



**BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM  
GÉPÉSZMÉRNÖKI KAR**

**ÍRTA:**

**SZABÓ LAJOS**

*OKLEVELES IPARI TERMÉK- ÉS FORMATERVEZŐ MÉRNÖK*

***KÉPALKOTÁSRA ALAPOZOTT RUHAIPARI  
MÉRÉSTECHNIKÁK***

**CÍMŰ TÉMAKÖRBŐL,  
AMELLEL A PhD FOKOZAT ELNYERÉSÉRE PÁLYÁZIK**

**2008**

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

## 1. Bevezetés, a kutatás előzményei

Műszaki textil, intelligens ruházat, virtuális ruhapróba és még sok hasonló fogalom jellemzi a 21. század textilipari fejlesztéseit. Egyre több textilipari vállalat kényszerül a korábbi termékkör feladására és új, látens igények alapján új termékek és szolgáltatások kifejlesztésére azért, hogy életben tudjon maradni a keletről nagy tömegben érkező, egyre javuló minőségű, olcsó ruházat árleszorító hatása ellenére. Az EU felismerve az európai tradicionális textilgyárak rossz piaci pozícióját egyrészt új védelmi stratégiát állított fel, amely lassítja a keleti áru beáramlását, de megállítani nem tudja. Másrészt jelentős kutatási támogatást nyújt a vállalatok túlélését biztosító új termékek és új szolgáltatások kifejlesztéséhez. Az egyik legjelentősebb kutatási irány a „virtuális ruhabolt” téma, melyet az EU az E-TAILOR és a LEAPFROG programok keretében támogat.

A virtuális ruhabolt egyik lényeges eleme az öltözék viselkedésének statikus vagy dinamikus szemléltetése. A felhasználó a számítógépes testmodell segítségével virtuálisan „felpróbálhatja” a katalógusban található ruhaneműket, vagy a ruha síkbeli alkatrészeit „virtuálisan” összevarrva ellenőrizheti a szabásminta helyességét anélkül, hogy ténylegesen varrnia kellene. Természetesen a virtuális megjelenítéshez szükség van a felhasználó testméreteire és a textil tulajdonságaira. Ezzel összhangban a világon mindenütt intenzív kutatások folynak mind a testszkennerek fejlesztése, mind pedig a textiliák viselkedésének modellezése és az ahhoz szükséges anyagtulajdonságok meghatározása területén. Egyre több pásztázó képalkotási módszer jelenik meg a piacon, amelyek segítségével a 3 dimenziós testek méretei nagy pontossággal lemérhetőek. Az emberi test modellezéshez szükséges adatainak meghatározása azonban nem egyszerű feladat. Nehezíti egyrészt az emberi test felépítésének bonyolultsága, másrészt az, hogy élő alanyon kell mérést végezni, akinek – a szokásos műszaki anyagokhoz képest – testfelülete időben és térben állandóan változik. A sok megalakuló, majd hamarosan megszűnő vállalat és kifejlesztett termékeik mind azt bizonyítják, hogy a fejlesztés iránya már ismert, de a végcél a kutatás és fejlesztés még nem érte el. Például a pásztázó gép, a 3D szkennerek által generált pontok felhasználása a nagy adatmennyiség miatt a mai napig is probléma.

A textil viselkedésének modellezését és az ahhoz szükséges anyagjellemzők meghatározását magának a textiliának a tulajdonságai nehezítik meg. A textiliák reológiai viselkedése jelentősen eltér más, lapformájú szerkezeti anyagok viselkedésétől, ám éppen ez a jellegzetes textilszerű viselkedés az, aminek a textiliák kellemes hordhatóságát, szép esését, térformákra való idomulási

képességét köszönhetjük. Számos modellező program látott már napvilágot, de eddig még egyik sem teljesíti maradéktalanul a szimulációval szemben támasztott összes követelményt.

A Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Polimertechnika Tanszékén és Műszertechnika, Optika és Gépészeti Informatika Tanszékén 1983 óta foglalkoznak számítógépes ruhaipari tervező rendszerek fejlesztésével. Ehhez a fejlesztéshez kapcsolódva tudományos munkám a 3D-s ruhatervező rendszerhez szükséges mérési technikák fejlesztése volt.

## 2. Célkitűzések

Az irodalom széleskörűen foglalkozik a testszkennerekkel, amelyek az emberi test felületének legfőképp ruhaipari célú 3D-s beolvasására szolgáló mérőberendezések. Több irodalmi hely is összehasonlította a piacon kapható termékeket, amely összehasonlítás alapján az a következtetés vonható le, hogy a testszkennerek esetén a legelterjedtebb műszaki megoldás a fény és azon belül a lézervonal segítségével történő beolvasás.

