

Nyugat-Magyarországi Egyetem - Faipari Mérnöki Kar
Cziráki József Faanyagtudományok- és Technológiák
Doktori Iskola

Deformálható rosttermékek súrlódási tényezőinek integrált
méréstechnikája

DOKTORI (Ph.D.) ÉRTEKEZÉS

Írta:

Oroszlány Gabriella

Témavezető:

Dr. Szücs Iván CSc.
főiskolai tanár

2012.

Deformálható rosttermékek súrlódási tényezőinek integrált mérés technikája

Értekezés doktori (Ph.D.) fokozat elnyerése érdekében
Nyugat-Magyarországi Egyetem Cziráki József Faanyagtudományok- és Technológiák
Doktori Iskolája
Rosttechnikai Tudományok Programja

Írta:
Oroszlány Gabriella

Készült a Nyugat-Magyarországi Egyetem Cziráki József Faanyagtudományok- és
Technológiák Doktori Iskola

Rosttechnikai Tudományok programja keretében

Témavezető: **Dr. Szücs Iván CSc, főiskolai tanár**
Elfogadásra javaslom (igen / nem)

.....
(aláírás)

A jelölt a doktori szigorlaton 92,6 % -ot ért el,

Sopron, 2008. október 29.

.....
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, 2012.

.....
a Bírálóbizottság elnöke

A doktori (Ph.D.) oklevél minősítése.....

.....
Az EDT elnöke

NYILATKOZAT

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

Sopron, 2012. március 25.

.....
Oroszlány Gabriella

NYUGAT-MAGYARORSZÁGI EGYETEM SOPRON**KIVONAT**

Oroszlány Gabriella

„Deformálható rosttermékek súrlódási tényezőinek integrált méréstechnikája”

c. doktori (Ph.D.) dolgozatából

A textilipar minden technológiai folyamatában fontos szerepet játszik a súrlódás. Már a fonalgyártásnak is elengedhetetlen feltétele az elemi szálak egymás közötti súrlódása hiszen, ez a súrlódó erő eredményezi a fonalak szilárdságát.

A gyakorlati tapasztalatok alapján feltételeztem, hogy a deformálható rosttermékek súrlódási jellemzőinek meghatározásánál olyan tényezőket is figyelembe kell venni, melyek a merev testek esetén elhanyagolhatók.

Feltételezésem igazolására megterveztem, és kollégáim segítségével létrehoztam egy univerzális mérőberendezést, mellyel vizsgálható, illetve meghatározható: az elemiszálak, a mono- és multifilamentek, a fonalak, a textilek és egyéb hajlékony laptermékek súrlódási tényezője, azonos feltételek mellett. Az általam megépített mérőberendezés lehetőséget biztosít a mérési tartomány (0 – 500cN között) és a vizsgálati sebesség változtatására (három fokozatban: I. 0,4 – 4; II. 4 – 14; III. 14 - 140 [mm/min]). Segítségével mindkét súrlódási tényező (nyugalmi- és mozgási súrlódási tényező) meghatározható, cserélhető súrlódó felületen.

A súrlódó felületek cserélhetősége módot ad egyedi kialakítású (alapanyag megválasztás és felületi érdesség szempontjából) súrlódó felületek alkalmazására, valamint flexibilis 2D laptermékek (pl.: textilek vagy egyéb laptermékek), hosszú elemiszálak, mono- és multifilamentek vagy fonalak használatára súrlódó felületként. Egy általam kifejlesztett megoldás lehetővé teszi a fonal típusú próbatestek vizsgálatát anélkül, hogy azok mérés közben kisodrónának.

Poliamid 6 mono- és multifilament, aramid mono- és multifilament, pamut előfonal, és többféle textil valamint papír vizsgálatával megállapítottam, hogy a deformálható rosttermékek és polimerek súrlódási tényezője több olyan tényezőtől függ, melyeket eddig nem vettek figyelembe (pl.: előterhelés, alak... stb.).

UNIVERSITY OF WEST HUNGARY SOPRON**ABSTRACT OF Ph.D. DISSERTATION**

Gabriella Oroszlány

**INTEGRATED MEASUREMENT TECHNIQUES OF FRICTION
FACTORS OF DEFORMABLE FIBRE PRODUCTS**

Friction plays a significant role in every process of textile industry. Friction between individual fibres is essential for the yarn manufacturing; friction force causes tensile strength of yarn.

On the basis of my practical experience my hypothesis was, that during the determination of friction features of deformable fibre products some factors must be considered, which can be neglected in case of inflexible bodies.

I designed and built a measurement device with the help of my colleagues to prove my hypothesis. The device is capable of examine and determine the friction factor of elemental fibres, mono and multi filaments, threads, textiles and other deformable sheet products under the same conditions. I made it possible to adjust the range of the measurand (between 0 - 500 cN) and the specimen speed (at three steps: I. 0,4 – 4; II. 4 – 14; III. 14 - 140 [mm/min]) on the instrument, to be able to determine both friction factors (static and kinetic).

The option to change the cylinders of the device enables the investigation of custom surfaces and flexible 2D sheet products (e.g. textiles and papers), individual fibres, mono and multi filaments. The design of the device also prevents the thread from drifting out.

Results of my investigations of polyamide 6 mono and multi filament aramid mono and multi filament various textiles and papers proved, that friction factors of flexible yarn products and polymers depend on factors (preload, shape etc.), which were previously considered neglectable.

TARTALOMJEGYZÉK

AZ ÉRTEKEZÉSBEN HASZNÁLT JELÖLÉSEK	8
1. BEVEZETÉS	11
DOKTORI ÉRTEKEZÉS TÉMÁJA ÉS CÉLJA	12
2. SZAKIRODALOM ÁTTEKINTÉSE ÉS KRITIKAI ELEMZÉSE	14
2.1. A TRIBOLÓGIA TUDOMÁNYTERÜLETE ÉS ALAPJAI	14
2.2. A SÚRLÓDÁS ELMÉLETE	17
2.3. TEXTILSZERKEZETEK SÚRLÓDÁSI JELLEMZŐINEK MEGHATÁROZÁSI MÓDSZEREI	25
2.4. A COULOMB ELVET ALKALMAZÓ MÉRÉSI MÓDSZEREK – SÍK FELÜLETEN	28
2.4.1. Guthrie és Oliver féle készülék – az elemiszál súrlódásának méréséhez	28
2.4.2. Állítható lejtésszögű mérőberendezés - fonalvizsgálathoz	29
2.4.3. Állítható lejtésszögű mérőberendezés – laptermékek vizsgálatához	30
2.4.4. Vízszintes síklapú mérő berendezés – laptermék vizsgálatához	31
2.4.5. Bowden és Leben féle készülék - textil és szálköteg vizsgálatához	33
2.4.6. Dreby-féle készülék - textilvizsgálathoz	33
2.5. EULER ELVET ALKALMAZÓ MÉRÉSI MÓDSZEREK – HENGERES FELÜLETEN	34
2.5.1. Álló fonalat és forgó súrlódó testet alkalmazó mérés állandó körülfogási szög és állandó előterhelés mellett	35
2.5.2. Álló fonalat és forgó súrlódó testet alkalmazó mérés, állandó körülfogási szög és állandó eredő erő mellett	37
2.5.3. Álló fonalat és lengő súrlódó testet alkalmazó mérés állandó körülfogási szög és állandó eredő erő mellett	38
2.5.4. Futó fonalat és álló súrlódó testet alkalmazó mérés, állandó körülfogási szög és állandó húzóerő mellett	39
2.5.5. „Fonal-fonal” súrlódást is mérő, négygörgős mérési eljárás futó fonalaknál	40
2.5.6. Nyomatékkiegyenlítéses és mérőrugós súrlódási erő meghatározási módszerek	42
2.5.7. Buckle–Pollitt-féle fonalsúrlódásmérő készülék két paraméter állandó értéken tartásával	44
2.6. VIZSGÁLATI ELVEK ÉS GYAKORLATI ELJÁRÁSOK ÖSSZEHASONLÍTÁSA	45
2.7. A SZAKIRODALOM KRITIKAI ÖSSZEFOGLALÁSA	49
3. AZ ÁLTALÁNOSAN ALKALMAZHATÓ MÉRÉSI ÖSSZEÁLLÍTÁS KIFEJLESZTÉSE	53
3.1. KÖTÉLSÚRLÓDÁS	53
3.2. TEXTILSZERKEZETEK FELÉPÍTÉSE ÉS FŐBB MECHANIKAI TULAJDONSÁGAI	55
3.3. A TEXTILTERMÉKEKRE SÚRLÓDÁS KÖZBEN HATÓ ERŐK	57
3.3.1. Sugár irányú erők	57
3.3.2. Tangenciális irányú erők	64
3.3.3. Tömegelő és centrifugális erő	66
3.3.4. Textiltermékekre ható erők összefoglalása súrlódási tényező mérésekor	66
4. UNIVERZÁLIS SÚRLÓDÁSI TÉNYEZŐ VIZSGÁLÓ BERENDEZÉS KIFEJLESZTÉSE. 71	71
4.1. KÉTHENGERES VIZSGÁLÓBERENDEZÉS	71
4.2. AZ UNIVERZÁLIS SÚRLÓDÁSI TÉNYEZŐ VIZSGÁLÓ BERENDEZÉS MÉRÉSTECHNIKAI ÚJDONSÁGAI ÉS ELŐNYEI	75
4.3. A KIALAKÍTOTT UNIVERZÁLIS MÉRŐMŰSZER FELHASZNÁLÁSI TERÜLETE	80
5. VIZSGÁLATI ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK	81
5.1. VIZSGÁLATI ANYAGOK KIVÁLASZTÁSA	82

5.2. PRÓBATESTEK ELŐKÉSZÍTÉSE, RÖGZÍTÉSE, MÉRÉSE	83
5.3. A MÉRÉSI EREDMÉNYEK DIGITÁLIS RÖGZÍTÉSE ÉS FELDOLGOZÁSA.....	87
5.4. AZ EREDMÉNYEK FELDOLGOZÁSA.....	88
6. A VIZSGÁLATOK EREDMÉNYEI ÉS ÉRTÉKELÉSÜK.....	91
6.1. MONOFILAMENT VIZSGÁLAT.....	94
6.1.1. Az előterhelés változtatása.....	94
6.1.2. Az azonos mintán többször ismételt vizsgálat.....	96
6.1.3. Mérési eredmények elemzése és következtetések	98
6.2. MULTIFILAMENT VIZSGÁLAT.....	99
6.2.1. Az előterhelés változtatása.....	99
6.2.2. Az azonos mintán többször ismételt vizsgálat.....	102
6.2.3. Kötegszám változtatása.....	104
6.2.4. Sodratszám növelése	106
6.2.5. Mérési eredmények elemzése és következtetések – multifilament vizsgálat	107
7. VÉGKÖVETKEZTETÉSEK, TOVÁBBFEJLESZTÉSI LEHETŐSÉGEK.....	108
8. A KUTATÓMUNKA TÉZISEI	110
IRODALOMJEGYZÉK.....	114
ÁBRAJEGYZÉK.....	120
TÁBLÁZATJEGYZÉK.....	123
MELLÉKLETEK JEGYZÉKE	124

AZ ÉRTEKEZÉSBEN HASZNÁLT JELÖLÉSEK

Jelölés	Megnevezés	Mértékegység
A_0	– látszólagos érintkezési felület	[mm ²]
A_b	– barázda keresztmetszet	[mm ²]
A_i	– tényleges érintkezési felület	[mm ²]
a_i	– „apró” érintkezési felületek	[mm ²]
a	– próbatest keresztmetszetének szélessége	[m]
A	– tényleges érintkezési felület	[mm ²]
AD	– a jelátalakító adatai	[-]
b	– próbatest keresztmetszetének magassága	[m]
D	– környező közeg tulajdonságai	
d	– próbatest keresztmetszetének átmérője	[m]
E_{av}	– alakváltozás energia	[N/m]
E_f	– felületi energia	[N/m]
E	– rugalmassági modulus	[Pa]
$F_{(\varphi+\Delta\varphi)}, F_{(\varphi)}$	– a kötélem egyik és másik végén ébredő erő	[N]
F_0	– előterhelés nagysága	[N]
F_1, F_2	– fonalágban ébredő húzóerő	[N]
F_c	– centrifugális erő	[N]
F_K	– kalibrációs erő	[cN]
F_m	– tömegerő	[N]
F_n	– a felületekre merőleges erő, normál erő	[N]
F_{ny}	– adhéziós nyírási ellenállás	[N]
F_r	– sugár irányú erő	[N]
F_{rh}	– ráhajlításhoz szükséges erő	[N]
F_s	– súrlódási erő	[N]
F_{sa}	– adhéziós kapcsolatok ellenállása	[N]
F_{sd}	– deformációs ellenállás	[N]
F_{smax}	– előterhelés maximális értéke	[N]
F_t	– tangenciális erő	[N]
F_v	– vízszintes erő	[N]
G_n	– súlyerő lejtőre merőleges irányú összetevője	[N]

G_t	– súlyerő lejtő irányú összetevője	[N]
G	– súlyerő	[N]
I	– másodrendű nyomaték	[m ⁴]
k	– kötegszám	[-]
l_0	– távolság	[m]
l_1	– a vizsgálati minta mérőfejbe rögzítéséhez szükséges hossz	[mm]
l_2	– a mérőfej befogója és az „1” henger vízszintes átmérője közötti távolság	[mm]
l_3	– az „1”-es számú henger 180°-os körülfogási szöghöz tartozó kerülete – a „2”-es számú henger 180°-os körülfogási szöghöz tartozó kerülete	[mm]
l_4	– az „1”-es és a „2”-es számú henger vízszintes átmérőjének merőleges távolsága	[mm]
l_5	– a „2”-es számú henger vízszintes átmérője és az előterhelés felfüggesztése közötti távolság	[mm]
L_1	– a fonalirányú T_1 erő O-tengelytől mért merőleges távolság	[mm]
L_2	– a fonalirányú T_2 erő O-tengelytől mért merőleges távolság	[mm]
l	– próbatest hossza	[mm]
M	– nyomaték	[Nm]
$n_1; n_2$	– az adathalmazok elemeinek száma	
n	– ismétlés száma	[-]
P_1	– lefelé haladó fonalágban ébredő húzóerő	[N]
P_2	– a felfelé mozgó fonalágban ébredő húzóerő	[N]
Q	– területi sűrűség	[g/m ²]
R_a	– átlagos érdesség: a tényleges profil és a középvonal közötti távolságok abszolút értékeinek számtani átlaga	[μm]
R_b	– anyag ellenállás	[N/mm ²]
R_{max}	– legnagyobb felületi érdesség: a mérési hosszban belül a legmagasabb és a legalacsonyabb pont távolsága	[μm]
R_{nyi}	– adhéziós nyírószilárdság	[N/mm ²]
R_z	– egyenetlenségmagasság: a mérés teljes hosszában lévő öt legmagasabb profilhegy és öt legalacsonyabb profilvölgy különbségének átlaga	[μm]
r	– fonal sugara	[m]

R	– súrlódó felület sugara	[m]
s_0	– sodratszám	[1/m]
$S_1; S_2$	– az adathalmazok korrigált szórása	
s_{max}	– maximális sodratszám	[1/m]
T	– hőmérséklet	[K]
t	– próbatest	
Tt	– fonal lineáris sűrűsége	[g/1000 m]
V	– anyagrész térfogata	[m ³]
v	– mozgási sebesség	[m/s]
$\bar{x}_1; \bar{x}_2$	– a két adathalmaz középértékei	
Y	– a rendszer más fontos jellemzői	
α	– lejtő hajlásszöge, körülfogási szög	[rad]
β	– szögelfordulás	[rad]
γ	– görbületi sugár	[m]
ε	– nyúlás	[%]
μ	– súrlódási tényező, arányossági együttható	[-]
μ_{ny}	– nyugalmi súrlódási tényező	[-]
μ_m	– mozgási súrlódási tényező	[-]
ρ	– anyag sűrűség	[kg/m ³]
τ	– nyírási ellenállás	[N/mm ²]

1. BEVEZETÉS

A technika fejlődésének köszönhetően a körülöttünk zajló jelenségeket egyre pontosabban és sokoldalúbban tudjuk vizsgálni. Ennek következtében mind több szakterületen érnek el innovatív sikereket és születnek új tudományos eredmények.

A textilipar minden technológiai folyamatában fontos szerepet játszik a súrlódás. Már a fonalgyártás elengedhetetlen feltétele az elemi szálak egymás közötti súrlódása, s ez a súrlódóerő eredményezi a fonalak szilárdságát.

A súrlódás nemcsak a fonalgyártásban és a kelmegyártásban játszik fontos szerepet, hanem döntő befolyással bír a fonal és a szövet sok fontos fizikai és használati tulajdonságára is (pl.: a textíliák fogása, amely szubjektív jellemző, szintén az alkotóelemek és a késztermék súrlódási tulajdonságaitól függ).

A hajlékony textilanyagok súrlódási tulajdonságainak vizsgálata nem egyszerű feladat a különleges szerkezetük miatt. A súrlódás vizsgálatával régóta foglalkoznak a kutatók, a mérés technika és az informatika fejlődése mindig újabb és újabb lehetőségeket kínál a mérési eszközök és módszerek továbbfejlesztéséhez.

A textíliák mindennapjaink nélkülözhetetlen részei, nemcsak az öltözködés, hanem a műszaki élet egyre több területén is. A textíliák használatához és felhasználási területük teljes spektrumának feltérképezéséhez elengedhetetlenül szükséges a súrlódási tulajdonságaik, ezen belül pedig a súrlódási tényezők ismerete. A súrlódási tényező a különböző textilipari alapanyagok, felületek, használati körülmények és hőmérsékletek során más és más. Ezért a textíliák súrlódási jellemzőinek vizsgálata és a kapott eredmények felhasználása nagy jelentőségű a műszaki textíliák kialakításakor.

A textiliparban alkalmazott berendezések üzemeltetése során, és a textilipari termékek előállításakor, számos műszaki probléma jelentkezik. A meghibásodások jelentős részét az egymással érintkező felületek súrlódása és az ennek következtében fellépő kopás okozza. Az egymással kapcsolódó és elmozduló felületek tribológiai viselkedése különösen a deformálható anyagok feldolgozása során rendkívül összetett folyamatok eredménye, melyet számos tényező befolyásolhat.

Ahhoz, hogy az alkalmazott rendszerek előnyös tribológiai tulajdonságokkal rendelkezzenek, megfelelő anyag kiválasztást, méretezést és működési feltételeket kell biztosítani.

A súrlódási tulajdonságok nem csak a végtermék jellemzőit határozzák meg, hanem az ipari műveletek eredményességét, a technológiai paraméterek helyes beállítását és azok kölcsönhatását is. A súrlódási tulajdonságok alapvetően befolyásolják a textilszerkezetek létrejöttét.

A súrlódó erő megfelelő értéke alapvető fontosságú a fonalak és a szövetek előállításánál. A súrlódás nemcsak a feldolgozási folyamatok szempontjából játszik szerepet, hanem döntő hatással van a fonalak és a szövetek sok fontos fizikai és használati tulajdonságára, meghatározza a feldolgozhatóságot, valamint az alkalmazott technológiák kiválasztását. Ismeretük birtokában, előre jelezhetők lehetnek a műszaki jellemzők és követhető lesz az alakulásuk az egyes feldolgozási stádiumokban.

DOKTORI ÉRTEKEZÉS TÉMÁJA ÉS CÉLJA

Kutatási munkám célja, a már korábban kidolgozott textilipari súrlódási vizsgálatok rendszerezése, használhatóságának elemzése és annak vizsgálata, hogy az úgynevezett „hengeres”, Euler törvényen alapuló vizsgálati eljárás továbbfejleszthető-e olyan módszerré, mely lehetővé teszi különböző típusú és alapanyagú textilszerkezetek vizsgálatát cserélhető súrlódó felületen azonos beállítási feltételek és paraméterek esetén.

Kutatásom további célja, annak feltárása és megállapítása, hogy a textilipari deformálható alapanyagok félkész és késztermékek súrlódási tényezői között milyen kapcsolat van.

A kutatási célok megvalósítása érdekében a következő konkrét kutatási feladatokat határoztam meg:

1. A gyakorlatban alkalmazott textilipari súrlódási vizsgálatok rendszerezése és használhatóságának elemzése, különös tekintettel a vizsgálható textilszerkezet jellegére és a vizsgálathoz használt súrlódó felület változtathatóságára.
2. Annak vizsgálata, hogy a „hengeres”, Euler törvényen alapuló módszer továbbfejleszthető-e olyan univerzális vizsgálati eljárássá, amellyel valamennyi típusú textilszerkezet vizsgálható azonos beállítások mellett, cserélhető súrlódó felületen, egyazon berendezésen, „konstans” paraméterek mellett.

3. A „hengeres” Euler módszer alkalmazhatóságának vizsgálata különböző típusú textilszerkezetek (úgy, mint: elemi szál, filamentköteg, fonal és textil) esetében.
4. Annak feltárása, hogy van-e szignifikáns különbség a textilszerkezetek nyugalmi és mozgási súrlódási tényező között, és bizonyos vizsgálati paraméterek megváltoztatása milyen hatással van ezen értékekre.
5. Annak vizsgálata, hogy az előterhelés változtatása milyen hatással van a súrlódási tényezők értékeire.
6. Annak elemzése, hogy a sodratszám változtatása milyen hatással van a különböző fonalak súrlódási tulajdonságaira, s kimutatható-e valamilyen kapcsolat a sodratszám és a súrlódási tényező között?
7. Annak tanulmányozása, hogy egyazon vizsgálati minta ismételt, többszöri mérése milyen hatással van a súrlódási jellemzőkre.

2. SZAKIRODALOM ÁTTEKINTÉSE ÉS KRITIKAI ELEMZÉSE

2.1. A TRIBOLÓGIA TUDOMÁNYTERÜLETE ÉS ALAPJAI

A tribológia szó a görög „tribos” jelentése: súrlódás, dörzsölés és a „logos” jelentése: tudomány szavakból származik. Tehát a tribológia a súrlódás, kopás, kenés tudománya az egymáson relatív mozgást végző felületek között (*Pickett, 2006*).

Tribológiai jelenségekkel az élet szinte minden területén találkozunk, pl.: az ipari berendezések kopása, kenése esetében (pl.: sikló- és gördülőcsapágyak, súrlódó tengelykapcsolók, fékek, dörzskerekek, fogaskerekek, lánchajtások, munkahengerek, dugattyúk... stb.), de tribológiai jelenséget tapasztalhatunk meg az emberi járás, az ízületek súrlódása vagy a csontok kopásakor is.

A tribológia eredete elválaszthatatlan az ember által készített eszközök, gépek történeti fejlődésétől. A régészeti kutatások által feltárt, ember által készített legkorábbi súrlódó elempárnak tekinthető ajtónyitó pántok i.e. 7000-ből, Asszíriából származnak. Ezekből a fából és kőből készült csukló elemektől hosszú út vezetett napjaink korszerű súrlódó berendezéseihez, amelyek az űrkutatástól kezdve a nanotechnológiáig, az iparnak és a mindennapi életnek egyaránt velejárói (*Kozma, 2001*).

A súrlódási folyamatok ilyen sokrétősége már a régi idők tudósait is a kutatásra és vizsgálatokra ösztönözte.

Közöttük legelsőként Leonardo da Vinci említhető meg, akit a mai modern tribológia atyjaként is emlegetnek. Ő már 150 évvel Amontons a XVI. században élt francia fizikus és akadémikus előtt leírta kéziratában ugyanazokat, mint amiket később Amontons súrlódási törvényekként megfogalmazott. Amontons is kutatta a súrlódás témakörét és kísérleteivel igazolta, hogy a súrlódás a nyomástól is függ. Bebizonyította, hogy azonos érdességű felületek és egyenlő nyomóerő esetén a súrlódás független a felület nagyságától.

Az első matematikai szempontból elvégzett elemzés Euler nevéhez fűződik, aki háromszögekkel közelítette a felület egyenetlenségét (*Keresztes, 2009*). Euler vonta le azt a következtetést, hogy a kinetikai súrlódási együtthatónak kisebbnek kell lennie a tapadási súrlódási együtthatónál. Valójában Euler volt az, aki először használta a mind a mai napig elfogadott szimbólumot, a „ μ ”-t, a súrlódási tényező jelölésére.

Coulomb átfogó kísérleti tanulmányt végzett 1785-ben és megállapította, hogy a súrlódás kapcsolatban áll a normál nyomással, a felület nagyságával, az anyagjellemzőkkel, a felületi bevonattal, a környezeti feltételekkel – úgymint nedvesség, hőmérséklet és légnyomás –, valamint a súrlódási erő időfüggésével (*Keresztes, 2009*).

A folyamatos fejlődés eredményeképpen mind újabb anyagok és konstrukciók jelentek meg a tribológiai alkalmazásokban, és felmerült a tudományos igényű magyarázata és vizsgálata is a súrlódási és kopási folyamatoknak (*Kozma, 2001*).

A tribológia fejlődésével párhuzamosan, a kapott eredményekre támaszkodva, természetes igényként lépet fel, hogy a szerkezetek megbízhatóságát és élettartamát növeljék, és ezeket nagy részben a súrlódás és kopás csökkentésén keresztül érik el.

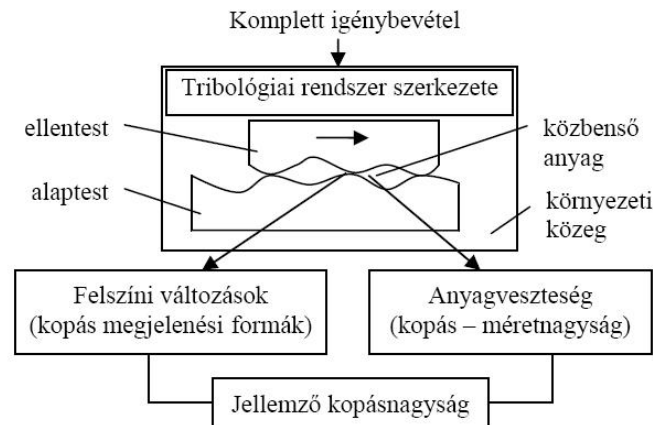
Az egymással érintkező gépelemek általában erőt adnak át egymásnak. Ha az egymással érintkező elemek az erő átadásakor egymáshoz képest nyugalomban vannak, akkor létrejön egy, az érintkező felületekkel párhuzamos összetevő, mely akadályozza a két test elmozdulását, pontosabban súrlódás jelentkezik (ez a nyugalmi súrlódás).

A mozgó súrlódás koptatja a felületeket, és az igénybevétel hatással van a szerkezet működőképességére és korlátozhatja az élettartamot, illetve a teherbírást. Ez a súrlódóerő energiavesztés, melegedést okoz és közvetve csökkenti az átvihető teljesítményt.

A kialakuló súrlódás és a kopás módosítható, ha a súrlódó felületek közé kenőanyagot juttatnak megfelelő eszközök, ún. kenőberendezések segítségével, időnként vagy folyamatosan.

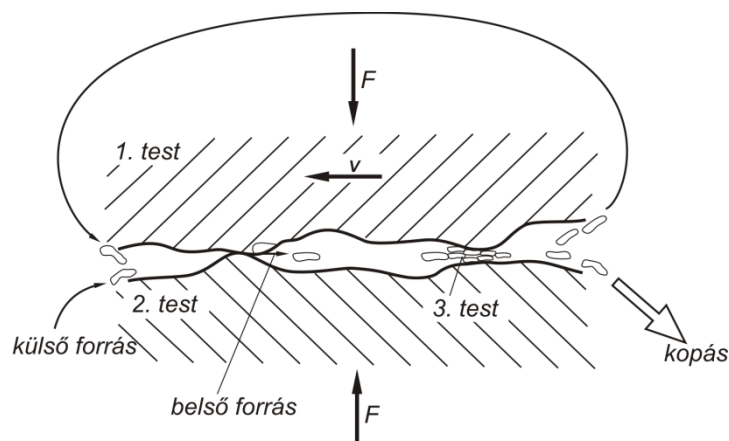
A kenőanyagok növelik a szerkezet teherbírását, élettartamát és működésének megbízhatóságát. A súrlódás és az általa bekövetkező kopás bonyolult folyamat melyre, hatással van például: az egymással érintkező felületek minősége, anyaga, fizikai és kémiai tulajdonságai, kenése, továbbá a kapcsolódó testek mozgásviszonyai, terhelése, sebessége és hőleadása, valamint a környezet tulajdonságai.

A tribológiai rendszer működésének meghatározása rendkívül bonyolult, mert sok a rendszerre ható tényező, ahogy ez az 1. ábrán is látható, illetve működés közben megváltozik a rendszer szerkezete, a súrlódás és a kopás miatt (*Valasek, 1996*).



1. ábra Tribológiai rendszer szerkezete (Valasek, 1996)

A száraz súrlódásnak a 2. ábrán bemutatott tribológiai triplet modelljét *Godet (1980)* harmadik test elméletére támaszkodva *Berthier (2001)* dolgozta ki.



2. ábra A száraz súrlódás modellje (Berthier, 2001)

A felületközeli rétegek egy idő után degradálódni kezdenek, és a felületükről részecskék válnak le. Az érintkező felületek között a súrlódás és az ennek következtében kialakuló kopás miatt kialakul egy úgynevezett „3. test”. Ennek anyaga származhat külső, illetve belső forrásból. A már korábban levált részecskék, szennyezőanyagok ill. a súrlódási folyamatot módosító részecskék jelentik a külső forrást, míg az érintkező anyagfelületekről leváló részecskék képezik a belső forrás anyagát.

A súrlódás során a leváló részecskék a folyamatos mozgás következtében elhagyhatják a súrlódó környezetet, majd ismét visszakerülhetnek a felületek közé. Ilyen esetben ezek a részecskék már külső forrásnak számítanak (*Benabdallah, 2006*).

Súrlódás során a levált részecskék egy része visszaépülhet, ilyenkor a kopásnyom részben visszatöltődik, vagy kopadék formájában elhagya a súrlódási rendszert.

Száraz súrlódásnál hamar kialakul egy állandósult állapot („steady state” állapot), ami része a felületek alkalmazkodási mechanizmusának. Berthier kutatásai alapján az állandósult állapotra jellemző, hogy:

- a súrlódási tényezőt a harmadik-test reológiája (képződési és viselkedési mechanizmusa), és
- a kopás mechanizmusát a harmadik-test folyama (third-body flow) határozzák meg.

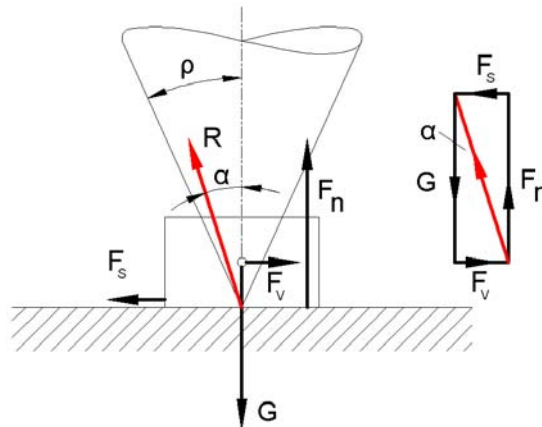
Godet (*Godet, 1984*) az első testek azon felületeit, ahonnan a részecskék leválnak, „tápláló” zónáknak, míg Berthier (*Berthier, 2001*) a harmadik test belső forrásainak nevezi. Fontos ezen területek működési mechanizmusának ismerete, mert feszültségi, hőtani és más egyéb szempontból közreműködnek a harmadik test kialakításában. A részecskeleválás mechanizmusa sokféle lehet. Felismerték (*Linck, 2003*), hogy a letöredezett részecskék méretük és alakjuk szempontjából valamint szerkezetük és ezzel összefüggésben mechanikai jellemzőik változáson mehetnek keresztül.

2.2. A SÚRLÓDÁS ELMÉLETE

A súrlódás hasznos és káros is lehet. Ha nem lenne súrlódás, akkor nem lehetne tárgyakat letenni sima felületekre, hacsak nem ideálisan vízszintesek, anélkül, hogy el ne mozdulnának. A 3. ábrán egy vízszintes síkra helyezett testre ható erőrendszer látható.

A dörzshajtásnál például két összeszorított henger vagy kúp között ébredő súrlódás biztosítja, hogy forgó mozgást és forgatónyomatékot lehessen átvinni egyik tengelyről a másikra, vagyis ez esetben a súrlódás nélkülözhetetlen. A lapos-szíjhajtás és ékszíjhajtás szintén a száraz súrlódást használja ki, de a gépkocsik oldható tengelykapcsolója (a „kuplung”) és a fékek működése is a súrlódáson alapszik

A száraz- és folyadéksúrlódás az egyik oka annak, hogy gépeink rossz hatásfokkal dolgoznak, ez esetben káros a súrlódás. Ha nem lenne súrlódás, örökmozgót is lehetne készíteni, amely energiát ugyan nem termelne, de egyszer megindítva örökké mozogna.



3. ábra Vízszintes síkra helyezett testre ható erők (Hudson, 2005)
 G – súlyerő, F_v – vízszintes erő, F_s – súrlódási erő, F_n – felületekre merőleges erő, normál erő

A súrlódás elmozdulást vagy mozgást gátló hatás, amely két test közös érintkezési felületén, és részben az anyag belsejében alakul ki. Különböző súrlódási formák különíthetők el:

- a megjelenés helye szerint külső- és belső súrlódást,
- a mozgásforma szerint csúszó- és gördülő súrlódást,
- a mozgásállapot szerint nyugvó- és mozgó súrlódást,
- a kenésállapot szerint száraz-, határ-, vegyes- és folyadék súrlódást,
- mágneses tulajdonság szerint,
- molekuláris tulajdonság szerint.

Belső- és külső súrlódás

A belső súrlódás áramló közegben vagy maradó alakváltozást szenvedő szilárd testekben alakul ki és hőfejlődéssel, illetve hőmérséklet emelkedéssel jár. A műszaki gyakorlatban a külső súrlódás jelentősége nagyobb. A szilárd testek között, az érintkező felületükön jön létre. A külső súrlódás vagy megakadályozza a testek, felületek elmozdulását egymáson – ez a nyugalmi súrlódás – vagy elmozdulás közben ellenállást fejt ki, ez a mozgó súrlódás.

A mozgó súrlódás energiavesztéssel, hőfejlődéssel és gyakran anyagvesztéssel, vagyis kopással jár. A kopás mindig a súrlódás miatt, a súrlódás közben keletkezik, de a kopás nagysága és a súrlódás között nincs szigorú összefüggés, ezért nem szabad az egyik nagyságából a másikra következtetni.

A külső súrlódást rendkívüli mértékben befolyásolja az egymással találkozó elemek érintkezésének jellege, az érintkezési felületeken kialakult felszíni rétegek, bevonatok

felépítése, geometriai, fizikai szerkezete és kémiai tulajdonságai (Kalácska et al., 1997; Kozma, 2001). Leonardo da Vinci nevéhez fűződnek az első súrlódással kapcsolatos törvények. Leonardo felismerte, hogy a terhelőerő és a súrlódási erő között összefüggés van (Bhushan – Gupta, 1991). Coulomb adta meg a külső súrlódási ellenállás nagyságára vonatkozó első megfogalmazást, ez a Coulomb-féle súrlódási törvény (Dowson, 1998).

$$F_s = \mu \cdot F_n \quad (2.1)$$

ahol:

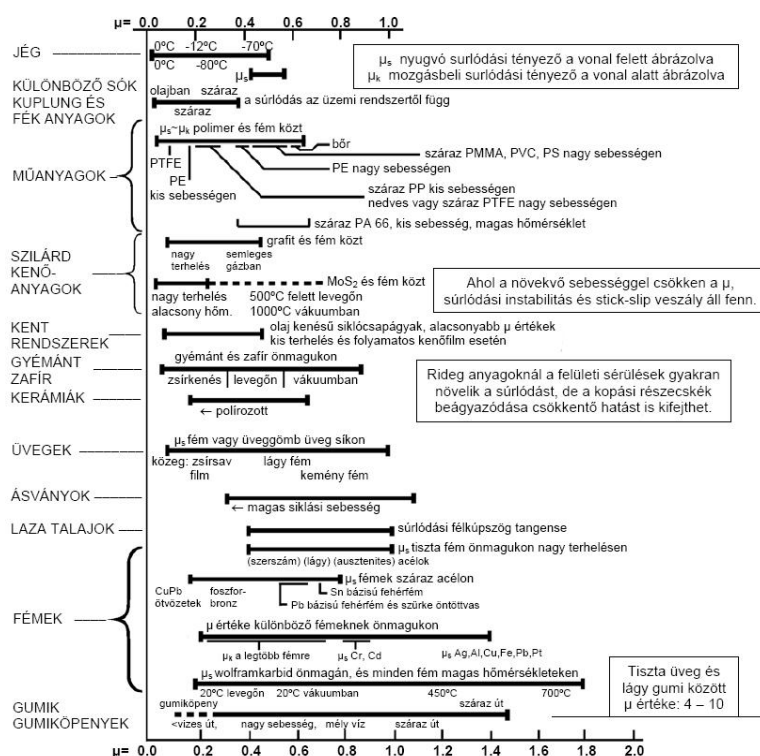
F_s – súrlódási erő [N]

μ – súrlódási tényező, arányossági együttható [-]

F_n – az egymáson elcsúszó felületekre merőleges erő, normál erő [N]

A Coulomb összefüggéssel meghatározott súrlódási erő (F_s) arányos az egymáson elcsúszó felületekre merőleges erőhatással (F_n), és az arányossági együtthatóval, azaz a súrlódási tényezővel (μ). Az elmúlt évszázadokban és még napjainkban is elfogadják ezt a súrlódási törvényt.

A szakirodalomban sok összefoglaló táblázat létezik a jellegzetes anyagkapcsolatok súrlódási tényezőire, bár a súrlódó rendszer jellemzőit ritkán közlik. A 4. ábra egy olyan összefoglalást mutat, ahol a nyugvó- és mozgásbeli súrlódást is megkülönböztetik.



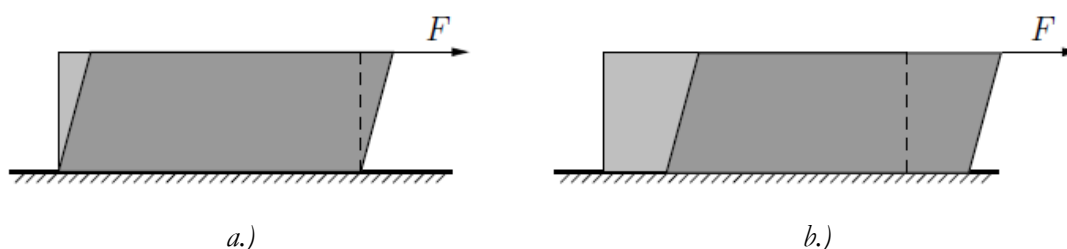
4. ábra Súrlódási tényezők nagysága (Bushan, 2000)

A súrlódás okait sokan vizsgálták és magyarázták. Az egymással érintkező felületek egyenlőtlenségi csúcsainak összekapcsolódásából adódó ellenállásával foglalkozott Leonardo da Vinci, Amontons és Coulomb. Desaguliers, Tomlinson és Gyerjagin már az érintkező felületek közötti vonzóerőt is vizsgálták. A XX. század kutatói határozták meg, hogy a súrlódás létrejöttében a felületi érdességen kívül fontos szerepet játszik a felületek közötti vonzó erő, a felületek szilárdsága és azok alakváltozása (Janik, 2001).

Számtalan elmélet született a súrlódási jelenségek leírására illetve magyarázatára, de még napjainkban sem teljesen tisztázott a pontos működése (Baksa, 2005). Ennek valószínűleg az az oka, hogy a súrlódási folyamatokat atomi szintű tényezők is befolyásolhatják és sok esetben az érintkező felületek felépítése is nagyon bonyolult és összetett.

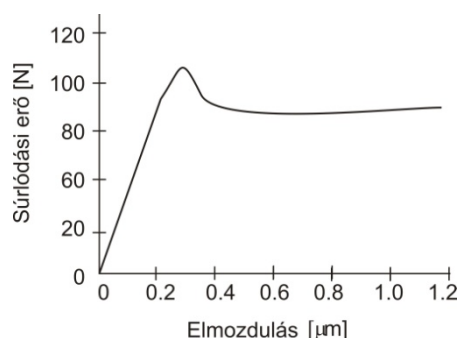
Nyugalmi és mozgási súrlódás

Többféle magyarázata van a nyugalmi vagy más néven tapadó súrlódásnak. Nyugalmi súrlódás esetén az érintkező felületekkel párhuzamos erőhatás miatt a két test tangenciális irányban már deformálódik, de az érintkező felületek még nem mozdulnak el. (5./a ábra).



