	0,53	380	240	20,8	42,4	
18	137	0,24	240	270	26,2	21,1	
19	118	0,37	325	200	17,2	19,2	
20	80	0,18	300	210	15,6	17	

minta-szám	területi sűrűség [g/m ²]	vastagság [mm]	Fonal sűrűség [db/100 mm]		Fonal lineáris sűrűsége [tex]		fedőtényező
			lác	vetülék	lác	vetülék	
23	100	0,226	340	340	33,3	33,3	0,881
24	103	0,223	360	360	33,3	33,3	0,9
25	98	0,235	337	337	33,3	33,3	0,881
26	102	0,215	347	347	33,3	33,3	0,886
27	101	0,211	260	327	20	33,3	0,755
28	95	0,203	237	343	20	33,3	0,748
29	98	0,19	240	343	20	33,3	0,746
30	97	0,203	240	337	20	33,3	0,751
49	192	0,192	437	230	25	25	0,924
50	192	0,192	433	230	25	25	0,92
51	193	0,193	433	230	25	25	0,92
52	197	0,193	420	230	25	25	0,905
53	196	0,193	418	230	25	25	0,903
54	198	0,198	463	253	25	25	0,956
55	193	0,193	483	240	25	25	0,974
56	190	0,193	447	240	25	25	0,937
57	207	0,207	470	233	25	25	0,956
58	205	0,205	443	230	25	25	0,931
59	200	0,205	440	230	25	25	0,928
60	204	0,204	440	227	25	29,4	0,931
61	166	0,166	443	227	25	16,6	0,919
62	150	0,15	443	177	25	10	0,902
63	189	0,189	470	167	25	29,4	0,952
64	175	0,174	473	153	25	29,4	0,955

7-7.Táblázat Három mérési helyszínen megállapított esési tényező értékei

1. helyszín: BME, Sylvie 3D Drape Tester, 2. helyszín: BMF, 3. helyszín: Maribor, Drape Analyser
 „K” minta: a mintára ragasztós közbélést vasaltunk fel [86]

Minta száma	esési tényező, DC [%]		
	1. helyszín	2. helyszín	3. helyszín
1. csoport			
46	72,4	70,4	
47	67,1	63,2	
48	59,9	53,5	
2. csoport			
26	33	32,1	26,1
23	34,2	35,5	32,8
24	36,6	38,7	29
22	35,6	34	-
21	47,5	50,4	-
25	33,9	36,6	28,7
3. csoport			
27	28,9	33,1	28,3
28	28	33	22,2
29	29,6	29,3	20,6
30	27,8	31	20,7
4. csoport			
31	86,2	77,8	63
32	83,2	74,9	63
5. csoport			
33	76,2	56,5	52
34	55,7	46,4	37

6. csoport		Szín- oldalon	Fonák- oldalon	Szín- oldalon	Fonák- oldalon
35		26,6	27,5	22,6	23,3
36		44,5	46,3	42,2	44,5
7. csoport					
37		35,8	34,2	35,8	36
38		22,7	24,8	20,5	21,9
39		39,1	43,6	38,7	40
8. csoport					
40K			98,5		96,1
41K			93,4		97
42K			97,6		100
43K			83,8		89,3
44K			94		98,3
45K			78,7		97,6
46K			86,2		85,8
47K			82		97,8
48K			76,5		94,3
9. csoport					
26K			77,6		97,3
23K			95,3		97,3
24K			92,6		100
22K			96,4		95,2
21K			86,9		87,5
25K			83,8		92,5
27K			85,3		90,1
28K			86,1		100
29K			92,4		95,1
30K			86,9		100
31K			88,5		100
32K			86,2		80
33K			98,7		97,5
34K			95,9		100