Annak ellenére, hogy a forgalomban lévő testszkennerek sokéves fejlesztő munka eredményeként kerülnek piacra, lehetnek sikertelenek, ha nem adnak megfelelő megoldást a szkennerek által beolvasott nagytömegű adat feldolgozására. A számítógépek rohamos fejlődése, a processzorok és háttértárak kapacitásának, sebességének ugrásszerű növekedése sem elég háttér a szkennerek által beolvasott nagy mennyiségű ömlesztett adat feldolgozásához. Az adatfeldolgozás még a mai napig is komplikált, fejlesztés alatt álló terület.

A versenyben maradás érdekében a fejlesztőknek ki kell használniuk az alkalmazási terület nyújtotta speciális lehetőségeket. A beolvasott adatok mennyisége ruhaipari szkennerek esetében az alacsonyabb pontossági követelmények miatt csökkenthető. A ruhaipar számára a beolvasás pontossága az irodalmi és tapasztalati adatok alapján  $\pm 5$  mm mérési hibával még megfelelő.

Jó eszköz az adatcsökkentésre a súlyozás, ami azt jelenti, hogy bizonyos, kevésbé fontos, vagy kevésbé komplikált területeken ritkábban, míg a bonyolultabb, fontosabb területeken sűrűbben mintavételeznek. Másik előnyös megoldás a paraméteres modellezés, amelynél 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.

Bár a kereskedelmi forgalomban több vonallézer alapú testszkennerek (body scanner) kapható, az irodalom leginkább a felhasználási lehetőségek kutatásával foglalkozik és nem a szkennerek szerkezetének kialakításával. A készülékek tervezési folyamatát és működési elvét a versenyhelyzet miatt szigorú titokként kezelik. A kereskedelmi forgalomban kapható készülékek méreteiből és konstrukciós elrendezéséből arra a következtetésre jutottam, hogy a szkennerek szerkezetének tudományos vizsgálatokon alapuló módszeres tervezésével azok alkalmazhatósága és precizitása jelentősen javítható.

Az alkalmazott képfeldolgozó eljárások és kalibrációs technikák hasonlóan titkosak, mint a korábban említett tervezés. Szakirodalmat ezekben a témakörökben inkább csak szakmai könyvekben lehet találni, és azok is általánosan elméleti síkon tárgyalják ezeket a témákat. A képfeldolgozás feladata a digitalizálás során készült felvételekből a lehető legtöbb, számunkra szükséges információ kinyerése speciális eljárásokkal (fényesség, kontraszt állításával, szín- és egyéb szűrők alkalmazásával, stb.). A lézervonal alapú szkennereknél további feladat, hogy a digitális kép és a kalibrálás segítségével meg kell határozni azt a geometriai transzformációt, amely a képen rögzített fényvonal alapján a keresett felület megfelelő határvonalát adja vissza. A manapság elérhető testszkennerek esetében a szakirodalmak nem tárgyalják a képfeldolgozás és a transzformáció menetét, és nem térnek ki a szkennerek pontosságához fontos kalibrálási folyamatokra sem.

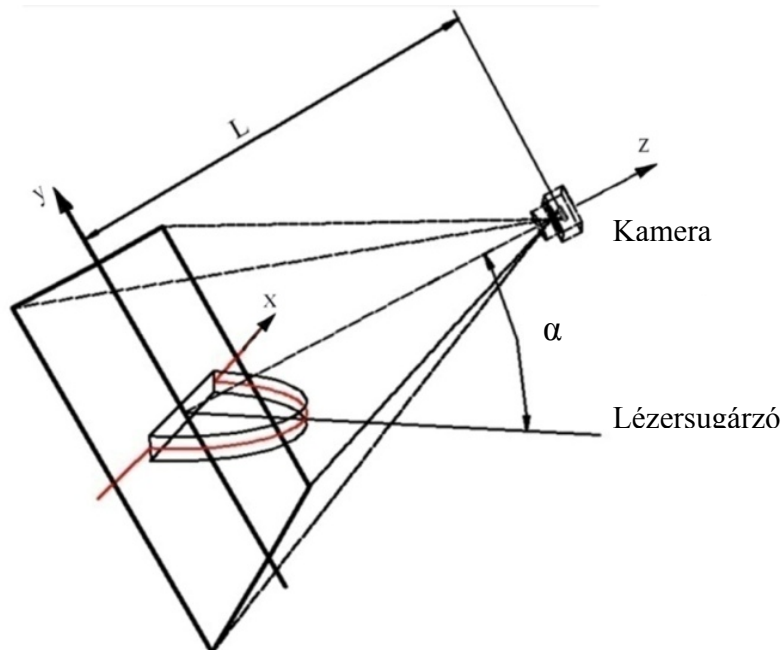
Az emberi test méreteinek digitális felmérésére alkalmas szkennerek szokásos felhasználási területei a ruhaipar mellett az antropometria, az ergonómia és az orvostechika. A kelmék redőződése fontos tulajdonság, vizsgálata, kutatása elengedhetetlen a virtuális ruhatervezéshez és -modellezéshez, a könnyűszerkezetes tetők méretezésénél, a kompozit járműgyártásban, és még megannyi területen. A szakirodalom szerint a redőződést az erre a célra készített mérőműszerek segítségével, rögzített asztal- és kelmeméret mellett vizsgálják. Ha csak a ruhaiparra koncentrálnánk, már ott is a szokásos mérőműszerrel vizsgálható méretnél jóval nagyobb méretű kelmékkel találkozunk. De különösen más felhasználási területeken - mint például a műszaki textíliák esetén (ponyvák, vagy kompozit anyagokban az erősítő szövet) - a body scanner további, még kiaknázatlan lehetőségeket rejt magában.