5. ábra Érintkező felületek erőhatásra bekövetkező tangenciális elmozdulás (Baksa, 2005)

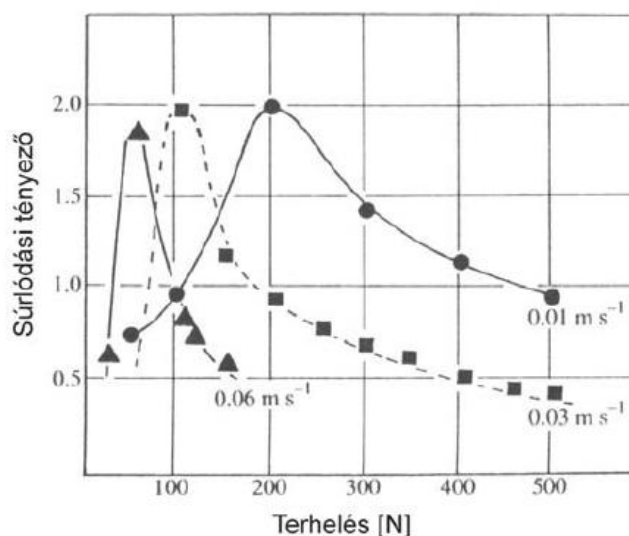
A tangenciális erőhatás következtében a felületi érdességi csúcsokon a nyomás átrendeződik, és a felszín deformálódik. A további erőhatás következtében a súrlódó erő tovább növekszik, és végül eléri maximumát, ha a testre ható erőhatás túllépi a súrlódóerő maximumát, akkor megindul a csúszás (5./b ábra). A csúszás megindulásakor a súrlódó erő gyorsan lecsökken és az eddigi nyugalmi súrlódás mozgási súrlódássá alakul (6. ábra).



6. ábra A súrlódási erő hirtelen csökkenése acél csúszófelületek estén (Janik, 2001)

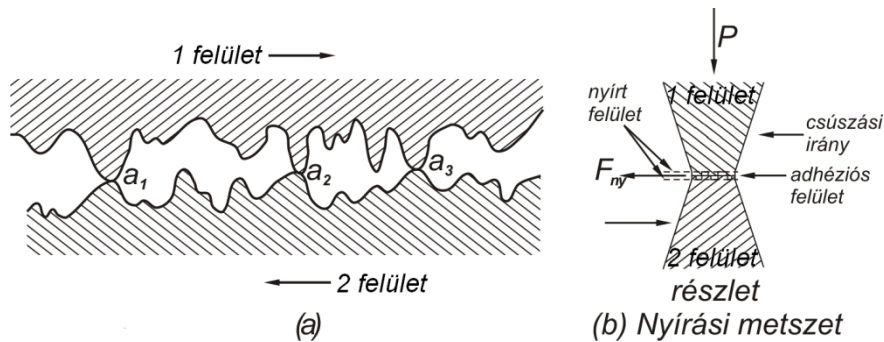
Ennek a hirtelen bekövetkező súrlódási erő csökkenésnek az az oka, hogy az egyre nagyobb erő hatására bekövetkező elmozdulás során egy „anyagtorlasz” alakul ki az összenyomott érdességi csúcsok előtt. Ez az anyagtorlasz megemeli a súrlódó testet, csökkentve a benyomódás mértékét és az érintkezési felület nagyságát. (Janik, 2001)

Habib (Habib, 2006) szerint fontos tényező az érintkezési idő nagysága. Ferrero és Barrau (Ferrero és Barrau, 1997) megállapította, hogy az érintkezési idő növelése a súrlódási tényező értékét növeli. Benabdallah és Yelle (Benabdallah és Yelle, 1991) vizsgálták a felületi terhelés és érdesség hatását a tapadási súrlódási tényezőre. Hőre lágyuló polimereket vizsgáltak (UHMW-PE, PA66, POM). Benabdallah és Yelle (Benabdallah és Yelle, 1991) véleménye szerint a felületi érdesség és a felületi terhelés növekedésével a tapadási súrlódási tényező értéke változik. Williams (Williams, 1994) vizsgálatai alapján, az acélon elmozduló polimer súrlódási tényezője nem egyenes arányban változik a terhelés növelésének hatására. Az 7. ábra grafikonján jól látható a súrlódási tényező értékének változása, a terhelés és a sebesség függvényében.



7. ábra Acél súrlódási tényező értékének változása a terhelés függvényében, különböző sebességeken ($Ra=0,8$) (Williams, 1994)

A csúszó súrlódás jelensége a csúszás megindulása utáni mozgásállapotot jelenti. Több elméleti megközelítés is létezik a jelenség magyarázatára, az úgynevezett „adhéziós nyírás elmélet” Bowden és Tabor (Bowden- Tabor, 1964) magyarázata a csúszó súrlódási folyamat leírására.



8. ábra Csúszó érintkező felületek makroszkopikus metszete (Yamaguchi 1990)

A 8. ábrán jól látható, hogy a valóságos érintkezési felület lényegesen kisebb, mint a látszólagos felület.

$$A = \sum_{i=1}^n a_i \quad (2.2)$$

$$A \ll A_0$$

ahol:

A – érintkezési felület $[mm^2]$

a_i – „apró” érintkezési felületek $[mm^2]$

A_0 – látszólagos érintkezési felület $[mm^2]$

Az „apró” érintkező felületek a normál terhelés hatására alakulnak ki, és ezek összessége adja a valódi érintkező felületet. Az „1felület” és „2 felület” csak akkor tudnak elmozdulni egymáson, ha elnyíródnak ezek az „apró” érintkező felületeken kialakult kapcsolatok (Ferrero, Barrau, 1997).

Amikor a tangenciális erőhatás legyőzi az érintkezési felületen az adhézión kapcsolatok és a benyomódott csúcsok ellenállását, akkor a két test elmozdul egymáson és mozgó súrlódás jön létre (Bhushan, 2000).

A súrlódási erő tehát két részből áll:

- az adhézión kapcsolatok ellenállásából
- deformációs hatásból (Yamaguchi 1990)

$$F_s = F_{sa} + F_{sd} \quad (2.3)$$

ahol:

F_s – súrlódási erő $[N]$

F_{sa} – adhézión kapcsolatok ellenállása $[N]$

F_{sd} – deformációs ellenállás $[N]$

Az adhézión összetevő értéke függ az érintkezési felület nagyságától és az adhézión nyíró szilárdságtól:

$$F_{sa} = A_t \cdot R_{nyi} \quad (2.4)$$

ahol:

F_{sa} – adhéziós kapcsolatok ellenállása [N]

A_i – tényleges érintkezési felület [mm²]

R_{nyi} – adhéziós nyírószilárdság [N/mm²]

A deformációs összetevő értéke függ a felületi érdesség barázda keresztmetszetétől és az anyag ellenállásától:

$$F_{sd} = A_b \cdot R_b \quad (2.5)$$

ahol:

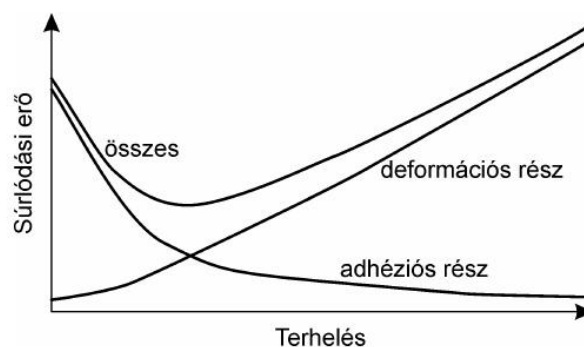
F_{sd} – deformációs ellenállás [N]

A_b – barázda keresztmetszet [mm²]

R_b – anyag ellenállás [N/mm²]

A felsorolt erőösszetevőket nagyon nehéz lenne külön – külön meghatározni vagy megmérni, mert az azokat meghatározó mennyiségek nagysága nem ismert illetve egymástól függetlenül még bonyolult kísérletekkel sem határozhatók meg (Janik, 2001). Ugyanakkor ezek az összefüggések előrejelzik, hogy a szilárd testek súrlódása nagyon összetett folyamat. Ez a megközelítés összhangban van Kragelszkij korábban publikált súrlódási elméletével is (Kragelszkij-Mihin, 1987). A deformálható szilárd testeknél például a textilszerkezetek, még összetettebb ez a folyamat.

A 9. ábrán jól látható, hogy kis terhelés esetén a deformációs összetevő (a csúcsok egymásba nyomódása) kis értékéhez az adhéziós összetevő nagy értéke tartozik. A terhelés növelésének hatására a súrlódási összetevők értékei ellentétesen változnak, vagyis a deformációs rész növekszik, míg az adhéziós rész csökken.



9. ábra A súrlódási erő összetevőinek változása a terhelés függvényében (Kozma, 2001)

A súrlódás csökkenthető:

- valódi érintkezési felület csökkentésével,
- a „barázda” keresztmetszet csökkentésével,
- a nyírószilárdság csökkentésével.

Általánosságban megfogalmazható, hogy a súrlódási függ (Janík, 2001):

$$F_s = f(F_n, v, A, \rho, H, R_a, E_f, E_{av}, V, T, D, Y) \quad (2.6)$$

ahol:

F_s – súrlódási erő [N]

F_n – felületekre merőleges erő, normál erő [N]

v – mozgási sebesség [m/s]

A – tényleges érintkezési felület [mm²]

ρ – anyag sűrűség [kg/m³]

H – keménység [Pa]

R_a – felületi érdesség [μm]

E_f – felületi energia [N/m]

E_{av} – alakváltozás energia [N/m]

V – deformálódott anyagrész térfogata [mm³]

T – hőmérséklet [K]

D – környező közeg tulajdonságai

Y – a rendszer más fontos jellemzői

A felsorolt tényezők egymástól független dimenzió nélküli paraméterekbe foglalhatók:

$$\mu = \frac{F_s}{F_N} = K \cdot c_1 \left(\frac{\rho \cdot A \cdot v^2}{F_N} \right) \cdot c_2 \left(\frac{E \cdot H}{V \cdot v^2 \cdot \rho} \right) \cdot c_3 \left(\frac{E_{av} \cdot V}{F_N \cdot A \cdot R^2} \right) \quad (2.7)$$

ahol: K – a T -től (hőmérséklettől); D -től (környező közeg tulajdonságaitól) és Y -tól (a rendszer más fontos jellemzői) függő tényező.

$$c_1 \left(\frac{\rho \cdot A \cdot v^2}{F_N} \right) \quad - \text{adhézióra jellemző mennyiség} \quad (2.8)$$

$$c_2 \left(\frac{E \cdot H}{V \cdot v^2 \cdot \rho} \right) \quad - \text{felületi energiára jellemző mennyiség}$$

$$c_3 \left(\frac{E_{av} \cdot V}{F_N \cdot A \cdot R^2} \right) \quad - \text{deformációs energiát jellemző mennyiség}$$

Akadozó súrlódás

Kis sebességű mozgások esetén akadozó súrlódás jöhet létre, ha az egyik érintkező elem elasztikus szabadsággal rendelkezik. Ilyen esetben a nyugalmi és mozgási súrlódás folyamatosan váltják egymást. Az akadozó csúszás kialakulásához hozzájárulhat a testek tömege és merevsége is. Ez az akadozás vibrációt okozhat, csökkentve az egyenletes mozgatást. Bowden és Leben már 1937-ben tapasztalta ezt a mozgásformát (*Valasek, Szota 2002*)

Gördülő súrlódás

Szabályos forgástest alakú elemek gördülésekor fellépő súrlódás az a súrlódó erő, ami a forgástest és a pálya között ébred. A gördülő súrlódás a száraz súrlódáshoz képest általában egy-három nagyságrenddel kisebb (*Silliman, 1971*).

2.3. TEXTILSZERKEZETEK SÚRLÓDÁSI JELLEMZŐINEK MEGHATÁROZÁSI MÓDSZEREI

A textilszerkezetek súrlódási jellemzőinek meghatározására számos vizsgálati módszert hoztak létre.

A vizsgálati módszerek sajátja, hogy az azonos anyagok vizsgálati eredményei gyakran jelentősen eltérhetnek egymástól. Ennek oka, hogy más és más módszerek esetén a berendezések beállítási paraméterei és a vizsgált mintával érintkező súrlódó felületek is különbözhetnek, ezáltal a kapott eredmények nehezen, vagy egyáltalán nem összehasonlíthatók. A textilipari feldolgozás során létrejövő különböző textilszerkezetek súrlódási jellemzői közötti kapcsolat sem vizsgálható, mivel az eredmények az eltérő vizsgálati módszerek miatt nem összemérhetők. (*Oroszlány, 2010*)

Az eredmények tehát módszer-specifikusak, így azok közlésénél és értékelésénél nem tekinthetünk el az alkalmazott mérési módtól, sőt a felület jellemzésétől sem. A fentiekből következik, hogy az egyes módszerek alkalmazhatósága behatárolt, így időszerű egy olyan mérési módszer létrehozása, mely megoldja a felmerülő méréstecnikai problémákat. (*Oroszlány G., Koltai L., 2011*)

Mint azt a 2.1 fejezetben részletesen ismertettem, a súrlódási tényező az érintkező felületek anyagminőségétől függő empirikus mennyiség, egy dimenzió nélküli viszonyszám. Értéke textiltermékek esetén is kísérletekkel határozható meg, de miután számos kutató foglalkozott ezzel, több megoldást és módszert fejlesztettek ki. A textilszerkezetek mechanikája és súrlódási tulajdonságai szoros kapcsolatban állnak *(Bánfi és mts. 2009)* egymással.

Azt is láthattuk, hogy a súrlódási együtthatónak (μ) egy adott felülepár esetén kétféle értéke lehet, attól függően, hogy a felületek egymáshoz viszonyítva mozognak vagy nyugalomban vannak. A nyugalmi súrlódási együttható általában nagyobb a csúszási együtthatónál.

A textíliák és textilszerkezetek flexibilis anyagok, melyek súrlódásának meghatározása nem egyszerű, de súrlódásuk ismerete alapvető fontosságú a műszaki élet különböző területein. A feladat a hajlékonyság miatt nehéz, mert a textíliák és fonalak a tér bármely irányába képesek elhajlani és elcsavarodni, vagy kisodródni.

A textilszerkezetek súrlódási vizsgálatának szabványosítási helyzete

A súrlódás sokat vizsgált kutatási terület, de a felmerült problémák miatt csak részlegesen szabványosították deformálható textilszerkezetek esetén.

A következő helyeken végeztem szabványkeresést:

- MSZT - Magyar Szabványügyi Testület
- BME OMIKK – Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Országos Műszaki Információs Központ és Könyvtár
- INNOVATEXT Textilipari Műszaki Fejlesztő és Vizsgáló Intézet laboratórium (Ez az intézet rendelkezik Magyarországon az egyetlen textilipari alapanyagokat, félkész- és késztermékeket, padlóborítókat és textilruházati termékeket vizsgáló, valamint munkavédelmi gépminősítéseket is végző, MSZ EN ISO/IEC 17025 szerint akkreditált laboratóriummal. Kijelölt intézetként az itteni laboratórium vizsgálja a védőruhákat és egyéb egyéni védőeszközöket is. Ezen a szakterületen a PPE irányelvhez kapcsolódóan képviseli hazánkat az EU bejelentett szervezeteinek együttműködési csoportjában.)

A textiltermékek súrlódási jellemzőinek meghatározása kevésbé vizsgált tudományos terület. Erre utal az is, hogy a felsorolt intézmények egyikében sem találtam ezzel a témával foglalkozó magyar vagy európai szabványt. Sem az érvényben lévő, sem a visszavont szabványok között nincs a textiltermékek súrlódásával foglalkozó szabvány.

Mindössze két amerikai ASTM szabvány foglalkozik a fonalak súrlódásának vizsgálatával, ezek a következők:

- ASTM D3108 - 07 Standard Test Method for Coefficient of Friction, Yarn to Solid Material
 - ASTM D3412 - 07 Standard Test Method for Coefficient of Friction, Yarn to Yarn
- Mindkét szabvány csak végtelen hosszúságú fonalak nagysebesség melletti súrlódási tényezőjének meghatározására alkalmas.

A létező és kifejlesztett technikai megoldások és elvek mellett összegyűjtöttem és rendszereztem a napjainkban a kereskedelmi forgalomban megtalálható hajlékony, egy- és kétdimenziós termékek súrlódási vizsgálatára alkalmas berendezéseket. Valamennyi készüléket neves műszerfejlesztő cég fejlesztette ki és forgalmazza is. A legtöbb berendezés csak egyfunkciós, önálló műszer. Az egyfunkciós jelző arra utal, hogy csak egy típusú termék vizsgálatára alkalmas, pl.: csak egydimenziós, vagy csak kétdimenziós gyártmányok analizálását teszik lehetővé.

A mérési elveket bemutató alfejezetekhez mellékeltem az elvet alkalmazó kereskedelmi forgalomban kapható műszert. A mellékletben fényképpel és műszaki paraméterekkel is bemutatom az adott készüléket.

Textilszerkezetek súrlódásának meghatározására használt módszerek:

Az 1. mellékletben bemutatott mérőkészülékek a következő elvek szerint csoportosíthatók:

I. Coulomb elv alapján – síklapon

- vízszintes síklapon
- állítható lejtőn

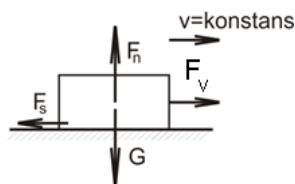
II. Euler elv alapján – bengeres felületen

- két paraméter állandó értéken tartásával álló fonal és forgó súrlódó test között (állandó paraméterek: körülfogási szög és az egyik ágban keletkező húzó erő)
- két paraméter állandó értéken tartásával álló fonal és lengő súrlódó test között (állandó paraméterek: körülfogási szög és a két fonalvégre ható erők vektori összege)
- két paraméter állandó értéken tartásával futó fonal és álló súrlódó test között (állandó paraméterek: fonalágakban ébredő húzóerő és a körülfogási szög)
- egy paraméter állandó értéken tartásával, pillanatnyi nyomatékkiegyenlítés alapján
- egy paraméter állandó értéken tartásával, mérőrugókkal

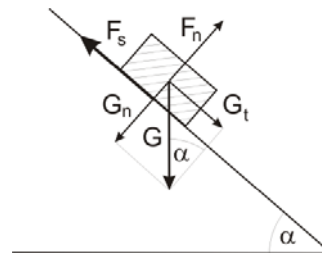
A vizsgálatok során mérhető, pl.: textília és textília vagy fonal és textília közötti súrlódás. A súrlódást az alapanyag összetételén, és a súrlódó felület összetételén kívül számtalan más tényező is befolyásolhatja úgy, mint pl.: a textília szerkezete (szövése), a minta vizsgálati iránya (lánc, vetülék vagy valamilyen α szög irány), stb. Ennyi változóval a vizsgálatok számtalan kombinációja végezhető el (Szűcs, 1969).

2.4. A COULOMB ELVET ALKALMAZÓ MÉRÉSI MÓDSZEREK – SÍK FELÜLETEN

Ha két test közvetlenül érintkezik egymással, és egymáshoz képest elmozdulnak, akkor a két test között súrlódó erő keletkezik (10. ábra és 11. ábra). A súrlódó erő meghatározására először Charles Augustin de Coulomb (1736 – 1806), francia fizikus adott összefüggést.



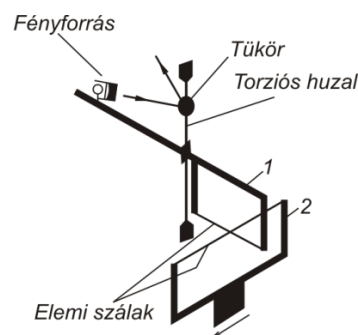
10. ábra Súrlódás síklapon (Hudson, 2005)
 F_v – vízszintes erő; F_s – súrlódási erő; G – súlyerő; F_n – támasztóerő; v – sebesség



11. ábra Súrlódás síklapon – lejtőn (Hudson, 2005)
 α – lejtő hajlásszöge; G – súlyerő; G_t – súlyerő lejtő irányú összetevője; G_n – súlyerő lejtőre merőleges irányú összetevője; F_n – lejtő támasztóereje

2.4.1. Guthrie és Oliver féle készülék – az elemiszál súrlódásának méréséhez

A mérés elvi vázlatát Howell és munkatársai ismertették (Howell, Mieszkis, Tabor 1959). Az elvi vázlatról készült rajz a 12. ábrán látható.



12. ábra Guthrie – Oliver féle szálsúrlódásmérő készülék (elvi vázlat) (Gyimesi, 1968)

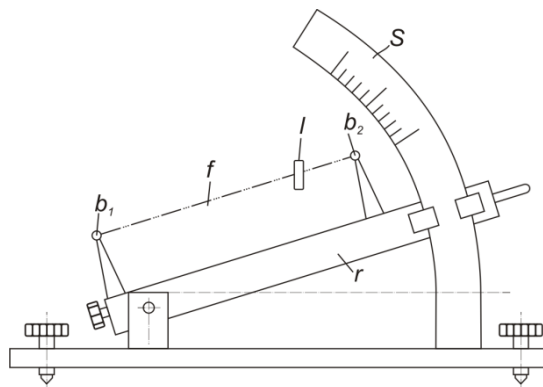
A berendezés működése: a torziós rugóhoz kapcsolt „1” keretre erősítik az egyik vizsgálni kívánt elemi szálát, a másikat pedig, az előbbi keretre merőlegesen álló „2” keret tartja. A vizsgálat során a „2” keret a nyíl irányába mozdul, a mozgás hatására az elemi szálak súrlódnak egymáson. A súrlódó erő hatására az „1” keret elfordul. Az elfordulás, illetve a csúszás mértékét rögzítik. A kapott görbéből a nyugalmi és a mozgási súrlódó erő meghatározható. A szakirodalom szerint Guthrie és Oliver ezt a berendezést az egyes szálak (rostok és viszkóz) súrlódásának meghatározására fejlesztette ki, és 1952-ben publikálták.

Az elrendezés és az eljárás hátránya:

- Két egymás utáni anyag mérésekor a reprodukálhatóság kérdéses.
- Az azonos előfeszítés nehezen biztosítható

2.4.2. Állítható lejtésszögű mérőberendezés - fonalvizsgálathoz

A mérés elvi elrendezését – több mérési módszerrel egyetemben - Szücs ismertette a magyar szakirodalomban (Szücs, 1969), mely a 13. ábrán látható. A vizsgálandó „f” fonalat a b_1 és b_2 befogókba rögzítik. A fonalra ráhelyezik az „l” lovast.



13. ábra Állítható lejtésszögű fonalsúrlódás mérő berendezés
f – vizsgált fonal, l – súrlódó test (lovas), r – állítható dőlésszögű rúd (a vizsgált és rögzített fonal állványzata), s – skála, b_1 és b_2 – fonalrögzítési pontok

A berendezés működése: kiinduláskor a vizsgált fonal vízszintes. Az „r” rudat lassan megdöntve, a fonal a vízszinteshez képest egyre nagyobb szöget zár be. Az „l” lovas tömegének pályairányú komponense egy adott szögnél legyőzi a súrlódó erőt, és a lovas csúszni kezd a fonalon. Az „s” skálán leolvasva „ α ” szögértéket, a fonal nyugalmi súrlódási tényezője (μ_{ny}) kiszámítható.

Az elrendezés és az eljárás hátránya:

- Csak a nyugalmi súrlódási tényező meghatározására alkalmas.

- Csak a fonal és a lovas formájú súrlódó test között mérhető a súrlódás.
- A minta rögzítése nagy precizitást igényel, hogy a fonalban ébredő erők azonosak legyenek.
- A fonal mérésére alkalmazott lejtős módszereknel figyelembe kell venni a fonalak deformálódási képességét.
- A fonatra helyezett „nehezebb” tárgy megnyújthatja azt és ezáltal az eredeti „egyenes” vonalú elrendezést eltorzíthatja. A torzítás nagyságát befolyásolja a vizsgált fonal (fajtája, típusa, szerkezete...stb.), a terhelés nagysága és egyéb külső körülmények. Ez a deformáció hatással lehet a mérési eredmények pontosságára.

A fonal nyugalmi súrlódási tényezője (μ_{ny}):

$$\mu_{ny} = \operatorname{tg} \alpha \quad (2.9)$$

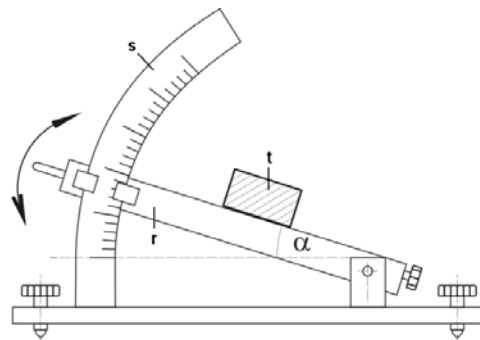
ahol:

μ_{ny} – nyugalmi súrlódási tényező, arányossági együttható [-]

α – lejtő hajlásszöge

2.4.3. Állítható lejtésszögű mérőberendezés – laptermékek vizsgálatához

A mérés elvi elrendezése a 14. ábrán látható. A vizsgálandó textilt az állítható lejtésszögű lejtőre vagy „t” testre rögzítik. Mindig a berendezés kialakítása határozza meg a rögzítés módját (14. ábra).



14. ábra Vizsgálati elrendezés állítható szögű lejtőn

t – próbatest (vagy a próbatest vagy a lejtő kap textilbevonatot); r – állítható dőlésszögű lejtő; s – skála

A berendezés működése: kiinduláskor az állítható dőlésszögű lejtő vízszintes. A „t” próbatestet a lejtőre helyezik és az „r” lejtőt lassan megdöntve a vízszinteshez képest egyre nagyobb szöget zár be. A „t” test tömegének pályairányú komponense egy adott szögnél legyőzi a súrlódó erőt, és a próbatest csúszni kezd a textilen. Az „s” skálán leolvasva „ α ” szögértéket, a textil nyugalmi súrlódási tényezője (μ_{ny}) kiszámítható. Ezzel a módszerrel dolgozott Speakman és Stott (Gyimesi, 1968).

Az elrendezés és az eljárás hátránya:

- Csak a nyugalmi súrlódási tényező meghatározására alkalmas.
- A síkfelületen mérő lejtős módszereknél figyelembe kell venni a textíliák deformálódási képességét. A textília felületére helyezett „nehezebb” tárgy összenyomja azt, deformálódik és egy úgynevezett anyagtorlasz (gyűrődés) alakulhat ki a terhelő test előtt és körül. A torlasz nagyságát befolyásolja a vizsgált alapanyag (fajtája, típusa, szerkezete, stb.), a terhelés nagysága és egyéb külső körülmények. Ez az anyagtorlasz hatással lehet a mérési eredmények pontosságára.

A fonal nyugalmi súrlódási tényezője (μ_{ny}):

$$\mu_{ny} = \tan \alpha \quad (2.10)$$

ahol:

μ_{ny} – nyugalmi súrlódási tényező, arányossági együttható [-]

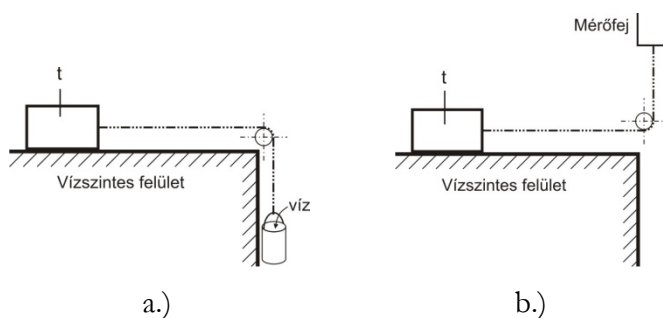
α – lejtő hajlásszöge

A bemutatott mérési elv alapján működő, a kereskedelmi forgalomban is kapható - állítható lejtésszögű – mérőberendezések:

- 32-25-00 COF Inclined Plane Tester (1.1 melléklet)
- PARAM COF-P01 (1.2 melléklet)

2.4.4. Vízszintes síklapú mérő berendezés – laptermék vizsgálathoz

A mérés elvi elrendezése az 15. ábrán látható. A vizsgálandó textilt a vízszintes felületre vagy „t” testre rögzítik. Mindig a berendezés kialakítása határozza meg a rögzítés módját.



15. ábra Vizsgálati elrendezés vízszintes lapon (Hudson, 2005)

A berendezés működése: kiinduláskor a vízszintes felület és a „t” próbatest nyugalomban van. Az a.) esetben a próbatesthez rögzített tárolóba öntött víz az, ami megmozdítja a rendszert. Ennél az elrendezésnél csak a nyugalmi súrlódási tényező határozható meg. A b.) esetben a próbatest egy mozgó mérőfejhez van rögzítve (pl.: szakítógéppel), a

mérőfej elmozdulásakor keletkező húzóerő lesz az, ami legyőzi a nyugalmi helyzetet és a kapott erő értékből pontosan meghatározható a nyugalmi és a mozgási súrlódási tényező.

Ennek az összeállításnak az előnye, hogy nagyon egyszerű technikai felépítésű, könnyen összeállítható és kezelhető, de a számításoknál mindkét esetben (a. és b. variáció) figyelembe kell venni a vezető görgőnél fellépő erőket.

Az elrendezés és az eljárás hátránya:

- Az a.) elrendezés esetén csak a nyugalmi súrlódási tényező meghatározására alkalmas.
- A sík felületen mérő módszereknél figyelembe kell venni a textíliák hajlékonyságát és gyűrődési hajlamát, illetve azt is, hogy ha egy „nehezebb” tárgy siklik végig felületükön, akkor deformálódnak és egy úgynevezett anyagtorlasz (gyűrődés) alakulhat ki a mozgó test előtt. A torlasz nagyságát befolyásolja a vizsgált alapanyag (fajtája, típusa, szerkezete, stb.), a terhelés nagysága, a mozgási sebesség és egyéb külső körülmények. Ez az anyagtorlasz hatással lehet a mérési eredmények pontosságára.
- Figyelembe kell venni az irányváltást létrehozó görgő csapsúrlódását.

A fonal nyugalmi súrlódási tényezője (μ_{ny}):

$$\mu_{ny} = \frac{F_s}{F_N} \quad (2.11)$$

ahol:

F_s – súrlódási erő [N]

F_n – normál erő, az egymáson elcsúszó felületekre merőleges erő és azokat összeszorító erő [N]

μ_{ny} – nyugalmi súrlódási tényező, arányossági együttható [-]

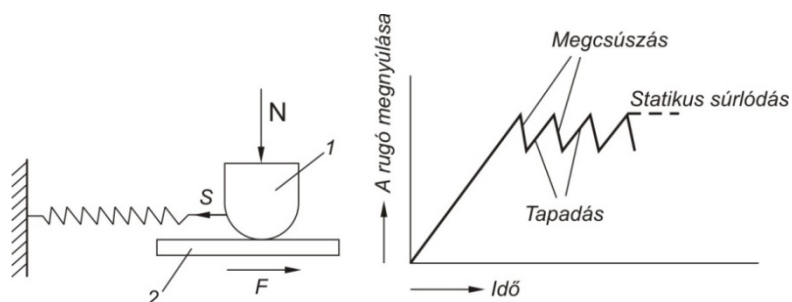
A bemutatott mérési elv alapján működő a kereskedelmi forgalomban is kapható - vízszintes síklapú mérő – mérőberendezések:

- PARAM MXD-02 (1.3 melléklet)
- 32-91 Lab Master®
- 32-07 Lab Master® (1.4 melléklet)
- 32-71 Lab Master®
- AFT Friction Testert, (1.5 melléklet)
- AFT-PB1
- 2810-005 Bluehill® (1.6 melléklet)
- Mecmesin Coefficient of (1.7 melléklet)
- Friction Tester

2.4.5. Bowden és Leben féle készülék - textil és szálköteg vizsgálatához

A 16. ábrán látható elvi vázlatot 1939-ben fejlesztette ki Bowden és Leben.

A berendezés működése: az „1” szánkó „N” terheléssel nyomja a „2” lapot. A lap a nyíl irányába állandó sebességgel mozog. A készüléken a „2” lapra rögzített textil vagy szálköteg súrlódási tényezője vizsgálható szilárd felülettel szemben. A szánkó és a lap között keletkező súrlódó erő addig húzza a szánkót, amíg a szánkóhoz kötött rugóban ébredő „S” erő éppen egyensúlyba jut a súrlódó erővel. A keletkező súrlódó erőből kiszámítható a nyugalmi súrlódási tényező (Bowden, 1938). A kísérlet során a szánkó egy bizonyos ponton, amikor a nyugalmi súrlódó erőt a rugóban ébredő feszültséget legyőzi, megcsúszik, és gyorsulva visszafelé mozog, majd lelassul, és végül megáll (Gyimesi, 1968).



16. ábra Bowden – Leben-féle textil és szálköteg súrlódás mérő készülék elve és diagramja
1 – szánkó; 2 – lap, N – terhelés (Gyimesi, 1968).

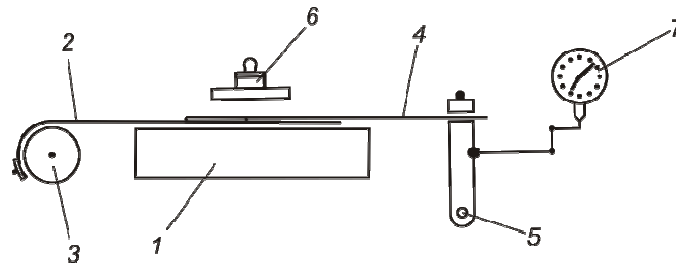
Az elrendezés és az eljárás hátránya:

- Csak a nyugalmi súrlódási tényező meghatározására alkalmas.
- A síkfelületen mérő módszereknél figyelembe kell venni a textíliák hajlékonyságát és azt, hogy deformálódnak, ha egy „nehezebb” tárgy siklik végig felületükön, mert ekkor egy úgynevezett anyagtorlasz alakulhat ki a mozgó test előtt. Ez az anyagtorlasz hatással lehet a mérési eredmények pontosságára.

2.4.6. Dreby-féle készülék - textilvizsgálathoz

A 17. ábrán látható a Dreby –féle kelme súrlódásmérő készülék.

A berendezés működése: az „1” vízszintes asztalkára kell helyezni a „2” próbadarabot, melynek végét a forgatható „3” hengeren rögzítik. A kelméből kivágott másik próbadarabot „4”, az első próbadarab tetejére fektetik és végét az „5” rugóhoz rögzítik. A „3” henger állandó kerületi sebességgel forgatva az alsó szövet elmozdul a felső szövet alatt. A két próbadarab közötti súrlódó erő a torziós rugót elcsavarja, ennek mértéke a „7” skáláról leolvasható. A leolvasott értékből kiszámítható a súrlódási tényező.



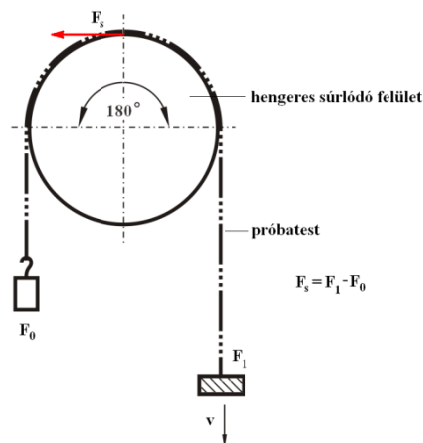
17. ábra Dreby-féle kelmesúrlódás mérő készülék (Gyimesi, 1968)
 1 – asztalka, 2 – próbadarab, 3 – rögzítő henger, 4 – próbadarab,
 5 – torziós rugó, 6 – súly, 7 – skála

Az elrendezés és az eljárás hátránya:

- Csak lapszerű textíliák egymás közötti súrlódásának meghatározására alkalmas.
- Az alsó mozgó próbadarabon szintén kialakulhat anyagtorlasz (gyűrődés), amely hatással lehet a mérési eredmények pontosságára.
- A mért súrlódó felszín (17. ábra 4-es részlet) mindig ugyanaz, mert nem mozdul el. Ezzel szemben a 2-es számú próbadarabnak mindig „új” része súrlódik.

2.5. EULER ELVET ALKALMAZÓ MÉRÉSI MÓDSZEREK – HENGERS FELÜLETEN

Fischer (Fischer, 1966) és Dowson (Dowson, 1998) szerint a fonalak, a textíliák és más flexibilis alapanyagok (pl.: fóliák) esetén jól alkalmazható megoldás a súrlódási erő, illetve a súrlódási tényező hengeres felületen történő vizsgálatár az Euler elv.



18. ábra Hengeres súrlódó test a rajta átvett mintával

Az 18. ábrán egy hengeres súrlódó test és egy rajta átvett fonal látható.

Ahogy azt Szűcs is említi cikkében (Szűcs, 1969) a súrlódási erő a súrlódó test utáni és előtti húzóerő különbsége:

$$F_s = F_1 - F_0 = F_0 e^{\mu\alpha} - F_0 = F_0 (e^{\mu\alpha} - 1) \quad (2.12)$$

ahol:

F_s – súrlódási erő [N]

F_1 – súrlódó test utáni erő – húzóerő [N]

F_0 – előterhelés, súrlódó test előtti erő [N]

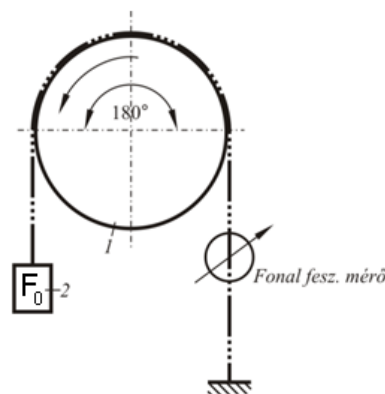
α – körülfogási szög

μ – súrlódási tényező, arányossági együttható [-]

Ennek az általános elvnek több konkrét megvalósítása ismert:

2.5.1. Álló fonalat és forgó súrlódó testet alkalmazó mérés állandó körülfogási szög és állandó előterhelés mellett

A mérés elvi elrendezése a 19. ábrán látható.



19. ábra Mérés elvi elrendezése (Szűcs, 1969)
1 – hengeres próbatest; 2- súly

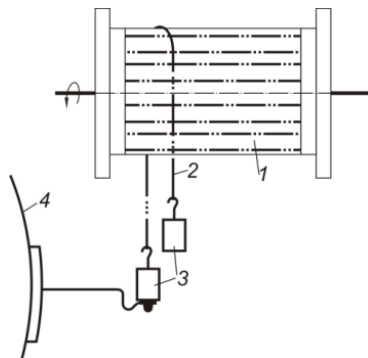
A berendezés működése: az „1” hengeres próbatesten átvett fonal egyik végén a „2” súly függ, a másik vége pedig egy fonalfeszültség mérőhöz van csatlakoztatva.

Ha a hengeres súrlódó test forogni kezd, a súrlódás miatt a mérőműszerhez kötött fonalágban megváltozik a húzóerő. A mérésnél a két állandó paraméter: a körülfogási szög és az egyik fonalágban ébredő húzóerő.

Az elrendezés és az eljárás hátránya:

- Csak álló fonal és mozgó súrlódó test között méri a súrlódási tényezőt. A gyakorlatban ritkán fordul elő ez az eset, a súrlódó test mindig ugyanazt a fonalrészét dörzsöli, így a súrlódási tényező az időben változik.

Ugyanezen az elven működik a Szjui Li-Szonyi féle készülék mely a 20. ábrán látható. A készülék leírását és elvi vázlatát az 1960-as években publikálták. Az eredeti elképzelés szerint az ábrán látható elvi elrendezés segítségével meghatározható két fonal közötti súrlódási erő, illetve súrlódási tényező.



20. ábra Két fonal közötti súrlódási tényező meghatározására alkalmas berendezés (Szűcs 1969)
 1 – hengeres próbatest az alkotókkal párhuzamosan rögzített fonaldarabokkal,
 2- a terhelt fonal, súrlódó test, 3- terhelő erő, 4- torziós mérleg

A berendezés működése: egy hengeres próbatestre egymással párhuzamosan fonaldarabokat kell rögzíteni, ezeken átvetik a vizsgált fonaldarabot a 20. ábra elrendezésének megfelelően. A súrlódó test elforgatásakor ébredő erő mérhető. A forgás következtében az „1” és „2” fonalak között a súrlódás megváltozik, mely megszünteti a „2” fonal két ágában eddig fennálló erőegyensúlyt, ezért a „2” fonal egyik vége felfelé, a másik vége lefelé mozdul el. A lefelé haladó fonalvéghez kapcsolt mérőműszer segítségével megállapítható a fonalágban ébredő húzóerő.

Az elrendezés és az eljárás hátránya:

- A kialakított mérési módszer kiértékelése akadályba ütközik. Az ábrán is jól látható, hogy nem csak két fonal súrlódásáról van szó, hanem egy próbatest számos, a henger felületére rögzített fonalon súrlódik, ezért a kapott mérési eredmények kiértékelése bizonytalannak látszik.
- További nehézséget jelent a „fonaldarabok” egyenletes és azonos felhelyezése a henger felületére. Mérés közben a vizsgált próbatestnek mindig ugyanaz az a része súrlódik, ezért a súrlódási tényező az időben változik.

Az egyenlet μ -re rendezve:

(2.16)

$$\mu = \frac{1}{\alpha} \ln \frac{\sin(\beta + \varphi)}{\sin(\beta - \varphi)} = \frac{1}{\alpha} \ln \frac{\sin\beta \cos\varphi + \sin\varphi \cos\beta}{\sin\beta \cos\varphi - \sin\varphi \cos\beta}$$

Az MOC Δ -ból:

$$\sin\beta = \frac{r}{R} \quad \cos\beta = \frac{\sqrt{R^2 - r^2}}{R} \quad (2.17)$$

$$\sin\varphi = \frac{x}{R} \quad \cos\varphi = \frac{\sqrt{R^2 - x^2}}{R}$$

Behelyettesítés után:

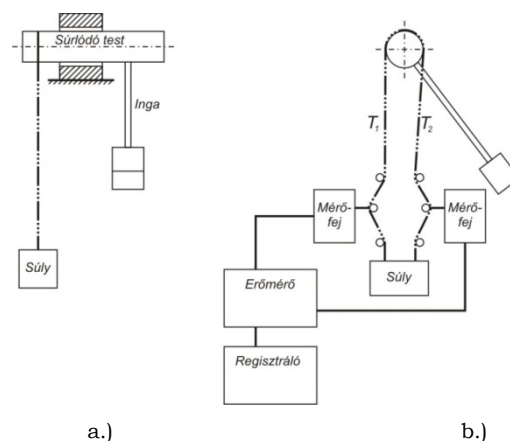
$$\mu = \frac{1}{\alpha} \ln \frac{r + x}{r - x} \quad (2.18)$$

Az elrendezés és az eljárás hátránya:

- Álló fonál és mozgó súrlódó test között méri a súrlódási tényezőt. A gyakorlatban ritkán fordul elő ez az eset, a súrlódó test mindig ugyanazt a fonalrészét dörzsöli, így a súrlódási tényező az időben változik.