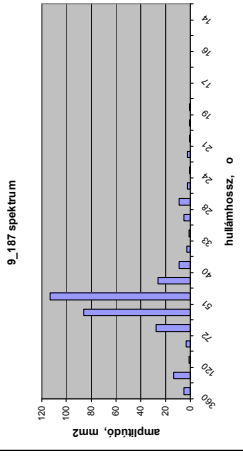

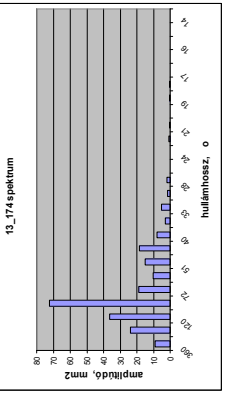
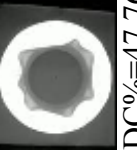
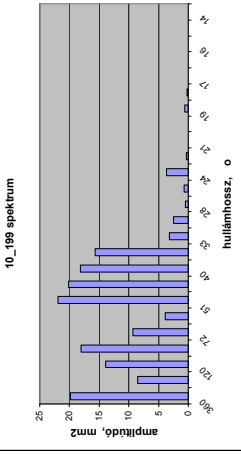

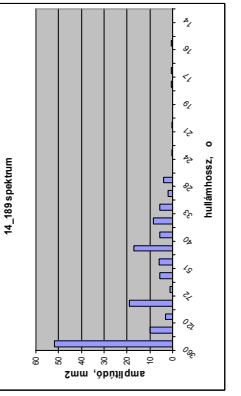

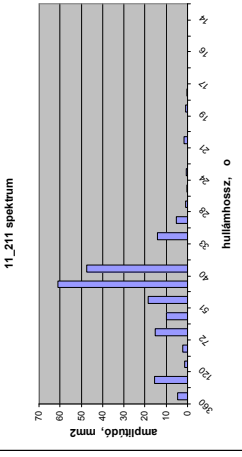

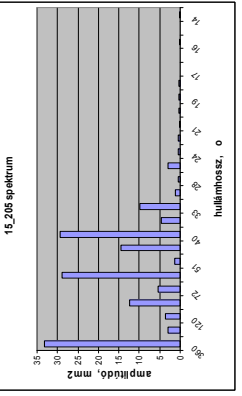
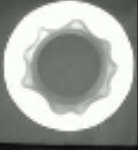
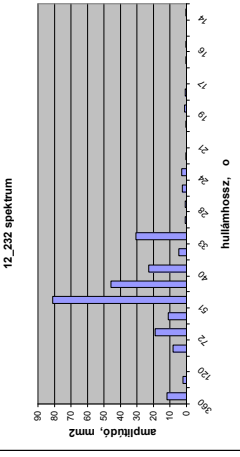