Az irodalom részletes áttekintése és feldolgozása után PhD értekezésem céljából a következőket tűztem ki:

1. Nyitott, képalkotásra és digitális képfeldolgozásra alapozott, ruhaipari mérőrendszer kísérleti modelljének fejlesztése.
2. A mérőrendszerhez képfeldolgozó és kalibrációs eljárás keresése, kifejlesztése.
3. A mérőberendezéshez adott elvárás-rendszernek megfelelő működési paraméterek meghatározása tudományos vizsgálatok alapján.
4. A mérőrendszer alkalmazhatóságának igazolása a kelmék redőződése mérettől való függésének vizsgálatára.

### 3. A alkalmazott mérési elv és a felhasznált etalonok

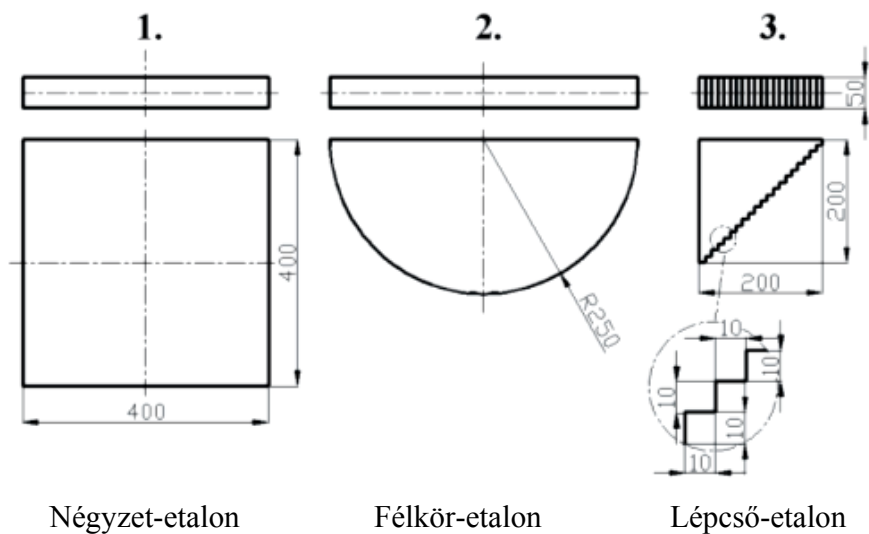
A mérőberendezés és a mért felület egymáshoz viszonyított térbeli helyzetét szemlélteti a 1. ábra. A mérés alatt az Y-Z síkban elhelyezkedő vonallézer dióda vízszintes (X-Y síkkal párhuzamos) vörös fényvonalat vetít a függőleges bázissík (X-Z sík) előtt elhelyezkedő vizsgált felületre, miközben a szintén az Y-Z síkban elhelyezkedő CCD kamera a lézerdiódánál magasabb helyzetből digitális fényképet készít a megvilágított részről. A fényvonal a kamera pozíciójából nézve a felület síkmetszetének – a geometriai elrendezéstől függő mértékben – torzult képét adja. A bázissík, a kamera, a dióda és a vizsgált felület egymáshoz viszonyított pozícióját ismerve a fénykép alapján meghatározhatók a felület lézervonal által kijelölt síkmetszetének térbeli geometriai adatai (1. ábra).



1. ábra A mérési elv

A fenti elv alkalmazásával megtervezett és megépített mérőberendezés kísérleti modell, amely egy darab optikai egységgel rendelkezik. Ezzel a mérőberendezéssel ugyan a mérendő személyt egyszerre, egy időben csak egy oldalról lehet mérni, de a munkám során tervezett kísérletek elvégzéséhez teljes mértékben megfelelt. Az elkészített kísérleti mérőberendezéssel nyert tapasztalatok felhasználásával épült meg a négy darab optikai egységgel felszerelt Sylvie 3D Body Scanner és a Sylvie 3D Drape Tester, amely munkában a BME kutatócsoportjának tagjaként aktívan részt vettem.

A mérésekhez 3 db speciális etalon-hasábot használtam (2. ábra). A hasábok megtervezésénél és méretének megválasztásánál figyelembe vettem az emberi test átlagos kerületméreteit. A három hasáb CNC marógéppel készült. A gép visszaállási hibája max.  $\pm 0,05$  mm, így az ezzel a géppel készített etalonok pontossága legalább egy nagyságrenddel nagyobb a vizsgált mérőeszközzel elérni kívánt pontosságnál. (A mérőeszköz mérési hibája max.  $\pm 5$  mm lehet.) A hasábok anyaga Sika Block M450 típusú műfa, ezt az anyagot speciálisan CNC megmunkálásnál alkalmazzák.