2.5.3. Álló fonalat és lengő súrlódó testet alkalmazó mérés állandó körülfogási szög és állandó eredő erő mellett

A mérés elvi elrendezése a 22. ábrán látható. A súrlódó testen keresztülvetik a vizsgálandó fonalat és annak két végét egy közös súllyal terhelik.



22. ábra A mérő berendezés elvi vázlatja (Szűcs 1969)

- a) oldalnézet
b) elől nézet

A berendezés működése: az állandó értéken tartott paraméterek a körülfogási szög, és a két fonalvégre ható erő vektori összege. A súrlódó testet egy inga lengeti, ezért közte és a fonal között súrlódás keletkezik. A súrlódás miatt a fonalban fellépő erő változását érzékelik és regisztrálják.

A súrlódó test két oldalán fellépő húzóerő F_1 és F_2 , ha az inga a F_2 húzóerővel jellemzett fonalág felé lendül, akkor egy $t=t_0$ pillanatban az inga nyugalmi helyzetben van. Ezután az inga lefelé kezd mozogni. Ezzel egy időben a T_1 húzóerő nő, a T_2 húzóerő, pedig csökken egészen addig, míg a fonal meg nem csúszik a súrlódó testen. A fonal megcsúszás $t=t_1$ pillanatban történik meg.

Ekkor fennáll a

$$\frac{F_1}{F_2} = e^{\mu\alpha} \text{ egyenlőség.} \quad (2.19)$$

ahol:

F_1 – fonalágban ébredő húzóerő [N]

F_2 – fonalágban ébredő húzóerő [N]

μ – súrlódási tényező [-]

α – körülfogási szög (ez esetben $\alpha = \pi \text{ rad}$)

A csúszó súrlódási tényező kisebb a tapadó súrlódási tényezőnél, F_1 erő értéke a megcsúszás pillanatában $F_1 = F_2 e^{\mu\alpha}$ értékre esik vissza.

Az elrendezés és az eljárás hátránya:

- Álló fonal és mozgó súrlódó test között méri a súrlódási tényezőt.
- A súrlódó test mindig ugyanazt a fonalrészét dörzsöli, így a súrlódási tényező az időben változik.
- A mérés időtartama az inga mozgási idejétől függ.

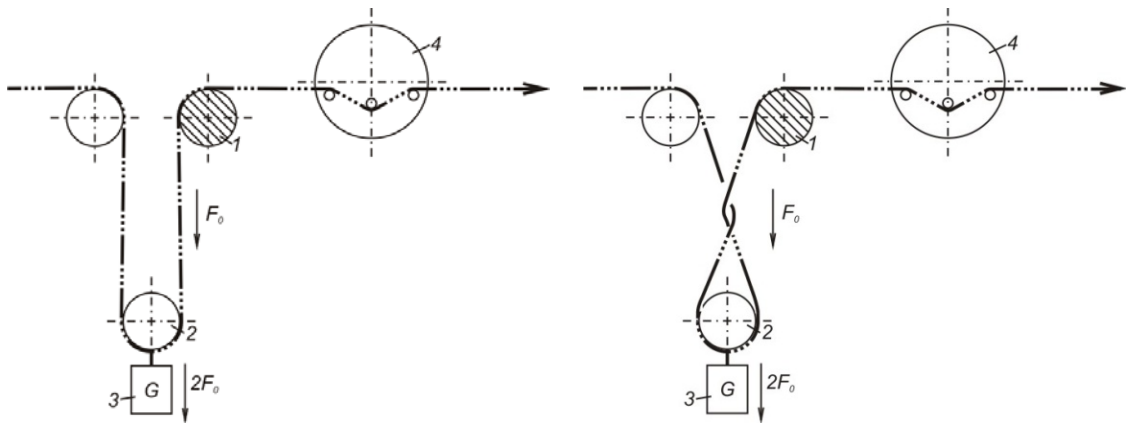
2.5.4. Futó fonalat és álló súrlódó testet alkalmazó mérés, állandó körülfogási szög és állandó húzóerő mellett

Ezzel az eljárással már üzemi viszonyok között vizsgálható a súrlódás, ill. a súrlódási tényező. Az állandó értéken tartott paraméterek: a fonalágakban ébredő húzóerő, és a körülfogási szög.

A fonalágban ébredő erő állandó értéken tartható:

- súlyterheléssel
- szabályozó fékkel
- kúpos adagoló hengerrel

A mérés elvi elrendezése a 23. ábrán látható.



23. ábra A súlyterheléses mérés általános elrendezése (ASTM D 3108-07) és fonal fonalon történő mérés elrendezése (ASTM D 3112-07)

1 – hengeres súrlódó test, 2-3- súllyal megterhelt görgő, 4-erőmérő

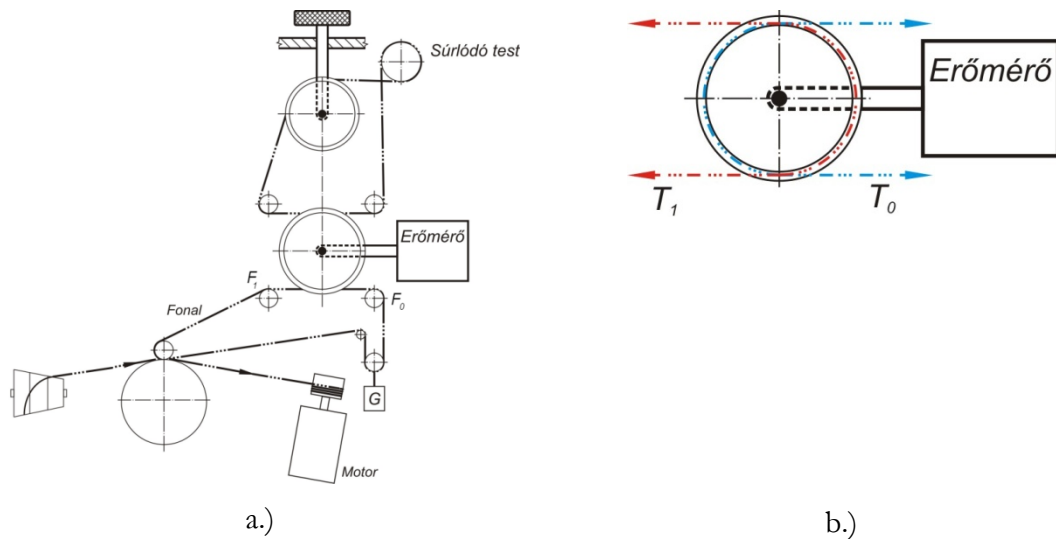
A berendezés működése: a súrlódó test (1) előtt a fonalágban ébredő állandó húzóerőt egy, a fonalra ráhelyezett és súllyal (3) megterhelt görgő biztosítja. A görgő előtti és utáni fonalágak függőlegesek. Ha a terhelő súlynak a görgővel együttes tömege G , akkor a súrlódó test előtti fonalágban $G/2$ nagyságú húzóerő keletkezik. A súrlódó test utáni fonalágban a húzóerőt egy erőmérővel (4) lehet meghatározni.

Az elrendezés és az eljárás hátránya:

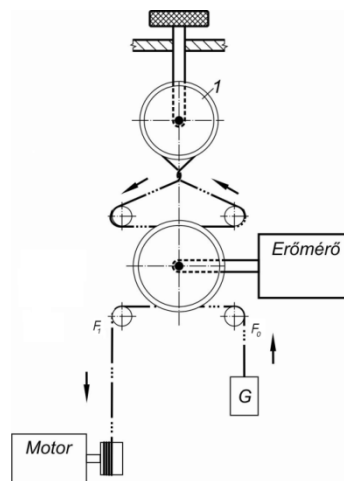
- A mérésnél biztosítani kell a rendszerbe bemenő, és abból kilépő fonalágak állandó és megegyező sebességét. Ellenkező esetben a súly vagy leereszkedik a berendezés alapjára, vagy felemelkedik a súrlódó testig, és nem tudja biztosítani a mérőrendszerbe bemenő fonalágban ébredő állandó húzóerőt.

2.5.5. „Fonal–fonal” súrlódást is mérő, négygörgős mérési eljárás futó fonalagnál

A mérés elvi elrendezése a 24. és 25. ábrán látható. A műszer olyan kialakítású, hogy alkalmas fonalsúrlódási tényező mérésére külön fonalon, és külön súrlódó testeken is. A súrlódó test előtti és utáni fonalvég ugyanannak az erőmérő görgőnek a két ellentétes oldalára hat, ezért a mérőműszeren a súrlódási erő leolvasható.



24. ábra Ellentétes fonalág kapcsolású mérés (Szűcs, 1969)
a.) általános elrendezés b.) az erőmérő kinagyított részlete



25. ábra Fonal fonalon mért súrlódásának általános elrendezése (Szűcs, 1969)

Az erőmérő az erők (F_1 és F_0) különbségét (ΔF) adja meg.

$$\ln \frac{F_1}{F_0} = \mu \alpha \quad (2.20)$$

ahol:

F_0 – előterhelés [N]

F_1 – fonalágban ébredő húzóerő [N]

μ – súrlódási tényező [-]

α – körülfogási szög (ez esetben $\alpha = 3\pi/2$ rad)

$$\ln \frac{\Delta F + F_0}{F_0} = \mu \alpha \quad (2.21)$$

$$\mu = \frac{\ln \frac{\Delta F + F_0}{F_0}}{\alpha} \quad (2.22)$$

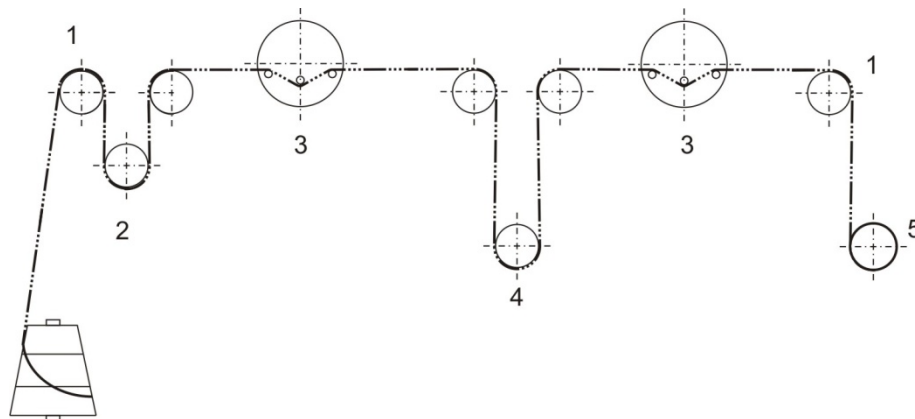
Az elrendezés és az eljárás hátránya:

- Csak fonalak vizsgálatára alkalmas.
- A készülék befűzése bonyolult.
- Nagyon sok vezetőelem található a szerkezetben, ezeknek a vezetőelemeknek nem lehet súrlódása a pontos mérés érdekében.

2.5.6. Nyomatékiegyenlítéses és mérőrugós súrlódási erő meghatározási módszerek

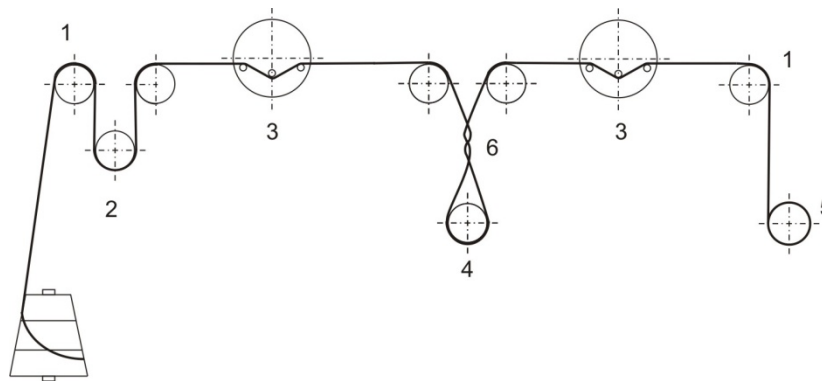
Ezeknél a méréseknél egy paraméter, amit állandó értéken tartanak, az a szög, amely alatt a fonal a súrlódó testet körülfogja.

A nyomatékiegyenlítés megvalósítható két erőmérő segítségével is. Ennél az eljárásnál a mozgó fonal egy mérőtűskét ölel át, és egy elektromos erőmérővel mérik a tűske előtti, illetve utáni fonalágban ébredő erőt. A mérőműszer kimenő ágán olyan elektromos értékeket kapunk, melyek arányosak a húzóerővel (*Howell – Mieszkics – Tabor, 1959*). A legkorszerűbb megoldásoknál a két elektromos jelet egy számláló azonnal feldolgozza és kiértékeli. A mérés elvi elrendezése a 26. ábrán látható. Ezt az elrendezést használja az ASTM D 3108-07 szabvány is.



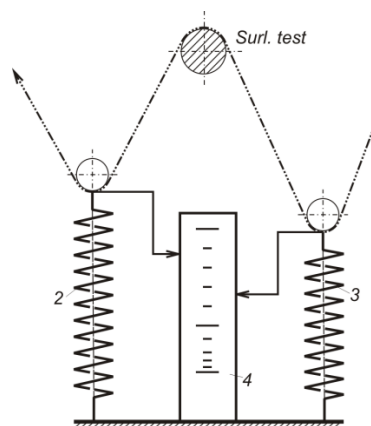
26. ábra Nyomatékiegyenlítéses mérés elvi vázlat (ASTM D 3108-07)
1 vezető henger; 2 bemeneti feszültség állító; 3 fonalfeszültség-mérők; 4 súrlódó „tűske”; 5 fonal

Hasonló elven működik az ASTM D 3412-07 szabvány elvi vázlatán látható elrendezés. Az egymásba hurkolódó fonalágak egymáson súrlódnak és a feszültségmérők segítségével meghatározható a súrlódási tényező értéke. A mérés elvi elrendezése a 27. ábrán látható.



27. ábra Fonal fonalon történő súrlódásmérő készülék elvi vázlatja (ASTM D 3412-07)
1 vezető henger; 2 bemeneti feszültség állító; 3 fonalfeszültség-mérők; 4 súrlódó „tüske”; 5 fonal; 6 fonalburok

A nyomatékkiegyenlítés megvalósítható mérőrugókkal is. Ennek a megoldásnak az elvi elrendezése a 28. ábrán látható.



28. ábra Mérőrugós mérési eljárás elvi vázlatja (Szűcs, 1969)
1 – súrlódó test, 2 – rugó, 3 – rugó, 4 - skála

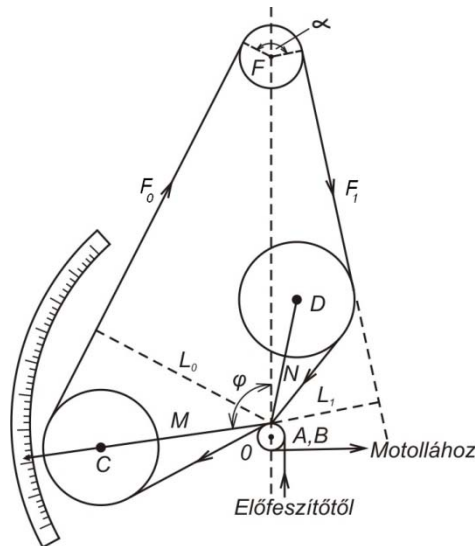
A súrlódó test előtti és utáni fonalágakban ébredő erőkkel, egy-egy rugó tart egyensúlyt. A rugók megnyúlása arányos a súrlódó test előtti és utáni fonalágban ébredő húzóerővel. A skálán a rugókban ébredő húzóerő természetes alapú logaritmusa szerepel α -val osztva, így a két rugó megnyúlásának különbsége megadja a súrlódási tényezőt.

A bemutatott mérési elv alapján működő, a kereskedelmi forgalomban is kapható – nyomaték kiegyenlítés elvén működő – mérőberendezések:

- YFM 001 (1.8 melléklet)
- 233b Attrifil II. (1.9 melléklet)
- LH-402 CCT (1.10 melléklet)
- Y096A/B SDL ATLAS (1.11 melléklet)
- LH 603 YFM YFM Yarn Friction Meter (1.12 melléklet)

2.5.7. Buckle–Pollitt-féle fonalsúrlódásmérő készülék két paraméter állandó értéken tartásával

Buckle és Pollitt által szerkesztett készülék segítségével közvetlenül mérhető a fonalak súrlódási tényezője, a szerkezet vázlata a 29. áran látható.



29. ábra Buckle – Pollitt-féle fonalsúrlódásmérő készülék (Gyimesi, 1968)

Az „O” tengelyen lévő „M” és „N” kétkarú emelő végeire „C” és „D” csigák vannak szerelve. Az „O” tengely alatt található az „A” és „B” csiga. A fonalat az „A” és „C” csigán az „F” súrlódó hengeren, majd a „D” és „B” csigán vezetik át. Az „O” tengelyre csak a „T₀” és „T₁” erő fejt ki nyomatékot (Morton, Hearle, 2008).

Egyensúlyi egyenlet:

$$F_0 \cdot L_0 = F_1 \cdot L_1 \quad (2.23)$$

ahol:

L_0 – a fonalirányú F_0 erő O-tengelytől mért merőleges távolság [mm]

L_1 – a fonalirányú F_1 erő O-tengelytől mért merőleges távolság [mm]

$$\frac{F_1}{F_0} = \frac{L_0}{L_1} = e^{\mu\alpha} \quad (2.24)$$

A statikus és kinetikus súrlódási erő meghatározható úgy is, hogy a vizsgált fonal végeit megfelelő előterheléssel egy-egy érzékeny erőmérőhöz rögzítik, és a súrlódó hengert megforgatják. A szál vagy a fonal megcsúszásáig mért „T₀” és „T₁” erőkből a statikus, egyenletes forgatás esetén mért erőkből pedig a kinetikus súrlódási tényező számítható ki (Howell – Mieszkics – Tabor, 1956).

2.6. VIZSGÁLATI ELVEK ÉS GYAKORLATI ELJÁRÁSOK

ÖSSZEHASONLÍTÁSA

A 2.4-es és 2.5-ös fejezetben összegyűjtött vizsgálati módszereket rendszereztem és elemeztem. Külön vizsgáltam a Coulomb törvény alapján, síkfelületen mérő berendezéseket és az Euler törvény alapján hengeres vizsgáló felülettel rendelkező műszereket.

Táblázatba rendeztem és elemeztem az egyes technikai megoldásokkal elvégezhető mérési lehetőségeket.

Az 1. táblázatban csoportosítottam a Coulomb elv alapján működő vizsgálóberendezéseket és jelöltem, hogy melyik technikai megoldással milyen textilszerkezet vizsgálatára van lehetőség, illetve melyik súrlódási tényező meghatározására van mód.

fejezet szám	Coulomb elv alapján – sík felületen		egydimenziós termékek						kétdimenziós termékek			
			elemi szál, monofilament		multifilament		fonal		textil		csomagolóanyagok (papír, hullámkarton lemez, műanyag fólia ...stb.)	
			μ_{ny}	μ_m	μ_{ny}	μ_m	μ_{ny}	μ_m	μ_{ny}	μ_m	μ_{ny}	μ_m
2.4.1.	Mérési elv: Guthrie és Oliver féle készülék		✓	✓								
2.4.2.	Mérési elv: Állítható lejtésszögű mérőberendezés (fonal)				✓		✓					
2.4.3.	Mérési elv: Állítható lejtésszögű mérőberendezés (laptermék)								✓		✓	
	valós készülék	32-25-00 COF Inclined Plane Tester							✓		✓	
		PARAM COF-P01							✓		✓	
2.4.4.	Mérési elv: Vízszintes síklapú mérő berendezés								✓	b.) ✓	✓	✓
	valós készülék	PARAM MXD-02									✓	✓
		32-07 Lab Master® 32-91 Lab Master® 32-71 Lab Master®									✓	✓
		AFT Speciális Friction Testert AFT-PB1									✓	✓
		2810-005 Bluehill®									✓	✓
		Mecmesin									✓	✓
2.4.5.	Mérési elv: Bowden – Leben-féle készülék						✓		✓			
2.4.6.	Mérési elv: Dreby-féle készülék								✓	✓		

1. Táblázat Coulomb elv alapján működő síkfelületen mérő berendezések csoportosítása a vizsgálható alapanyag alapján

A 2. táblázatban rendszereztem az Euler elv alapján működő vizsgálóberendezéseket és itt is jelöltem, hogy melyik technikai megoldással milyen textilszerkezet vizsgálatára van lehetőség, illetve melyik súrlódási tényező meghatározására van mód.

fejezet szám	Euler elv alapján – sík felületen		egydimenziós termékek						kétdimenziós termékek			
			elemi szál, monofilament		multifilament		fonal		textil		csomagoló- anyagok (papír, hullámkarton lemez, műanyag fólia ...stb.)	
			μ_{ny}	μ_m	μ_{ny}	μ_m	μ_{ny}	μ_m	μ_{ny}	μ_m	μ_{ny}	μ_m
2.5.1.	Mérési elv: Álló fonalat és forgó súrlódó testet alkalmazó mérés állandó körülfogási szög és állandó előterhelés mellett				✓	✓	✓	✓				
2.5.2.	Mérési elv: Álló fonalat és forgó súrlódó testet alkalmazó mérés állandó, körülfogási szög és állandó eredő erő mellett				✓	✓	✓	✓				
2.5.3.	Mérési elv: Álló fonalat és lengő súrlódó testet alkalmazó mérés, állandó körülfogási szög és állandó eredő erő mellett				✓	✓	✓	✓				
2.5.4.	Mérési elv: Futó fonalat és álló súrlódó testet alkalmazó mérés, állandó körülfogási szög és állandó húzóerő mellett				✓	✓	✓	✓				
2.5.5.	Mérési elv: „Fonal–fonal” súrlódást is mérő, négygörgős mérési eljárás, futó fonalaknál				✓	✓	✓	✓				
2.5.6.	Mérési elv: Nyomatékkiegyenlítéses módszerek				✓	✓	✓	✓				
	valós készülék	YFM 001			✓	✓	✓	✓				
		233b Attrifil II.			✓	✓	✓	✓				
		LH-402 CCT			✓	✓	✓	✓				
		Y096A/B SDL ATLAS			✓	✓	✓	✓				
		LH 603 YFM YFM Yarn Friction Meter			✓	✓	✓	✓				
2.5.7.	Mérési elv: Buckle–Pollitt-féle fonalsúrlódásmérő				✓	✓	✓	✓				

2. Táblázat Euler elv alapján működő hengeres felületen mérő berendezések csoportosítása a vizsgálható alapanyag alapján

A 3. táblázatban rendszereztem a Coulomb elv alapján működő mérőműszereket és jelöltem, hogy melyik eljárással milyen felületen van lehetőség súrlódási tényező meghatározására.

fejezet szám	Coulomb elv alapján – sík felületen	elemi szál, monofilament	multifilament	fonal	textil	súrlódó test - adott alapanyagú	súrlódó test – cserélhető bevonható
2.4.1.	Mérési elv: Guthrie és Oliver féle készülék	✓					
2.4.2.	Mérési elv: Állítható lejtésszögű mérőberendezés (fonal)					✓	
2.4.3.	Mérési elv: Állítható lejtésszögű mérőberendezés (laptermék)				✓	✓	
	valós készülék 32-25-00 COF Inclined Plane Tester					✓	
	PARAM COF-P01					✓	
2.4.4.	Mérési elv: Vízszintes síklapú mérő berendezés				✓	✓	
	valós készülék PARAM MXD-02					✓	
	32-07 Lab Master® 32-91 Lab Master® 32-71 Lab Master®					✓	
	AFT Speciális Friction Testert AFT-PB1					✓	
	2810-005 Bluehill®					✓	✓
	Mecmesin					✓	✓
2.4.5.	Mérési elv: Bowden – Leben-féle készülék					✓	
2.4.6.	Mérési elv: Dreby-féle készülék				✓		

3. Táblázat Coulomb elv alapján működő sík felületen mérő berendezések csoportosítása a súrlódó felület alapján

A 4. táblázatban rendszereztem az Euler elv alapján működő mérőeszközöket és jelöltem, hogy melyik eljárással milyen felületen van lehetőség súrlódási tényező meghatározására.

fejezet szám	Euler elv alapján – sík felületen	elemi szál, monofilament	multifilament	fonal	textil	súrlódó test - adott alapanyagú	súrlódó test – cserélhető bevonható
2.5.1.	Mérési elv: Álló fonalat és forgó súrlódó testet alkalmazó mérés állandó körülfogási szög és állandó előterhelés mellett	✓	✓	✓		✓	
2.5.2.	Mérési elv: Álló fonalat és forgó súrlódó testet alkalmazó mérés állandó, körülfogási szög és állandó eredő erő mellett					✓	
2.5.3.	Mérési elv: Álló fonalat és lengő súrlódó testet alkalmazó mérés, állandó körülfogási szög és állandó eredő erő mellett					✓	
2.5.4.	Mérési elv: Futó fonalat és álló súrlódó testet alkalmazó mérés, állandó körülfogási szög és állandó húzóerő mellett					✓	
2.5.5.	Mérési elv: „Fonal-fonal” súrlódást is mérő, négygörgős mérési eljárás, futó fonalaknál			✓		✓	✓
2.5.6.	Mérési elv: Nyomatékkiegyenlítéses módszerek			✓		✓	
	valós készülék					✓	
	YFM 001					✓	
	233b Attrifil II.					✓	
	LH-402 CCT					✓	
	Y096A/B SDL ATLAS					✓	
2.5.7.	Mérési elv: Buckle–Pollitt-féle fonalsúrlódásmérő					✓	✓

4. Táblázat Euler elv alapján működő hengeres felületen mérő berendezések csoportosítása a súrlódó felület alapján

Összességében megállapítható, hogy a kialakított mérési eljárások és a forgalomban lévő berendezések többsége Coulomb elv alapján, sík felületen vizsgálja a hajlékony egy- és kétdimenziós termékeket. Laptermékek esetében azonban jobb megoldásnak tűnik az íves felületen – hengeren – történő vizsgálat.

- Ennek oka az, hogy a textíliák esetében a feldolgozás pl.: szövés, különféle kikészítő eljárások, festés, kalanderezés ...stb. során hengereken vezetik a kelméket.
- A textíliák a felhasználás közben szabad, illetve kényszer deformációnak vannak kitéve (*Halász, 2008*). A kényszer deformáció alatt általában nem síklapra, hanem valamilyen a sík felülettől eltérő formára „feszülnek” rá, pl.: elastikus ruhadarabok, hevederek. Ponyvaszerkezetek és sátrak esetében nincs úgynevezett formát adó kényszerítő felület, ahogyan a súrlódásuk sem jelentős.
- A hajlékony csomagolóanyagokat is általában hengereken vezetik, mint például a papír- és fóliagyártó gépsorokon vagy nyomtató berendezésekben.

2.7. A SZAKIRODALOM KRITIKAI ÖSSZEFOGLALÁSA

A súrlódási jelenségekkel és a súrlódási tényezőkkel napjainkban is sokan foglalkoznak. Néhány hazai kutatót kiemelve:

- Balogh Tibor (*Balogh, 2007*) az érintkező felületek száraz súrlódásakor lejátszódó folyamatok numerikus és kísérleti vizsgálatával foglalkozott,
- Czifra Árpád (*Czifra, 2007*) a felületi mikrotopográfia jellemzését kutatta a mozgási súrlódás esetén,
- Lestyán Zoltán (*Lestyán, 2006*) a száraz súrlódás hőtani viselkedését vizsgálta,
- Gál Péter (*Gál, 2005*) is a súrlódási jelenségek kutatásával foglalkozott, kutatásaihoz egy új vizsgálóberendezést hozott létre.

A felsorolásból is látszik, hogy sokféle kutatás folyik napjainkban, de a felsorolt kutatások mindegyike a szilárdtestek, leginkább fémek súrlódási jellemzőivel foglalkozik.

Az elmúlt időszakban hazánkban kevesen foglalkoztak a deformálható textilszerkezetek és laptermékek súrlódási jellemzőinek kutatásával, és a nemzetközi kutatásokról is általában elmondható, hogy azok a kutatások, melyek fonalakat vizsgálnak, az ASTM szabvány elvi elrendezése alapján működő készülékeket használtak.

Néhány nemzetközi kutatót kiemelve:

A nemzetközi szakirodalomban 2003-ban megjelent J. Lang, S. Zhu és N. Pan súrlódással kapcsolatos cikke (*Lang, Zhu, Pan, 2003*), melyben a kutatók a szintetikus fonalak feldolgozás közbeni súrlódási tulajdonságait valamint a feldolgozás során alkalmazott kenőanyagok hatását vizsgálták. A különféle kenőanyagok egy vékony filmréteget hoznak létre az érintkező felületek között, mely komoly hatással van a súrlódási

értékek alakulására. Vizsgálataik alapján ennek a filmrétegnek a vastagsága jelentős hatással van a súrlódási mechanizmusra. Kutatásuk arra irányult, hogy megtalálják az átmenetet a száraz- és a folyadéksúrlódás között.

Megállapították, hogy fonás közben jelentős eltérés tapasztalható a szintetikus szálak és a pamutszálak súrlódása között. A szintetikus rostok súrlódását befolyásolhatja a sebesség a kenőanyag jellemzői... stb. Sok más kutatóval együtt kimutatták, hogy fonás közben a különböző vezetőszemeken áthaladó fonal ill. rostköteg között keletkező súrlódás nem írható le a hagyományos Amonton által megfogalmazott kapcsolattal mivel ez figyelmen kívül hagyja, hogy ebben az esetben egy rugalmas test (fonal, rost) és egy merev test (a vezető) kerül kapcsolatba. Ezért az Euler elv, amely a súrlódási együtthatót állandónak tekinti, nem vonatkozik textilanyagokra (*Lang, 2003*).

Kutatásaik során arra a megállapításra jutottak, hogy fonalak vizsgálatakor meg kell különböztetni a úgynevezett határsúrlódást (a rost felszíne és a felület teljes kapcsolatban áll), fél-határsúrlódást (a rost felszíne és a felület csak időszakosan érintkezik), és a folyadéksúrlódást (a rost felszínét és a felületet elválasztja egy vékony filmréteg).

J. Lang és munkatársai a fonalak súrlódásának nagyon érdekes és fontos területét vizsgálták. Eredményeik nagy jelentőséggel bírnak a fonás technológiai folyamatának fejlesztésében. Kutatásaik egy nagyon szűk területre korlátozódtak mivel csak egyféle típusú textilszerkezet (fonalak) vizsgálatával foglalkoztak, illetve különféle alapanyagú fonalak és merev testek kapcsolatakor fellépő súrlódási jellemzőket kutatták. (*Lang, 2003*)

J. Lang és munkatársai kutatásaihoz szorosan kapcsolódik L. Liu és társainak 2006-ben megjelent publikációja, mely a fonal-fonal súrlódást vizsgálta. A vizsgálat elrendezése megegyezett az ASTM szabvány csavart elrendezésével. Kutatásaik során a kapott eredményeket elemezték és numerikus modelleket fejlesztettek, hogy megjósolják a várható értékeket. Kimutatták, hogy a fonalat alkotó rostok a növekvő terhelés hatására kiegyenesednek és ez a súrlódási együttható csökkenését eredményezi. Azt is kimutatták, hogy a mozgási súrlódási tényező nagyon érzékeny a sebességre, a hőmérséklet növekedés pedig a súrlódási együtthatók csökkenését eredményezte. A túl magas hőmérséklet hatására a súrlódó felületek között létrejövő „olvadék” kenőhatást hozott létre (*Liu, 2006*).

Y. Qiu és munkatársai szintén fonalakat vizsgáltak és egy olyan új mérési módszer kidolgozásán fáradoztak, mely segítségével meghatározható az egyes alkotóelemek súrlódása a textilszerkezetben (fonaltestekben). Kutatásaik középpontjában a súrlódás következtében fellépő energiavesztés áll. Pamut és poliészter elő fonalakat vizsgáltak és a teszteredményeket egy dinamikus mechanikus modellel összevetve elemezték (*Qiu, 2001*).

A fonalak vizsgálatával ellentétben a textíliák vizsgálata nehezebb, mivel nincs szabványban meghatározott mérési eljárás ezen termékekre. Ahogy azt a nemzetközi szakirodalom is alátámasztja, hogy az ilyen jellegű elemzések esetében csak saját fejlesztésű mérőműszerek segítségével végezhető kutatások. Ezt igazolják A. Das, és munkatársai és M. Lima, és munkatársai által közölt eredmények.

A. Das, V. Kothari és N. Vandana 2005-ben megjelent publikációjukban kapcsolatot kerestek a textilek emberek általi szubjektív értékelése és az objektív mérések között. A textíliák szubjektív értékelését alapvetően meghatározza az anyag kezeltsége, felülete, rugalmassága, vastagsága ...stb. Ezek a tulajdonságok hatással vannak a súrlódási tulajdonságokra is. Mivel az emberi kéz és ujj igen érzékeny „műszer” és képes észlelni kis különbségeket, a kutatók ezért fontosnak tartják, hogy kapcsolatot keressenek az objektív és szubjektív mérési eredmények között. Egy saját fejlesztésű vízszintes síkú műszert alakítottak ki a vizsgálataikhoz (*Das, 2005*).

A kutatók megállapították, hogy a szövetek nagyon érzékenyek a dörzsölés (vizsgálati) irányára és, hogy a szövet alapanyag összetétele alapvetően meghatározza a mérési eredményeket. Egyes szövet-összetevők, pl.: a pamut arányának növekedése a súrlódás növekedését eredményezi.

M. Lima, és munkatársai az emberi bőr és a textíliák kapcsolatát vizsgálták egy új fejlesztésű műszeren. Céljuk a kényelmesebb és kellemesebb gyógyászati textíliák (pl.: műtő ruházat) kialakításának segítése. Az új mérőeszköz egy körkörös mozgást végző tesztkészülék, melyet kétdimenziós felületek (szövött, nem szövött és „lágy” papírok vizsgálatára terveztek. A műszerrel a vizsgálat során keletkező súrlódási nyomatékot mérik. A kutatás alatt három különböző textíliát vizsgáltak (gyógyászati textíliákat – köpeny anyagokat), ellenőrzött környezetben.

A mérések kimutatták, hogy a textília pamut tartalmának növekedése növeli a súrlódási együttható értékét. A vizsgált minták esetében nem tudtak kimutatni statisztikai különbséget a szövetszerkezet típusa és a súrlódási tényező között.

Valószínűleg további vizsgálatok szükségesek, és szélesebb spektrumból kell választani textíliákat, mert a szövetszerkezet alapvető hatással van a viselési tulajdonságokra. Ennek a hatásnak a súrlódási tényező értékek esetében is meg kell mutatkoznia.

A textilszerkezetek súrlódásának vizsgálata kevésbé kutatott tudományos terület. A kutatást nehezíti, hogy nincs elfogadott szabványos mérési eljárás. Számos lehetőséget rejt a textíliák vizsgálata, de ehhez mindenképpen szükség lenne egy univerzális mérőműszere.

A kutatók által kifejlesztett „saját” mérőműszerek módszerspecifikusak és ezért a mérési eredmények nehezen, vagy egyáltalán nem összehasonlíthatók.

Olyan mérőműszer, mely többféle textilszerkezet mérésére alkalmas, nem létezik. A nemzetközi irodalom áttekintéséből nyilvánvaló, hogy igény van egy olyan univerzális műszerre, mely könnyen kezelhető, nagyon pontos, könnyen hozzáférhető és az ára is elfogadható.

Véleményem szerint az általam kifejlesztett univerzális súrlódásmérő műszer megfelel ezen követelményeknek.

3. AZ ÁLTALÁNOSAN ALKALMAZHATÓ MÉRÉSI ÖSSZEÁLLÍTÁS KIFEJLESZTÉSE

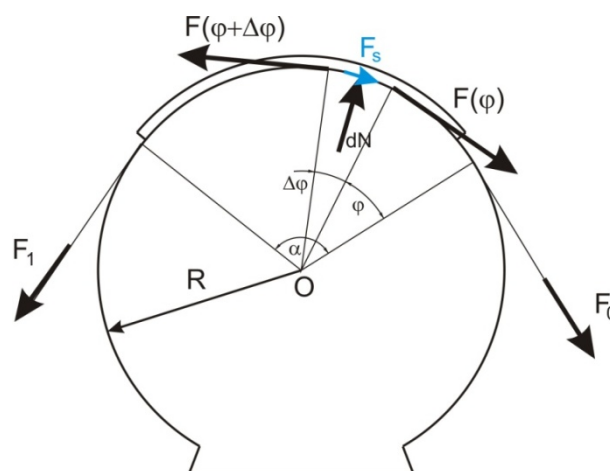
Az összegyűjtött elvi megoldások és eljárások összehasonlításából megállapítottam, hogy nincs olyan módszer, amellyel valamennyi típusú hajlékony egy- illetve kétdimenziós termék egyazon berendezésen, azonos körülmények között vizsgálható. Ezért célszerűnek látszott egy olyan műszer és berendezés kifejlesztése, amely ezt lehetővé teszi.

Az összehasonlító táblázatok alapján megállapítható, hogy több lehetőség rejlik egy Euler elven működő hengeres berendezésben és a valóságot is jobban modellező megoldás lenne. A hengeres Euler elven működő technikai megoldások alapja a kötelsúrlódás.

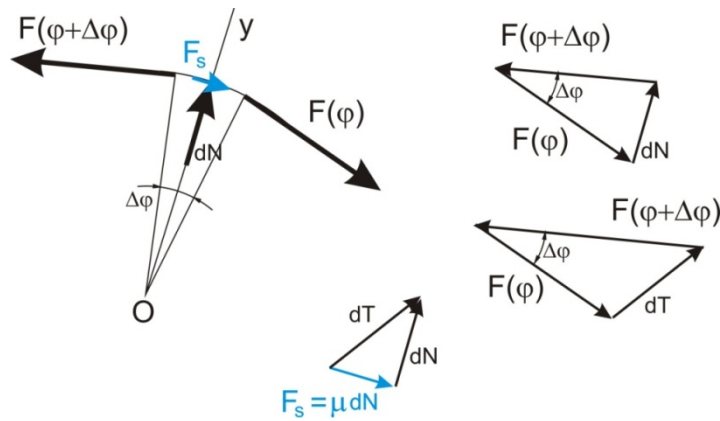
3.1. KÖTÉLSÚRLÓDÁS

Egy álló hengerre kötelet illesztve, a kötel a α szögtartományban átfogja a henger felületét. A kötel egyik végén, F_1 másik végén F_0 erő hat. Ha nem lenne súrlódás, akkor $F_1 = F_0$. A súrlódás figyelembevételével F_1 értéke változhat anélkül, hogy az egyensúly felbomlana.

Az egyensúly határállapotában, az F_1 irányú kötelerő az elmozdulás határán van. A kötel tetszőleges szakasza $\Delta\varphi R$ hosszúságú darabja érinti a hengert. A kötelsúrlódás levezetése Dr. Szalai József Műszaki mechanika I. Sztatika jegyzete alapján (Szalai, 2008).