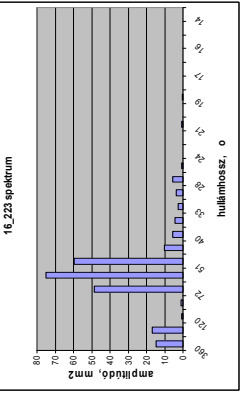

7-8. Táblázat Vizsgálati minták KES-FB mérőrendszerrel mért adatai

	LT-1	LT-2	G-1 [N/(cm ^{1°})]	G-2 [N/(cm ^{1°})]	2HG-1 [N/cm]	2HG-2 [N/cm]	2HG5-1 [N/cm]	2HG5-2 [N/cm]	EMT-1 [%]	EMT-2 [%]
Minta 23	0,678	0,499	0,67	0,59	0,56	0,54	1,08	0,86	3,07	17,3
Minta 24	0,568	0,639	0,58	0,53	0,49	0,47	0,74	0,56	4,51	8,2
Minta 25	0,57	0,624	0,6	0,51	0,47	0,42	0,64	0,47	6,88	9,49
Minta 26	0,497	0,607	0,55	0,55	0,42	0,42	0,51	0,44	8,37	9,42
Minta 27	0,555	0,471	0,7	0,56	0,54	0,47	1,35	0,86	5,66	16,8
Minta 28	0,517	0,584	0,53	0,49	0,42	0,47	0,51	0,49	6,34	8,42
Minta 29	0,606	0,556	0,59	0,55	0,56	0,61	0,93	0,86	3,76	10,8
Minta 30	0,502	0,542	0,51	0,5	0,47	0,42	0,49	0,44	6,34	9,81
	B-1 [cNcm]	B-2 [cNcm]	2HB-2 [N]	2HB-1 [N]	WT-1 [N/cm]	WT-2 [N/cm]	RT-1 [%]	RT-2 [%]	LC [%]	WC [N/cm]
Minta 23	0,0672	0,0277	0,0077	0,0424	5,1	21,17	70,19	38,66	0,463	0,364
Minta 24	0,0536	0,0285	0,0062	0,0181	6,27	12,84	67,97	50,57	0,54	0,04
Minta 25	0,0473	0,0316	0,0088	0,011	9,61	14,5	58,67	50	0,54	0,03
Minta 26	0,0404	0,0289	0,0088	0,0125	10,19	14,01	60,39	47,9	0,32	0,06
Minta 27	0,0385	0,017	0,0056	0,0146	7,7	19,4	59,87	38,73	0,28	0,05
Minta 28	0,0363	0,0167	0,0052	0,0118	8,04	12,05	65,24	52,44	0,54	0,03
Minta 29	0,0344	0,0191	0,0073	0,0136	5,59	14,7	68,42	50,33	0,44	0,03
Minta 30	0,0294	0,0172	0,006	0,0125	7,8	13,03	65,41	49,81	0,65	0,05
	RC [%]	Tm [mm]	To [mm]	MIU-1 -	MIU-2 -	SMD-1 [µm]	SMD-2 [µm]	MMD-1 -	MMD-2 -	
Minta 23	67,387	0,23	0,57	0,162	0,149	10,12	5,75	0,027	0,019	
Minta 24	89,10	0,19	0,22	0,135	0,159	7,95	5,99	0,030	0,020	
Minta 25	123,36	0,21	0,24	0,125	0,164	7,11	9,43	0,020	0,021	
Minta 26	96,13	0,23	0,32	0,123	0,189	6,09	12,08	0,012	0,019	
Minta 27	91,67	0,19	0,26	0,168	0,154	9,87	6,79	0,024	0,014	
Minta 28	94,29	0,20	0,23	0,140	0,173	6,04	8,00	0,015	0,022	
Minta 29	149,41	0,18	0,21	0,153	0,159	10,61	6,13	0,042	0,023	
Minta 30	65,09	0,20	0,23	0,150	0,193	8,47	5,71	0,019	0,018	