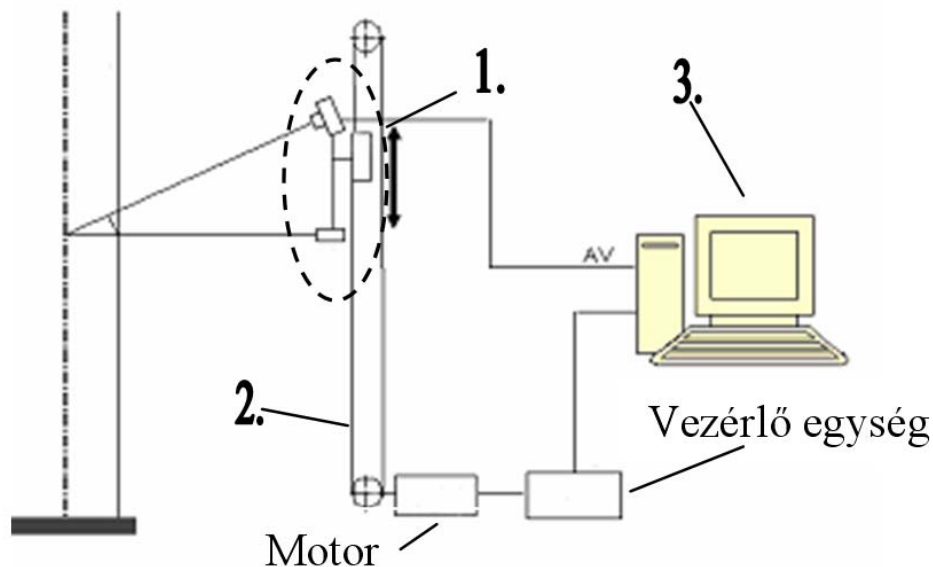


**2. ábra** Négyzet- és lépcsőalakú kalibráló hasáb (1., 3.), illetve félkör alakú ellenőrző hasáb (2.)

A félkör-etalont alkalmaztam az összehasonlító méréseim ismert alakú és méretű tárgyaként., mert a szkener alkalmazási területe elsősorban emberi test felületének beolvasása, és bár az emberi test sehol sem tökéletes henger, mégis a legjobban ezzel az alapformával lehet közelíteni. A négyzet-etalont és a lépcső-etalont a méréseim kalibrációjához használtam.

#### 4. Új tudományos eredmények – tézisek [1-6]

1. **TÉZIS:** Megterveztem és felépítettem egy ruhaiipari célú, kísérleti felületbeolvasó mérőberendezést (3. ábra), amellyel a legfőbb paramétereket, nevezetesen a helyzet-meghatározó koordinátákat, a kamera beállításait, távolságát és dőlésszögét, valamint a képfeldolgozás módszereit egymástól függetlenül tudtam vizsgálni. Ezen eredményeimet felhasználva készült a Sylvie 3D Body Scanner prototípusa.

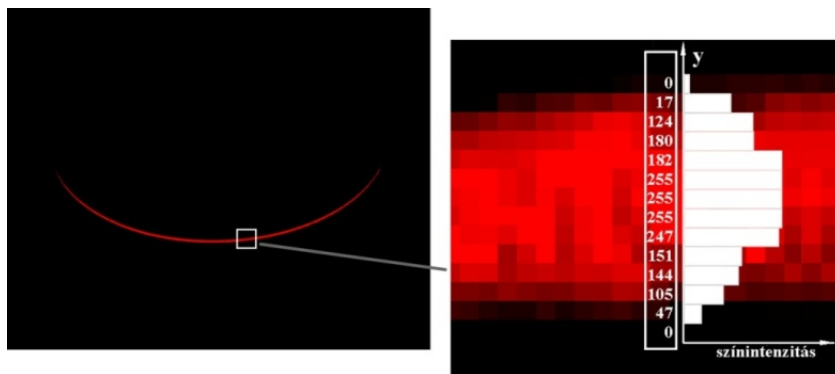


**3. ábra** A kísérleti berendezés főbb egységei  
(1. optikai egység, 2. mozgató egység, 3. számítógépes vezérlő, feldolgozó egység)

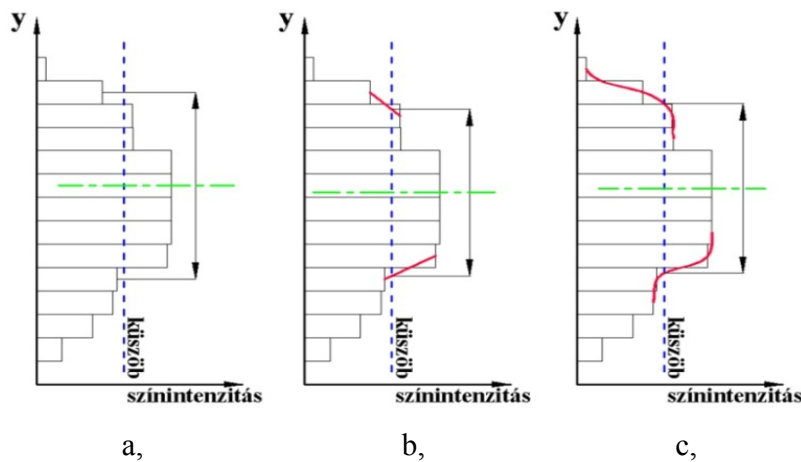
A tézishoz kapcsolódó publikációk: [1], [2], [7], [8], [9]