30. ábra Hengeres súrlódó felület a próbatesttel (Szalai, 2008)



31. ábra Kötélre ható erők (Szalai, 2008)

A kötéltre ható erők: a két kötélerő, a henger felületéről ható normálerő és az elmozdulás irányával ellentétes irányú súrlódási erő (Szalai, 2008). Ezek az erők egyensúlyi erőrendszert alkotnak:

$$\sum F_y = 0 = dN - F(\varphi) \sin \frac{\Delta\varphi}{2} - F(\varphi + \Delta\varphi) \sin \frac{\Delta\varphi}{2} \quad (3.1)$$

Az erőrendszer nyomatéki egyensúlya:

$$\sum M_0 = 0 = F(\varphi)R - F(\varphi + \Delta\varphi)R + dF_s R \quad (3.2)$$

ahol:

F_s – súrlódási erő [N]

R – hengeres súrlódó felület sugara [m]

$F_{(\varphi+\Delta\varphi)}, F_{(\varphi)}$ – a kötélem egyik és másik végén ébredő erő [N]

dN – a henger felületére merőleges erő [N]

Az elmozdulás határhelyzetében a súrlódó erő értéke:

$$dF_s = \mu_0 dN \quad (3.3)$$

A $\sin \frac{\Delta\varphi}{2} \cong \frac{\Delta\varphi}{2}$ közelítést felhasználva 3.1, 3.2 és 3.3 összefüggésekből kapjuk:

$$\frac{F(\varphi - \Delta\varphi) - F(\varphi)}{\Delta\varphi} = \mu_0 \frac{F(\varphi + \Delta\varphi) - F(\varphi)}{\Delta\varphi} \quad (3.4)$$

A 3.4-es egyenlet a $\Delta\varphi \rightarrow 0$ határátmenettel a következő formát veszi fel:

A kötélsúrlódás differenciálegyenlete: (3.5)

$$\frac{dF(\varphi)}{d\varphi} = \mu_0 F(\varphi)$$

A differenciálegyenlet megoldása:

$$\int \frac{dF(\varphi)}{F(\varphi)} = \int \mu_0 d\varphi, \quad \ln F(\varphi) = \mu_0 \varphi + C \quad (3.6)$$

A $\varphi = 0$ -nál $F = F_0$, az integrálási állandó értéke: $C = \ln F_0$

Így a partikuláris megoldás: (3.7)

$$F(\varphi) = F_0 e^{\mu_0 \varphi}$$

Az F_1 erő maximuma a saját irányba történő elmozdulásnál:

$$F_1 = F_0 e^{\mu_0 \varphi} \quad (3.8)$$

Ellentétes irányú elmozdulásnál, csak az előjele változik meg a súrlódási erőnek, így az F_1 erő minimuma: (3.9)

$$F_1 = F_0 e^{-\mu_0 \varphi}$$

A kötélt mindaddig nyugalomban van, amíg a következő összefüggés fennáll:

$$F_0 e^{-\mu_0 \varphi} \leq F_1 \leq F_0 e^{+\mu_0 \varphi} \quad (3.10)$$

Az elemi súrlódási erők eredője a kötélvégi két erő különbsége:

$$F_s = F_1 - F_0 \quad (3.11)$$

Az F_1 -vel ellentétes irányú, F_0 irányú elmozdulásnál:

$$F_s = F_0 - F_1 \quad (3.12)$$

Ha a kötélt F_1 irányba csúszik a hengeren, akkor a mozgathoz szükséges minimális erő: (3.13)

$$F_{1\min} = F_0 e^{\mu \varphi}$$

ahol:

μ – mozgásbeli súrlódási tényező [-]

3.2. TEXTILSZERKEZETEK FELÉPÍTÉSE ÉS FŐBB MECHANIKAI TULAJDONSÁGAI

A súrlódást már igen régóta tanulmányozzák, ennek ellenére még mindig vannak új feltáratlan kutatási területek. Baksa szerint (*Baksa, 2005*) ennek az lehet az oka, hogy egyrészt a különféle felszínek súrlódási kapcsolata egészen atomi szintű kémiai, elektromágneses és mechanikai okokkal magyarázható. Másrészt az egymással érintkező felületek felépítése is nagyon összetett, mely összetettség pedig hatással van a súrlódásra.

Sok más kutatóval együtt Lang és társai (*Lang, 2003*) arra a következtetésre jutottak, hogy a levezésben állandónak tekinett súrlódási tényező csak korlátozottan alkalmazható textilszerkezetek esetében mivel ezek figyelmen kívül hagyják a súrlódó test

deformálhatóságát. Ezért az Euler elv, amely a súrlódási együtthatót állandónak tekinti, nem vonatkozik textilanyagokra.

A textilszerkezetek (elemiszálak, monofilamentek, multifilamentek, fonalak, szövetek, kötött és egyéb kelmék) felépítése és mechanikai jellemzői és tulajdonságai erősen különböznek más lineáris és kétdimenziós lapszerű szerkezeti anyagoktól. Ez a különбözőség a szerkezetük és így mechanikai tulajdonságaik irányfüggésével (anizotrópiájával) magyarázható (Halász, 2008).

Lineáris textilszerkezetek alapvető jellegzetességei:

- Inhomogén, hierarchikus felépítés: elemi szál – fonal; monofilament – multifilament; elemi szál – fonal – cérna – fonatolt termékek, kötelek, zsinórok.
- A lineáris struktúrákat alkotó elemi szálakat, monofilamenteket (vágott hosszúságúak) a sodrat hatására létrejövő súrlódás tartja össze.

Lapszerkezetek alapvető jellegzetességei (Halász, 2008):

- Nem egynemű (inhomogén), hierarchikus felépítés: elemi szál – fonal – szőtt, kötött vagy egyéb lapszerkezet.
- A lapszerű struktúrában az egyes szerkezeti elemeket a súrlódás tartja össze. A fonalakat és cérnákat az őket alkotó elemi szálak, vagy az egyes fonalágak közötti súrlódás fogja össze. A szövött és a kötött kelme fonalrendszereit a kereszteződéseknel és a hurkoknál fellépő súrlódás tartja össze.
- A térbeli irányoktól függő szerkezet sajátossága a két, egymással derékszöget bezáró irány (a lánc- és a vetülékirány).

A textilszerkezetek legfontosabb speciális mechanikai jellemzői:

- „A polimer anyagok családjába tartozó textilanyagok a polimerek tulajdonságait mutatják (kicsi fajlagos tömeg, kúszás, feszültség-relaxáció stb.).
- A szerkezeti anizotrópia miatt a mechanikai tulajdonságok is irányfüggők.
- A textil laptermékek már kis erők hatására - húzás, nyomás, hajlítás, nyírás - is nagy deformációval válaszolnak.
- Különösen nagy a deformáció hajlítás és nyírás esetén, a textíliák hajlító és nyíró deformációja - annak ellenére, hogy kicsi a fajsúlyuk - már saját súlyuk hatására is igen nagy mértékű lehet.”

(Halász Marianna: Textilanyagok viselkedésének modellezése, 2008.; Országos Tudományos Kutatási Alapprogramok)

Ezek a jellemzők felelősek a textiltermékek egyedülálló viselkedéséért, és teszik azokat alkalmassá műszaki és egyéb használatra (Halász, 2008).

3.3. A TEXTILTERMÉKEKRE SÚRLÓDÁS KÖZBEN HATÓ ERŐK

A textiltermékek a rájuk ható erő következtében alakváltozást szenvednek. Az alakváltozás létrejötte jellegzetes szerkezetükből adódik.

Az erőhatás mértékétől függően változik a deformáció nagysága is. Ahhoz, hogy pontos képet alkossunk, a deformációról ismerni kell az anyagtulajdonságokat és a rendszerre ható erőket.

A 2.4 és 2.5 számú fejezetekben bemutatott valós mérőműszerek és technikai megoldások arra engednek következtetni, hogy a hengeres Euler elven működő berendezések továbbfejlesztésével, vagy átalakításával létrehozható egy olyan berendezés mely a vizsgálati alapanyagok és az alkalmazható súrlódó felületek a jelenlegieknél szélesebb spektrumát fedi le.

A műszer tervezését megelőzően egy egyszerű, de eredményes módszerrel megvizsgáltam a hengeres felületen elhelyezett mintára ható erőket (3.3.1.-3.3.3. fejezetek).

Mindenképpen meg kell különböztetni a textilszerkezetre ható erők között a szerkezettel „párhuzamos” (más szóval hosszirányú), illetve arra „merőleges” irányú erőket. A két különböző erőirány hatására más és más alakváltozás fog bekövetkezni.

3.3.1. Sugár irányú erők

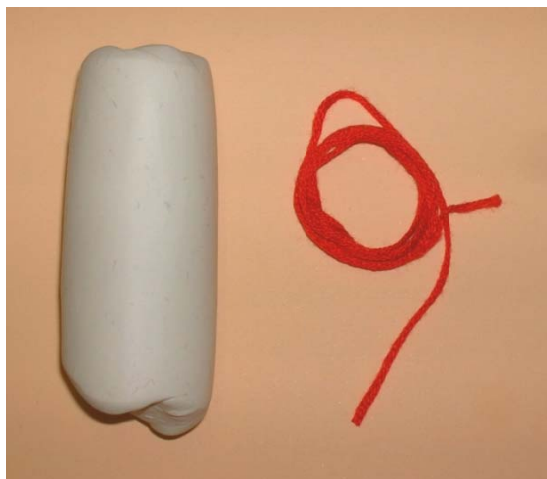
A vízszintes tengelyhelyzetű hengeres súrlódó felület palásjára fektetett próbatestet a kötelerők eredője nyomja rá sugárirányban a felszínre. Vizsgáltam a henger felületére helyezett fonalakra és multifilamentekre ható erőket. Mivel nehézséget jelentett a sugár irányú terhelő erők meghatározása a próbatest minden egyes érintési pontjában, ezért egy kísérlettel határoztam meg az ébredő erők eloszlását és arányát, illetve az ezen erők hatására bekövetkező alakváltozást. Olyan alapanyagot választottam, mely kis erőhatásra is jelentős alakváltozással válaszol.

Kísérletekhez felhasznált alapanyagok a következők voltak (32. ábra):

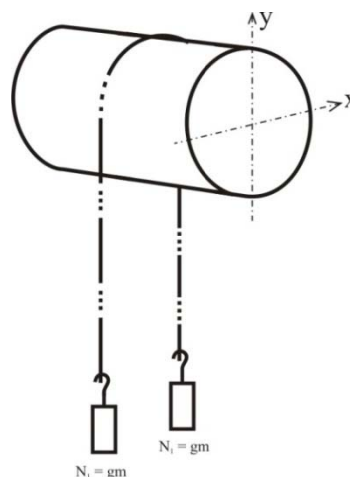
- Képlékeny modellhenger melynek keménysége: $0,018819 \left[\frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right]$ – 2. melléklet
- COATS puppets hatfonalas osztott himzőcérna (alapanyaga. 100% pamut, lineáris sűrűsége: 4 tex)

A képlékeny anyagból egy 30 mm átmérőjű hengert készítettem. A hengeren átvitettem a himzőcérnát és két végét azonos súllyal terheltem (33. ábra). A terhelés hatására a cérna

belevájódott a képlékeny anyagba (34. ábra). A keletkezett mélyedésből eltávolítottam a hímzőcérnát és a keletkezett barázda mentén egy penge segítségével óvatosan (nehogy deformálódjanak a felületek) kettéválasztottam a képlékeny hengert. Megvizsgáltam a keletkezett felszínt melyen jól látható a fonal „vágta” sima felület és barázda (35. ábra).



32. ábra Kísérleti anyagok (képlékeny henger és COATS puppets hatfonalas osztott hímzőcérna)



33. ábra Kísérleti elrendezés

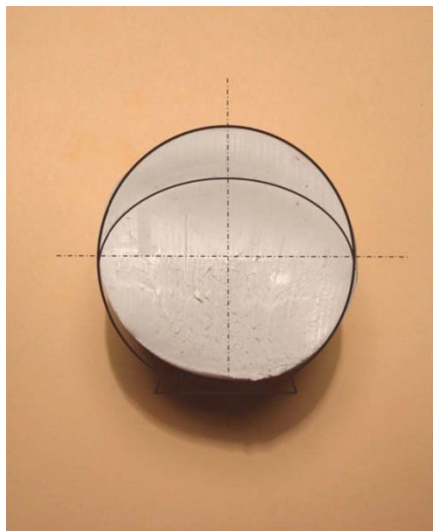


34. ábra A képlékeny hengerbe bevágódott hímzőcérna

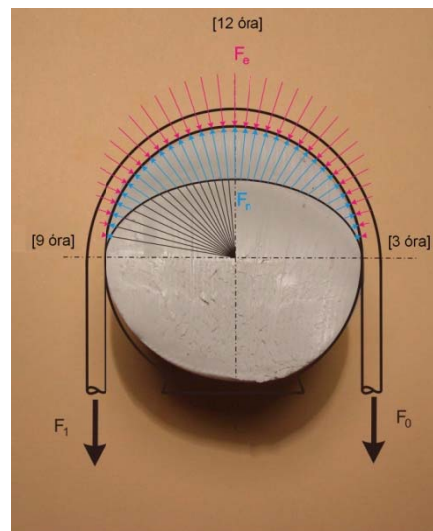


35. ábra A bemélyedés mentén szétválasztott képlékeny henger

A kísérletet többször is elvégeztem. Minden esetben azonos eredményt kaptam. A hímzőcérna és a hengerfelület érintési pontjaiban terhelés hatására eltérő nagyságú bevájódás lett az eredmény. Az eltérő nagyságú bevájódás az eltérő nagyságú erővel magyarázható.



36. ábra A szétválasztott képlékeny henger bevájódásának grafikus kiemelése



37. ábra Az eltérő mértékű bevájódást okozó erő rendszer

A legnagyobb erő a henger tetején (ha az óra számlapját használjuk viszonyítás alapnak), 12 óránál keletkezik, itt a legnagyobb az erő hatására keletkező bemélyedés. A szélek felé haladva (megint az óra számlapjához viszonyítva) 3 és 9 óra irányába a keletkező erők egyre kisebbek, így az általuk okozott bemélyedések is egyre enyhébbek (36. ábra).

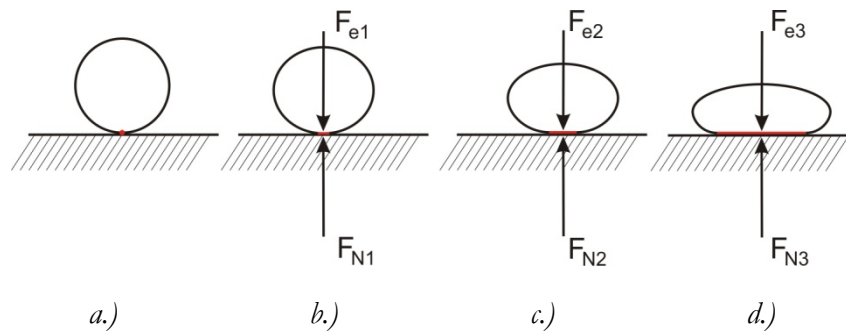
A hengerpalást felületén egy olyan erőrendszer ébred, amely a vízszintes tengelyhez közelítve egyre kisebb sugárirányú terhelő erőket tartalmaz (37. ábra).

Mivel egy változó erőrendszer terheli a deformálható próbatestet, ezért a próbatest ennek megfelelően nagyobb terhelésre nagyobb keresztirányú alakváltozással, kisebb terhelésre kisebb keresztirányú alakváltozással fog válaszolni.

Monofilamentre ható sugár irányú erők

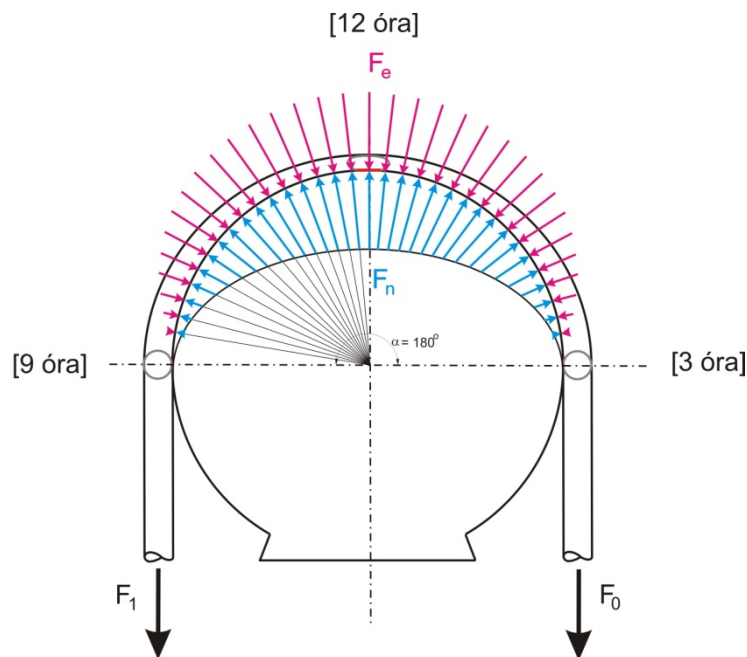
A hengerfelületen elhelyezkedő monofilament, terhelés hatására a terhelő erő nagyságától függően, szintén alakváltozást szenved. Az alakváltozást a 38. ábra szemlélteti. Az ábrán jól látható, hogy az egyre nagyobb eredő erők hatására a kör keresztmetszetű monofilament egyre nagyobb alakváltozással reagál.

Terhelés nélkül, az alkotó mentén (keresztmetszetben pontbeli) érintkezés látható. A növekvő terhelés hatására a kör keresztmetszet kezd ellapulni, és ellipszishez hasonló alakot ölt. Az ellipszis nem szabályos, mivel rásimul a felületre, így már felület mentén (keresztmetszetben vonal mentén) érintkezik a monofilament és a felszín.



38. ábra Kör keresztmetszetű monofilament alakváltozása a merőleges terhelő erő hatására
 a.) terhelő erő nélküli keresztmetszetben pontbeli (térben vonal menti) érintkezés
 b.) kis terhelő erő hatására keresztmetszetben vonali (térben síkbeli) érintkezés
 c.) nagyobb terhelő erő hatására keresztmetszetben nagyobb vonali (térben nagyobb síkbeli) érintkezés
 d.) még nagyobb terhelő erő hatására keresztmetszetben még nagyobb vonali (térben még nagyobb síkbeli) érintkezés

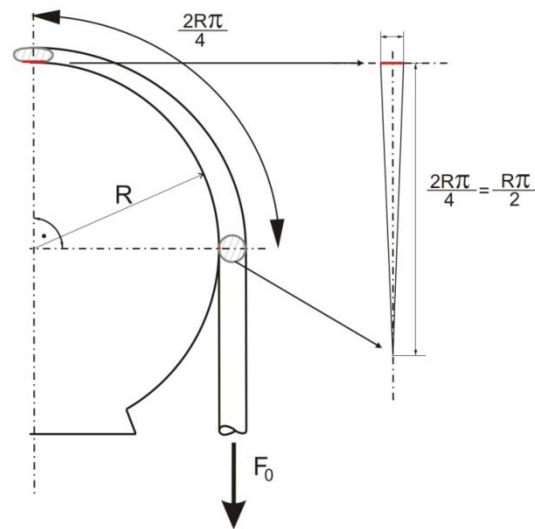
A henger felületén létrejövő erőrendszer hatására a monofilament deformálódni fog. A 39. ábrán látható, hogy a henger tetején (12 óránál) lesz a legnagyobb a deformáció mivel itt ébrednek a legnagyobb sugárirányú erők, és a henger két oldalán (3 és 9 óránál) megszűnik a merőleges irányú erők hatására bekövetkező alakváltozás, ugyanis az erők eredőjének sugár irányú (merőleges) összetevője eltűnik.



39. ábra Henger felületére helyezett kör keresztmetszetű monofilament és a ráható erőrendszer

A 39. ábrán látható erőrendszer hatására bekövetkező deformáció miatt a monofilament hengerrel érintkező felülete „12 órától” indulva „3 és 9 óra” felé haladva egyre kisebb lesz. Ezt az érintkező felületet kiemelve és a síkba kiterítve egyenlőszárú háromszögeket közelítő alakzatokat kapunk. A háromszög alapjának hosszát a terhelő erő

és a monofilament deformálhatósága határozza meg, a magasságát a henger alakú súrlódó test negyed kerülete (40. ábra). Minél nagyobb a terhelő erő, annál nagyobb lesz az érintkezési felület nagysága.



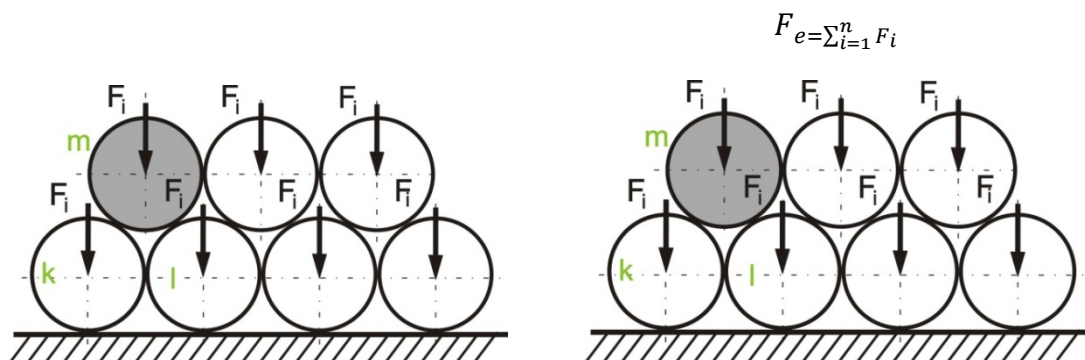
40. ábra Henger felületére helyezett kör keresztmetszetű monofilament és a ráható erőrendszer

Sodrat nélküli kötegre, multifilamentre ható sugár irányú erők

A henger felületén létrejövő erőrendszer a multifilamentekre összetettebb hatással van mint a monofilamentekre. Ebben az esetben először a köteg fog deformálódni és csak utána, a terhelés nagyságától függően, jöhet létre a köteget alkotó egyes elemek deformációja.

A kötegben párhuzamosan elhelyezkedő monofilamenteket szemlélteti a 41. ábra. A köteg egyes elemeit a monofilamentek közötti pl.: a védő sodratból adódó tapadóerő és a felületen ébredő súrlódó erő tartja a helyén, megakadályozva a köteg „szétterülését”. A kötegből kiválasztottam: „k”; „l” és „m” jelű elemeket.

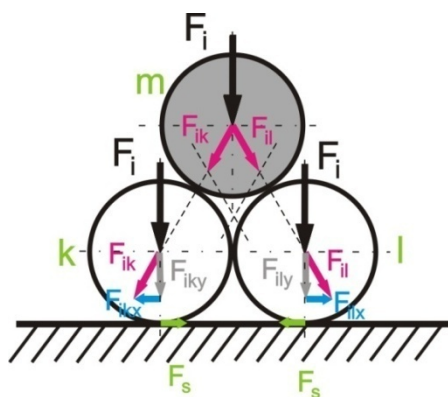
A terhelés hatására keletkező „ F_e ” eredő erő a köteget alkotó egyes filamentszálakat a felületre nyomja 42. ábra.



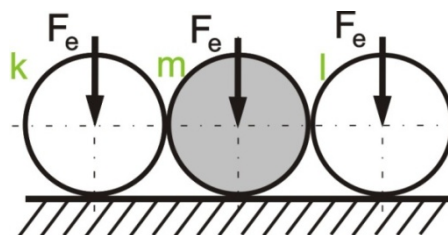
41. ábra Multifilament elhelyezkedése terhelő erő nélkül (egyszerűsített vázlat)

42. ábra Multifilament és terhelő erő

A felülettől távolabb elhelyezkedő filamentszálak „ F_e ” eredő erői az alattuk levő rétegek egyes elemeit terhelik. Ha az „ F_e ” eredő erő elég nagy ahhoz, hogy legyőzze a felületen ébredő súrlódó és a köteget összetartó erőket, akkor széttolja a monofilamenteket és a köteg szétterül a felületen 43. és 44. ábrák.



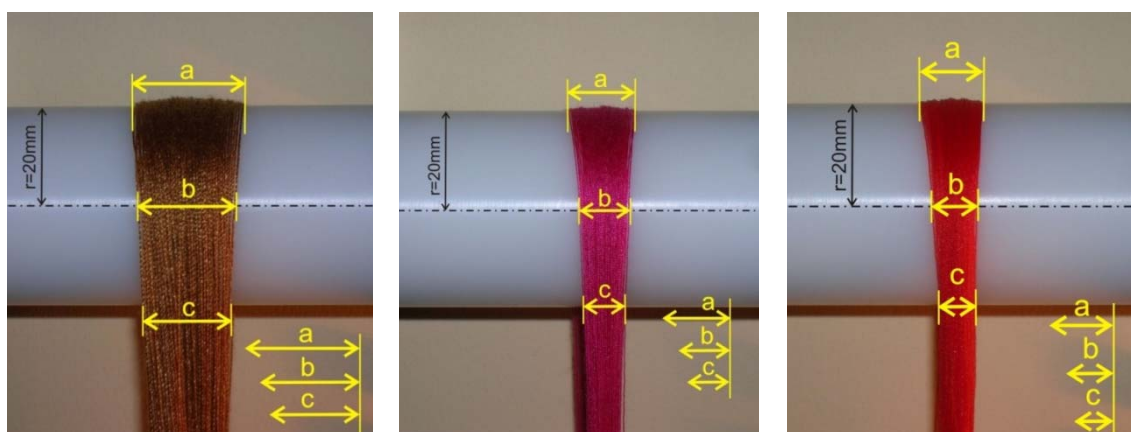
43. ábra Multifilament egyes darabjait terhelő erők



44. ábra Szétterült multifilament

Kísérletekkel is elemeztem feltételezésemet. Különböző alapanyagú és típusú kötegeket vizsgáltam. A terhelés hatására bekövetkező szétterülés a 44. ábrán látható. Ahol a legnagyobb „ F_e ” eredő erő a henger tetején (12 óránál), ott a legnagyobb a köteg szélessége – szétterülése. A hengerpalást felületén a 3 és 9 óra felé haladva, az egyre kisebb erők miatt, a köteg szétterülése is csökken. 3 óránál és 9 óránál a köteg visszanyeri eredeti szélességét.

Több mérés átlagából kiszámoltam és meghatároztam a szétterülés mértékét milliméterben és százalékban is, az adatokat a 5. táblázat tartalmazza.



a.)
Güttermann varrócérna
alapanyag: 70%PES, 30% CO
finomság: 80 tex
köteget alkotó elemek száma: 100

b.)
Astra varrócérna
alapanyag: 100%PES
finomság: 27 tex
köteget alkotó elemek száma: 100

c.)
Trevira varrócérna
alapanyag: 100%PES
finomság: 12 tex
köteget alkotó elemek száma: 100

45. ábra Szétterülési vizsgálat (Güttermann; Astra és Trevira fonalakkal)

	Güttermann		Astra		Trevira	
a	22 mm	128,03 %	13 mm	164,87 %	15 mm	165,52 %
b	19,1 mm	111,30 %	9,7 mm	122,73 %	11 mm	121,83 %
c	17,2 mm	100 %	7,9 mm	100 %	9,1 mm	100 %

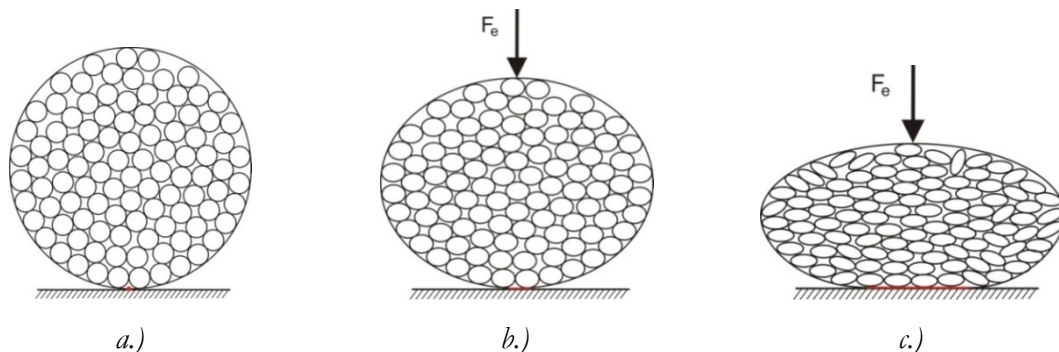
5. Táblázat Güttermann; Astra és Trevira fonalak szétterülési értékei

Sodrott fonalakra ható erők

A sodrat összetartó erejének hatására a fonal közel „hengeres” formát kap. Ahogy ez a 46. ábrán is látható, terhelés nélkül a fonal egy alkotó mentén (keresztmetszetben pont) érintkezik a felülettel. A fonal a terhelő erő mértékétől függően szintén alakváltozást fog szenvedni. Az egyre növekvő erő hatására a hengeres, kör keresztmetszetű fonal egyre nagyobb alakváltozással reagál. A fonal keresztmetszete kezd ellaposodni és egyre nagyobb felületen érintkezik a felszínnel.

A fonal 46. ábrán látható deformációja csak a sodratszám növelésével csökkenthető. Minél nagyobb a sodratszám annál kevésbé tud a fonal a felületen elterülni. A sodratszám növelése azonban a keresztmetszet csökkenését eredményezi, merevebbé és kevésbé rugalmassá téve a fonalat.

A fonalak érintkezési felületének alakja megegyezik a monofilamentekre jellemző, egyenlő szárú háromszöget közelítő formával (40. ábra).



46. ábra Kör keresztmetszetű sodrott fonal alakváltozása a merőleges terhelő erő hatására

- a) terhelő erő nélküli keresztmetszetben pontbeli (térben vonal menti) érintkezés
- b) kis terhelő erő hatására keresztmetszetben vonal (térben síkbeli) érintkezés
- c) nagyobb terhelő erő hatására keresztmetszetben hosszabb vonal (térben nagyobb síkbeli) érintkezés

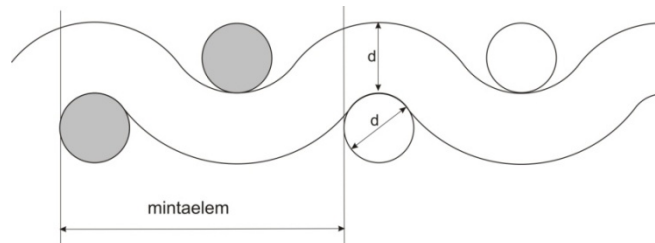
Textilekre – kétdimenziós laptermékekre - ható erők

A kétdimenziós laptermékekre is ugyanaz az erőrendszer hat mint ami a 37. és 39. ábrán látható. Az erőrendszer az egyes érintkezési pontokban az ott ébredő sugár irányú erők nagyságának megfelelően fogja deformálni a textilt.

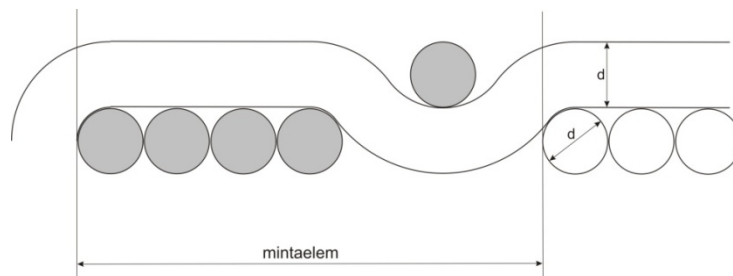
Bármilyen típusú legyen a kétdimenziós textilszerkezet (szövött, kötött, nem szövött vagy egyéb) felülete nem tekinthető egységes sík felületnek. Ezért a súrlódó felülettel is csak „bizonyos” pontokon (szálkeresztződési pontokon) fog érintkezni. Terhelés hatására,

annak nagyságától függően, a kötésszerkezet ellapul, megnövelve ezzel a próbatest és a súrlódó test közötti érintkezési pontok nagyságát.

Ahogy ez a 47. és 48. ábrákon is látható, a textíliák felülete (pl.: vászon és atlasz kötés) nem tekinthető egységes sík felületnek.



47. ábra *Vászonkötés egyszerűsített és idealizált metszeti képe*

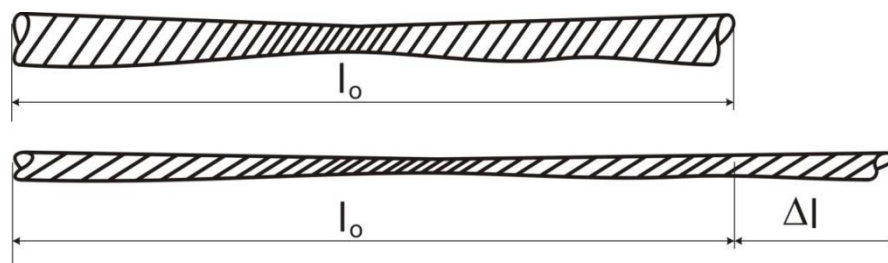


48. ábra *Atlasz kötés egyszerűsített és idealizált metszeti képe*

Tehát bármilyen típusú legyen a lapszerű textilszerkezet (szövött, kötött, nem szövött vagy egyéb), a sugár irányú terhelés hatására nőni fog az érintkező felület nagysága.

3.3.2. Tangenciális irányú erők

A tangenciális erők hatására a textilszerkezetek (elemi szálak, monofilamentek, multifilamentek és laptermékek) alakváltozással reagálnak. Ez az alakváltozás egy hosszirányú növekedésben és egy keresztirányú méret-csökkenésben nyilvánul meg (49. ábra).



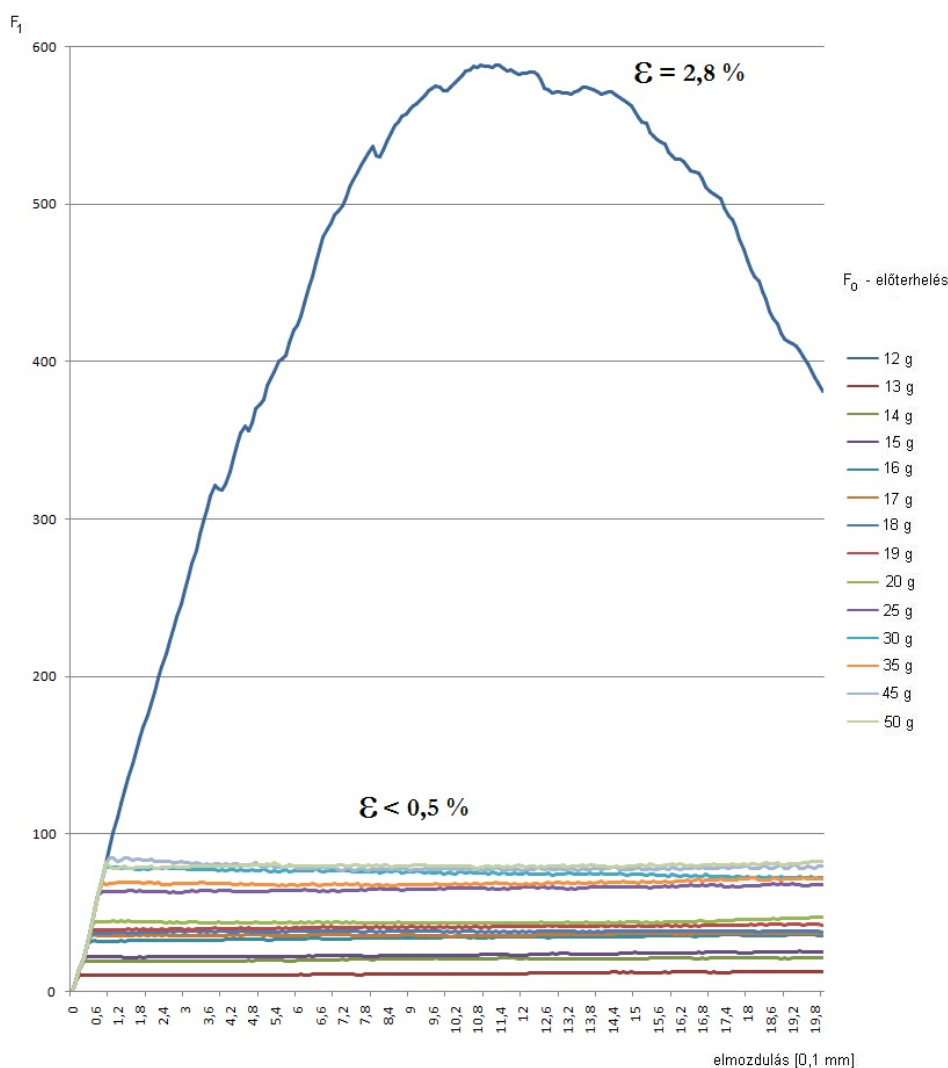
49. ábra *Sodrott fonal hosszirányú alakváltozása a tangenciális erők hatására*

A kizárólag hosszirányú erőhatásokra bekövetkező alakváltozás szakítóvizsgálatokkal elemezhető a legjobban.

Méréseim során minden alapanyagon végeztem szakítóvizsgálatokat. A szakítóvizsgálat eredményeiből meghatározható a vizsgált minta nyúlása, illetve lehetőség van a súrlódási mérés során kapott erőértékek összevetésére is. Ezáltal meghatározható a súrlódási vizsgálat során fellépő hosszirányú alakváltozás nagysága. Példaként bemutatom a Poliamid-6 multifilament (lineáris sűrűsége: 15,9tex; köteg elemszáma: 160) szakítóvizsgálatának és súrlódási erő mérésének közös grafikonját. Az 50. ábra grafikonján jól látható a köteg elszakításakor kapott eredmény, illetve a közel azonos tendenciát mutató súrlódó erők.

A tangenciális erők hatására nem csak nyúlással válaszolnak a textilszerkezetek, hanem hosszirányú rendeződéssel. Ez a rendeződés a szerkezetet alkotó elemek párhuzamosodását jelenti. A szerkezeti rendeződés molekuláris szinten is megvalósulhat.

A szakítódiagram és a súrlódó erő értékekből meghatároztam, hogy a különböző nagyságú előterhelések esetében mekkora nyúlás jellemzi az adott vizsgálati mintát (50. ábra).



50. ábra PA multifilament szakítódiagramja és súrlódó erő értékei különböző előterhelések hatására (5-50g közötti előterhelések esetében)

A nyúlási értékek nagysága minden súrlódási vizsgálat esetén nagyon kis értékeket mutatott. Multifilamentek esetében a súrlódási tényező mérésénél alkalmazott legnagyobb előterhelés hatására a 0,5%-os értéket közelítette a nyúlás míg monofilamentek esetében még ezt az értéket sem érte el.

3.3.3. Tömegerő és centrifugális erő

Próbatestek vizsgálatakor a minta saját súlya által létrehozott terhelés hozzáadódik a külső terheléshez. A tömegerő meghatározása a 3.1 –es mellékletben található.

Az általam vizsgált lineáris próbatestek tömegereje olyan csekély (Poliamid 6 monofilament esetében: $4,97 \cdot 10^{-5}$; Poliamid 6 multifilament esetében: $7,95 \cdot 10^{-3}$), hogy értékük elhanyagolható.

Ha a próbatest nagy sebességgel halad át a hengeres súrlódó felületen, akkor a keletkező centrifugális erő csökkenti a kötelsúrlódást. A centrifugális erő meghatározása a 3.2-es mellékletben található. Az általam használt próbatestek, a súrlódó felület és a vizsgálati sebesség esetében a kapott centrifugális erő-érték szintén olyan csekély, $10^{-4} - 10^{-6}$ nagyságrendű, hogy elhanyagolható.

3.3.4. Textiltermékekre ható erők összefoglalása súrlódási tényező mérésekor

A próbatest vizsgálatakor ébredő erők:

- sugárirányú erők
- tangenciális erők
- tömegerők

Csak elmozdulás esetén:

- centrifugális erők

A felsorolt erők a következő változásokat eredményezik:

- A hajlításra fordítódó erő nagysága függ:
 - súrlódó test (henger) görbületi sugarától
 - próbatest lineáris sűrűségétől
 - próbatestet alkotó elemi szálak számától
 - próbatest rugalmassági modulusától
 - próbatest megnyúlásától
 - próbatest molekula szerkezetétől
 - próbatest méretétől

A ráhajlításhoz szükséges erő meghatározása, alakváltozás számítása:

$$\beta = \frac{M \cdot l_0}{I \cdot E} \quad (3.14)$$

ahol:

β – szögelfordulás [rad]

M – hajlítónyomaték [Nm]

I – fonal másodrendű nyomatéka [m⁴]

E – fonal rugalmassági modulusa [Pa]

l_0 – távolság [m]

Hajlító merevség = $I \cdot E$

$$l_0 = \beta \cdot \gamma \quad (3.15)$$

3.14 és 3.15-es képletek összevonása:

$$\frac{1}{\gamma} = \frac{M}{I \cdot E} \quad (3.16)$$

3.16-es egyenlet rendezve:

$$\frac{1}{\gamma} = \frac{F_{rh} \cdot \gamma}{I \cdot E}$$

$$F_{rh} = \frac{I \cdot E}{\gamma^2} \quad (3.17)$$

ahol:

F_{rh} – ráhajlításhoz szükséges erő [N]

γ – súrlódó test görbületi sugara [m]

A másodrendű nyomaték függ a keresztmetszet méretétől és alakjától, valamint a keresztmetszetet alkotó összetevőktől.

Pl.: kör keresztmetszet esetén (egyes elemiszálak, monofilamentek)

$$I = \frac{d^4 \pi}{32} \quad (3.18)$$

téglalap keresztmetszet esetén:

$$I = \frac{a \cdot b^3}{12} \quad (3.19)$$

ahol:

d – próbatest keresztmetszetének átmérője [m]

a – próbatest keresztmetszetének szélessége [m]

b – próbatest keresztmetszetének magassága [m]

- az erők további része a próbatest alakváltozásában játszik szerepet.

A próbatest alakváltozása lehet sugárirányú, vagy hosszirányú. A sugárirányú alakváltozás leginkább az érintkezési felület nagyságára van hatással. Az egyre nagyobb terhelés hatására a próbatest egyre jobban „rásimul” a felületre, megnövelve ezzel a „látható”, szabad szemmel is érzékelhető érintkezési felület nagyságát. A sugárirányú erők hatására az érintkező felületek közötti érdességi csúcsok is egyre nagyobb felületen érintkeznek ezzel tovább növelve a valódi, tényleges érintkezési felület nagyságát.

A hosszirányú alakváltozás hatására bekövetkező megnyúlásnak a keresztmetszet csökkenésben és a felületi érdességi csúcsok eltávolodásában van szerepe. Ha az érdességi csúcsok eltávolodnak egymástól, akkor ennek hatására a felület „simább” lesz. Az általam mért próbatestek esetében a vizsgálat során bekövetkezett megnyúlás legnagyobb értéke egy esetben sem érte el a 0,5%-os értéket.

Általánosságban megfogalmazható, hogy az egy- illetve kétdimenziós textilszerkezetek súrlódása számos eddig elhanyagolt tényezőtől is függ.