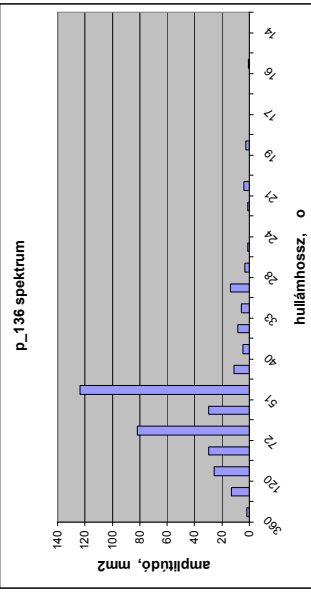

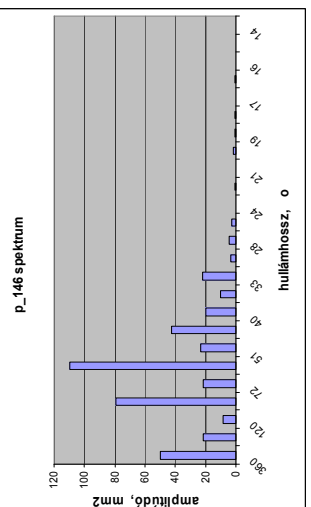

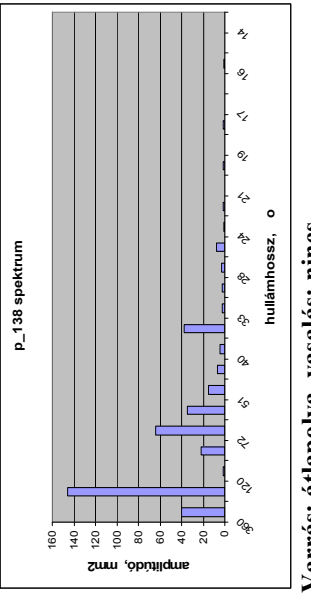

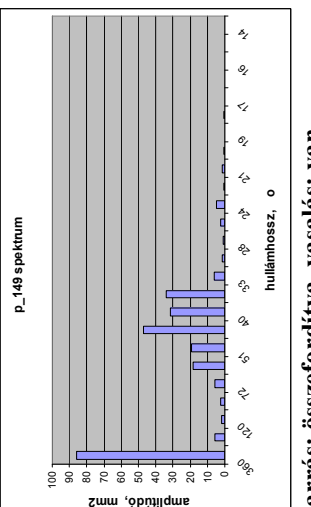

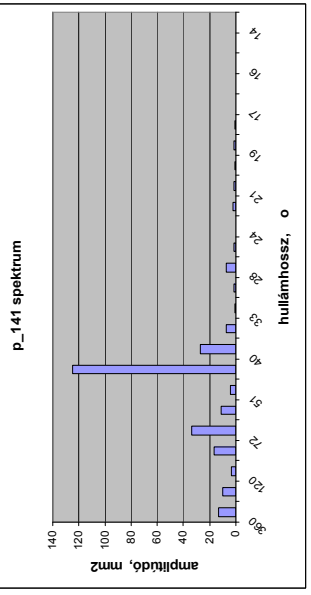

7.9 Melléklet Kísérlettery mintáinak spektrumfüggvénye

7-9. Táblázat 2⁴ faktoros kísérlettery vizsköz szövyete

Spektrumfüggvény	Digitális vetületi kép/ esési tényező	Spektrumfüggvény	Digitális vetületi kép/ esési tényező
<p>1-170 spektrum</p>	<p>DC%=26</p>	<p>5-180 spektrum</p>	<p>DC%=30,74</p>
<p>2-215 spektrum</p>	<p>DC%=29</p>	<p>6-192 spektrum</p>	<p>DC%=32,53</p>
<p>3-202 spektrum</p>	<p>DC%=28,27</p>	<p>7-208 spektrum</p>	<p>DC%=33,37</p>
<p>4-218</p>	<p>DC%=38,55</p>	<p>8-228 spektrum</p>	<p>DC%=29,96</p>

Spektrumfüggvény	Digitális vetületi kép/ kép/ esési tényező	Spektrumfüggvény	Digitális vetületi kép/ esési tényező
<p>9_187 spektrum</p> 	 <p>DC%=36,07</p>	<p>13_174 spektrum</p> 	 <p>DC%=47,76</p>
<p>10_198 spektrum</p> 	 <p>DC%=47,97</p>	<p>14_189 spektrum</p> 	 <p>DC%=52,91</p>
<p>11_211 spektrum</p> 	 <p>DC%=38,03</p>	<p>15_205 spektrum</p> 	 <p>DC%=54,28</p>
<p>12_232 spektrum</p> 	 <p>DC%=30,33</p>	<p>18_223 spektrum</p> 	 <p>DC%=45,39</p>

7-10. Táblázat 2² faktoros kísérletterv pamutsozöveten

Spektrumfüggvény	Digitális vetületi kép/ esési tényező	Spektrumfüggvény	Digitális vetületi kép/ esési tényező
<p>p_138 spektrum</p>  <p>amplitúdó, mm2</p> <p>hullámhossz, μ</p> <p>0 eredeti minta</p>	<p>DC%=31,97</p> 	<p>p_146 s spektrum</p>  <p>amplitúdó, mm2</p> <p>hullámhossz, μ</p> <p>Varrás: átlapolva, vasalás: van</p>	<p>DC%=35,6</p> 
<p>p_138 spektrum</p>  <p>amplitúdó, mm2</p> <p>hullámhossz, μ</p> <p>Varrás: átlapolva, vasalás: nincs</p>	<p>DC%=40,47</p> 	<p>p_149 s spektrum</p>  <p>amplitúdó, mm2</p> <p>hullámhossz, μ</p> <p>Varrás: összefordítva, vasalás: van</p>	<p>DC%=34,67</p> 
<p>p_141 spektrum</p>  <p>amplitúdó, mm2</p> <p>hullámhossz, μ</p> <p>Varrás: összefordítva, vasalás: nincs</p>	<p>DC%=35,37</p> 		

7.10 Melléklet Kelmesterkezeti és mechanikai vizsgálatok leírása

A területi sűrűség (M_k) meghatározásához a kelméből 10x10 cm nagyságú darabot vágtam ki és megmértem a tömegét (M_g) [104].

$$M_k = M_g \cdot 100 \text{ [g/m}^2\text{]}$$

7.6

Vastagság megállapítása:

A kelme vastagságmérésénél az FC-01 típusú vastagságmérő készüléken, meghatározott előterhelés mellett megállapítottam a szövet szín- és fonákoldalával érintkező, gyakorlatilag párhuzamos két síklap közepes távolságát [105].