2. **TÉZIS:** A mérőberendezéssel készített képek (4. ábra) sajátosságainak figyelembe vételével kidolgoztam egy középvonal-kereső eljárást a lézerjel legpontosabb beolvasására, amely az ismert eljárásokhoz képest gyorsabb képfeldolgozást tesz lehetővé, és a ruhaipari igényeknek is jobban megfelel. Az általánosan elterjedt mátrixos eljárás helyett egy pontoszlopon két irányból történő középvonal-keresést alkalmaztam, három különböző metszéspont-meghatározó módszerrel (5. ábra). A lézersáv középvonalának meghatározására legalkalmasabbnak a lineáris metszéspont-meghatározó eljárást találtam, amit mérésekkel alátámasztottam.



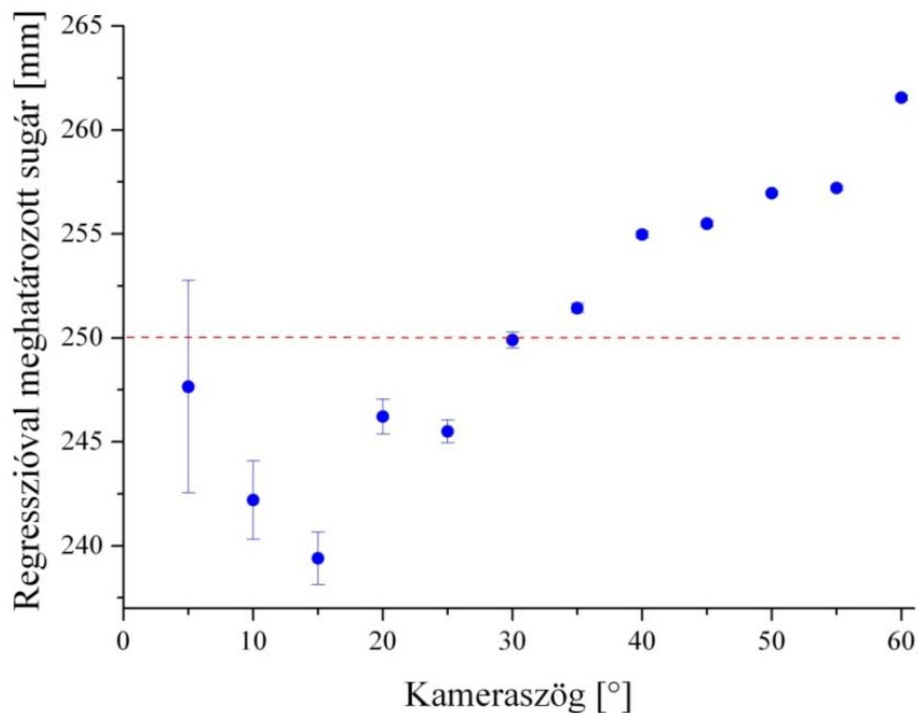
4. ábra A fényképezéssel rögzített kép és a feldolgozás alapja



5. ábra A három középvonal meghatározó eljárás  
(a, pixel alapú eljárás; b, lineáris interpoláció alapú eljárás;  
c, görbeinterpoláció alapú eljárás)

A tézishoz kapcsolódó publikációk: [2], [3], [4]

3. **TÉZIS:** Bebizonyítottam, hogy a ruhaiipari célra készített vonallézer-szkennereknél a kameraszög (1. ábra), azaz a lézervonal-sugárzó vetítési síkja és a kamera optikai tengelye által bezárt szög legkedvezőbb értéke  $30^\circ$ . Ez az a kameraszög, amely mellett a félkör-etalon mérésével nyert pontok alapján regresszióval meghatározott kör sugara a legközelebb esik a félkör-etalon névleges sugarához, valamint a mérési pontoknak a regresszióval meghatározott kör sugarához képest számított szórása a készülék  $\pm 0,5$  mm elvi mérési hibája alatt marad (6. ábra). Ez az a beállítás továbbá, amely mellett a vertikális vetítési takarás minimális, miközben a mérésből a legtöbb értékelhető adat nyerhető.