Általánosságban megfogalmazható, hogy a súrlódási erő a következőktől függ:

$$F_s = f(F_r, F_t, F_m, F_c, F_{rh}) \quad (3.20)$$

ahol:

F_s – súrlódási erő [N]

F_r – sugár irányú erő [N]

F_t – tangenciális erő [N]

F_m – tömegerő [N]

F_c – centrifugális erő [N]

F_{rh} – ráhajlításhoz szükséges erő [N]

A felsorolt erőket a következők határozzák meg:

F_r – sugár irányú erő [N]

monofilament

- előterhelés - F_0 [N]
- rugalmassági modulus - E [PA]
- görbületi sugár - γ [m]
- egydimenziós termék lineáris sűrűsége - T_t [g/1000m]
- molekulaszervezet
- alapanyag
- keresztmetszet alakja

multifilament, fonal

- előterhelés - F_0 [N]
- rugalmassági modulus - E [Pa]
- görbületi sugár - γ [m]
- lineáris sűrűsége - T_t [g/1000m]
- molekulaszervezet
- alapanyag
- keresztmetszet alakja
- elemizések száma
- sodratszám

textil

- előterhelés - F_0 [N]
- rugalmassági modulus - E [Pa]
- görbületi sugár - γ [m]
- lineáris sűrűsége - T_t [g/1000m]
- molekulaszervezet
- alapanyag
- szövetszerkezet
- területi sűrűség

F_t – tangenciális erő [N]

- nyúlás ε [%]

F_m – tömegelő [N]

- fonal lineáris sűrűsége - T_t [g/1000m]
- próbatest hossza - l [m]
- területi sűrűség - Q [g/m²]
- próbatest szélessége - a [m]

F_c – centrifugális erő [N]

- fonalelem hossza - dl [m]
- fonalátmérő - d [m]
- fonalsűrűség - ρ [kg/m³]
- fonal sebessége - v [m/s]
- súrlódó felület sugara - R [m]
- fonal sugara - r [m]
- fonalelem térfogata - V [m³]
- fonalelem hossza - dl [m]
- a dl kötélrészhez tartozó körülfogási szög - $d\varphi$ [rad]

F_{rh} - ráhajlításhoz szükséges erő [N]

- nyomaték - M [Nm]
- másodrendű nyomaték - I [m⁴]
- rugalmassági modulus - E [Pa]
- távolság - l_0 [m]
- görbületi sugár - γ [m]

- *próbatest keresztmetszetének átmérője* - d [m]
- *próbatest keresztmetszetének szélessége* - a [m]
- *próbatest keresztmetszetének magassága* - b [m]

Ezek ismeretében két lehetőség van:

1. a két anyag közötti elméleti súrlódási tényező meghatározása: az összes befolyásoló tényező képletben történő megjelenítésével – nagyon bonyolult
2. az eredeti összefüggés alkalmazása: a súrlódási tényező adott paramétertől való függésének meghatározása (kísérletekkel)

4. UNIVERZÁLIS SÚRLÓDÁSI TÉNYEZŐ VIZSGÁLÓ BERENDEZÉS KIFEJLESZTÉSE

4.1. KÉTHENGERES VIZSGÁLÓBERENDEZÉS

A kísérleti berendezést elsődlegesen textilszerkezetek súrlódási tulajdonságának meghatározására fejlesztettem ki. A berendezés azonban szélesebb területen is alkalmazható, mert flexibilis lapszerű és fonalszerű termékek vizsgálatára egyaránt alkalmas (Szűcs, – Borka, – Oroszlány, 2005).

A felkutatott és megvizsgált módszerek részletes elemzése során jutottam arra a következtetésre, hogy a céljaim megvalósításához, vagyis egy olyan mérőműszer kialakításához, mely valamennyi 1D és 2D típusú deformálható textilszerkezet nyugalmi és mozgási súrlódási tényezőjének vizsgálatára alkalmas, a hengeres felület és az Euler formula a legmegfelelőbb.

A mérőműszer kifejlesztésére és tesztelésére az Óbudai Egyetem Rejtő Sándor Könnyűipari és Környezetmérnöki Kar Terméktervező Intézetének textilvizsgáló laboratóriumában került sor. A kísérleti vizsgáló berendezés alapja az Fm-27 elektronikus elemiszálszakító gép (51. ábra).



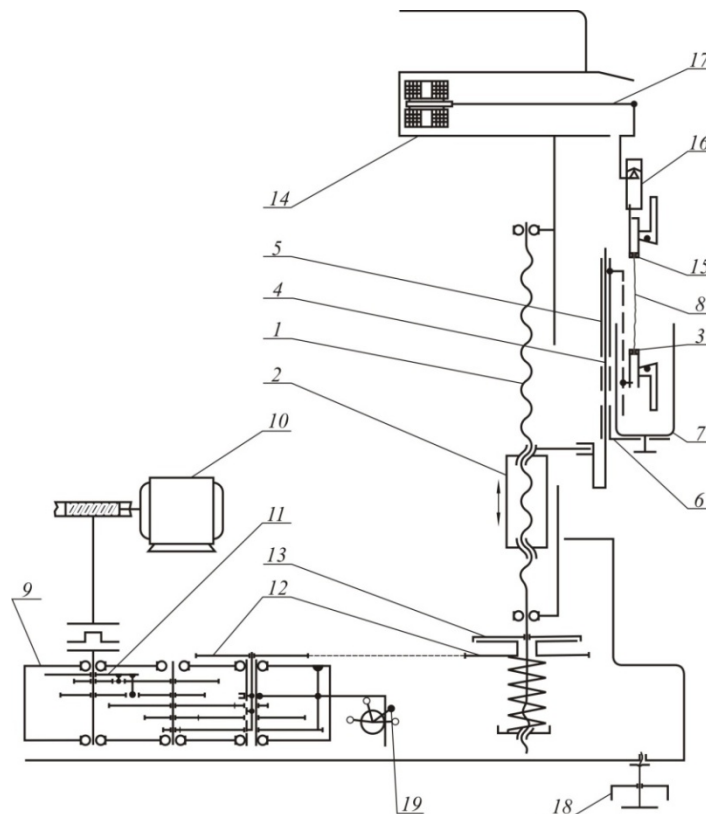
51. ábra Fm-27 típusú elektronikus elemiszál szakító gép

Az alapgép kiválasztásánál fontos szempontnak tekintettem, hogy az alapberendezés mérési tartománya megfeleljen a várható eredményeknek, ugyanakkor bizonyos határok között, mégis mobilan növelhető vagy csökkenthető legyen. Az alapgép műszaki paramétereit az 6. táblázat tartalmazza. (Oroszlány, - Szűcs, 2010)

Műszaki paraméterek	
Erőmérési tartományok:	2 db mérőfejfel: 0-10 0-50 cN 0-100 0-500 cN
Hosszváltozás tartománya:	0-99,9 mm
Hosszváltozás felbontása:	99,9 / 0,1 mm
Szabad befogási hossz:	0 – 140 mm között 1 mm-enként állítható
Szakítás sebesség:	3 lépcsőben: I: 0,4 - 4 II: 4 - 14 III: 14 - 140 mm/min között fokozatmentesen állítható.
Visszajarat sebessége:	A húzósebesség többszöröse
Üzemeltetés védőföldeléses hálózatról:	220 V ; 50 Hz
Körvonal méretek:	360 × 390 × 640 mm

6. Táblázat Alapgép műszaki paramétereit (Gépkönyv: FM-27 elektronikus elemiszámszakió)

Az alapl  szer, az Fm-27 típusú elektronikus elemiszál szakítógépet választottam, melynek szerkezeti v  zslata az 52.   br  n látható.

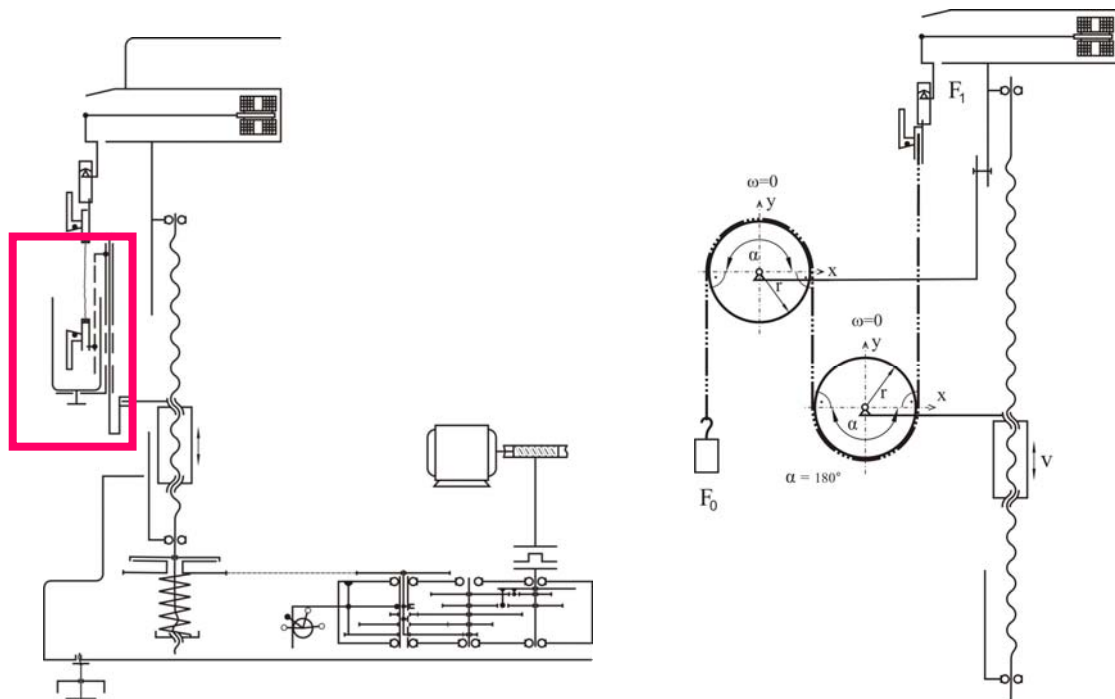


52. ábra Az elemiszál szakító berendezés szerkezeti vázlata (Gépkönyv: FM-27 elektronikus elemiszálszakító)

Részei: 1 húzóórsó; 2 húzófej; 3 befogószerkezet; 4 – 5 befogószerkezetet tartó szerelvény; 6 csúszka; 7 szálnedvesítő tartály; 8 befogott szál; 9 fogaskerekes hajtómű; 10 motor; 11 himba; 12 fogazott szíjhajtás; 13 tengelykapcsoló; 14 mérőfej; 15 felső befogó; 16 leemelhető kengyel; 17 torziós tengely; 18 műszerlábak; 19; sebességállító

Az alapgépre illesztettem a súrlódó testeket azaz a hengereket tartó felépítményt. A hengerek és a hengereket tartó konzolok elhelyezkedését az 53. ábra szemlélteti. A piros kerettel jelölt rész eltávolítása tette lehetővé az „alsó” henger tartókonzoljának rögzítését a húzófejre. A „felső” henger konzolja a gép vázához lett rögzítve.

A konzolok villás kialakításúak, így a hengerek könnyen és gyorsan illeszthetők a helyükre. A villás kialakítás lehetővé teszi a hengerek vízszintes „x” irányú elmozdítását. Ez az állítási lehetőség a tökéletes geometriai elrendezés miatt fontos. A hengerek cseréjénél mindig ügyelni kell arra, hogy mindkét hengert 180° -ban fogja közre a próbatest.



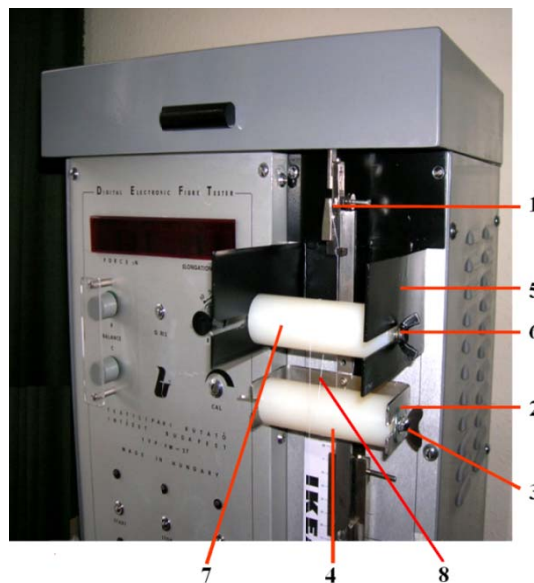
53. ábra Kéthengeres vizsgálóberendezés szerkezeti felépítése

A hengereket csavarok (pl.: 2 db pillangócsavar) segítségével lehet a tartókonzolok villáiba rögzíteni. A csavarok rögzítik a vízszintes, „x” irányú helyzetet és meggátolják a hengerek elfordulását ($\omega = 0$).

A próbatest egyik vége a felső befogóba van rögzítve, majd az alsó hengert alulról, a felső hengert felülről megkerülve helyezkedik el a mérőműszer hengeres súrlódó felületein. A próbatest másik vége F_0 erővel van terhelve.

A csavarorsó elfordulása a húzófejet elindítja lefelé. A húzófej magával viszi a hozzárögzített alsókonzolt, az „alsó” hengerrel együtt. A henger felületén megcsúszó próbatestben ébredő erőt a mérőfej rögzíti.

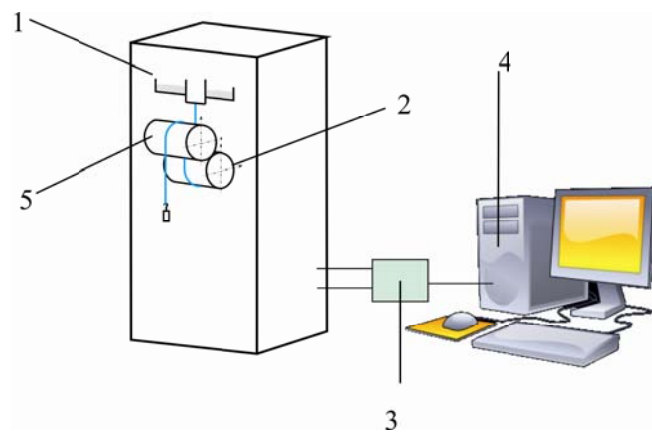
Az 54. ábrán látható a tervek alapján elkészült kéthengeres vizsgálóberendezés.



54. ábra Kéthengeres mérőműszer

1 befogó szerkezet; 2 „alsó” hengert tartó konzol; 3 „alsó” hengert rögzítő csavar; 4 „alsó” henger; 5 „felső” hengert tartó konzol; 6 „felső” hengert rögzítő csavar; 7 „felső” henger; 8 próbatest

Az eredeti alapgép (Fm-27 elemiszálszakító) nem rendelkezett számítógépes kapcsolattal, ezt az összeköttetést egy digitalizáló illesztő panel segítségével hoztam létre. A mérőműszer teljes mérési összeállítását az 55. ábrán látható.



55. ábra Kéthengeres berendezés fő részei

1 alapgép; 2 hengereket tartó felépítmény (leszerelésével a berendezés eredeti alapfunkciója: elemiszálszakítás visszaállítható); 3 digitalizáló, illesztő panel; 4 PC; 5 cserélhető és méretre gyártható hengerek

A mérőműszer kialakításának lépései és részletei a 4. mellékletben láthatók.

4.2. AZ UNIVERZÁLIS SÚRLÓDÁSI TÉNYEZŐ VIZSGÁLÓ BERENDEZÉS MÉRÉSTECHNIKAI ÚJDONSÁGAI ÉS ELŐNYEI

A kéthengeres műszer segítségével meghatározható valamennyi 1D és 2D típusú deformálható termék (pl.: elemiszál, mono- és multifilament, fonal, textil és laptermék) nyugalmi- és mozgási súrlódási tényezője egyaránt.

A mérőműszer a célnak megfelelő, cserélhető súrlódó felülettel rendelkezik és alkalmas arra, hogy elemiszálakat, mono- és multifilamenteket vagy fonalakat használjon súrlódó felületként.

Mindezen tulajdonságok mellett a műszer méréstartománya bizonyos határok között változtatható a vizsgálati sebességgel együtt. Egy ilyen univerzális műszer előnye, hogy egy műszeren végezhető el a vizsgálatok, tehát nincs szükség többféle berendezésre, továbbá mivel a vizsgálatok azonos körülmények között (súrlódó felület, sebesség...stb.) történnek, a kapott eredmények összehasonlíthatóak. Az eredmények egybevetése lehetőséget teremt a textilipari feldolgozás egyes technológia lépcsői között lévő ok és okozati következtetések levonására.

Irodalmi kutatásaim során nem találtam olyan műszert, amely valamennyi, az előbb felsorolt tulajdonsággal rendelkezett volna.

Az általam megépített mérési összeállítás lehetőségei:

- a.) mérési tartomány változtathatósága
- b.) vizsgálati sebesség változtathatósága
- c.) mindkét súrlódási tényező (nyugalmi- és mozgási súrlódási tényező) meghatározása
- d.) súrlódó felületek cserélhetősége
- e.) súrlódó felületek egyedi kialakítása (alapanyag megválasztás és felületi érdesség szempontjából)
- f.) flexibilis 2D laptermékek (pl.: textilek vagy egyéb laptermékek) használata súrlódó felületként
- g.) elemiszálak, mono- és multifilamentek vagy fonalak használata súrlódó felületként
- h.) fonal típusú próbatestek kisodródásának megakadályozása

a.) mérési tartomány változtathatósága

Az új mérőműszer tervezése során olyan alapgépet választottam, amely változtatható mérési tartománnyal rendelkezik. Az FM-27 elektronikus elemiszálszakító

mérési tartománya a 6. táblázat (72. oldal) adatai szerint változtatható 0 – 500cN között.

b.) vizsgálati sebesség változtathatósága

A tervezés során használt alapgép sebessége a 6. táblázat (72. oldal) adatai szerint változtatható három fokozatban: I. 0,4 – 4; II. 4 – 14; III. 14 - 140 [mm/min]

c.) mindkét súrlódási tényező (nyugalmi- és mozgási súrlódási tényező) meghatározása

Az összegyűjtött és megvizsgált gyakorlati és elvi módszerek részletes elemzése során jutottam arra a következtetésre, hogy mindkét súrlódási tényező meghatározásához az Euler formula a legalkalmasabb. A hengeres súrlódó felületű berendezések mérési eredményeiből megfelelő elemzéssel meghatározható mindkét súrlódási tényező.

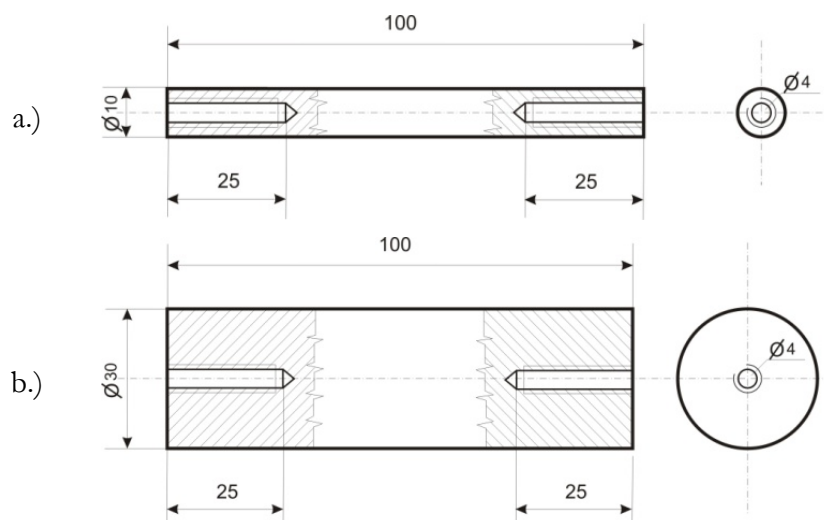
d.) súrlódó felületek cserélhetősége

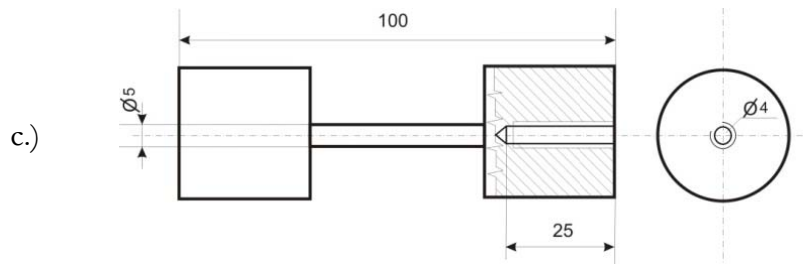
A hengeres súrlódó felületeket tartó villás konzolok és a végeiken található csavarok lehetővé teszik a hengerek gyors és egyszerű kilazítását, cseréjét majd újbóli rögzítését.

e.) súrlódó felületek egyedi kialakítása (alapanyag megválasztás és felületi érdesség szempontjából)

A súrlódó test anyaga és kialakítása a gyakorlati felhasználástól függ. Legtöbb, a gyakorlatban előforduló súrlódás a megfelelő hengerekkel modellezhető.

Az 56. ábrán néhány különböző típusú vizsgálohenger műszaki rajzai láthatók.





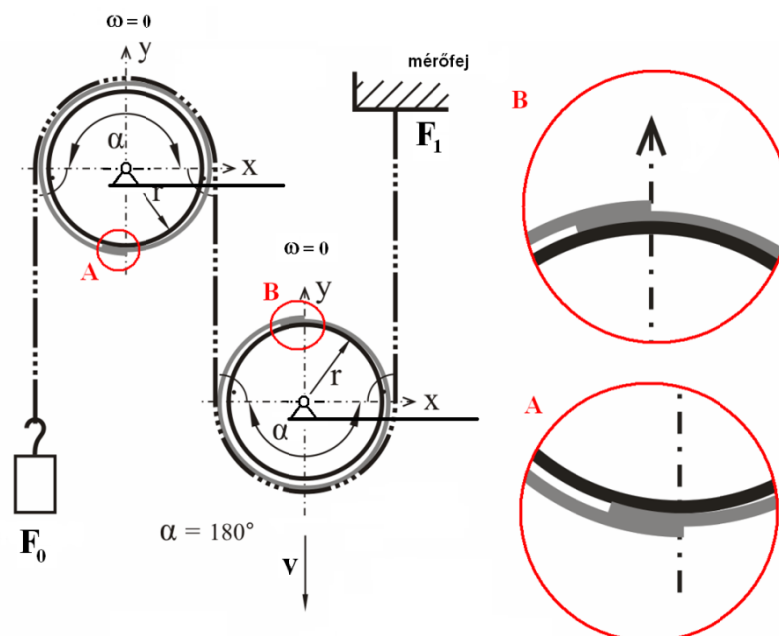
56. ábra Vizsgálóbengerek műszaki rajzai M 1:2

a.) „kis” átmérőjű hengeres súrlódó felület; b.) „nagyobb” átmérőjű hengeres súrlódó felület; c.) lépcsőzetes kialakítású hengeres súrlódó felület;

f.) flexibilis 2D laptermékek (pl.: textilek vagy egyéb laptermékek) használata súrlódó felületként

A 2D laptermékek súrlódó felületként történő használatakor a hengerek felületét be kell vonni a súrlódó testként funkcionáló anyaggal. A hengerek lapszerű termékekkel történő bevonásakor keletkezik egy úgynevezett átlapolás. Ez az átlapolás bizonytalanná teheti a vizsgálatot, de a kéthengeres berendezés estében az átlapolások megfelelő oldalra (az érintkező felület ellentétes oldalra) igazításával biztosítható a zavaró hatás elkerülése. A mérési elrendezést az 57. ábra szemlélteti

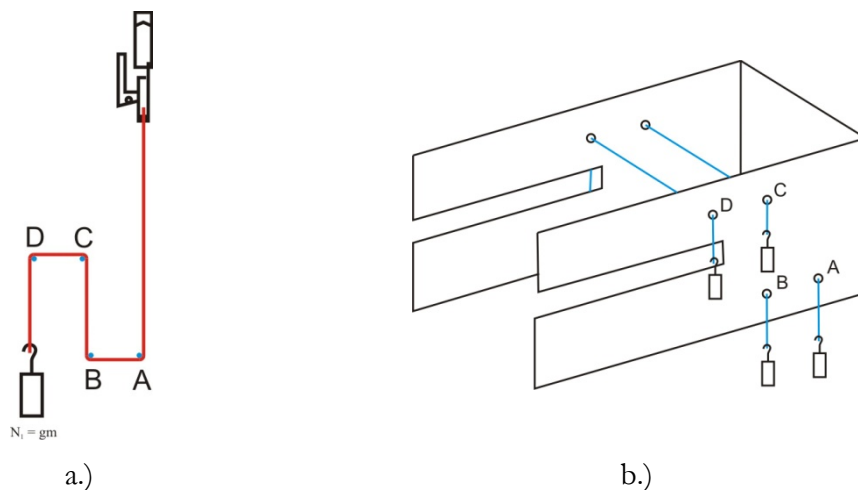
A „bevonat” rögzíthető például awabilincsek segítségével.



57. ábra Textillel bevont kéthengeres vizsgálati elrendezés

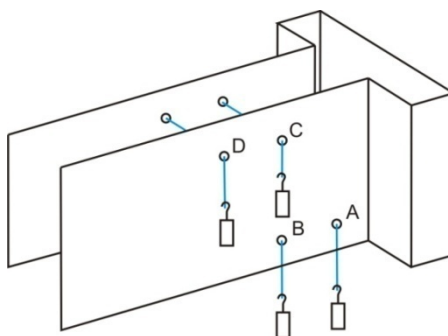
g.) elemiszálak, mono- és multifilamentek vagy fonalak használata súrlódó felületként

Irodalmi kutatásaim során egyetlen olyan műszert találtam amely elemiszálakat használ súrlódó felületként, ez a Guthrie – Oliver féle szálsúrlódásmérő készülék (2.4.1. fejezet 12. ábra). Ennél a megoldásnál egy keretbe rögzítik a súrlódó felületként szolgáló egydimenziós textilterméket. Ezen megoldás mintájára terveztem meg a fonalak vagy elemiszálak súrlódó felületként történő használatára egy különleges megoldást.



58. ábra Fonal, mint súrlódó felület elhelyezése előfeszítéssel
 kék vonal – rögzített elemiszál (súrlódó felület)
 piros vonal - próbatest

Az általam tervezett megoldás alapja a hengereket tartó konzol. A konzol megfelelő helyein kell elhelyezni a súrlódó felületként szolgáló fonalak furatait, ügyelve a pontos geometriára (58. ábra). Négy „kifeszített” fonal képezi a súrlódó felületet. A pontos elhelyezésnek köszönhetően biztosítható a vizsgálat alatti azonos és állandó körülfogási szög. A súrlódó felület fonalainak vagy elemiszálainak előfeszítése mindig azonos és reprodukálható kell legyen. Ennek biztosítására terveztem az 58./b.) ábrán látható súlyfeszítéssel megoldást.



59. ábra Konzol „rövid” elemiszálakhoz

Az „A”, „B”, „C” és „D” furatokban elhelyezett súrlódó felületre kell felfektetni a próbatestet (58./a.) ábra) a mérőfejbe rögzíteni és előterhelni.

Az 59. ábrán látható megoldással „rövid” elemiszálak vizsgálata is lehetővé válik.

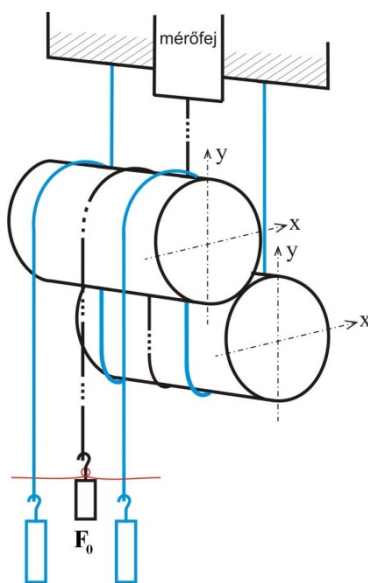
Jelenleg az alkalmazási terület pontosításán és kiszélesítésén dolgozunk.

h.) fonal típusú próbatestek kisodródásának megakadályozása

A fonalak, mint próbatestek súrlódásának mérésekor gondot okozhat a kisodródás. A kisodródás mértékétől függően megváltozhat a fonal szerkezete, sodratszáma és finomsága. Ezek a változások pedig hatással vannak a mérési eredményekre. Az összegyűjtött és megvizsgált gyakorlati és elvi módszerek elemzése során a hengeres súrlódó felülettel és szabadon függő súllyal előterhelt próbatestek esetén sehol sem foglalkoztak a kisodródás megakadályozásával.

A kisodródást a 60. ábrán látható egyszerű megoldással gátoltam meg.

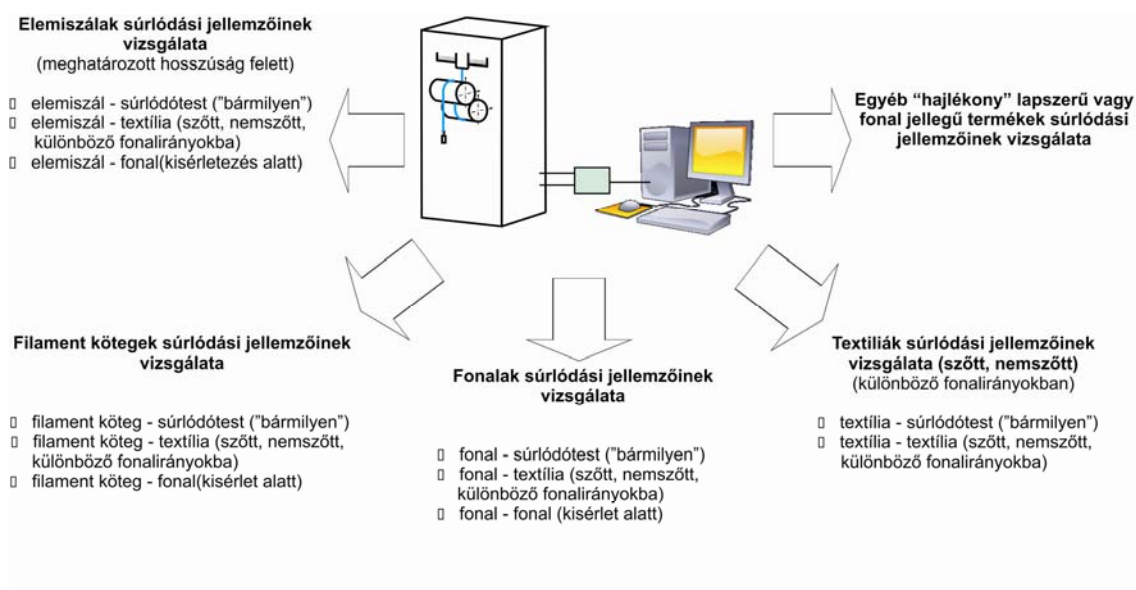
A mérőfej két oldalán a műszer vázához erősítettem két segédzálát. A segédzálak a próbatesttel párhuzamosan, annak geometriáját követve helyezkednek el a hengereken, végükön egy-egy súllyal (60. ábra kék vonal). A segédzálak között elhelyezkedő próbatest előterhelő súlyára illeszkedik egy hurkos rövid pálca (60. ábra piros vonal). A pálcácska két vége a segédzálakra támaszkodik, meggátolva a vizsgált próbatest (fonal) kisodródását. Mérés közben a segédzálak szinkronban mozognak a próbatesttel, ezért a rövid hurkos pálca és a segédzálak között nem keletkezik súrlódás.



60. ábra Fonalak vizsgálat közbeni kisodródását akadályozó szerkezet
kék vonal – segédzál; piros vonal – ütköző pálca

4.3. A KIALAKÍTOTT UNIVERZÁLIS MÉRŐMŰSZER FELHASZNÁLÁSI TERÜLETE

A kísérleti berendezést elsődlegesen textilszerkezetek súrlódási tulajdonságainak meghatározására fejlesztettem ki. A berendezés azonban szélesebb felhasználási területen is alkalmazható. Jól használható az eljárás más „hajlékony” lapszerű, vagy fonal jellegű termékek esetében, pl.: fóliák, papír...stb. is. A felhasználási lehetőségeket a 61. ábra foglalja össze.



61. ábra Alkalmazási terület (Oroszlány,- Koltai, 2011)

5. VIZSGÁLATI ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK

Kóczy felmérése szerint (Kóczy, 1979), a textiliparban közel 60 szálfajtát használnak széles körben. Az alapanyagok önállóan és többféle összetételben és %-os eloszlásban is felhasználásra kerülhetnek.

A természetes szálak tulajdonságai függnék a fajtától, az eredet helyétől és az adott mezőgazdasági időszak tulajdonságaitól. A mesterséges alapanyagok esetén azonos nyersanyagból különböző keresztmetszetű és finomságú szálak készíthetők. Mindezek a lehetőségek együttesen megsokszorozzák a kísérleti alapanyagok számát.

Az alapanyag fajtájától függően vizsgálhatók elemiszálak, mono- és multifilamentek, fonalak, cérnák és laptermékek (kelmek, nemezek).

A fonalak készülhetnek különböző technológiákkal, eltérő sodratszámmal, sodrat iránnyal, szerkezeti felépítéssel és finomsággal. A textíliák estében változhat a lánc és a vetülék összetétele, száma, kötésmódja (pl.: vászonkötés, sávolykötés, atlaszkötés... stb.).

Az elkészült termékek (fonalak, textilek) különböző felületkezelési és kikészítési műveletek után kapják meg végső karakterüket (színüket, fogásukat, felületi kiképzésüket, végső méretüket, a fizikai tulajdonságaikat stb.). A kikészítő műveletek hatása lehet tartós vagy átmeneti.

Az alapanyagok tekintetében szinte végtelen számú különböző „próbatest” áll rendelkezésre.

A próbatestek súrlódása vizsgálható eltérő alapanyagú, felületi érdességű és méretű hengeres súrlódó felületen. Ha a hengerek alapanyag és felületi érdesség párosítási lehetőségeinek számát vesszük figyelembe, a kombinációk száma ismét a végtelenhez közelít.

Nem csak az adott hengereket lehet súrlódó felületként használni, hanem textileket (hengerbevonat formájában), elemiszálakat, mono- és multifilamenteket és fonalakat.

Változtathatók a mérési paraméterek pl.: sebesség, előterhelés, hőmérséklet páratartalom...stb.

Összességében a vizsgálati lehetőségek száma végtelen. A mérési variációk kicsiny szeptét választottam ki vizsgálati célra, de így is bepillantást nyerhettem a textiltermékek súrlódási tulajdonságaiba, mely területen még sok kiaknázatlan lehetőség van.

5.1. VIZSGÁLATI ANYAGOK KIVÁLASZTÁSA

Próbatestek adatai

A vizsgálati próbatestek kiválasztása során arra törekedtem, hogy természetes és szintetikus, illetve alapvetően műszaki alapanyagot is vizsgáljak.

A kiválasztott alapanyagok között megtalálható poliamid, ahogy Bánhegyi is írja (*Bánhegyi, 2009*) összefoglalásában, napjaink egyik legelterjedtebb mesterséges polimere. A poliamidok a műszaki műanyagok között is vezető helyet foglalnak el (*Bánhegyi, 2005*). A választást az is indokolja, hogy a poliamidok felhasználása a kezdetek óta és az elmúlt tíz évben is folyamatosan növekszik (*Fischer, 2004*).

A poliamid mellett vizsgált aramid olyan szintetikus, nagy szilárdságú műszaki polimer műszál, mely aromás láncegységekkel rendelkezik (*Fenyves, 1994*), (*Blumberg, 1989*). A kiválasztott alapanyagok között van fonal, mono- és multifilament, illetve laptermék. A vizsgált anyagok műszaki adatait a 7., 8. és 9. táblázatok tartalmazzák.

1D termékek	Összetétel	Finomság [tex]	Sodratszám, s [1/m]	Sodrat tényező, α Ttex	Köteg elemszám [db/köteg]
1. próbatest (monofilament)	100% poliamid-6	0,0994	0	0	-
2. próbatest (multifilament)	100% poliamid-6	15,9	0	0	160
3. próbatest (monofilament)	100% aramid	0,0994	0	0	-
4. próbatest (multifilament)	100% aramid	15,9	0	0	160
5. próbatest (előfonal)	100 % pamut	366,3	100	36630	-

7. Táblázat 1D próbatestek adatai

2D laptermék	Területi sűrűség [g/m ²]	Vastagság [mm]	Térfogattömeg [g/cm ³]	Volumenitás [g/cm ³]
Canon papír	82 g/m ²	101 µm	0,81 g/cm ³	1,23 cm ³ /g
Mázolt papír	77 g/m ²	70 µm	1,1 g/cm ³	0,91 cm ³ /g

8. Táblázat Vizsgálati próbatestek adatai

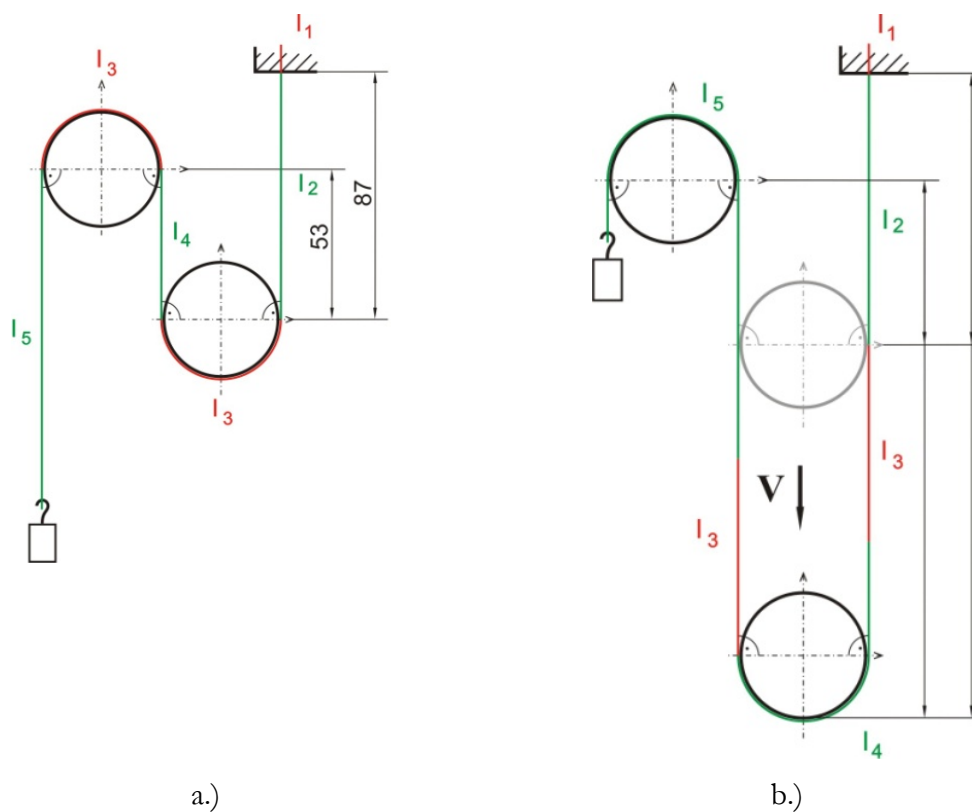
2D laptermékek	Összetétel	Területi sűrűség [g/m ²]	Kötésmód	Vastagság [mm]
1. próbatest	100% polipropilén	30 g/m ²	fólia	0,06
2. próbatest	100 % pamut	460 g/m ²	3/1-es sávolykötés	0,859
3. próbatest	100% gyapjú	365 g/m ²	3/1-es sávolykötés	0,605
4. próbatest	100% pamut	170 g/m ²	vászonkötés	0,321
5. próbatest	100% pamut	73 g/m ²	vászonkötés	0,16

9. Táblázat 2D próbatestek adatai

5.2. PRÓBATESTEK ELŐKÉSZÍTÉSE, RÖGZÍTÉSE, MÉRÉSE

Próbatestek méretei és kialakítása

A kéthengeres elrendezés oldalnézetében látható próbatestet szakaszokra bontottam és betűjelekkel láttam el (62. ábra).



62. ábra Kéthengeres elrendezés a.) alapállás, b.) elmozdulás a vég helyzetben

A teljes próbatest hossza a következő szakaszokból áll:

$$l = l_1 + l_2 + l_3 + l_4 + l_3 + l_5 \quad (5.1)$$

ahol:

l – teljes minta hossza [mm]

l_1 – a vizsgálati minta mérőfejbe rögzítéséhez szükséges hossz [mm]

l_2 – a mérőfej befogója és az „1” henger vízszintes átmérője közötti távolság [mm]

l_3 – az „1”-es számú henger 180° -os körülfogási szöghöz tartozó kerülete [mm]

l_4 – az „1”-es és a „2”-es számú henger vízszintes átmérőjének merőleges távolsága [mm]

l_3 – a „2”-es számú henger 180° -os körülfogási szöghöz tartozó kerülete [mm]

l_5 – a „2”-es számú henger vízszintes átmérője és az előterhelés felfüggesztése közötti távolság [mm]

5.1-es egyenletet rendezve: (5.2)

$$l = l_1 + l_2 + 2 \cdot l_3 + l_4 + l_5$$

A 180° -os körülfogási szöghöz tartozó kerület meghatározása:

$$l_3 = \frac{2R\pi}{2} = R\pi \quad (5.3)$$

$$2l_3 = 2R\pi$$

ahol:

l_3 – a henger 180° -os körülfogási szögéhez tartozó kerület [mm]

R – a henger sugara [mm]

A 5.2-es képlete és az 5.3-as számú képletet összevonva:

$$l = l_1 + l_2 + 2R\pi + l_4 + l_5 \quad (5.4)$$

A jelenlegi elrendezés esetében az l_1 , l_2 , l_4 és l_5 értékek állandóak, mert a hengerek függőleges „y” irányban rögzített helyzetűek. A l_3 értéke a hengerek sugarától függően változik.