Lánc- és vetülékirány meghatározása:

A fonalrendszerek irányának ismerete a kötésminta, fonalsűrűségek és fonalszükséglet számítás megállapításánál is szükséges. A szövetek többségénél alkalmazható a következő: ha a fonaltengely irányában megfeszítjük a szövetdarabot, a nagyobb nyúlású fonal a vetülékfonal. Ez alól kivétel, ha a láncsűrűség lényegesen nagyobb a vetüléksűrűségnél, akkor a vetülékfonal nyúlása kisebb, mint a láncfonalé. A harántripsz kötésű szövetek vetülékirányban kevésbé nyúlnak, mint láncirányban.

A kötésminta megállapítása:

A szöveteknek szín- és fonákoldalának megállapítása után meghatároztam a megadott szövetminta lánc- és vetülékfonalainak kereszteződését, és a keresztezésekben rejlő törvényszerűségeket. A kiolvasott kereszteződési pontok alapján elkészítettem a kötésrajzot, amelyen belül kijelöltem a mintaelemet. Az elemzéshez a mintadarabot lánc- és vetülékirányban kb. 1 cm-re kifoszlattam.

Fonalsűrűségek meghatározása:

A lánc- és vetülékfonalak hosszegységére eső darabszámának meghatározásához a kiterített mintára mm osztású mérőlécet fektettem úgy, hogy az a számlálандó fonal irányára merőleges legyen. Megszámoltam a jelölt szakaszra jutó fonalak darabszámát. A fonalsűrűséget megadásához az alapul választott hosszegység 100 mm [106].

A lánc- és vetülékfonal lineáris sűrűségének meghatározása:

A szövetelemzés során lánc- és vetülékirányban 10-10 db fonalat kifejttem, és megmértem a hosszát, vigyázva, hogy azok meg ne nyúljanak és a sodratuk se változzon. Torziós mérlegen megmértem a 10 db fonal tömegét. Az alábbi képlet szerint meghatároztam a fonalak lineáris sűrűségét:

$$T_{tex} = \frac{\sum_{i=1}^n G_i}{\sum_{i=1}^n H_i} \cdot 10^3 \quad [\text{g}/1000\text{m}] \quad 7.7$$

Ahol:

G_i a kifejtett fonal tömege [g]
 H_i a kifejtett fonal hossza [m]

Az adott fonalrendszer fonalsűrűségéből és lineáris sűrűségéből meghatároztam az egyes fonalrendszerek fedőtényezőjét a következő összefüggés szerint:

$$F_L = \frac{S_L \sqrt{T_{texL}}}{\sqrt{1000}} \quad \text{és} \quad F_V = \frac{S_V \sqrt{T_{texV}}}{\sqrt{1000}} \quad 7.8$$

ahol

F_L fedőtényező láncirányban
 F_V fedőtényező vetülékirányban
 S_L láncfonalak száma (1/cm)
 S_V vetülékfonalak száma (1/cm)
 T_{texL} láncfonal lineáris sűrűsége (g/1000m)
 T_{texV} vetülékfonal lineáris sűrűsége (g/1000m)

A lánc- és vetülékfonalak fedőtényezőjének összeadásával kiszámítottam a szövet **fedőtényezőjét**, F :

$$F = F_L + F_V \quad 7.9$$

A különböző szerkezetű minták összehasonlíthatósága érdekében kiszámítottam a relatív **szőhetőségi koefficiens** X_{rel} értékét [103].

$$X_{rel} = \frac{(\sqrt{T_{texV}} + A_L \sqrt{T_{texL}})(\sqrt{T_{texL}} + A_V \sqrt{T_{texV}})}{(\sqrt{T_{texV}} + \sqrt{T_{texL}})^2} \quad 7.10$$