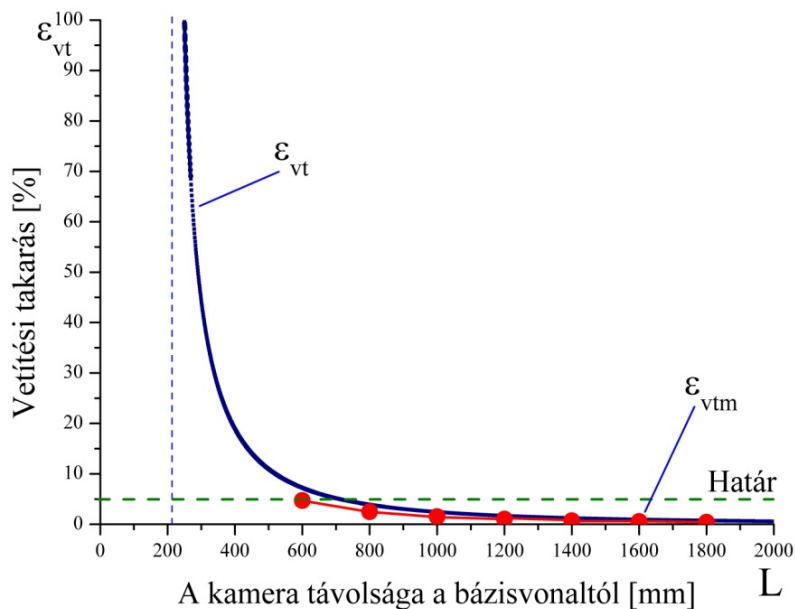
**6. ábra** Regresszióval számított sugár és szórás a kameraszög ( $\alpha$ ) függvényében

A tézishoz kapcsolódó publikáció: [5]

4. **TÉZIS:** Meghatároztam a mérőberendezés kamerájának bázisvonalától mért távolsága (1. ábra) és a vetítési takarás közötti elméleti összefüggést (T.1):

$$\varepsilon_{vt} = \frac{\Delta x}{a} * 100 = \left( \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{b^2}{L^2}}} - 1 \right) * 100 \quad (T.1)$$

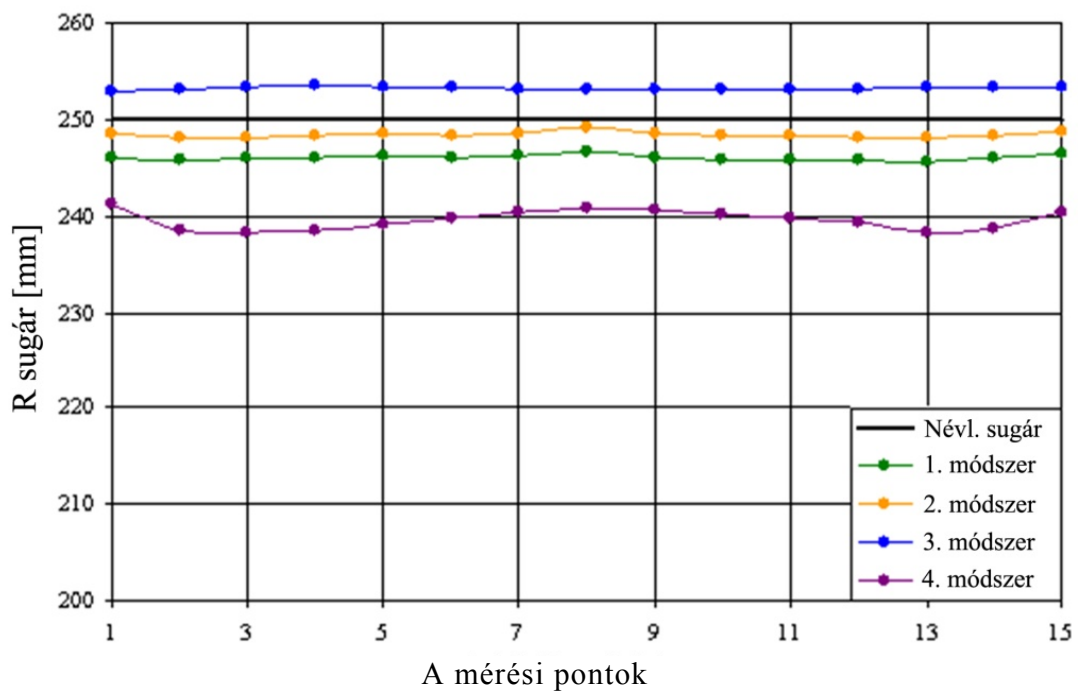
ahol  $\varepsilon_{vt}$  a vetítési takarás [%],  $\Delta x$  a tényleges és a vetített maximális vízszintes méret közötti különbség [mm],  $a$  a közelítő ellipszis hosszabb és  $b$  a rövidebb féltengelyének mérete [mm],  $L$  pedig a kamera távolsága a bázisvonalától [mm]. A mérések eredményeit összevetve az elméleti görbével megállapítottam (7. ábra), hogy az átlagos négyzetes eltérés  $\delta_t=1,12\%$  az  $L$  távolság 600 és 1800 mm közötti tartományán. Az is megállapítható, hogy a kamerát a bázisvonalától az általam kiválasztott 1000 mm-nél távolabbra helyezni nem érdemes, mivel a távolság növelésével a vetítési takarás csökkenése már jelentéktelen mértékű.