A súrlódási tényező mérésére alkalmas mintahossz maximális értéke

Vizsgálat esetén a mérési hossz maximális értéke az l_4 szakasz hosszával egyezik meg. A mérési hossz további növelése mérési pontatlansághoz vezetne, mivel ez esetben a „2” számú hengeren már súrlódott minta, az „1”-es számú henger súrlódási zónájába érve újra súrlódna. A 63/b. számú ábra jól szemlélteti ezt az esetet.

A vizsgálati minták lehetnek „nagy hosszúságúak” pl.: fonalak, cérnák, filamentek, szövetek vagy „kis hosszúságúak” pl.: elemiszálak.

A vizsgálati minták előkészítése ennek megfelelően eltér egymástól:

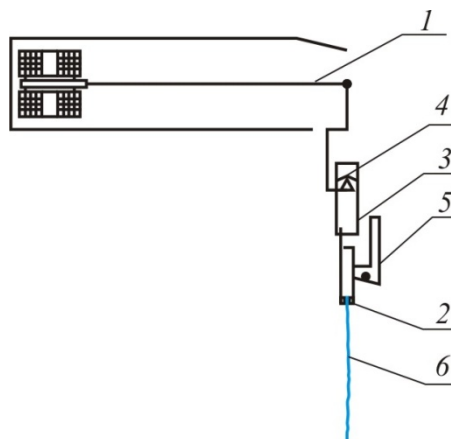
- A „nagy hosszúságú” 1D típusú próbatestek (fonal jellegű termékek) előkészítése a pontos méretre vágásra korlátozódik.
- A „nagy hosszúságú” 2D típusú próbatestek (laptermékek, pl.: textilek) előkészítése a pontos mérete vágás mellett, még egy műveletet igényel. Mivel a laptermékek két oldala általában nem egyforma, a próbatest ellentétes irányú hajlításakor a hengereken az ellentétes oldalai súrlódnának. Ha a vizsgálat célja ezen ellentétes oldalak együttes súrlódásának meghatározása, akkor nincs más teendő. Ha a textil azonos oldalát kell vizsgálni, akkor a méretre szabott próbasávot a 63/a. ábra l_4 szakaszában ketté kell vágni. Az egyik darabot 180° -kal elfordítva, majd a két darabot összerögzítve, pl.: egy varrással biztosítható a próbatest azonos oldalainak vizsgálata.
- A „kis hosszúságú” próbatestek (elemiszálak) előkészítése során a vizsgálati mintát megfelelően előkészíteni, vagyis preparálni kell. A méréshez mindenképpen az 5.4. képletben meghatározott, „l” hosszúságú próbatestre van szükség. A minta preparálásakor az elemiszál nyúlásával és szilárdsági jellemzőivel megegyező próbatest kiegészítő anyagra vagy ismert tulajdonságú „toldásra” van szükség. A próbatestet úgy kell preparálni, hogy az elemiszál és a kiegészítő anyag találkozása (toldása) a 63/a. ábra zölddel jelölt l_2 , l_4 , l_5 szakaszaiba kerüljön.

Az előterhelés nagyságának meghatározása

A vizsgálatok megkezdése előtt szakító vizsgálattal meghatározható a próbatest nyúlása. A szakító diagram segítségével kiválasztható az az előterhelési tartomány (F_0), mely használata során a próbatest nyúlása olyan csekély, hogy a hosszirányú alakváltozás nincs hatással a mérési eredményekre. A 3.3.2. fejezet 50. ábrája jól szemlélteti a mérés során használt előterhelés értékeket.

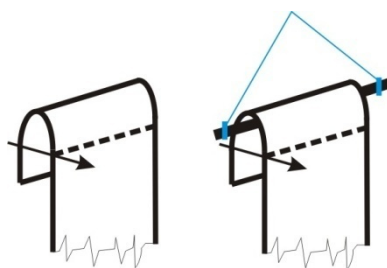
Minták befogása a mérőműszer mérőfejébe

Az FM-27 elektronikus elemiszálszakító alapfelszereltségéhez tartozik egy felső befogó és annak tartókengyele, amely az élagázásból kiemelhető. A tartókengyel feladata a függőleges helyzet biztosítása ellensúlyok segítségével. A próbatestek befogása úgy történik, hogy csipesszel az előzetesen leemelt, és zárókilincsének felemelésével kinyitott felső befogó pófái közé kell illeszteni a próbatest végét, majd a zárókilincs könnyed lenyomásával a befogó bezárható és a helyére illeszthető. A befogófej szerkezeti kialakítása a 63. ábrán látható.



63. ábra Felső befogó szerkezet és mérőfej
1 mérőfej; 2 befogó; 3 tartókengyel; 4 élágyazás; 5 zárókilincs; 6 próbatest

Laptermékek vizsgálatakor, pl. 20-30 mm vagy szélesebb próbatestek mérésekor biztosítani kell, laza szerkezetű alapanyagok esetén is, a teljes szélesség egyenletes befogását. A 64. ábrán látható két egyszerű megoldás biztosíthatja a próbatestek megfelelő rögzítését.



64. ábra „Szélesebb” laptermékek egyenletes befogásának megoldási módszerei

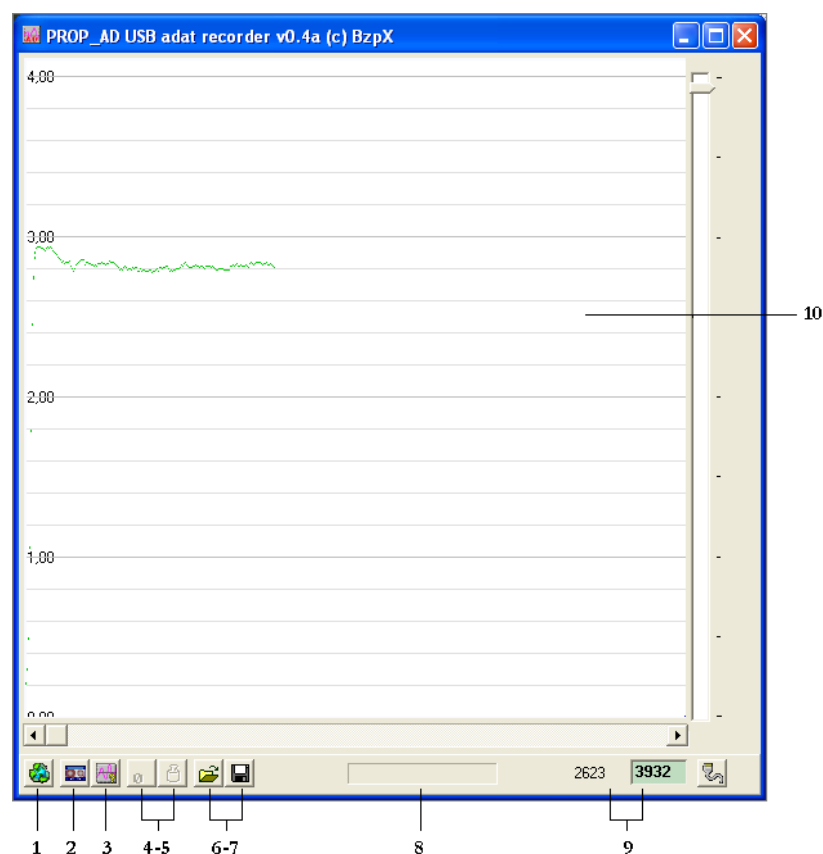
Súrlódó test rögzítése, cseréje

A vizsgálni kívánt minta méreteihez kell kiválasztani a hengeres súrlódó felület átmérőjét. Véges hosszúságú elemiszál vizsgálatakor például olyan lépcsőzetes henger használata javasolt, melynek fél hengerpalást hossza rövidebb az elemiszál hosszánál. Így biztosítható az elemiszálak „biztonságos” mérése.

A hengereket a villás kialakítású konzolba kell rögzíteni, 2 db csavar segítségével. A csavaros megoldás segítségével a hengerek gyorsan és könnyen cserélhetők, a villás kialakítás lehetővé teszi a hengerek vízszintes, „X” irányú mozgását. Erre azért van szükség, mert így különböző átmérőjű henger esetén is megoldható az elemek tökéletes geometriai elrendezése, melynek segítségével biztosítható az állandó, stabil körülfogási szög.

5.3. A MÉRÉSI EREDMÉNYEK DIGITÁLIS RÖGZÍTÉSE ÉS FELDOLGOZÁSA

A megfelelően előkészített és rögzített minta mérési ciklusának elindításával egy időben az eredeti műszer analóg jeleit digitális jelekké alakulnak. Ezt a feladatot a digitális jelátalakító végzi és továbbítja a PC felé. A perifériaillesztő program a digitalizáló panellel a kapcsolatot egy USB portos, szimulált RS 232 csatornán tartja (Juhász, 2007). A program felhasználói felületét a 65. ábra mutatja. A perifériaillesztő program a jeleket grafikusan megjeleníti a grafikus kijelző felületen (Topi, 2007). A felhasználói felület kialakításánál az egyszerűsége, könnyű áttekinthetősége és egyértelmű jelölésre törekedtem. A kezelőgombok funkcionális jelentését szintén a 65. ábra tartalmazza. A mérési ciklus végeztével megszűnik a jelátalakítás és továbbítás, és a mérőműszer visszaáll a kiindulási helyzetébe.



65. ábra A perifériaillesztő program felhasználói felülete

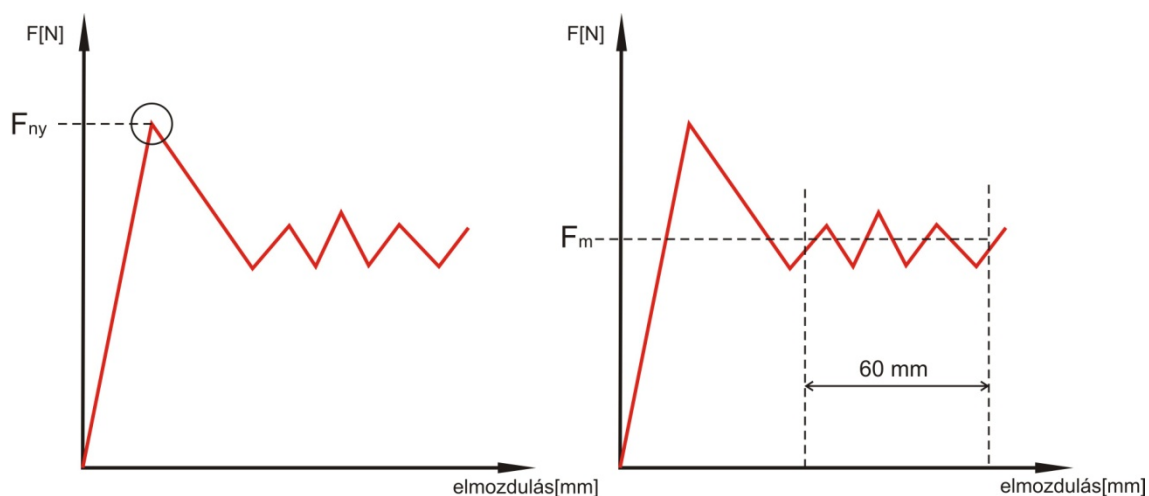
1 – képernyő törlése, 2 – optokapuvál szinkronizált mintavételezés, 3 – kalibrálás – ibőzített adatátvitel, 4-5 – kalibrációs értékek felvételezése, 6-7 – elmentés és betöltés, 8 – folyamat-jelzősáv, 9 – szám adatok a pillanatnyi kalibráció során, 10 – grafikus kijelző felület

A perifériaillesztő program 'TXT' file formátumban rögzíti az adatokat (Harprit, 2010). Az adatok feldolgozása és kiértékelése jelenleg Excel és Microcal Origin Professional programokkal történik. A Excel függvények segítségével az erőértékekből egyszerűen és gyorsan meghatározhatók a súrlódási tényezők. A kapott értékek, a kiértékelés típusától függően, Excelben vagy más programokban is megjeleníthetők és tovább feldolgozhatók.

5.4. AZ EREDMÉNYEK FELDOLGOZÁSA

A mérés közvetlen eredménye egy erő-elmozdulás diagram. Az erő értékekből határozhatók meg a nyugalmi és mozgási súrlódási tényező (μ_{ny} , μ_m) értékek.

A mérési eredmények feldolgozása során a nyugalmi és mozgási súrlódó erő kiválasztásánál a JIS K7125-ös japán szabvány meghatározásait vettem alapul (66. ábra). A szabvány szerint a mérési eredmények legnagyobb erőértéke a nyugalmi súrlódó erő, míg a további mérési eredmények átlaga a mozgási súrlódó erő értéket adja meg.



66. ábra JIS K7125-ös japán szabvány eredmény kiértékelési ábrái (JIS K7125 japán szabvány)
 F_{ny} – nyugalmi súrlódási erő; F_m – mozgási súrlódási erő

A különböző súrlódó test és próbatest változatok vizsgálatokor a műszer által rögzített erőérték adatok feldolgozásához készítettem egy Excel kiértékelő táblázatot, mely automatikus algoritmussal választja ki a megfelelő erő értékeket. Az „alap” üres táblázat megfelelő helyére illesztett, a mérőberendezés programja által rögzített adatok kiértékelésre kerülnek. Az kiértékelte adatok elmenthetők, így bármikor visszakereshetők.

A kiértékelés első lépése során a táblázatból automatikusan kiválasztásra kerülnek a megcsúszás pillanatában mért legnagyobb erő értékek. A megcsúszás utáni lecsökkent erőértékekből, a program segítségével kiválasztottam a stacionárius szakaszt. Az adatok kiválasztása az adatsor „végétől” indulva, csúsztatott átlag és szórásszámítás segítségével történik. A számítás során az adatszám $n=10$, majd „F” próbával a program összehasonlítja az eredményeket. Az „F” próba segítségével eldönthető két szórás eltéréseinek szignifikanciája, illetve eldönthető, hogy a vizsgált két minta szórás szempontjából azonos alapsokaságból származónak tekinthető-e vagy sem.

Mivel a kiválasztott stacionárius szakasz adatpontjai között nincs szignifikáns eltérés, ezért átlagolhatóak.

A mérési adatsor azon része, ahol a csúsztatott átlag és a szórásszámítás segítségével végzett „F” próba szignifikáns eltérést mutat, az az átmeneti szakasz a két súrlódási tényező között. Ezt az átmeneti szakaszt figyelmen kívül hagytam, és a kiválasztott erőértékekből kiszámoltam a súrlódási tényező értékeit.

A rögzített erő értékből a következő képlettel határozható meg a súrlódási tényező értéke (Euler elv – kötél súrlódás):

(5.5)

$$F_1 = F_0 e^{\mu\alpha}$$

$$\frac{F_1}{F_0} = e^{\mu\alpha}$$

$$\ln \frac{F_1}{F_0} = \ln e^{\mu\alpha}$$

$$\ln \frac{F_1}{F_0} = \mu\alpha$$

$$\mu = \frac{\ln \frac{F_1}{F_0}}{\alpha}$$

ahol:

F_1 - fonalágban ébredő húzóerő [N]

F_0 - előterhelés nagysága [N]

α - körülírószög [rad]

A kiértékelés második lépéseként a kiszámított súrlódási tényező értékeket fajtánként (nyugalmi és mozgási súrlódási tényező) tovább elemeztem statisztikai szempontból. A súrlódási tényezők átlagértékei közötti eltérések szignifikanciájának statisztikai vizsgálathoz

kétmintás t-próbát használtam, ez a próba alkalmas két adathalmaz középértékei közötti különbség elemzésére (Jederán, 1979).

$$t = \frac{|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|}{S_d} \sqrt{\frac{n_1 n_2}{n_1 + n_2}} \quad (5.5)$$

$$S_d = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2}} \quad (5.6)$$

ahol:

$\bar{x}_1$ és $\bar{x}_2$ – a két adathalmaz középértékei

n_1 és n_2 – az adathalmazok elemeinek száma

s_1 és s_2 – az adathalmazok korrigált szórása

A kiértékelés harmadik lépése a mérési eredmények grafikus megjelenítésének elkészítése.

A kiértékelés első két lépését az Excel program automatikusan végrehajtja, a harmadik lépést a kezelő a program által kínált megfelelő menüpontok segítségével végzi el. A kiértékelés negyedik lépése a függvények illesztése az ábrázolt adatpontokra.

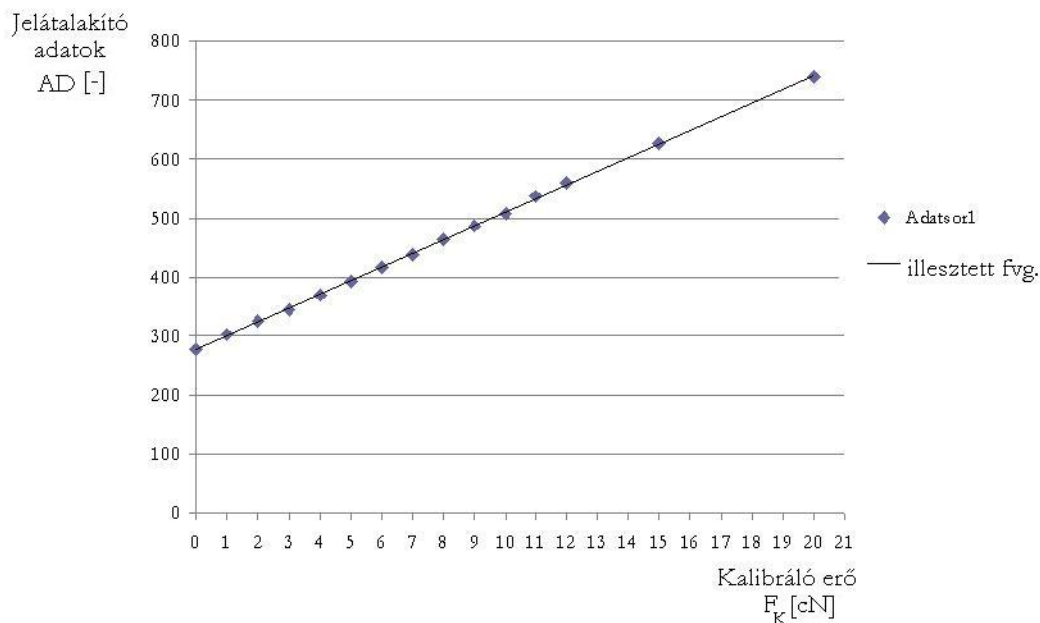
Az eredmények grafikus megjelenítése során a vízszintes „x” tengely értékeit az univerzális leírás érdekében, dimenziótlanítottam, transzformáltam normál formára.

6. A VIZSGÁLATOK EREDMÉNYEI ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

Méréskalibrálás

Az általam megtervezett és kialakított univerzális súrlódási tényező vizsgáló berendezés alapgépe egy elektronikus elemiszál-szakítógép. A beállítások és a kalibráció megkezdése előtt az 1980-as években gyártott alapgép műszaki megoldásai 30 perc bemelegedési időt kell biztosítani. A mérési sorozat megkezdése előtt célszerű a várható erőértékeknek megfelelő erőmérő cellát kiválasztani. A szakítógép alapfelszereltségéhez tartozó hitelesítő tömegekkel kell elvégezni a kalibrációt.

Minden mérési sorozat előtt kalibráltam a gépet. A kalibrációs egyenes a 67. ábrán látható. A kalibrációs egyenest ábrázoló koordináta-rendszer vízszintes „x” tengelye a terhelés (kalibrációs tömegek) függőleges „y” tengelye a jelátalakítóból érkező számadatok.



67. ábra Mérőfej kalibrációs egyenes

A 67. ábra kalibrációs függvénye:

$$AD = 23,22F_K + 277,21 \quad R^2 = 0,999 \quad (6.1)$$

ahol:

AD – a jelátalakító adatai [-]

F_K – kalibrációs erő [cN]

A mérési sorozatok kiértékelésekor az A/D átalakítóból „kijövő” számértékeket a kalibrációs görbével erővé konvertáltam és az erőértékekből meghatároztam a súrlódási tényező értékeit.

Hengeres súrlódó testek felületi érdessége

A vizsgálatok során használt hengeres súrlódó felület alapanyaga: a gépelemek (fogaskerek, csapágyak), és műszaki anyagok készítésére alkalmas, danamid gyűjtőnévű DOCAMID 6 E (PA 6 E) műanyag. Olyan alapanyagot kerestünk és találtunk, mely a szilárdságnak, a megmunkálhatóságnak, a szívósságnak kedvező kombinációját nyújtja és könnyen beszerezhető. A DOCAMID 6 E előbb felsorolt tulajdonságai jó mechanikai csillapító képességgel, kopásállósággal, valamint kiváló elektromos szigetelő- és vegyszerálló képességgel társulnak. Fő jellemzőit az 10. táblázat tartalmazza.

Fő jellemzők:
magas szilárdság: 70 - 110 MPa (folyási, szakító, nyomó),
szívósság (hornyolt Charpy): 12 kJ/m ² - nem törik,
széles alkalmazási hőmérséklet tartomány: -40°C-tól +140°C-ig,
nagy keménység (Rockwell): M 85 - M 98
jó kifáradási szilárdság és csillapítási képesség,
jó kopásállóság,
sűrűség: 1,15 - 1,6 kg/dm ³ .

10. Táblázat DOCAMID 6 E fő jellemzői (Kalácska, 2005)

A mérésekhez felhasznált hengeres súrlódó testek átmérője: 10; 20; 30; 40 és 50 mm volt.

A hengerek felületi érdességének meghatározása Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Gyártástudomány- és Technológia Tanszék Ultraprecíziós és mikro-megmunkáló laboratóriumában történt.

A vizsgálathoz használt műszer: *Mitutoyo, Surftest-211 digitális érdességmérő (DIN EN ISO 1127 szabvány szerint)*

A kiértékelés után kapott értékek:

$R_a = 0,8183 \mu\text{m}$ (átlagos érdesség: a tényleges profil és a középvonal közötti távolságok abszolút értékeinek számtani átlaga)

$R_{\max} = 6,6 \mu\text{m}$ (legnagyobb felületi érdesség: a mérési hosszon belül a legmagasabb és a legalacsonyabb pont távolsága)

$R_z = 5,5 \mu\text{m}$ (egyenetlenségmagasság: a mérés teljes hosszában lévő öt legmagasabb profilhegy és öt legalacsonyabb profilvölgy különbségének átlaga)

A mérési sorozat elvégzése után összehasonlítottam a hengeres súrlódó testek felületi érdességét a kontrollhenger (a mérésben nem használt henger) adataival. Méréseim alapján a vizsgálatok során nem változott a hengerek felületi érdessége.

Az elvégzett vizsgálatok összesítő áttekintése

A mérőműszer fejlesztése során textilipari termékek és lapszerű anyagok széles választékát vizsgáltam. A vizsgálatok során az előterhelés változtatását, ismételt ciklusvizsgálatot, valamint adott minták esetében a sodratszám és kötegszám változtatást végeztem el. Ezen paraméterek mellett határoztam meg a súrlódási tényező értékeit. Az elvégzett vizsgálatokat a 11. táblázat foglalja össze.

	Előterhelés változtatása	Ismételt ciklikus vizsgálat	Sodratszám növelés	Kötegszám növelés
Poliamid 6 monofilament	✓	✓		
Aramid monofilament	✓	✓		
Poliamid 6 multifilament	✓	✓	✓	✓
Aramid multifilament	✓	✓	✓	✓
Pamutfonal (előfonal)	✓	✓	✓	
Textil (többféle összetétel és kötésminta)	✓	✓		
Papír (mázolatlan 82 g/m ²)	✓*	✓*		
Papír (mázolt 77 g/m ²)	✓*	✓*		

11. Táblázat Vizsgálatok összefoglaló táblázata

Doktori dolgozatomban – annak terjedelmi korlátai miatt – a tendenciák személtetésére a poliamid 6 mono- és multifilament vizsgálatokat mutatom be részletesen. Az elvégzett vizsgálataim megerősítik a részletesen bemutatott és a tézisben megfogalmazott eredményeket.

A többi vizsgálati eredmény a 9., 10. és 11. mellékletben található.

A csillaggal jelölt próbatestekkel kapcsolatos vizsgálati és kutatási eredményeket a következő helyeken publikáltam:

- The Faculty of Light Industry and Environmental Engineering of Óbuda University announces the 2nd International Joint Conference on Environmental and Light Industry Technologies to be held on the 21-22th of November 2011 in Budapest,

Hungary. Determination of the friction characteristics of papers: theoretical foundations, developments in measurement engineering

- Oroszlány G., Koltai L.: Papírok súrlódási jellemzőinek meghatározása I. – Elméleti alapok, mérés technikai fejlesztések Magyar Grafika 55. 1.
- Oroszlány G., - Koltai L.: Papírok súrlódási jellemzőinek meghatározása I. Magyar Grafika - a Papír- és nyomdaipari Műszaki egyesület mint a Műszaki és Természettudományi Egyesületek Szövetsége tag egyesületének szakmai folyóirata LV.évf./I.sz. 2011. február pp.: 58-61 (4 old.)
- Oroszlány G., - Koltai L.: Papírok súrlódási jellemzőinek meghatározása Cs+P - Csomagoló- és Papíripari Szakmai Konferencia– PNYME-BMF Budapest, 2011. május 4.

6.1. MONOFILAMENT VIZSGÁLAT

Monofilamentek vizsgálatának célja annak bizonyítása, hogy az általam megtervezett és kialakított univerzális súrlódási tényező vizsgáló berendezés alkalmas monofilamentek súrlódási jellemzőinek vizsgálatára és a súrlódási jellemzőik meghatározására.

Monofilament próbatesteknél vizsgáltam:

- az előterhelés változtatása (6.1.1. fejezet)
- az azonos mintán többször ismételt vizsgálat (6.1.2. fejezet)

6.1.1. Az előterhelés változtatása

A mérés célja annak meghatározása, hogy az előterhelés milyen hatással van a monofilamentek mérési eredmények alakulására. Az előterhelés értékét 0,5cN-tól 2,0 cN-ig növeltem 0,25 cN-os lépésekben.

Poliamid-6 monofilament vizsgálat – előterhelés változtatása

A vizsgálatok során több mint 250 mérést végeztem, mérésenként átlagosan 500-500 adatot kaptam, így óriási adatmennyiség állt rendelkezésemre. Az egyes mérések során a súrlódási tényezőket az 5.3-as fejezetben leírtak szerint határoztam meg.

Poliamid-6 monofilament:

- Alapanyaga: 100% poliamid-6
- Lineáris sűrűsége: 0,0994 tex
- Morfológiai tulajdonságok:
 - Hosszanti képe: hengeres
 - Keresztmetszeti alakja: kör alakú

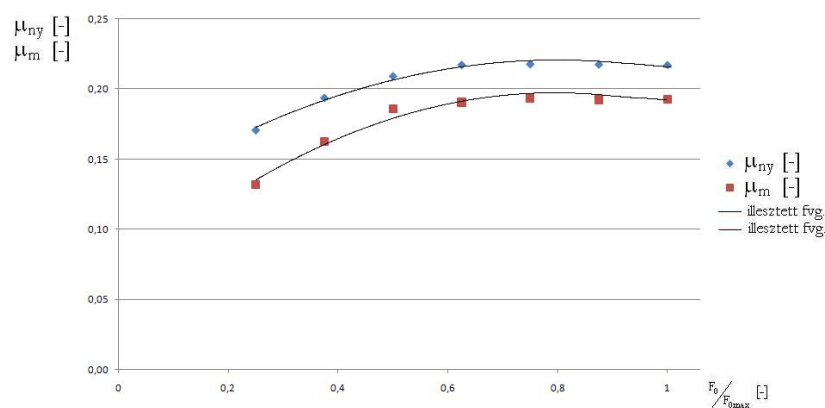
Súrlódó felület:

- Alapanyaga: DOCAMID 6 E
- Átlagos felületi érdessége: $R_a = 0,8183 \mu\text{m}$

Vizsgálati paraméterek:

- Vizsgálati sebesség: 140 mm/min
- Előterhelés kezdő értéke: 0,5 cN

A poliamid 6 monofilament vizsgálat átlagolt eredményei az 5. melléklet táblázataiban láthatók. A kapott mérési eredmények átlagát grafikusan ábrázoltam, az áttekinthetőség és az adathalmaz jellegére vonatkozó következtetések megállapításához. Adatpontokkal szemléltettem a súrlódási tényezők átlagértékeit (68. ábra). Az átlagolt mérési eredményekre függvényeket illesztettem.



68. ábra Poliamid 6 monofilament súrlódási tényezőinek változása az előterhelés függvényében ($F_0=0,5$ [cN], $F_{0max}=2$ [cN])

A legpontosabb illeszkedést, a nyugalmi súrlódási tényezőre a következő függvény adta a vizsgált tartományban:

$$\mu_{ny} = -1,6 \cdot 10^{-1} \left(\frac{F_0}{F_{0max}} \right)^2 + 2,55 \cdot 10^{-1} \left(\frac{F_0}{F_{0max}} \right) + 1,18 \cdot 10^{-1} \quad (6.2)$$

$$R^2 = 0,982$$

ahol:

μ_{ny} – nyugalmi súrlódási tényező [-]

F_0 – előterhelés nagysága [N]

F_{0max} – előterhelés maximális értéke [N]

A legpontosabb illeszkedést, a mozgási súrlódási tényezőre a következő függvény adta a vizsgált tartományban:

$$\mu_m = -2,1 \cdot 10^{-1} \left(\frac{F_0}{F_{0max}} \right)^2 - 3,33 \cdot 10^{-1} \left(\frac{F_0}{F_{0max}} \right) + 6,4 \cdot 10^{-2} \quad (6.3)$$

$$R^2 = 0,968$$

ahol:

μ_m – mozgási súrlódási tényező [-]

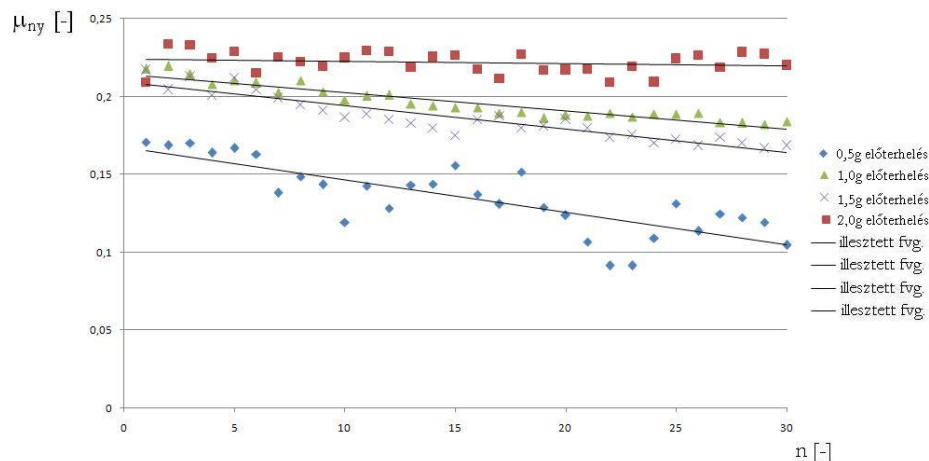
F_0 – előterhelés nagysága [N]

F_{0max} – előterhelés maximális értéke [N]

A 68. ábra jól szemlélteti, hogy az előterhelés értékének növelése mind a nyugalmi, mind pedig a mozgási súrlódási tényezők értékeinek növekvő tendenciáját eredményezte, a 0,5 cN és 2 cN közötti tartományban. A vizsgálat átlagolt eredményeinek összísített táblázata az m5.12. táblázatban található. Elvégeztem a minták átlagai közötti eltérések szignifikancia vizsgálatát, az eredményeket a m5.13. és m5.14. táblázat tartalmazza.

6.1.2. Az azonos mintán többször ismételt vizsgálat

A mérés célja, hogy megvizsgáljam az azonos mintán végzett, azonos körülmények között ismételt súrlódási igénybevétel hatását a súrlódási tényező értékére, mivel a gyakorlatban is többszöri igénybevételnek vannak kitéve az alapanyagok, ezért fontos a súrlódási jellemzők időbeli alakulása. A méréseket négy különböző előterhelési érték mellett végeztem el, harmincszor ismételve a vizsgálatot. A mérési eredményeket a 69. és 70. ábra mutatja. A poliamid 6 monofilament ismételt vizsgálatának átlagolt eredmények és szórás értékek összesített táblázata a melléklet m5.15. táblázatában látható.



69. ábra Poliamid 6 monofilament ismételt mérése növelt előterhelés mellett és a változást leíró függvények (n – ismétlések száma)

Adatpontokkal szemléltettem a nyugalmi súrlódási tényezők átlagértékeit (69. ábra). Az átlagolt mérési eredmények tendenciája lineáris csökkenést mutat, az adatpontokra illesztett függvények:

0,5 cN előterhelés:

$$\mu_{ny} = -2 \cdot 10^{-3}n + 1,67 \cdot 10^{-1} \quad R^2 = 0,89 \quad (6.4)$$

1 cN előterhelés:

$$\mu_{ny} = -1 \cdot 10^{-3}n + 2,1 \cdot 10^{-1} \quad R^2 = 0,889 \quad (6.5)$$

1,5 cN előterhelés:

$$\mu_{ny} = -1 \cdot 10^{-3}n + 2,09 \cdot 10^{-1} \quad R^2 = 0,859 \quad (6.6)$$

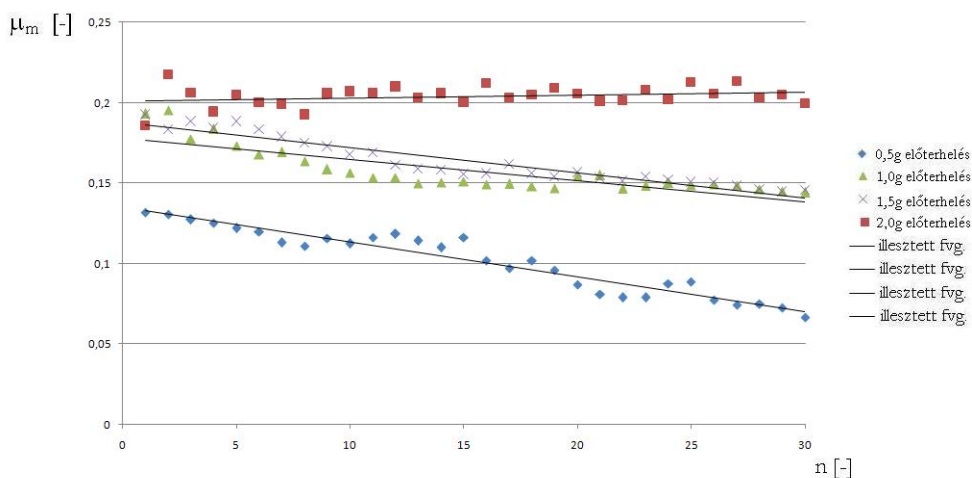
2 cN előterhelés:

$$\mu_{ny} = -1 \cdot 10^{-5}n + 2,24 \cdot 10^{-1} \quad R^2 = 0,655 \quad (6.7)$$

ahol:

μ_{ny} – nyugalmi súrlódási tényező [-]

n – ismétlések száma [-]



70. ábra Poliamid 6 monofilament ismételt mérése növelt előterhelés mellett és a változást leíró függvények (n – ismétlések száma)

A vizsgálat mind a négy terhelés mellett az ismétlések számának növelésekor, csökkenő tendenciát mutatott, a súrlódási tényezők értékénél. A változás jól nyomon követhető a 70. ábrán. A 0,5 cN-os előterhelés mellett az ismételt mérések során kapott eredmények nagy ingadozást mutatnak, az előterhelés növelésével az eredmények szórása csökken.

A mozgási súrlódási tényező változásának tendenciáját az alábbi függvények mutatják a vizsgált tartományban:

0,5 cN előterhelés:

$$\mu_m = -2 \cdot 10^{-3}n + 1,35 \cdot 10^{-1} \quad R^2 = 0,85 \quad (6.8)$$

1 cN előterhelés:

$$\mu_m = -1 \cdot 10^{-3}n + 1,78 \cdot 10^{-1} \quad R^2 = 0,9 \quad (6.9)$$

1,5 cN előterhelés:

$$\mu_m = -1 \cdot 10^{-3}n + 1,87 \cdot 10^{-1} \quad R^2 = 0,694 \quad (6.10)$$

2 cN előterhelés:

$$\mu_m = 1 \cdot 10^{-5}n + 2,01 \cdot 10^{-1} \quad R^2 = 0,925 \quad (6.11)$$

ahol:

μ_m – mozgási súrlódási tényező [-]

n – ismétlések száma [-]

6.1.3. Mérési eredmények elemzése és következtetések

A mérési eredményeket elemezve összességében megállapítható, hogy:

- A poliamid monofilament szálak nyugalmi és mozgási súrlódási tényezőinek értékei az előterhelés függvényében változnak.
- Az előterhelés növelése a nyugalmi súrlódási tényező és mozgási súrlódási tényező növekedésével jár. A mérési eredmények átlagai közötti eltérések szignifikáns különbséget mutatnak és a maximális előterhelést megközelítve egy állandó értékhez közelítenek.
- A súrlódási tényezők változásának tendenciája a legjobban lineáris függvényekkel jellemezhető.
- Az ismételt ciklikus mérések összehasonlítása kapcsán megállapítható, hogy a súrlódási tényező értékek csökkennek az ismétlések számának növelésével. A csökkenés mértéke és szórása függ az előterhelés nagyságától.
- A ciklikus mérések nyomán bekövetkező változás tendenciája lineáris csökkenést mutat, és az adatpontokra illesztett egyenesekkel meghatározható.

6.2. MULTIFILAMENT VIZSGÁLAT

A filament-kötegek vizsgálatának célja annak bizonyítása, hogy a „kéthengeres mérő berendezés” alkalmas filament-kötegek súrlódási jellemzőinek vizsgálatára, illetve a filament-kötegek súrlódási jellemzőinek meghatározása.

Multifilament minták alkalmazásakor a következőket vizsgáltam:

- előterhelés változtatása (6.2.1. fejezet)
- az azonos mintán többször ismételt vizsgálat (6.2.2. fejezet)
- kötegszám változtatása (6.2.3. fejezet)
- sodratszám növelése (6.2.4. fejezet)

6.2.1. Az előterhelés változtatása

A mérés célja annak meghatározása, hogy az előterhelés milyen hatással van a multifilamentek mérési eredményeinek alakulására. A vizsgálatot 5 cN-tól 50 cN-ig terjedő skálán végeztem el.

Poliamid-6 multifilament vizsgálat – előterhelés változtatása

A vizsgálatok során több mint 160 mérést végeztem, mérésenként átlagosan 500-500 adatot kaptam, így óriási adatmennyiség állt rendelkezésemre. Az egyes mérések során a súrlódási tényezőket az 5.3-as fejezetben leírtak szerint határoztam meg.

Poliamid-6 multifilament:

- Alapanyaga: 100% poliamid-6
- Lineáris sűrűsége: 15,9 tex
- Köteg elemszáma: 160
- Morfológiai tulajdonságok:
 - Hosszanti képe: hengeres
 - Keresztmetszeti alakja: kör alakú

Súrlódó felület:

- Alapanyaga: DOCAMID 6 E
- Átlagos felületi érdessége: $R_a = 0,8183 \mu\text{m}$

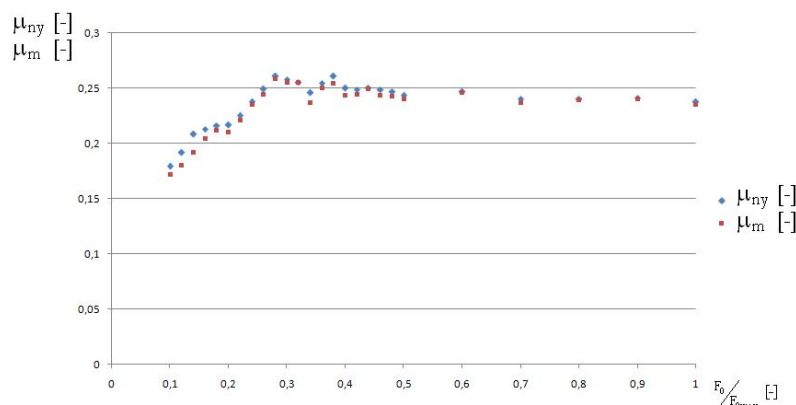
Vizsgálati paraméterek:

- Vizsgálati sebesség: 140 mm/min
- Előterhelés kezdő értéke: 0,5 cN

Poliamid 6 multifilament előterhelésének változtatása

A vizsgálatok során több mint 160 mérést végeztem, mérésenként átlagosan 500-500 adatot kaptam, így összességében több mint 80 000 adat került feldolgozásra.

Az áttekinthetőség és az adathalmaz jellegére vonatkozó következtetések megállapításához adatpontokkal szemléltettem a súrlódási tényezők átlagértékeit (71. ábra). Az eredményeket a 6. melléklet (m6.17. táblázat) tartalmazza.