Az A_L és A_V a következő összefüggéssel számítható :

$$A_L = \frac{k_L}{n_V}, \text{ és } A_V = \frac{k_V}{n_L} \quad 7.11$$

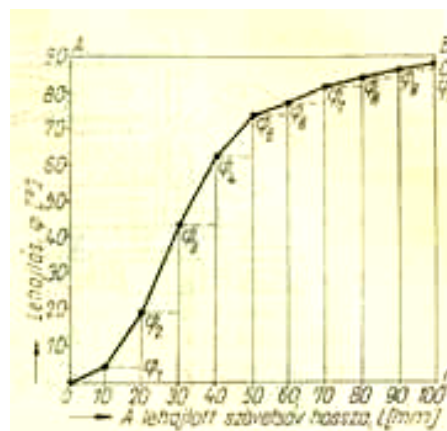
ahol

k_L és k_V a lánccs ill. vetülékfonalak kötésiállandója,
 n_L és n_V a lánccs és vetülékfonal száma a mintaelemen.

A k_L , ill. k_V kötésiállandó a lánccs, ill. a vetülékfonal helyváltogatásának átlagos száma a mintaelemen belül (ahányszor a fonal színoldalról fonákoldalra, illetve fonákoldalról színoldalra helyet változtat, az összes fonalra vetített átlag).

A kelme **lehajlásának mérését** FLEXOMETER, FF-20 készüléken végeztem.

A lánccs és vetülékirányú próbasávot vízszintes síkon toltam előre 10 cm-en keresztül a próbasáv lehajlásáig, és a centiméterenkénti előretolásnál mért szögfokból számítottam a lánccs- és vetülékirányú hajlékonyságot. Minden egyes előretolás alkalmával megállapítottam a próbasáv végének lehajlását szögfokban. Meghatároztam a lánccs- és külön a vetülékirányú próbasávok minden egyes előretolási hosszhoz tartozó eredményeinek átlagértékeit [107].



7-24. ábra A hajlékonyság meghatározása az OCDO diagramterületből (T) és az abszolút hajlékonyságra jellemző OABDO területből (T_{absz}) [54]

A lehajlásra jellemző a 7.24 ábrán az OC diagram vonal alatti OCDO terület, amely a 10 mm alaphosszúságú négyszögek és háromszögek területének összegéből számítható:

$$T = 10 \cdot \left(\frac{\varphi_1}{2} + \frac{\varphi_2 - \varphi_1}{2} + \varphi_2 + \frac{\varphi_3 - \varphi_2}{2} + \dots + \varphi_9 + \frac{\varphi_{10} - \varphi_9}{2} \right) = 10 \left(\varphi_1 + \varphi_2 + \dots + \varphi_9 + \frac{\varphi_{10}}{2} \right) \quad 7.12$$

Ahol

$\varphi_1, \dots, \varphi_{10}$ az egyes előretoláskor szögfokban mért lehajlások átlaga [°]

A hajlékonyság (H) értéke a következő képlettel határozható meg:

$$H = \frac{T}{T_{absz}} \cdot 100 = \frac{1}{9} \left(\varphi_1 + \varphi_2 + \dots + \varphi_9 + \frac{\varphi_{10}}{2} \right) \quad [\%] \quad 7.13$$

Egyszerűbben jelölve az 1, 2, 3, ..., 10 előretoláshoz tartozó szögfokban mért lehajlások átlagait $a_1, a_2, a_3, \dots, a_{10}$ -zel, az egyszerűsített képletet használtam:

$$H = \frac{a_1 + a_2 + \dots + a_9 + \frac{a_{10}}{2}}{9} \quad [\%] \quad 7.14$$

Légáteresztő képesség vizsgálata

A textíliák légáteresztését az FF-12 típusú légáteresztő-képességet mérő műszeren vizsgáltam. A ruházati textíliák légáteresztő képességének jellemzője a szabványos légkörből meghatározott légnyomáskülönbség mellett (100 Pa), a szövet területegységén időegység alatt áthaladó levegőmennyiség térfogata. Az egyes mérési eredményekből külön-külön kiszámítottam a szövet 1 négyzetméter területén 1 másodperc alatt áthaladó levegő mennyiségét (V) [109].

$$V = \frac{q}{t \cdot A} \quad [l/m^2s], \quad 7.15$$

Ahol:

- t a vizsgálat időtartama [s],
- q szövetterületen áthaladt levegőmennyiség [l],
- A a vizsgálati minta területe [m²],

Húzóerő/nyúlás vizsgálata

A 20 mintán három vizsgálatot végeztem el, lánc, vetülék és 45°-os szögben, azaz átlós irányban ZWICK szakítógépen. A minták mérete 50 mm x 200 mm volt. A próbasávokat a mintán arányosan elosztva úgy jelöltem ki, hogy az egyik próbasáv ne képezze a másik folytatását. Az első láncirányú próbasávot a laboratóriumi minta szegélyétől 30 mm-re szabtam ki. A további sávokat egyenletesen elosztva jelöltem ki.