7. ábra Az elméleti és a méréssel kapott értékek kapcsolata

A téziszhez kapcsolódó publikáció: [5]

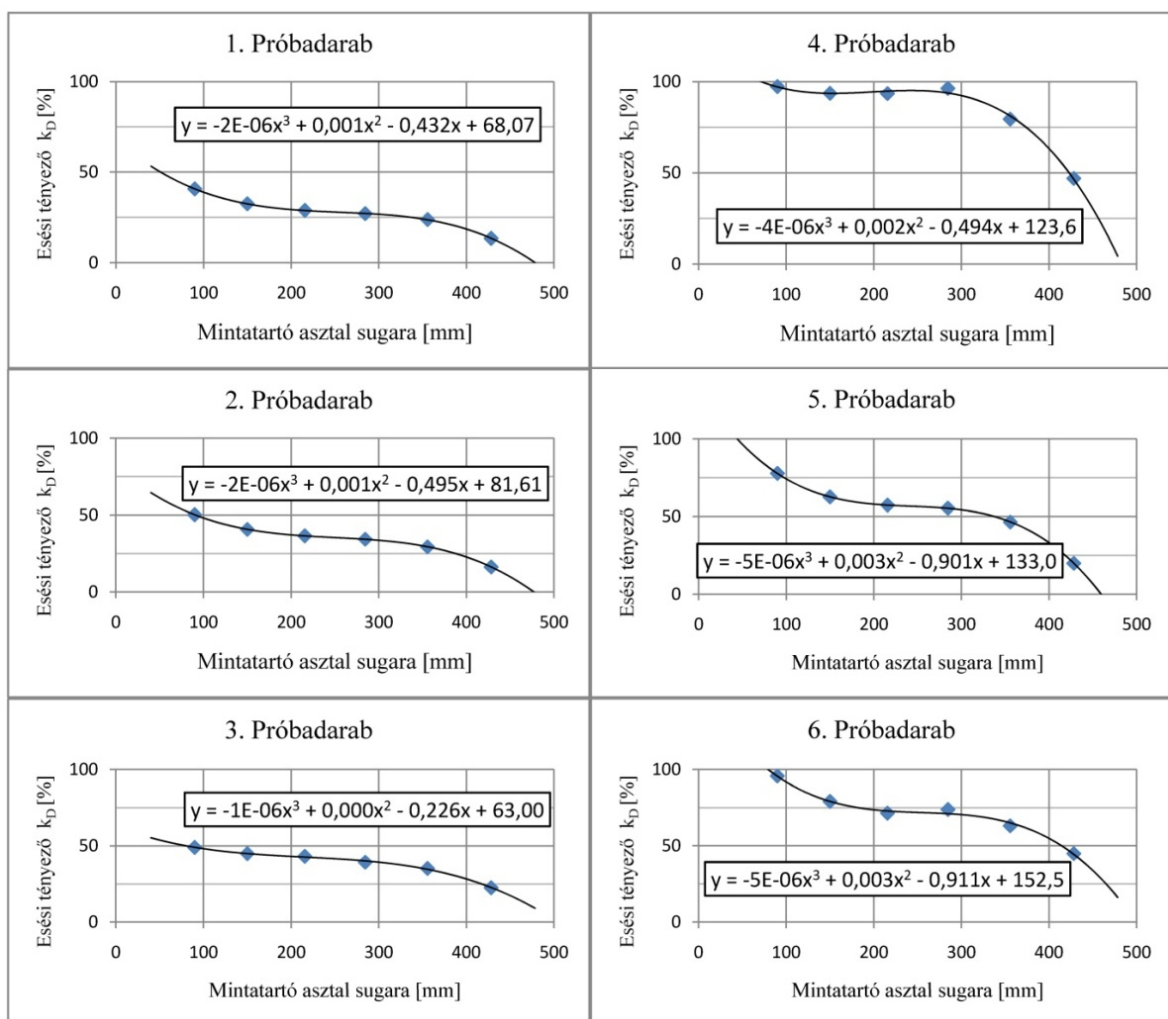
5. **TÉZIS:** Megvizsgáltam négy eltérő, a vizsgált tárgy és a szkennelés során készített fénykép közötti geometriai kapcsolat leírására szolgáló kalibrációs-transzformációs eljárást (8. ábra). Az analitikus geometriai (1. módszer) alapon működő és a beazonosításos módszereket (4. módszer) magam dolgoztam ki, a numerikus geometriai (2. módszer) alapon működő és az iterációs (3. módszer) módszereket a szakirodalomból vettem át. Kimutattam, hogy a négy eljárás közül az iterációs megoldás a legalkalmasabb a feladat megoldására, de az analitikus geometriai és a numerikus geometriai alapú eljárások is kielégítik a ruhaiipari követelményeket.