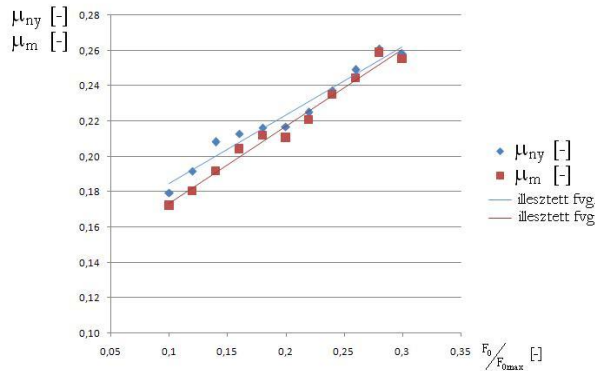


71. ábra PA multifilament súrlódási tényezőinek változása az előterhelés függvényében ($F_0=5$ [cN], $F_{0max}=50$ [cN])

A 71. ábra jól szemlélteti, hogy az előterhelés értékének növelése a súrlódási tényezők értékeinek növekvő tendenciáját eredményezte. A mérési átlagok nagyon közel helyezkednek el egymáshoz. Az előterhelésenkénti mérési átlagok közötti szignifikancia megállapítására, kétmintás t-próbát végeztem, és a vizsgálat eredménye kimutatta, hogy nincs szignifikáns eltérés a nyugalmi és a mozgási súrlódási tényezők között.

Vizsgáltam a növekvő előterhelések közötti kapcsolatot, meghatároztam az egymást követő előterhelések közötti összefüggéseket. A kiértékelés alapján megállapítható, hogy az 5 cN és a 15 cN előterhelési tartományban szignifikáns különbség mutatkozik a súrlódási tényező értékek között. Az előterhelés értékének növelése a súrlódási tényezők értékeinek növekvő tendenciáját eredményezte az 5 cN és 15 cN közötti tartományban, majd az értékek egy stagnáló szintet vesznek fel (6. melléklet m6.18. és m6.19. táblázatok)

Az átlagolt mérési eredmények adatait a szignifikancia vizsgálat eredményeinek megfelelően szétválasztottam és vizsgáltam az 5,0 cN és 11 cN közötti előterhelési tartomány adatait. A vizsgált előterhelési sávban, az adatok változásának tendenciájára a lineáris növekedés jellemző (72. ábra).



72. ábra PA multifilament súrlódási tényezője a 5 cN és 15 cN közötti előterhelési tartományban és a változást leíró függvény

Az adatpontokra illesztett egyenesek adatai:

Nyugalmi súrlódási tényező esetén:

$$\mu_{ny} = 3,86 \cdot 10^{-1} \left(\frac{F_0}{F_{0max}} \right) + 1,46 \cdot 10^{-1} \quad R^2 = 0,96 \quad (6.12)$$

Mozgási súrlódási tényező esetén:

$$\mu_m = 4,35 \cdot 10^{-1} \left(\frac{F_0}{F_{0max}} \right) + 1,29 \cdot 10^{-1} \quad R^2 = 0,978 \quad (6.13)$$

ahol:

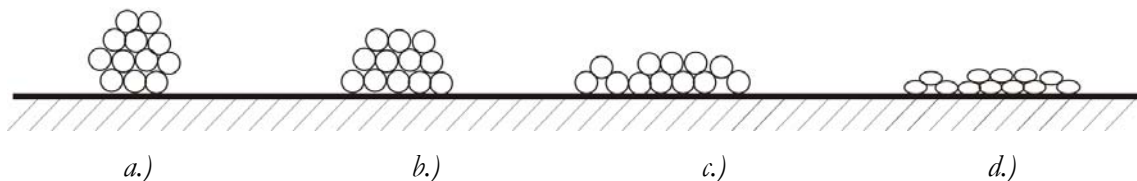
μ_{ny} - nyugalmi súrlódási tényező [-]

μ_m - mozgási súrlódási tényező [-]

F_0 - előterhelés nagysága [N]

F_{0max} - előterhelés maximális értéke [N]

A multifilament előterhelés növelésének hatására bekövetkező súrlódási tényező növekedése a 3.3 fejezetben megfogalmazott, a textiltermékekre ható erőkkel magyarázható. A növekvő előterhelés hatására egyre nagyobb lesz a kötegre ható sugár irányú erőrendszer. A sugárirányú erők hatására a köteg „szétterül” a súrlódó felületen. Az egyre nagyobb előterhelés egyre nagyobb „szétterülést” eredményez, növelve az érintkezési felület nagyságát (73. ábra).



73. ábra Filament-köteg és súrlódó felület érintkezése növekvő előterhelés hatására
a.) kis előterhelés, b.) növekvő előterhelés, c.) a maximális előterhelés közelében, d.) maximális előterhelés

A kezdeti előterhelés hatására a köteg száalai közel párhuzamosan helyezkednek el, csak a fonaltest alkotójának vonalán érintkezve a súrlódó felülettel (73./a ábra).

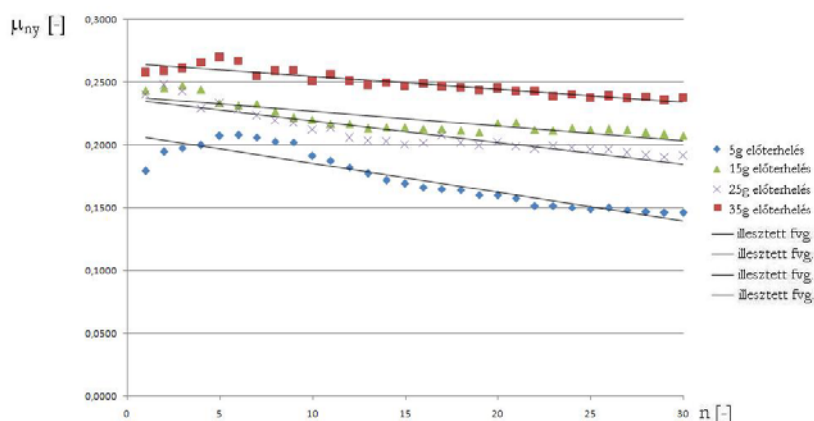
Az előterhelés növelésével egyre kevesebb filament szál képes megtartani eredeti helyzetét a fonaltestben, a kisebb ellenállás irányába elmozdulva egy lapítottabb helyzetet vesznek fel, ekkor már több ponton, nagyobb felületen érintkeznek a súrlódó felülettel (73./b ábra).

Az előterhelés további növelésének hatására, a filament-köteg szálai kisimulnak a súrlódó felszínen, elérve a „maximális” érintkezési felületet (73./c ábra). A legszélsőségesebb, legnagyobb előterhelés hatására a felszínen kisimult szálak akár deformálódhatnak is, tovább fokozva a felületek érintkezési vonalát (73./d ábra).

Az egymással érintkező felületek növekedésével és a súrlódási erő adhéziós összetevőjének (az emelkedő előterhelés hatására bekövetkező) növekedésével magyarázható. A filamentköteg „szétterülése” után a súrlódási tényező elér egy stagnáló értéket. A grafikon második szakaszában tapasztalható kis mértékű ingadozás (az értékek között már nem mutatható ki szignifikáns különbség), a filament szálak eltérő simulásával magyarázható.

6.2.2. Az azonos mintán többször ismételt vizsgálat

A mérés célja, annak vizsgálata, hogy az azonos mintán, azonos körülmények között végzett ismételt súrlódási igénybevétel milyen hatással van a súrlódási tényező értékére, mivel a gyakorlatban is többszöri igénybevételnek vannak kitéve az alapanyagok ezért fontos a súrlódási jellemzők időbeli alakulásának ismerete. A méréseket négy különböző előterhelési érték mellett elvégeztem, harmincszor ismételve a vizsgálatot. A mérési eredményeket a 74. és 75. ábra mutatja. A poliamid 6 multifilament ismételt vizsgálatának átlagolt eredmények és szórás értékek összesített táblázata a melléklet m6.20-as táblázataiban láthatók.



74. ábra Poliamid 6 multifilament ismételt mérése növelt előterhelés mellett és a változást leíró függvények (n – ismétlések száma)

A vizsgálat mind a négy terhelés mellett az ismétlések számának növelésekor, csökkenő tendenciát mutatott a súrlódási tényezők értékénél. A változás jól látható a 74. ábrán.

Adatpontokkal szemléltettem a súrlódási tényezők átlagértékeit (74. ábra). Az átlagolt mérési eredmények tendenciája lineáris csökkenést mutat, az adatpontokra illesztett függvények nyugalmi súrlódási tényező esetén:

5 cN előterhelés:

$$\mu_{ny} = -2 \cdot 10^{-3}n + 2,08 \cdot 10^{-1} \quad R^2 = 0,855 \quad (6.14)$$

15 cN előterhelés:

$$\mu_{ny} = -1 \cdot 10^{-3}n + 2,36 \cdot 10^{-1} \quad R^2 = 0,855 \quad (6.15)$$

25 cN előterhelés:

$$\mu_{ny} = -1 \cdot 10^{-3}n + 2,38 \cdot 10^{-1} \quad R^2 = 0,733 \quad (6.16)$$

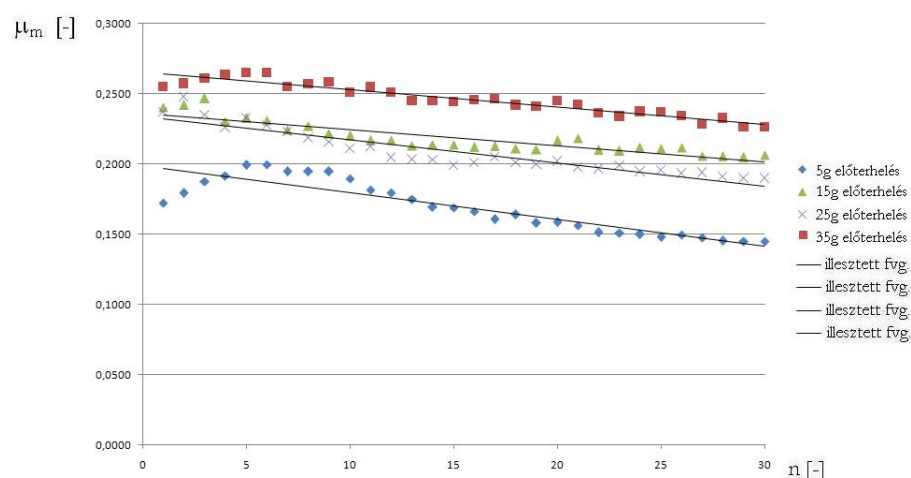
35 cN előterhelés:

$$\mu_{ny} = -1 \cdot 10^{-3}n + 2,65 \cdot 10^{-1} \quad R^2 = 0,87 \quad (6.17)$$

ahol:

μ_{ny} – nyugalmi súrlódási tényező [-]

n – ismétlés száma [-]



75. ábra Poliamid 6 multifilament ismételt mérése növelt előterhelés mellett és a változást leíró függvények (n – ismétlések száma)

Az átlagolt mérési eredmények tendenciája lineáris csökkenést mutat, az adatpontokra illesztett függvények mozgási súrlódási tényező esetén:

5 cN előterhelés:

$$\mu_m = -1 \cdot 10^{-3}n + 1,98 \cdot 10^{-1} \quad R^2 = 0,82 \quad (6.18)$$

15 cN előterhelés:

$$\mu_m = -1 \cdot 10^{-3}n + 2,34 \cdot 10^{-1} \quad R^2 = 0,861 \quad (6.19)$$

25 cN előterhelés:

$$\mu_m = -1 \cdot 10^{-3}n + 2,35 \cdot 10^{-1} \quad R^2 = 0,791 \quad (6.20)$$

35 cN előterhelés:

$$\mu_m = -1 \cdot 10^{-3}n + 2,65 \cdot 10^{-1} \quad R^2 = 0,905 \quad (6.21)$$

ahol:

μ_m – mozgási súrlódási tényező [-]

n – ismétlés száma [-]

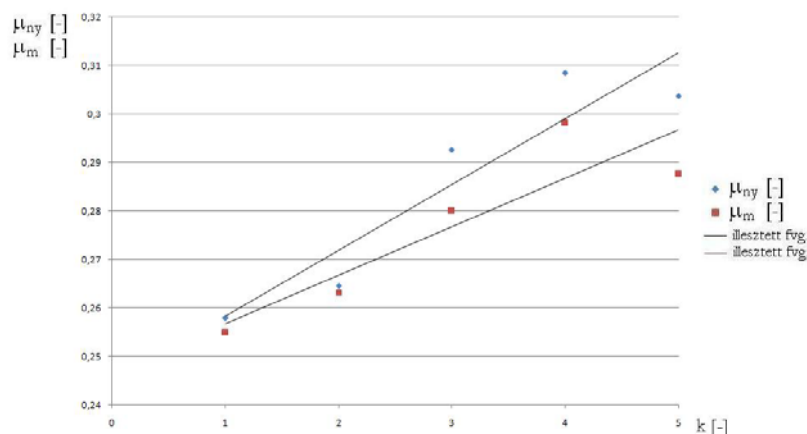
A multifilament ismételt mérésekor bekövetkező súrlódási tényező változás okát abban látom, hogy a vizsgálat kezdeti szakaszában még kis előterhelés mellett is az egymás mellett párhuzamosan elhelyezkedő monofilament szálak kisimulnak a súrlódó felszínen, elérve a „maximális” érintkezési felületet (45. ábra). Az egymással érintkező felületek növekedése eredményezheti a vizsgálati grafikon első szakaszában tapasztalható kismértékű növekedést. Majd a további ismételt mérések hatására mind a négy előterhelés mellett, a súrlódási tényezők értéke csökkenő tendenciát mutatott.

6.2.3. Kötegszám változtatása

A mérés célja annak meghatározása, hogy azonos előterhelés mellett a kötegszám növelése milyen hatással van a súrlódási tényező alakulására.

Poliamid 6 multifilament kötegszámának növelése azonos előterhelés mellett

A vizsgálatok során több mint 90 mérést végeztem, mérésenként átlagosan 500-500 adatot kaptam, így óriási adatmennyiség állt rendelkezésemre. A poliamid 6 multifilament kötegszám növelés vizsgálat átlagolt eredményeinek összesített táblázata a melléklet m7.22. táblázatában látható.



76. ábra Multifilament súrlódási tényezőjének változása a kötegszám növelésének függvényében a mérési eredményekre illesztett függvény (k – kötegszám)

A kísérlethez a korábbi előterheléses vizsgálat eredménye alapján határoztam meg a terhelés nagyságát. Olyan előterhelést választottam, mely esetén a mért súrlódási tényezők stagnáló értéket mutatnak. 20,0 cN-os előterhelést választottam a kísérlethez.

A 76. ábra grafikonján jól látható, hogy a súrlódási tényezők értékei csak kis mértékben térnek el egymástól, közöttük nincs szignifikáns eltérés, az eredmények a melléklet m7.22. táblázatban láthatók. A kötegszám emelése a súrlódási tényező növekedését eredményezte a vizsgált tartományban. A kapott eredmények kiértékelése szignifikáns eltérést mutatott a különböző kötegszámhoz tartozó súrlódási tényező értékek között, az eredmények a melléklet m7.24. - m7.25. táblázatában láthatók.

A függvény illesztése során a legjobb illeszkedést, a legnagyobb regressziót az alábbi függvények adták a nyugalmi és mozgási súrlódási tényező esetén a vizsgált tartományban:

$$\mu_{ny} = 1,3 \cdot 10^{-2}k + 2,44 \cdot 10^{-1} \quad R^2 = 0,869 \quad (6.22)$$

$$\mu_m = 1 \cdot 10^{-2}k + 2,46 \cdot 10^{-1} \quad R^2 = 0,807 \quad (6.23)$$

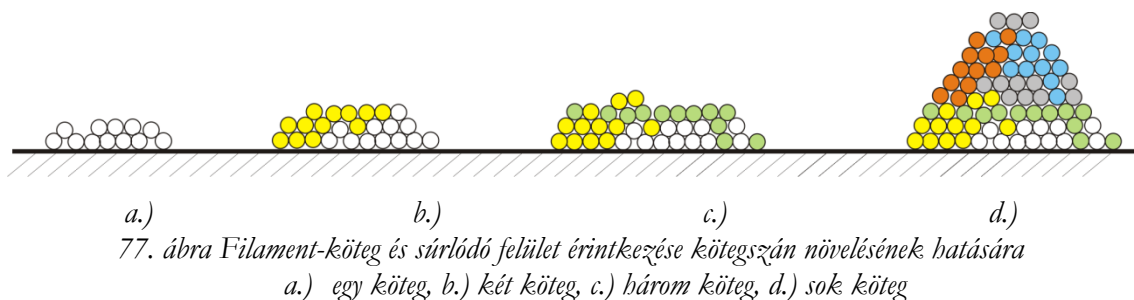
ahol:

μ_{ny} – nyugalmi súrlódási tényező [-]

μ_m – mozgási súrlódási tényező [-]

k – kötegszám [-]

Az előterhelés hatására a filament-köteg számai kisimulnak a súrlódó felszínen, elérve a „maximális” érintkezési felületet (77./a ábra). A kötegszám növelése új elrendeződést teremt, amennyiben az előterhelés elegendő nagyságú ahhoz, hogy a kötegeket összetartó erőket legyőzze. Az új elrendeződés tovább növelheti az érintkező felület nagyságát, egészen addig, amíg a kötegszám meg nem haladja a „kritikus” értéket. A „kritikus” értéknél, a kötegekhez képest, az előterhelés értéke „alacsony” lesz, így a húzóerő már nem haladja meg az egymás mellett párhuzamosan elhelyezkedő filament szálak közötti összetartó erőket, tehát nem növekszik tovább az érintkező felület nagysága (77. ábra).

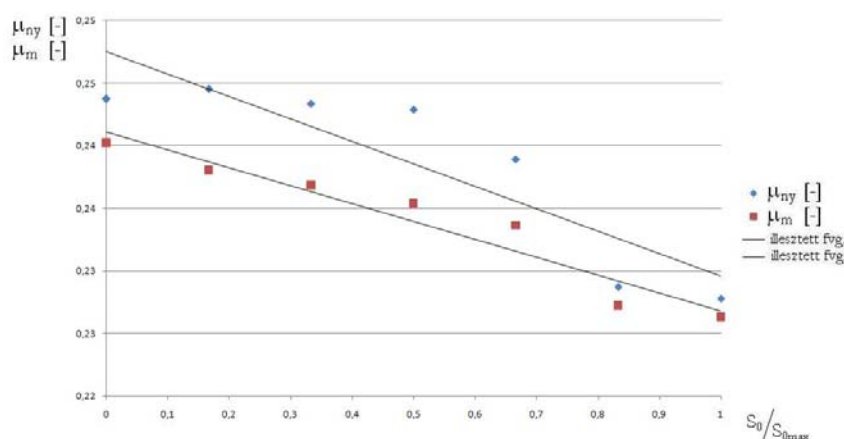


6.2.4. Sodratszám növelése

A mérés célja annak meghatározása, hogy állandó előterhelés mellett a sodratszám növelése milyen hatással van a mérési eredmények alakulására. Az előterhelés értékét 20 cN-ban határoztam meg, a sodratszámot (sodratszám a cérnák, és a fonalak 1 méteren belüli csavarulatainak számát jelenti) 0-ról növeltem 20-as lépésekkel.

Poliamid 6 multifilament sodratszám növelése

A vizsgálatok során több mint 100 mérést végeztem, mérésenként átlagosan 500-500 adatot kaptam, így óriási adatmennyiség állt rendelkezésemre. A poliamid 6 filament sodratszám növelési vizsgálat átlagolt eredményeinek összesített táblázata a melléklet m8.26. táblázatában látható. Adatpontokkal szemléltettem a súrlódási tényezők átlagértékeit (78. ábra)



78. ábra Poliamid 6 multifilament súrlódási tényezőinek változása a sodratszám függvényében ($s_{max}=120$)

A 78. ábra jól szemlélteti, hogy a sodratszám értékének növelése a súrlódási tényezők értékeinek stagnálását, majd kismértékű csökkenését eredményezte. A nyugalmi és mozgási súrlódási tényezők között továbbra sem tapasztalható szignifikáns eltérés. A 0 és 60-as sodratszám esetén a súrlódási tényezők nagyon kis eltéréseket mutatnak, az eltérések között nem tapasztalható szignifikáns különbség. A 80-as sodratszámnál és felette továbbra is a súrlódási tényezők csökkenés látható, ebben a tartományban már meghatározó a mért értékek közötti különbség. A mérési átlagok közötti eltérés vizsgálatának táblázata a melléklet m8.27. m8.28. és m8.29.-as táblázatokban látható.

Az átlagolt mérési eredmények tendenciája lineáris csökkenést mutat, az adatpontokra illesztett függvények a nyugalmi és mozgási súrlódási tényező esetén a következők:

$$\mu_{ny} = -1,7 \cdot 10^{-2} \left(\frac{S_0}{S_{0max}} \right) + 2,47 \cdot 10^{-1} \quad R^2 = 0,792 \quad (6.24)$$

$$\mu_m = -1,4 \cdot 10^{-2} \left(\frac{S_0}{S_{0max}} \right) + 2,41 \cdot 10^{-1} \quad R^2 = 0,93 \quad (6.25)$$

ahol:

μ_{ny} – nyugalmi súrlódási tényező [-]

μ_m – mozgási súrlódási tényező [-]

S_0 – sodratszám [1/m]

S_{0max} – sodratszám [1/m]

6.2.5. Mérési eredmények elemzése és következtetések – multifilament vizsgálat

A mérési eredményeket elemezve összességében megállapítható, hogy:

- A nyugalmi és mozgási súrlódási tényezők közötti nincs szignifikáns különbség.
- A poliamid filament-köteg nyugalmi és mozgási súrlódási tényezőinek értékei az előterhelés függvényében változnak.
- Az előterhelés növelése a nyugalmi súrlódási tényező és mozgási súrlódási tényező növekedésével jár, az 5,0 cN és 11,0 cN közötti tartományon. A mérési eredmények között szignifikáns eltérés állapítható meg. 11,0 cN és 50,0 cN közötti tartományon a súrlódási tényezők egy közel állandó értéket vesznek fel.
- A súrlódási tényezők változása az értékekre illesztett függvénnyel leírható, az adott terhelési tartományban, mivel a regressziós tényező meghaladja a 0,92-os értéket. A terhelési tartományt szétválasztva, az 5,0 cN és 11,0 cN közötti tartományon az értékekre illesztett függvény regressziós tényezője meghaladja a 0,97-os értéket.
- A kötegszám növelése a vizsgált előterhelési tartományban a súrlódási tényezők értékének növekedését eredményezte. A változás jól követhető egy, az eredményekre interpolált függvénnyel, melynek regressziós tényezője meghaladja a 0,98-os értéket
- A sodratszám növelése során a mérési eredmények alapján megállapítható, hogy 0 és 60-as sodratszám esetén a súrlódási tényezők nagyon kis eltéréseket mutatnak, az eltérések között nem tapasztalható szignifikáns különbség. A 80-as sodratszámnál és felette, továbbra is a súrlódási tényezők csökkenése látható, a vizsgált tartományban, a mért értékek közötti különbség meghatározó.

7. VÉGKÖVETKEZTETÉSEK, TOVÁBBFEJLESZTÉSI LEHETŐSÉGEK

A disszertáció a hajlékony textilszerkezetek súrlódási tulajdonságait meghatározó berendezések és technikai megoldások elemzésével foglalkozik. Súrlódási vizsgálatokat a gyártányfejlesztés és a felhasználási elemzések során eddigi is végeztek, azonban az alapanyagok eltérő szerkezete, szerkezeti kialakítása és eltérő tulajdonságai miatt különböző berendezéseken. A másfajta berendezések eltérő körülményeket teremtenek így nehéz összehasonlítani és egymáshoz viszonyítani a kapott eredményeket.

Kutatásaim során egy egyedi mérőműszert terveztem és valósítottam meg. A mérőműszer kifejlesztésére és tesztelésére az Óbudai Egyetem, Rejtő Sándor Könnyűipari és Környezetmérnöki Kar, Terméktervező Intézetének textilvizsgáló laboratóriumában került sor.

Az általam létrehozott univerzális berendezéssel a megvalósítható mérési kombinációk száma szinte végtelen. A dolgozat szabta területi korlátok miatt, a mérési kombinációk csak egy kis szeletét tudtam bemutatni, de úgy érzem utat nyitottam és lehetőséget teremtettem arra, hogy a jövőben az összes textilszerkezetekkel kapcsolatos súrlódási összefüggés meghatározható legyen.

A vizsgálóberendezés és az eljárás továbbfejlesztési lehetőségei

I. Műszaki fejlesztések

- **A hengerek felfüggesztésének „Y” irányú állíthatóvá tételével** tovább növelhető a cserélhető hengerek átmérőjének tartománya, és befolyásolható a vizsgált textilszerkezet mintahossza.
- További fejlesztési lehetőség a **fűthető – hűthető henger alkalmazása**. Ennek segítségével vizsgálni lehet a súrlódási jellemzők alakulását különböző felületi hőmérsékleten.
- **A gép alapparamétereinek bővítésével** (pl.: sebességtartomány növelése) jobban szimulálhatók lesznek a gyártási vagy felhasználási körülmények.
- A szakítógépre szerelt kéthengeres kialakítás **mobilitásának és átszerelhetőségének megteremtése** lehetőséget biztosítana a módszer szélesebb körű elterjedésének. A más mérési tartományokkal és működési paraméterekkel rendelkező szakítógépek alapgépkénti használatával változtathatóvá lehetne tenni a mérési paramétereket.

II. Informatikai fejlesztés

- A továbbfejlesztett programmal egyszerűsödne és felgyorsulna az eredmények összehasonlítása és statisztikai kiértékelése. (felmerült egy részletesebb, azonnali kiértékelési funkciókkal ellátott program igénye). Mindamellett fontosnak tartom, hogy az eredmények a jelenlegi formátumban is hozzáférhetőek legyenek.

III. A vizsgálati eljárás szabványosítása

- Az univerzális súrlódási tényező vizsgáló berendezés, lehetőséget teremthet a textiltermékek (elemiszálak, fonalak, textilszerkezetek...stb.) és egyéb hajlékony laptermékek egységes vizsgálatához.

8. A KUTATÓMUNKA TÉZISEI

Kutatómunkám során a deformálható rosttermékek súrlódási tényezőinek meghatározásával foglalkoztam és az alábbi megállapításokra jutottam:

1. Megterveztem és elkészítettem egy új vizsgálóberendezést, amely alkalmas valamennyi típusú hajlékony rosttermék (pl.: elemiszál, monofilament, multifilament, fonál, textil és egyéb laptermékek) súrlódási jellemzőinek (mozgási és nyugalmi súrlódási tényezők) meghatározására azonos körülmények között. A kifejlesztett készülék képes különböző anyagpárosítások tribológiai tulajdonságainak vizsgálatára.

2. Megállapítottam, hogy a poliamid 6 monofilament és a poliamid 6 multifilament súrlódási tényezői (nyugalmi és mozgási súrlódási tényező) az előterheléstől függő változók.

A poliamid 6 monofilament súrlódási tényezői lineárisan kismértékben változó tendenciát mutatnak az előterheléstől függően.

A poliamid 6 multifilament súrlódási tényezői az 5cN és a 15cN előterhelési tartományban lineárisan növekvő tendenciát mutatnak, a 16cN és 50cN előterhelési tartományban a súrlódási tényezők értéke állandó.

A változás azzal magyarázható, hogy a henger felületén ébredő, sugár irányú erőrendszer és tangenciális erők hatására változik a próbatest és a súrlódó felület érintkezési felületének nagysága.

Monofilamentek esetén a mozgási és nyugalmi súrlódási tényezők változásának tendenciáját a követő függvények adták a vizsgált tartományban:

$$\mu_{ny} = -1,6 \cdot 10^{-1} \left(\frac{F_0}{F_{0max}} \right)^2 + 2,55 \cdot 10^{-1} \left(\frac{F_0}{F_{0max}} \right) + 1,18 \cdot 10^{-1} \quad R^2 = 0,982$$

$$\mu_m = -2,1 \cdot 10^{-1} \left(\frac{F_0}{F_{0max}} \right)^2 - 3,33 \cdot 10^{-1} \left(\frac{F_0}{F_{0max}} \right) + 6,4 \cdot 10^{-2} \quad R^2 = 0,968$$

ahol:

μ_{ny} – nyugalmi súrlódási tényező [-]

μ_m – mozgási súrlódási tényező [-]

F_0 – előterhelés nagysága [N]

F_{0max} – előterhelés maximális értéke [N]

A változás tendenciáját követő függvények multifilamentek esetén:

$$\begin{aligned}\mu_{ny} &= 3,86 \cdot 10^{-1} \left(\frac{F_0}{F_{0max}} \right) + 1,46 \cdot 10^{-1} & R^2 &= 0,96 \\ \mu_m &= 4,35 \cdot 10^{-1} \left(\frac{F_0}{F_{0max}} \right) + 1,29 \cdot 10^{-1} & R^2 &= 0,978\end{aligned}$$

ahol:

μ_{ny} – nyugalmi súrlódási tényező [-]

μ_m – mozgási súrlódási tényező [-]

F_0 – előterhelés nagysága [N]

F_{0max} – előterhelés maximális értéke [N]

3. Megállapítottam, hogy a poliamid 6 monofilament és a poliamid 6 multifilament súrlódási tényezői (nyugalmi és mozgási súrlódási tényező) a többszöri ismételt súrlódás vizsgálat hatására lineáris csökkenést mutatnak. A csökkenés nagysága az előterhelés mértékétől függően változik.

A növekvő előterhelés hatására növekszik az érintkezési felület nagysága, az ismétlés következtében az érintkező felületek „összecsiszolódnak”, a felületi érdességi csúcsok megkopnak ez által csökkentve a súrlódási tényező értékét.

Monofilamentek esetén a nyugalmi súrlódási tényező változásának tendenciáját a követő függvények írják le:

0,5 cN előterhelés:

$$\mu_{ny} = -2 \cdot 10^{-3}n + 1,67 \cdot 10^{-1} \quad R^2 = 0,89$$

1 cN előterhelés:

$$\mu_{ny} = -1 \cdot 10^{-3}n + 2,1 \cdot 10^{-1} \quad R^2 = 0,889$$

1,5 cN előterhelés:

$$\mu_{ny} = -1 \cdot 10^{-3}n + 2,09 \cdot 10^{-1} \quad R^2 = 0,859$$

2 cN előterhelés:

$$\mu_{ny} = -1 \cdot 10^{-5}n + 2,24 \cdot 10^{-1} \quad R^2 = 0,655$$

ahol:

μ_{ny} – nyugalmi súrlódási tényező [-]

n – ismétlések száma [-]

Monofilamentek esetén a mozgási súrlódási tényező változásának tendenciáját a követő függvények írják le:

0,5 cN előterhelés:

$$\mu_m = -2 \cdot 10^{-3}n + 1,35 \cdot 10^{-1} \quad R^2 = 0,85$$

1 cN előterhelés:

$$\mu_m = -1 \cdot 10^{-3}n + 1,78 \cdot 10^{-1} \quad R^2 = 0,9$$

1,5 cN előterhelés:

$$\mu_m = -1 \cdot 10^{-3}n + 1,87 \cdot 10^{-1} \quad R^2 = 0,694$$

2 cN előterhelés:

$$\mu_m = 1 \cdot 10^{-5}n + 2,01 \cdot 10^{-1} \quad R^2 = 0,925$$

ahol:

μ_m – mozgási súrlódási tényező [-]

n – ismétlések száma [-]

Multifilamentek esetén a nyugalmi súrlódási tényező változásának tendenciáját a követő függvények írják le:

5 cN előterhelés:

$$\mu_{ny} = -2 \cdot 10^{-3}n + 2,08 \cdot 10^{-1} \quad R^2 = 0,855$$

15 cN előterhelés:

$$\mu_{ny} = -1 \cdot 10^{-3}n + 2,36 \cdot 10^{-1} \quad R^2 = 0,855$$

25 cN előterhelés:

$$\mu_{ny} = -1 \cdot 10^{-3}n + 2,38 \cdot 10^{-1} \quad R^2 = 0,733$$

35 cN előterhelés:

$$\mu_{ny} = -1 \cdot 10^{-3}n + 2,65 \cdot 10^{-1} \quad R^2 = 0,87$$

ahol:

μ_{ny} – nyugalmi súrlódási tényező [-]

n – ismétlés száma [-]

Multifilamentek esetén a mozgási súrlódási tényező változásának tendenciáját a követő függvények írják le:

5 cN előterhelés:

$$\mu_m = -1 \cdot 10^{-3}n + 1,98 \cdot 10^{-1} \quad R^2 = 0,82$$

15 cN előterhelés:

$$\mu_m = -1 \cdot 10^{-3}n + 2,34 \cdot 10^{-1} \quad R^2 = 0,861$$

25 cN előterhelés:

$$\mu_m = -1 \cdot 10^{-3}n + 2,35 \cdot 10^{-1} \quad R^2 = 0,791$$

35 cN előterhelés:

$$\mu_m = -1 \cdot 10^{-3}n + 2,65 \cdot 10^{-1} \quad R^2 = 0,905$$

ahol:

μ_m – mozgási súrlódási tényező [-]

n – ismétlés száma [-]

4. Megállapítottam, hogy több (1-5 db) poliamid 6 anyagú sodrat nélküli multifilament egyesítésével nyert köteg súrlódási tényezői (nyugalmi és mozgási súrlódási tényező) a kötegszámtól függő változók.

Az előterhelés hatására bekövetkező deformáció a köteg és a köteget alkotó egyes elemek deformációjából adódik.

Állandó terhelés mellett a lineáris sűrűség növelése a súrlódási tényezők kismértékű lineáris növekedését eredményezi, majd egy stagnáló értéken állandósul. A nyugalmi és mozgási súrlódási tényezők változásának tendenciáját a követő függvények írják le:

$$\mu_{ny} = 1,3 \cdot 10^{-2}k + 2,44 \cdot 10^{-1} \quad R^2 = 0,869$$

$$\mu_m = 1 \cdot 10^{-2}k + 2,46 \cdot 10^{-1} \quad R^2 = 0,807$$

ahol:

μ_{ny} – nyugalmi súrlódási tényező [-]

μ_m – mozgási súrlódási tényező [-]

k – kötégszám [-]

5. Megállapítottam, hogy a poliamid 6 multifilament nyugalmi és mozgási súrlódási tényezője a sodratszám növelésének hatására csökken, és értékük egymáshoz közelít.

A sodrat csökkenti a multifilament deformációját a súrlódó felületen. A sodratszám növelése egységessé teszi a fonalszerkezet felületét, csökkentve a köteg deformációját és a felületi érintkezés nagyságát.

A nyugalmi és mozgási súrlódási tényező változását a következők függvények írják le:

$$\mu_{ny} = -1,7 \cdot 10^{-2} \left(\frac{S_0}{S_{0max}} \right) + 2,47 \cdot 10^{-1} \quad R^2 = 0,792$$

$$\mu_m = -1,4 \cdot 10^{-2} \left(\frac{S_0}{S_{0max}} \right) + 2,41 \cdot 10^{-1} \quad R^2 = 0,93$$

ahol:

μ_{ny} – nyugalmi súrlódási tényező [-]

μ_m – mozgási súrlódási tényező [-]

S_0 – sodratszám [1/m]

S_{0max} – sodratszám [1/m]

Irodalomjegyzék

1. ASTM D3108 - 07 Standard Test Method for Coefficient of Friction, Yarn to Solid Material
2. ASTM D3412 - 07 Standard Test Method for Coefficient of Friction, Yarn to Yarn
3. Baksa, A. (2005): Érintkezési feladatok numerikus vizsgálata. Doktori (Ph.D) értekezés, Miskolci Egyetem
4. Balogh T. (2007): Érintkező felületek száraz súrlódáskor lejátszódó folyamatok numerikus és kísérleti vizsgálata Doktori (Ph.D) értekezés, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
5. Bánfi, E. – Borsa, J. – Kokasné, P. L. – Kutasi, Cs. – Molnár, O. (2009) Funkcionális textil és ruházati termékek fejlesztése. Szakértői tanulmány. TMTE – Texplat
6. Bánhegyi, Gy. (2005): Műanyagipari szemle -Poliamidok: felhasználás, módosítás, ötvözetek <http://www.muanyagipariszemle.hu/2005/04/poliamidok-felhasznalas-modositas-otvozetek-01.pdf> (megtekintve 2011-01-17)
7. Bánhegyi, Gy. (2009): Műanyagipari szemle - A poliamidok degradációja és stabilizálása
8. Benabdallah H., Yelle H. (1991): Static and quasi-dynamic coefficient of friction of tree engineering thermoplastics: UHMWPE, PA 66, POM. J Mater Sci 75, p. 1199 – 1202.
9. Benabdallah, S. H. (2006): Static friction coefficient of some plastics against steel and aluminum under different contact conditions. Tribology International (article in press).
10. Berthier, Y. (2001): Background on friction and wear, in Lemaitre Handbook of Materials Behavior Models, Academic press, pp. 676-699.
11. Bhushan, B. – Gupta, K. (1991): Handbook of Tribology. McGraw- Hill, inc.
12. Bhushan, B. (2000): Modern tribology handbook, Volume One, Volume Two CRC Press LLC
13. Blumber, H. (1989): Chemiefasern/textilindustrie 39/91. 12., p. 216-223

14. Bowden, F.P. - Leben, L. (1938): The nature of sliding and the analysis of friction, Nature 141 691
15. Bowden, F.P. Tabor, D. (1964): The Friction and Lubrication of Solids. Oxford University Press.
16. Czifra Á. (2007): A felületi mikrotopográfia jellemzése fém-fém és fém-kerámia alkatrészek csúszósúrlódása Doktori (Ph.D) értekezés, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
17. Das, A. – Kothari, V. K. – Nagaraju, V. (2005): A Study on Frictional Characteristics of Woven Fabrics, Autex Research Journal (2005) Volume: 5, Issue: 3, Pages: 133-140
18. Dowson, D. (1998): History of Tribology, Wiley, 2 edition
19. Fenyves, É. (1994): Újszerű textilipari és műszaki szálanyagok. Textilipari Műszaki és tudományos egyesület Budapest pp.13-20.
20. Ferrero, J.F. – Barrau, J.J. (1997): Study of dry friction under small displacements and near-zero sliding velocity. Wear 209, p 322 – 327.
21. Fischer, C. E. (1966): Súrlódási tényező mérése fonal és hengeres test súrlódó test között (Melliand Textilberichte.. 11. sz.)
22. Fischer, M. (2004): Polyamide (PA). Kunststoffe, 94. k. 10. sz. pp. 90–95.
23. Gál P. (2005): Belsőégésű motorok töltetcsere vezérlő szerkezeteiben lejátszódó súrlódási folyamatok elemzése Doktori (Ph.D) értekezés, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
24. Gépkönyv: FM-274 elektronikus elemiszálszakító
25. Godet, M. – Play, D. – Berthe, D. (1980): An attempt to provide a uniform theory of tribology through load carrying, transport and continuum mechanics, J. Lubr. Technol., 102, April 1980, pp. 153-164.
26. Godet, M. (1984): The third-body approach: a mechanical view of wear, Elsevier Sequoia, Wear, Vol. 100, pp. 437-452.
27. Gyimesi, J. (1968): Textilanyagok fizikai vizsgálata. Műszaki könyvkiadó

28. Habib S. Benabdallah (2006): Static friction coefficient of some plastics against steel and aluminum under different contact conditions. Tribology International, 2006 (article in press)
29. Halász, M. (2008): Textilanyagok viselkedésének modellezése. OTKA beszámoló. http://www.otka.hu/index.php?akt_menu=3803 megtekintve: 2011. október
30. Hanatek (2011): AFT Speciális Friction Testert, AFT-PB1 gépkönyv
31. Harprit, S. S. (2010): Programming the Propeller with Spin: A Beginner's Guide to Parallel Processing, by The McGraw-Hill Companies United States. ISBN: 978-0-07-171667-3
32. Howell, H.G. – Mieszkics, K.W. – Tabor, D. (1959): Friction in Textiles. London, The Textil Institute-Butterworths. pp. 196-198.
33. <http://hu.wikipedia.org/w/index.php?title=F%C3%A1jl:BrinellSkizze.jpg&filetimestamp=20060612203539>
34. <http://www.rothschild-instruments.ch/produkte/friction/friction.html>
35. <http://www.uster.com/ui/textile-USTER%C2%AE-ZWEIGLE-TWIST-TESTER-5-2-3126.aspx>
36. <http://www.wovencomposites.org/load03/esaform%202006%20comp.pdf>
37. Hudson, A. - Nelson, R. (2005): Útban a modern fizikához ISBN 9789635771974 INOK KFT
38. INSTRON (2011): 2810-005 Bluehill® gépkönyv
39. Janik, J. – Kalácska, G. – Jánossy, Gy. (2001): Gépüzemfenntartás I. Főiskolai Kiadó, Dunaújváros ISBN 963 00 6777 3 p. 113-120.
40. Jederán, M. - Tárnoky, F. (1979): Textilipari kézikönyv Műszaki könyvkiadó Budapest ISBN 963 10 2706 6.
41. Jederán, M. (1985): Szövés- és kötéselőkészítés. Műszaki könyvkiadó, Budapest
42. JIS K7125 szabvány
<http://www.djklab.com/contents/exam/butsusei/masatsu/index.htm>