A szabad befogási hossz: 100 mm.

Előterhelő erő: 0,5 N

Előterhelés sebesség: 100 mm/perc

Állandó nyújtási sebesség: 120 mm/perc

A szövetek alakváltozásának összehasonlításához az erő-nyúlás diagramból leolvastam az 5, a 10 és a 20 mm megnyúláshoz tartozó húzóerő értékeket.

Gyűrődésfeloldó képesség meghatározása

A hajlító- és nyomó igénybevétel hatására keletkezett és az igénybevétel megszűnése után a kelmében visszamaradt alakváltozást FF-07 típusú gyűrődésfeloldó-képesség vizsgáló készüléken végeztem.

Meghatároztam szín- és fonákoldalon gyűrődésfeloldási szöget. Az egy egyenes mentén teljesen összehajtott és párhuzamos felületű nyomólapokkal, meghatározott terheléssel, előírt ideig összenyomott, majd tehermentesítés után meghatározott ideig pihentetett próbadarab két lapja által bezárt. Lánc és vetülék irányban 3-3 próbadarabot vágtam ki. A próbadarabokat vállrészüknél befogtam a csipeszek segítségével a próbadarab tartóba, majd vonal mentén összehajtottam. A 15 percig terheltem 30 N nyomóerővel. A terhelés megszűnése után a befogott próbadarabokat 15 percig pihentettem és egyenként a szögmérő fölé tolva megmértem a szabad és a befogott szárrész közötti szöget [108].

7.11 Melléklet Kiértékelő algoritmus Fourier analízishez

A síkvetületi kép hullámgörbéjének kiértékelésére egy Excel táblázatot hoztunk létre. A rugalmasabb, több szempont szerint változtatható feldolgozási feltételek biztosítása miatt az Excel makro nyelvén írtuk a kiértékelő algoritmust.

Az Excel tábla szerkezete

=====

A táblázat C1 cellájában megadható a bemeneti adatok száma, a C2-es cellában pedig a kívánt szintézis mélysége (azaz, hogy mely hullámhossz összetevőig vizsgálja a függvényt). Ennek értéke minél nagyobb, annál kisebb hullámhosszúságú összetevőkön végzünk vizsgálatokat (Ld. a Fourier algoritmus képletét).

A táblázat fehéren hagyott részeibe beírtam a számítógépes alapfelismerő programmal meghatározott mérési adatokat. A bemenő paraméterek megadásakor a makro program automatikusan kitölti a szükséges segéd oszlopok tartalmát (szürke mezők).

A makro programok

1. Analízis

=====

Az analízist végző program az "Analízis" feliratú gombbal aktivizálható.

Ügyelni kell arra, hogy a C1 és C2 cellák, valamint az f(Xi) oszlop tartalma helyesen legyen kitöltve. A program első néhány sora a segéd táblázatok kitöltését végzi. A szintézis mélységének megfelelően egy határozott ciklusban működik. 1-1 ciklus alatt (adott hullámhossz összetevőre nézve) a program lenullazza a szinusz és a koszinusz összetevők segédváltozóját, majd elvégzi a sorbafejtés első fázisát az összes adaton. (Ld. Fourier algoritmus képlete). A belső For-Next ciklus az összegzés műveletét is elvégzi, és a hullámhossznak megfelelő helyen letárolja az adatokat (táblázat F és H oszlopa), a K oszlopban pedig a hullámhossz összetevők vektori összegét.

2. Szintézis

=====

A szintézis programja az eredeti függvény átlagértéke és a kapott konstansok alapján visszatranszformálja a függvényt, majd ki is számolja az adott hullámhosszakhoz tartozó kimenő értéket. (Ld. Fourier szintézis képlete).