**8. ábra** A 4 módszerrel kapott értékek összehasonlítása

A tézishoz kapcsolódó publikáció: [6]

6. **TÉZIS:** A kutatási eredményeim felhasználásával létrehozott ruhaipari mérőberendezések alkalmazásával megalkottam egy új vizsgálati módszert a kelmék esési tényezője mérettől való függésének meghatározására. Bebizonyítottam, hogy az esési tényező az asztal és a kelmeminta sugarának növelésével csökken (9. ábra). Méréseim alapján megállapítottam, hogy ez a csökkenés harmadfokú függvénnyel közelíthető, valamint az 500 mm feletti asztalsugár esetén alálógás jött létre mindegyik vizsgált esetben. A közelítő függvény harmadfokú polinom karaktere a vizsgált ruhaipari (1-3 próbadarab) és műszaki textíliákra (4-6 próbadarab) egyaránt érvényesül.



9. ábra Az esési tényezők az asztalsugár függvényében

A téziszhez kapcsolódó publikáció: [9]

## 5. Összefoglalás, eredmények hasznosítása

Dolgozatom a számítógéppel segített képalkotásra alapozott ruhaipari mérés technikák fejlesztésével foglalkozik.

Munkám során kifejlesztettem és megépítettem egy felületbeolvasó mérőberendezést és azt a tesztkörnyezetet, ahol a mérőberendezés minden egységének beállításai egymástól függetlenül vizsgálhatók, és foglalkoztam az objektív beállításának, a képek tulajdonságainak, a kameraszögnek és a kameratávolságnak a vizsgálatával.

A mérések során készített képek feldolgozásához egy új képfeldolgozó módszert fejlesztettem ki, melynek segítségével a képen a lézersáv középvonala megfelelő sebességgel és pontossággal meghatározható.

A mérési eredmények kiértékeléséhez alkalmaztam négy kalibrációs transzformáció módszert, melyek közül kettőt magam dolgoztam ki. A kalibrációs eljárások összehasonlításához egy regressziós méret- és alakhűség értékelő módszert alkalmaztam, amelynek segítségével kiválasztottam a mérőberendezéssel szemben támasztott igényeknek legjobban megfelelő eljárást. A BME kutatócsoportjának tagjaként részt vettem azoknak a mérőberendezéseknek a megépítésében (Sylvie 3D Drape Tester, és a Sylvie 3D Body Scanner), amelyek segítségével a kelmék redőződési tényezője mérettől való függésének vizsgálatát végeztem el. A két készülék azonos elven működik, ezért tudtam azonos környezetet teremteni a különböző méretű asztalokkal végzett mérésekhez. A vizsgálatok összehasonlíthatósága érdekében egy speciális asztal-kelme méretsorozatot alakítottam ki. A kísérlethez ruhaipari és műszaki kelméket alkalmaztam. A redőződési tényező az asztalsugár növekedésével a méréssel meghatározott, a vizsgált kelmék esetén azonos jellegű függvény szerint csökken.

Az eredményeim felhasználásával megépült Sylvie 3D Drape Tester és Sylvie 3D Body Scanner bizonyítják leginkább munkám gyakorlati alkalmazhatóságát.

## 6. A tézispontokhoz kapcsolódó tudományos közlemények

- [1] **Szabó L.**, Halász M.: Line-laser 3D surface scanning machine planning for the apparel industry. In 'Proceeding of GÉPÉSZET 2004, 4th conference on mechanical engineering, Budapest, Hungary', 490-494 (2004).
- [2] **Szabó L.**, Halász M.: Automatic determination of body surface data. In 'Proceeding of AUTEX 2005, 5th World Textile Conference, Portorož, Slovenia', 715-720 (2005).
- [3] **Szabó L.**, Halász M.: Sylvie® 3D Body Scanner képfeldolgozó eljárásának fejlesztése. Magyar Textiltechnika, 100-103 (2006).
- [4] **Szabó L.**, Halász M.: Development of the image post processing of a 3D human body scanner. In 'Proceeding of GÉPÉSZET 2006 conference, Budapest', P 6, CD (2006).
- [5] Al-Gaadi B., **Szabó L.**, Halász M.: A Sylvie 3D Body Scanner beállítási paramétereinek vizsgálata. Magyar Textiltechnika, *Megjelenés alatt*.
- [6] Al-Gaadi B., Halász M., **Szabó L.**: Comparison of calibration processes of a surface determining measurement system. In 'Proceeding of GÉPÉSZET 2008 conference, Budapest', P 12, CD (2008).
- [7] Halász M., Tamás P., Gräff J., **Szabó L.**: Computer aided measuring of textile-mechanical parameters. Materials Science Forum, *Megjelenés alatt*.
- [8] Halász M., **Szabó L.**, Tamás P.: Determination of textile-mechanical properties using image processing and simulation. In 'Proceeding of 3rd International Technical Textile Congress, Istanbul, Turkey', 464-471 (2007).
- [9] **Szabó L.**; Halász M.: Examination of the size dependence of drape coefficient in the Sylvie 3D System. Textil, Zagreb. *Megjelenés alatt*.