A program (magyarázattal):

=====

Sub Analizis()

```
'  
' Analizis Makró  
' Rögzítette: BzpX, dátum: 2007.09.30.  
' Sheets("Munka1").Cells(1, 3).Value --> "C1" Adatok száma  
' Sheets("Munka1").Cells(2, 3).Value --> "C2" Szintézis mélység  
'
```

Pi = 3.14159265358979

NumDat = Sheets("Munka1").Cells(1, 3).Value

```

SzintNum = Sheets("Munka1").Cells(2, 3).Value
' Segéd adatok kitöltése (1)
  For i = 0 To NumDat - 1
    Sheets("Munka1").Cells(6 + i, 2).Value = i ' Az adat futóindexe
    Sheets("Munka1").Cells(6 + i, 2).Value = Sheets("Munka1").Cells(6 + i, 1).Value * 2 * Pi
/ NumDat ' Az adott futóindexhez tartozó hullámhossz meghatározása
  Next i
' Segéd adatok kitöltése (2)
  For i = 0 To SzintNum - 1
    Sheets("Munka1").Cells(6 + i, 5).Value = i + 1 ' Futóindexek ismétlése
    Sheets("Munka1").Cells(6 + i, 7).Value = i + 1
  Next i
' A Fourier analízis ' a hullámhossz komponensek meghatározása Sin és Cos összetevőkre
  For i = 1 To SzintNum
    aVal = 0 ' Cos összetevő
    bVal = 0 ' Sin összetevő
    For j = 0 To NumDat - 1
      aVal = aVal + Sheets("Munka1").Cells(6 + j, 3).Value * Cos(i *
Sheets("Munka1").Cells(6 + j, 2).Value)
      ' Az összes adatponthoz tartozó értéket megszorozza a Cos adott hullámhossznak
megfelelő értékével és összegzi ezeket
      bVal = bVal + Sheets("Munka1").Cells(6 + j, 3).Value * Sin(i *
Sheets("Munka1").Cells(6 + j, 2).Value)
      ' Az összes adatponthoz tartozó értéket megszorozza a Sin adott hullámhossznak
megfelelő értékével és összegzi ezeket
    Next j
' A kapott értékek letárolása a szintézishez
    Sheets("Munka1").Cells(5 + i, 6).Value = 2 * aVal / NumDat
    Sheets("Munka1").Cells(5 + i, 8).Value = 2 * bVal / NumDat
' Spektrumfüggvény: a Sin és Cos összetevők vektori összege
    Sheets("Munka1").Cells(5 + i, 10).Value = 360 / i
    Sheets("Munka1").Cells(5 + i, 11).Value = (2 * aVal / NumDat) ^ 2 + (2 * bVal /
NumDat) ^ 2

  Next i
End Sub

```

Sub Szintezis()

```

'
' Szintezis Makró
' Rögzítette: BzpX, dátum: 2007.09.30.
' Sheets("Munka1").Cells(1, 3).Value --> Adatok száma
' Sheets("Munka1").Cells(2, 3).Value --> Szintézi mélység
'
Pi = 3.14159265358979
NumDat = Sheets("Munka1").Cells(1, 3).Value
SzintNum = Sheets("Munka1").Cells(2, 3).Value
aAtlag = Sheets("Munka1").Cells(3, 3).Value
'

```

```

For i = 0 To NumDat - 1
    Sheets("Munka1").Cells(6 + i, 13).Value = Sheets("Munka1").Cells(6 + i, 1).Value '
Segédváltozók átmásolása
    Sheets("Munka1").Cells(6 + i, 14).Value = Sheets("Munka1").Cells(6 + i, 13).Value * 2
* Pi / NumDat ' Az adott futóindexhez tartozó hullámhossz meghatározása
    ' i=hullámhossz érték, erre kell kiszámolni a függvény értékét
    sVal = aAtlag ' segéd változó alap értékének beállítása
    For j = 1 To SzintNum
        ' a függvény kifejtése minden egyes "X" értékre
        sVal = sVal + Sheets("Munka1").Cells(5 + j, 6).Value * Cos(j *
Sheets("Munka1").Cells(6 + i, 14).Value) + Sheets("Munka1").Cells(5 + j, 8).Value * Sin(j *
Sheets("Munka1").Cells(6 + i, 14).Value)
    Next j
    Sheets("Munka1").Cells(6 + i, 15).Value = sVal ' a kapott érték letárolása
Next i
End Sub

```