43. Juhász, T. (2007): Beágyazott mérő- és szabályzórendszerek. Debreceni Egyetem Informatikai Kar Diplomamunka
44. Kalácska, G. (2005): Műszaki műanyag féltermék ismertető sorozat, 2.rész. MŰANYAGIPARI SZEMLE 2005. 05.
45. Kalácska, G. (szerk.) (1997): Műszaki műanyagok gépészeti alapjai. Minerva Sop Bt. Sopron, p. 12-25.
46. Keresztes, R. (2009): Műszaki műanyag/acél csúszópárok tribológiai kutatása - polimer/acél fogfelületek súrlódása -. Doktori (Ph.D.) értekezés, Szent István Egyetem Gépészmérnöki Kar Gépipari Technológiai Intézet, Gödöllő.
47. Kóczy, L. (1979): textilipari nyersanyagok, Textilipari kézikönyv pp.: 17-75
48. Kozma, M. (2001): Tribológia. Műegyetemi Kiadó
49. Kragelszkij I. V. – Mihin, M. (1987): Gépszerkezetek súrlódás- és kopásszámítása. Műszaki Könyvkiadó, Budapest ISBN-szám: 963-10-7127-8 p.11-37.
50. L. Liu, - J. Chen, - B. Zhu, - T.X. Yu, - X.M. Tao, - J. Cao (2006): The yarn-to-yarn friction of woven fabrics
51. Labthik (2011): PARAM COF-P01 gépkönyv
52. Labthik (2011): PARAM MXD-02 gépkönyv
53. Lang, J. – Zhu, S. – Pan, N. (2003): Frictional Behavior of Synthetic Yarns During Processing, Textile Research Journal 2003; 73; 1071 DOI: 10.1177/004051750307301208
54. Lawson – Hemphill (2011): LH 603 YFM YFM Yarn Friction Meter gépkönyv
55. Lawson – Hemphill (2011): LH-402 CCT gépkönyv
56. Lestyán Z. (2006): Aluminiul-oxid kerámia- acél súrlódó pár érintkezési és hőtani viselkedése száraz súrlódás során Doktori (Ph.D) értekezés, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
57. Lima, M. - Vasconcelos, R.M. - Abreu, M.J. - Cabeço Silva M.E. (2005): Comparative study of friction coefficient in nonwovens using frictorq, febric friction tester AUTEX Research Journal, Vol.5.No4/2005 October/December ISSN 1470-9589

58. Linck, V. – Baillet, L. – Berthier, Y. (2003): Modelling the consequences of local kinematics of the first body on friction and on third body sources in wear, *Wear* 2003, august – September, pp. 299-308.
59. Mecmesin (2011): gépkönyv
60. Mesdan S.p.A. (2011): 233b Attrifil II. gépkönyv
61. Mitutoyo felületi érdesség-mérő használati utasítás
62. Morton, W. E. – Hearle, J.W.S. (2008): *Physical Properties of Textiles* (fourth edition), Woodhead Publishing in Textile (No 68) p.156 ISBN 1 84569 220 9
63. Oroszlány G., - Dr. Szücs I.(2010): A textíliák súrlódásának meghatározási módszerei GÉP – A Gépipari Tudományos Egyesület Országos Műszaki Folyóirata (ISSN: 0016-8572), LXI.évf. 2010 /8 szám pp.: 46-50 (5 old.)
64. Oroszlány G., - Koltai L. (2011): Papírok súrlódási jellemzőinek meghatározása Cs+P - Csomagoló- és Papírpári Szakmai Konferencia– PNyME-BMF Budapest, 2011. május 4.
65. Oroszlány G., - Koltai L.(2011): Papírok súrlódási jellemzőinek meghatározása I. Magyar Grafika - a Papír- és nyomdaipari Műszaki egyesület mint a Műszaki és Természettudományi Egyesületek Szövetsége tagegyesületének szakmai folyóirata LV.évf./I.sz. 2011. február pp.: 58-61 (4 old.)
66. Oroszlány G.: - Dr. Szücs I., - Borka Zs. (2005): Textíliák súrlódási tényezőinek vizsgálata Tudományos szakmai konferencia – IN-TECH-ED'05 International Conference 2005 szeptember 8-9
67. Oroszlány G. (2010): Development of a New Examination Method of The Coefficient of Friction of Textiles - International Joint Conference on Environmental and Light Industry 18-19th of November 2010 in Budapest, Hungary.
68. Pickett, P.J. (2006): *The American Heritage Dictionary*, Houghton Mifflin Company www.education.yahoo.com/reference/dictionary/entry/tribology (2006)
69. Qiu,Y. - Wang,Y. - Mi,J.Z. (2001): A Novel Approach for Measurement of Fiber-on-fiber Friction Number: F98S-09 National Textile Center Annual Report: November 2001 <http://www.ntcresearch.org/current/year8/F98-S09.htm>
70. Silliman, B. (1971) - *Principles of Physics, Or Natural Philosophy*, Ivison, Blakeman, Taylor & company publishers,
71. Szalai, J. (2008): *Műszaki mechanika I. sztatika jegyzet*. Sopron

72. Szücs, I. – Borka, Zs. – Oroszlány, G. (2005): 'Textíliák súrlódási tényezőinek vizsgálata – Összefoglaló/Proceedings IN-TECH-ED'05 Budapest, ISBN 963-7154-52-3 Tudományos konferencia kiadvány – Magyar és angol nyelven.
73. Szücs, I. (1969): Fonalak súrlódási tényezőjének vizsgálata. Textiltechnika
74. Testing Machines Inc. (2011): 32-25-00 COF Inclined Plane Tester gépkönyv
75. Testing Machines Inc. (2011): 32-91 Lab Master®; 32-07 Lab Master®; 32-71 Lab Master® gépkönyv
76. Textile Testing Solutions (2011): Y096A/B SDL ATLAS gépkönyv
77. Topi, A. (2007): Nulláról a robotokig - PIC Mikrovezérlők II. rész http://www.hobbielektronika.hu/cikkek/nullarol_a_robotokig_-_pic_mikrovezerlo_kii_resz.html?pg=4 (megtekinte: 2009. 01. 10)
78. V. Svetnickienė, - R. Čiukas (2006): Technical and classical yarns friction properties investigation ISSN 1392 - 1207. MECHANIKA. 2006. Nr.4(60)
79. Valasek, I. – Szota, A (2002): Tribológia I. Budapest Tribotechnik Kft.
80. Valasek, I. szerk. (1996): Tribológiai kézikönyv, Tribotechnik Kft. Budapest
81. Williams, J. A. (1994): Engeneering Tribology, Cambridge Universiti Press
82. Wira instrumentation (2011): YFM 001 gépkönyv
83. Yamaguchi, Y. (1990): Tribology of plastic materials. Amsterdam: Tribology series 16, Elsevier

Ábrajegyzék

1. ábra Tribológiai rendszer szerkezete (Valasek, 1996).....	16
2. ábra A száraz súrlódás modellje (Berthier, 2001).....	16
3. ábra Vízszintes síkra helyezett testre ható erők (Hudson, 2005).....	18
4. ábra Súrlódási tényezők nagysága (Bushan, 2000).....	19
5. ábra Érintkező felületek erőhatásra bekövetkező tangenciális elmozdulás (Baksa, 2005).....	20
6. ábra A súrlódó erő hirtelen csökkenése acél csúszófelületek estén (Janik, 2001).....	20
7. ábra Acél súrlódási tényező értékének változása a terhelés függvényében	21
8. ábra Csúszó érintkező felületek makroszkopikus metszete (Yamaguchi 1990).....	22
9. ábra A súrlódási erő összetevőinek változása a terhelés függvényében (Kozma, 2001).....	23
10. ábra Súrlódás síklapon (Hudson, 2005).....	28
11. ábra Súrlódás síklapon – lejtőn (Hudson, 2005).....	28
12. ábra Guthrie – Oliver féle szálsúrlódásmérő készülék (elvi vázlat) (Gyimesi, 1968).....	28
13. ábra Állítható lejtésszögű fonalsúrlódás mérő berendezés.....	29
14. ábra Vizsgálati elrendezés állítható szögű lejtőn.....	30
15. ábra Vizsgálati elrendezés vízszintes lapon (Hudson, 2005)	31
16. ábra Bowden – Leben-féle textil és szálköteg súrlódás mérő készülék elve és diagramja.....	33
17. ábra Dreby-féle kelemesúrlódás mérő készülék (Gyimesi, 1968).....	34
18. ábra Hengeres súrlódó test a rajta átvett mintával.....	34
19. ábra Mérés elvi elrendezése (Szűcs, 1969).....	35
20. ábra Két fonal közötti súrlódási tényező meghatározására alkalmas berendezés (Szűcs 1969).....	36
21. ábra Elvi elrendezés (Szűcs 1969).....	37
22. ábra A mérő berendezés elvi vázlata (Szűcs 1969)	38
23. ábra A súlyterheléses mérés általános elrendezése	40
24. ábra Ellentétes fonalág kapcsolású mérés (Szűcs, 1969).....	41
25. ábra Fonal fonalon mért súrlódásának általános elrendezése (Szűcs, 1969).....	41
26. ábra Nyomatékkiegyenlítéses mérés elvi vázlata (ASTM D 3108-07).....	42
27. ábra Fonal fonalon történő súrlódásmérő készülék elvi vázlata (ASTM D 3412-07)	43
28. ábra Mérőrugós mérési eljárás elvi vázlata (Szűcs, 1969).....	43
29. ábra Buckle – Pollitt-féle fonalsúrlódásmérő készülék (Gyimesi, 1968).....	44
30. ábra Hengeres súrlódó felület a próbatesttel (Szalai,2008).....	53
31. ábra Kötélre ható erők (Szalai,2008)	54
32. ábra Kísérleti anyagok (képlékeny benger és COATS puppets batfonalas osztott hímzőcérna).....	58
33. ábra Kísérleti elrendezés	58
34. ábra A képlékeny bengerbe bevágódott hímzőcérna	58

35. ábra <i>A bemélyedés mentén szétválasztott képlékeny henger</i>	58
36. ábra <i>A szétválasztott képlékeny henger bevágódásának grafikus kiemelése</i>	59
37. ábra <i>Az eltérő mértékű bevágódást okozó erő rendszer</i>	59
38. ábra <i>Kör keresztmetszetű monofilament alakváltozása a merőleges terhelő erő hatására</i>	60
39. ábra <i>Henger felületére helyezett kör keresztmetszetű monofilament és a ráható erőrendszer</i>	60
40. ábra <i>Henger felületére helyezett kör keresztmetszetű monofilament és a ráható erőrendszer</i>	61
41. ábra <i>Multifilament elhelyezkedése terhelő erő nélkül (egyszerűsített vázlat)</i>	61
42. ábra <i>Multifilament és terhelő erő</i>	61
43. ábra <i>Multifilament egyes darabjait terhelő erők</i>	62
44. ábra <i>Szétterült multifilament</i>	62
45. ábra <i>Szétterületi vizsgálat (Güttermann; Astra és Trevira fonalakkal)</i>	62
46. ábra <i>Kör keresztmetszetű sodrott fonal alakváltozása a merőleges terhelő erő hatására</i>	63
47. ábra <i>Vászongkötés egyszerűsített és idealizált metszeti képe</i>	64
48. ábra <i>Atlasz kötés egyszerűsített és idealizált metszeti képe</i>	64
49. ábra <i>Sodrott fonal hosszirányú alakváltozása a tangenciális erők hatására</i>	64
50. ábra <i>PA multifilament szakítódiaagramja és súrlódó erő értékei különböző előterhelések hatására</i>	65
51. ábra <i>Fm-27 típusú elektronikus elemiszál szakító gép</i>	71
52. ábra <i>Az elemiszál szakító berendezés szerkezeti vázlata</i>	72
53. ábra <i>Kéthengeres vizsgálóberendezés szerkezeti felépítése</i>	73
54. ábra <i>Kéthengeres mérőműszer</i>	74
55. ábra <i>Kéthengeres berendezés fő részei</i>	74
56. ábra <i>Vizsgálóbengerek műszaki rajzai M 1:2</i>	77
57. ábra <i>Textillel bevont kéthengeres vizsgálati elrendezés</i>	77
58. ábra <i>Fonal, mint súrlódó felület elhelyezése előfeszítéssel</i>	78
59. ábra <i>Konzol „rövid” elemiszálakhoz</i>	78
60. ábra <i>Fonalak vizsgálat közbeni kisodródását akadályozó szerkezet</i>	79
61. ábra <i>Alkalmazási terület (Oroszlány,- Koltai, 2011)</i>	80
62. ábra <i>Kéthengeres elrendezés a.) alapállás, b.) elmozdulás a véghegyzetben</i>	83
63. ábra <i>Felső befogó szerkezet és mérőfej</i>	86
64. ábra <i>„Szélesebb” laptermékek egyenletes befogásának megoldási módszerei</i>	86
65. ábra <i>A perifériaillesztő program felhasználói felülete</i>	87
66. ábra <i>JIS K7125-ös japán szabvány eredmény kiértékelési ábrái (JIS K7125 japán szabvány)</i>	88
67. ábra <i>Mérőfej kalibrációs egyenes</i>	91
68. ábra <i>Poliamid 6 monofilament súrlódási tényezőinek változása az előterhelés függvényében</i>	95
69. ábra <i>Poliamid 6 monofilament ismételt mérése növelt előterhelés mellett</i>	97
70. ábra <i>Poliamid 6 monofilament ismételt mérése növelt előterhelés mellett</i>	97
71. ábra <i>PA multifilament súrlódási tényezőinek változása az előterhelés függvényében</i>	100

72. ábra PA multifilament súrlódási tényezője a 5 cN és 15 cN közötti előterhelési tartományban.....	101
73. ábra Filament-köteg és súrlódó felület érintkezése növekvő előterhelés hatására.....	101
74. ábra Poliamid 6 multifilament ismételt mérése növelt előterhelés mellett és a változást leíró függvények	102
75. ábra Poliamid 6 multifilament ismételt mérése növelt előterhelés mellett és a változást leíró függvények	103
76. ábra Multifilament súrlódási tényezőjének változása a kötegszám növelésének függvényében	104
77. ábra Filament-köteg és súrlódó felület érintkezése kötegszám növelésének hatására	105
78. ábra Poliamid 6 multifilament súrlódási tényezőinek változása a sodratszám függvényében	106

Táblázatjegyzék

1. Táblázat Coulomb elv alapján működő síkfelületen mérő berendezések csoportosítása a vizsgálható alapanyag alapján	45
2. Táblázat Euler elv alapján működő hengeres felületen mérő berendezések csoportosítása a vizsgálható alapanyag alapján...	46
3. Táblázat Coulomb elv alapján működő sík felületen mérő berendezések csoportosítása a súrlódó felület alapján	47
4. Táblázat Euler elv alapján működő hengeres felületen mérő berendezések csoportosítása a súrlódó felület alapján.....	48
5. Táblázat Güttermann; Astra és Trevira fonalak szétterülési értékei	63
6. Táblázat Alapgép műszaki paraméterei (Gépkönyv: FM-27 elektronikus elemiszámlázó)	72
7. Táblázat 1D próbatetek adatai	82
8. Táblázat Vizsgálati próbatetek adatai.....	82
9. Táblázat 2D próbatetek adatai	83
10. Táblázat DOCAMID 6 E fő jellemzői (Kalácska, 2005).....	92
11. Táblázat Vizsgálatok összefoglaló táblázata	93

Mellékletek jegyzéke

1.	MELLÉKLET: SÚRLÓDÁSMÉRŐ KÉSZÜLÉKEK.....	125
1.1	32-25-00 COF INCLINED PLANE TESTER.....	125
1.2	PARAM COF-P01 KÉSZÜLÉK.....	126
1.3	PARAM MXD-02 KÉSZÜLÉK.....	127
1.4	32-91; 032-07 ÉS 32-71 LAB MASTER® KÉSZÜLÉK.....	128
1.5	AFT SPECIAL FRICTION TESTER ÉS AFT-PB1 KÉSZÜLÉK.....	129
1.6	2810-005 BLUEHILL® KÉSZÜLÉK.....	130
1.7	MECMESIN COEFFICIENT OF FRICTION TESTER.....	131
1.8	YFM 001 WIRA INSTRUMENTATION KÉSZÜLÉK.....	132
1.9	233B ATTRIFIL II. KÉSZÜLÉK.....	133
1.10	LH-402 CCT KÉSZÜLÉK.....	134
1.11	Y096A/B SDL ATLAS KÉSZÜLÉK.....	135
1.12	LH 603 YFM YFM YARN FRICTION METER KÉSZÜLÉK	135
2.	MELLÉKLET: KEMÉNYSÉG MÉRÉS.....	137
3.	MELLÉKLET: TÖMEGERŐ ÉS CENTRIFUGÁLIS ERŐ MEGHATÁROZÁSA.....	138
3.1.	TÖMEGERŐ MEGHATÁROZÁSA:.....	138
3.2.	CENTRIFUGÁLIS ERŐ MEGHATÁROZÁSA:.....	138
4.	MELLÉKLET: AZ ALAPGÉP ÁTALAKÍTÁSÁNAK LÉPÉSEI.....	140
4.1.	FM-27 ELEKTRONIKUS ELEMISZÁL-SZAKÍTÓ SZERKEZETI ÁTALAKÍTÁSA	140
4.2.	MÉRŐFEJ TESZTPONT JEL-LEVÉTELE.....	140
4.3.	ELMOZDULÁS, HOSSZVÁLTOZÁS JEL-LEVÉTEL	140
4.4.	DIGITÁLIS ILLESZTŐ PANEL MEGTERVEZÉSE, LÉTREHOZÁSA	141
4.5.	ÖSSZESZERELÉS, TESZTELÉS.....	143
4.6.	JÖVŐBENI TOVÁBBFEJLESZTÉSI TERVEK MEGFOGALMAZÁSA.....	143
5.	MELLÉKLET: POLIAMID 6 MONOFILAMENT VIZSGÁLATI EREDMÉNYEK	144
6.	MELLÉKLET: POLIAMID 6 MULTIFILAMENT VIZSGÁLATI EREDMÉNYEK	147
7.	MELLÉKLET: POLIAMID 6 MULTIFILAMENT KÖTEGSZÁM NÖVEELÉS VIZSGÁLATI EREDMÉNYEK.....	152
8.	MELLÉKLET: POLIAMID 6 MULTIFILAMENT SODRATSZÁM NÖVEELÉS.....	153
9.	MELLÉKLET: ARAMID MONOFILAMENT VIZSGÁLATI EREDMÉNYEK	154
10.	MELLÉKLET: PAMUT ELŐFONAL VIZSGÁLATI EREDMÉNYEK	162
11.	MELLÉKLET: POLIPROPILÉN SZALAG VIZSGÁLATI EREDMÉNYEK.....	166
	KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS	169

1. MELLÉKLET: Súrlódásmérő készülékek

1.1 32-25-00 COF INCLINED PLANE TESTER



m1.79. ábra. 32-25-00 súrlódásmérő készülék (Testing Machines Inc., 2011)

32-25-00 COF Inclined Plane Tester

Berendezés gyártója: Testing Machines Inc.

Működési elv: Coulomb elv, sík felületen - állítható lejtő

Vizsgálható próbatest típusa: papír, hullámkarton lemez, műanyag fólia

Súrlódó felület: adott alapanyagú

Meghatározható súrlódási tényező: μ_{ny}

Állítható vizsgálati paraméterek: állandó asztallap emelkedési sebesség

A Testing Machines Inc. által kifejlesztett, állítható lejtős súrlódási együttható mérő műszer (*m1.79. ábra*) a forgalmazók ajánlása szerint kétdimenziós laptermékek úgy, mint papír, hullámkarton lemez vagy műanyag fólia súrlódási együtthatójának vizsgálatára alkalmas.

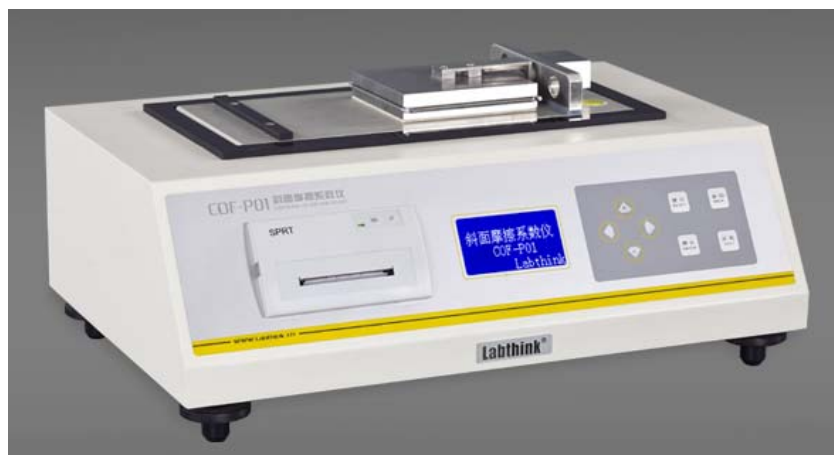
A mérőműszer elektromos működtetésű. A vizsgálati próbadarabot az állítható lejtésszögű lap végén található csipesszel rögzítik, majd ráhelyezik a „szánt” (vizsgálati blokkot). A vizsgálat közben a műszer állítható helyzetű lapja $1,5 \pm 0,5^\circ$ másodpercenként sebességgel emelkedni kezd a 0° - 80° -os tartományban. Az egyenletes mozgást egy villamos motor biztosítja. A lap emelkedése addig tart, amíg a „szán” (vizsgálati blokk) csúszni kezd. Mozgását egy optikai szenzor figyeli és a megcsúszás pillanatában megállítja a lap emelkedését, így leolvasható a megcsúszáshoz tartozó szög érték. A leolvasott szögből kiszámítható a tapadási súrlódó erő és tapadási súrlódási tényező.

Számos tényező befolyásolhatja a mérés pontosságát, pl.: a felületek kopása, bevonatok, lakkok, nyomtatás és páratartalom.

A készüléket a megfelelő „szán” (vizsgálati blokk) használatával a következő szabványos vizsgálatokhoz ajánlják:

- TAPPI T 815
- T 458
- ASTM D 202

1.2 PARAM COF-P01 KÉSZÜLÉK



m1.80. ábra. PARAM COF-P01 súrlódásmérő készülék (Labthink, 2011)

PARAM COF-P01

Berendezés gyártója: Labthink

Működési elv: Coulomb elv, sík felületen - állítható lejtő

Vizsgálható próbatest típusa: papírok, kartonok, zacskók, műanyagfilmek

Súrlódó felület: adott alapanyagú

Meghatározható súrlódási tényező: μ_{ny}

Állítható vizsgálati paraméterek: állítható asztallap emelkedési sebesség

PARAM COF-P01 ferde síkú súrlódásmérő készüléket (*m1.80. ábra*) a Labthink fejlesztette ki csomagolóanyagok, mint például papírok, kartonok, zacskók és műanyagfilmek vizsgálatához.

A készüléket egy mikroszámítógép irányítja és egy mini nyomtató teszi teljessé. Csak a nyugalmi súrlódási tényező meghatározására alkalmas. Az asztallap $0^\circ \sim 85^\circ$ közötti tartományban képes elmozdulni. Az asztallap emelkedési sebessége $0.1^\circ/\text{s} \sim 10.0^\circ/\text{s}$ között változtatható.

A készüléket a következő szabványos vizsgálatokhoz ajánlják:

- ASTM D202,
- ASTM D4918,
- TAPPI T815.

1.3 PARAM MXD-02 KÉSZÜLÉK



m1.81. ábra. PARAM MXD-02 sűrűdasmérő készülék (Labthink, 2011)

PARAM MXD-02

Berendezés gyártója: Labthink

Működési elv: Coulomb elv, sík felületen – vízszintes síkon

Vizsgálható próbatest típusa: szállítószalagok, fa, szélvédőüveg, ablaktörlők, PP szövött zsákok

Sűrűdó felület: adott alapanyagú

Meghatározható sűrűdési tényező: μ_{ny} , μ_m

Állítható vizsgálati paraméterek: állítható vizsgálati sebesség

PARAM MXD-02 vízszintes síkú sűrűdasmérő berendezést (*m1.81. ábra*) a Labthink cég fejlesztette ki csomagolóanyagok, mint például papírok, kartonok, zacskók és műanyagfilmek vizsgálatához, de a készülék alkalmas még PP szövött zsákok, fém-műanyag összetett sávok, szállítószalagok, fa, és szélvédőüveg ablaktörlők vizsgálatára is.

A készüléket egy mikroszámítógép irányítja és egy mini nyomtató teszi teljessé. A nyugalmi sűrűdési tényező és a mozgási sűrűdési tényező meghatározására egyaránt alkalmas. A vizsgálati célnak megfelelően szabályozható a tesztelő sebesség (100 mm/min, 150 mm/min közötti tartományban). A mérés statisztikai elemzését a mikroszámítógép automatikusan elvégzi.

A készüléket a következő szabványos vizsgálatokhoz ajánlják:

- ISO8295,
- ASTM D1894,
- GB 10006.

1.4 32-91; 032-07 és 32-71 LAB MASTER® készülék



m1.82. ábra. 32-91 Lab Master® súrlódásmérő készülék (Testing Machines Inc., 2011)

32-91 Lab Master®

32-07 Lab Master®

32-71 Lab Master®

Berendezés gyártója: Testing Machines Inc.

Működési elv: Coulomb elv, sík felületen – vízszintes síkon

Vizsgálható próbatest típusa: fólia, papír, hullámkarton lemez, fém, fa, gumi, linóleum, bőr

Súrlódó felület: adott alapanyagú

Meghatározható súrlódási tényező: μ_{ny} , μ_m

Állítható vizsgálati paraméterek: állítható vizsgálati sebesség, terhelés és hossz

32-91; 32-07 és 32-71-es Lab Master® készülékeket (*m1.82. ábra*) a Testing Machines Inc. fejlesztette ki. A forgalmazók ajánlása szerint a készülékek kétdimenziós rugalmas csomagolóanyagok: fólia, papír, hullámkarton lemez vagy fém, fa, kompozitok, gumi linóleum és bőr vizsgálatára alkalmasak.

A berendezések a nyugalmi és mozgási súrlódó erők, illetve súrlódási tényezők meghatározására alkalmasak. A készülékek különböző típusú kiértékelő és vezérlő szoftverrel rendelkeznek, így a vizsgálat típusának megfelelően beállíthatók a mérési paraméterek (sebesség, vizsgálati idő, vizsgálati hossz, terhelés stb.)

A készülék vízszintes asztalára rögzítik a vizsgálati mintát, majd a ráhelyezett hidas kialakítású „szán”, a terhelés beállítása után, a beállított programnak megfelelően elmozdul. A készülék rögzíti az eredményeket, majd kiértékeli azokat.

A készüléket a következő szabványos vizsgálatokhoz ajánlják:

- TAPPI T549 és T816,
- ASTM D1894 és D4521,
- DIN 53375
- ISO 15359

1.5 AFT Special Friction Tester és AFT-PB1 készülék



m1.83. ábra. AFT Special Friction Tester súrlódásmérő készülék (Hanatek, 2011)

AFT Special Friction Testert, AFT-PB1

Berendezés gyártója: Hanatek

Működési elv: Coulomb elv, sík felületen – vízszintes síkon

Vizsgálható próbatest típusa: műanyag fóliák, csomagolóanyagok, papírok, gumi, műanyag padló, kompozitok, textil, bőr

Súrlódó felület: adott alapanyagú

Meghatározható súrlódási tényező: μ_{ny} , μ_m

Állítható vizsgálati paraméterek: állítható vizsgálati sebesség, terhelés és hossz

AFT Special Friction Testert (m1.83. ábra) és az AFT-PB1 készüléket a Hanatek fejlesztette ki műanyag fóliák, csomagolóanyagok, papírok, gumi, műanyag padló, kompozitok, textil és bőr súrlódásának meghatározására.

A berendezés a nyugalmi és mozgási súrlódó erők, illetve súrlódási tényezők meghatározására alkalmas.

A készülék kiértékelő és vezérlő szoftverrel rendelkezik melynek segítségével részletesen elemezhetőek a mérési eredmények, illetve a beállítási paraméterek adatbankjából előhívhatók a különféle szabványok sebesség, vizsgálati hossz és egyéb beállítási értékei.

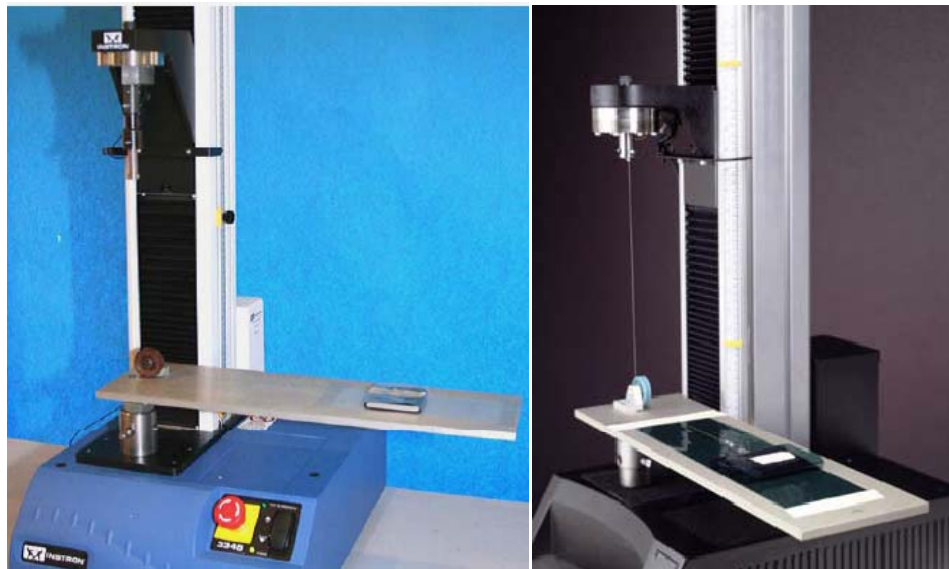
A készüléket a következő szabványos súrlódási vizsgálatokhoz ajánlják:

- ISO 8295,
- ISO 15359,
- ASTM D1894,
- TAPPI 549,
- TAPPI T816

A készüléket a következő szabványos tapadási vizsgálatok ajánlják:

- ASTM D4521,
- ASTM D3330,
- FINAT 1,2,3,9.

1.6 2810-005 Bluehill® készülék



m1.84. ábra. 2810-005 Bluehill® súrlódásmérő készülék (INSTRON, 2011)

2810-005 Bluehill®

Berendezés gyártója: INSTRON

Működési elv: Coulomb elv, sík felületen – vízszintes síkon

Vizsgálható próbatest típusa: műanyag fóliák, filmek

Súrlódó felület: adott alapanyagú, a terhelés bevonható hajlékony kétdimenziós anyagokkal

Meghatározható súrlódási tényező: ,

Állítható vizsgálati paraméterek: állítható vizsgálati sebesség és hossz

2810-005 számú vízszintes síkú Bluehill® (m1.84. ábra) vizsgálóberendezést az INSTRON fejlesztette ki műanyag fóliák és filmek súrlódásának meghatározásához. A berendezés a nyugalmi és mozgási súrlódó erők, illetve súrlódási tényezők meghatározására alkalmas.

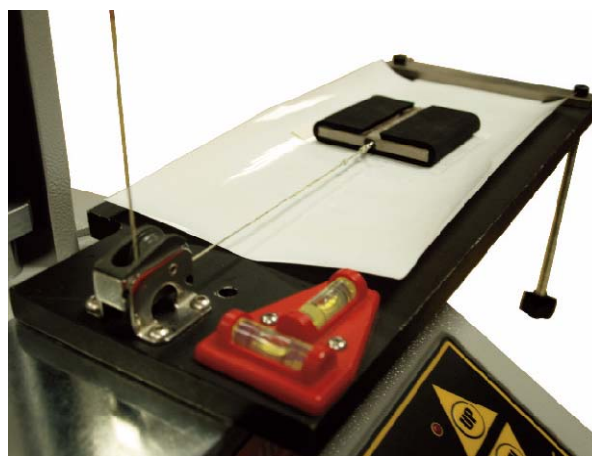
A műszer egy szakítóvizsgálatot végző géphez illesztett, vízszintes síkú asztallapból és egy anyagtesztelő szoftverből áll (pl.: a Bluehill® 2). A szoftver segítségével, lehetőség van a próbatest adatainak megadására, a kívánt teszt kontroll beállítására és mérési eredmények statisztikai kiértékelésére. A program eltárolja a szabványos mérések vizsgálati beállításait, és az egyes szabványoknak megfelelő tesztjelentést készít.

A készülék asztalára rögzítik a próbadarabot, majd ráhelyezik a „szánt” melyet a vizsgálat típusának megfelelően akár tesztanyaggal is beburkolhatnak. A „szánt” a felső helyzetű mérőfejhez kapcsolják, mely rögzíti az elmozduláshoz szükséges erőadatokat. A szakítógép állandó sebességgel mozog, és keresztülhúzza a „szánt” az asztalon lévő próbatest teljes hosszán. A gép feljegyzi az erőket, majd a teszt eredményeihez kiszámítja a nyugalmi és mozgási súrlódási együtthatókat.

A készüléket a következő szabványos súrlódási vizsgálatokhoz ajánlják:

- ASTM D 1894.

1.7 Mecmesin Coefficient of Friction Tester



m1.85. ábra. Mecmesin Coefficient of Friction Testers súrlódásmérő készülék (Mecmesin, 2011)

Mecmesin Coefficient of Friction Tester

Berendezés gyártója: Mecmesin

Működési elv: Coulomb elv, sík felületen – vízszintes síkon

Vizsgálható próbatest típusa: csomagolóanyagok

Súrlódó felület: adott alapanyagú, a terhelés bevonható hajlékony kétdimenziós anyagokkal

Meghatározható súrlódási tényező: μ_{ny} , μ_m

Állítható vizsgálati paraméterek: állítható vizsgálati sebesség és hossz

Mecmesin cég által gyártott mérőműszert (*m1.85. ábra*) az Egyesült Királyságban fejlesztették ki. Működési elve és kialakítása nagyon hasonlít 2810-005 számú vízszintes síkú Bluehill® készülékhez. Az alapgép egy szakítógép, melyet egy vízszintes síkú asztalkával láttak el. Erre kell fel helyezni a vizsgálandó anyagot. A berendezést a csomagolóanyagok nyugalmi és mozgási súrlódási jellemzőinek meghatározására fejlesztették ki. A mechanizmushoz tartozó szoftver kiértékeli és grafikusan megjeleníti a mérési eredményeket.

A készüléket a következő szabványos súrlódási vizsgálatokhoz ajánlják:

- ASTM D 1894,
- ISO 8295,
- ISO 15359,
- TAPPI 549,
- TAPPI T816.

1.8 YFM 001 Wira instrumentation készülék



m1.86. ábra. YFM 001 Wira instrumentation súrlódásmérő készülék (Wira, 2011)

YFM 001 Wira instrumentation

Berendezés gyártója: Wira instrumentation

Működési elv: nyomaték kiegyenlítés

Vizsgálható próbatest típusa: egydimenziós hajlékony termékek, fonalak és cérnák

Súrlódó felület: adott alapanyagú

Meghatározható súrlódási tényező: μ_{ny} , μ_m

Állítható vizsgálati paraméterek: állítható vizsgálati sebesség és terhelés

YFM 001 fonalsúrlódás mérő készüléket (*m1.86. ábra*) a Wira instrumentation fejlesztette ki. A forgalmazók ajánlása szerint a készülékek egydimenziós termékek, fonalak és cérnák vizsgálatára alkalmas. A készüléket két igen érzékeny, elektronikus feszültségmérő fejjel látták le, valamint változtatható terhelési tartománnyal és sebességgel. A készülék digitálisan kijelzi a mért fonalfeszültséget, melyből számítással meghatározható a súrlódási tényező.

1.9 233b Attrifil II. készülék

m1.87. ábra. 233b Attrifil II. súrlódásmérő készülék (MESDAN S.p.A, 2011)

233b Attrifil II.

Berendezés gyártója: MESDAN S.p.A,

Működési elv: nyomaték kiegyenlítés

Vizsgálható próbatest típusa: egydimenziós hajlékony termékek, fonalak és cérnák

Súrlódó felület: adott alapanyagú

Meghatározható súrlódási tényező: μ_{ny} , μ_m

Állítható vizsgálati paraméterek: állítható vizsgálati sebesség és terhelés

233b Attrifil II. fonalsúrlódás mérő készüléket (*m1.87. ábra*) a MESDAN S.p.A. fejlesztette ki. A forgalmazók ajánlása szerint a készülékek egydimenziós termékek, fonalak

és cérnák vizsgálatára alkalmas. A készülék az ASTM D3108-01 szabványnak megfelelő kialakítású. Két igen érzékeny elektronikus feszültségmérő fejjel látták el, valamint változtatható terhelési tartománnyal és sebességgel.

A készülék kiértékelő és vezérlő szoftverrel rendelkezik, mely megkönnyíti és felgyorsítja az adatok rögzítését és kiértékelését.

A készüléket a következő szabványos vizsgálatokhoz ajánlják:

- ASTM D3108-01.

1.10 LH-402 CCT készülék



m1.88. ábra. LH-402 CCT súrlódásmérő készülék (Lawson – Hemphill, 2011)

LH-402 CCT

Berendezés gyártója: Lawson – Hemphill

Működési elv: nyomaték kiegyenlítés

Vizsgálható próbatest típusa: egydimenziós hajlékony termékek, fonalak és cérnák

Súrlódó felület: adott alapanyagú

Meghatározható súrlódási tényező: μ_{ny} , μ_m

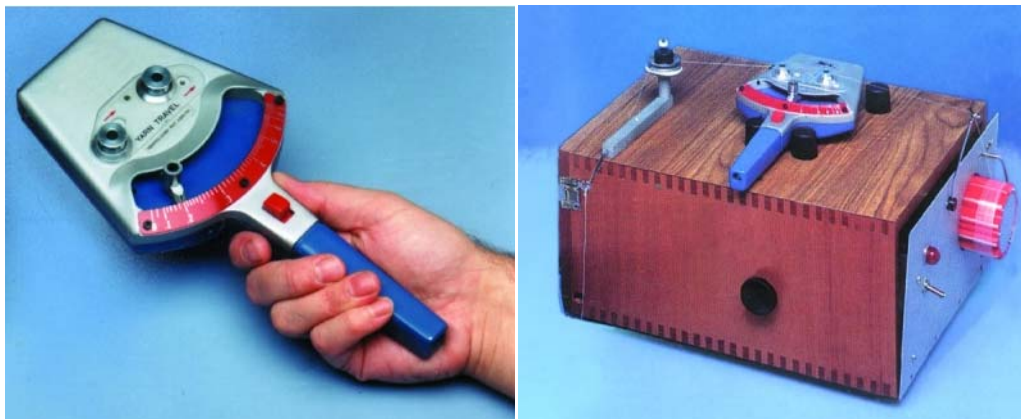
Állítható vizsgálati paraméterek: állítható vizsgálati sebesség és terhelés

LH-402 CCT számú dinamikus súrlódás tesztelő berendezést (*m1.88. ábra*) a Lawson – Hemphill cég fejlesztette ki. A forgalmazók ajánlása szerint a készülékek egydimenziós termékek, fonalak és cérnák vizsgálatára alkalmas. A készüléket két érzékeny elektronikus feszültségmérő fejjel látták le. A készülék kiértékelő és vezérlő szoftverrel rendelkezik, mely megkönnyíti és felgyorsítja az adatok rögzítését és kiértékelését.

A készüléket a következő szabványos vizsgálatokhoz ajánlják:

- ASTM D3108,
- ASTM D 3412.

1.11 Y096A/B SDL ATLAS készülék



m1.89. ábra. Y096A/B hordozható súrlódásmérő készülék (SDL ATLAS Textile Testing Solutions, 2011)

Y096A/B SDL ATLAS

Berendezés gyártója: Textile Testing Solutions

Működési elv: nyomaték kiegyenlítés

Vizsgálható próbatest típusa: egydimenziós hajlékony termékek, fonalak és cérnák

Súrlódó felület: adott alapanyagú

Meghatározható súrlódási tényező: μ_{ny} , μ_m

Állítható vizsgálati paraméterek: nincs adat

Y096A/B SDL ATLAS hordozható, kézi fonalsúrlódás mérő készüléket (*m1.89. ábra*) az SDL ATLAS Textile Testing Solutions fejlesztette ki. A készülék alkalmas a termelés közbeni beállítások és gyorsesztek elvégzésére a szükséges beavatkozások meghatározásához.

1.12 LH 603 YFM YFM Yarn Friction Meter készülék



m1.90. ábra. LH 603 YFM Yarn Friction Meter hordozható súrlódásmérő készülék (Lawson – Hemphill, 2011)

LH 603 YFM YFM Yarn Friction Meter

Berendezés gyártója: Lawson – Hemphill

Működési elv: nyomaték kiegyenlítés

Vizsgálható próbatest típusa: egydimenziós hajlékony termékek, fonalak és cérnák

Súrlódó felület: adott alapanyagú

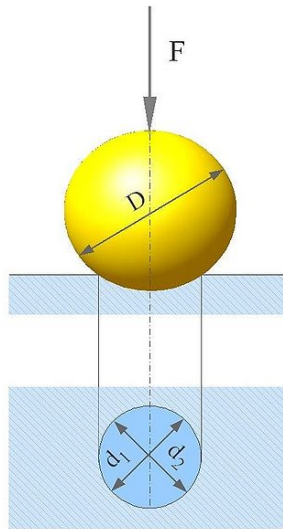
Meghatározható súrlódási tényező: μ_{ny} , μ_m

Állítható vizsgálati paraméterek: nincs adat

LH 603 YFM Yarn Friction Meter (*m1.90. ábra*) a Lawson – Hemphill fejlesztette ki. Ez egy kis kézi hordozható eszköz mellyel gyorsan és pontosan meghatározható a vizsgált fonal súrlódása. A hordozható mérőműszerek nagy előnye, hogy a helyszínen a gyártási körülmények között (pl.: páratartalom, hőmérséklet stb.) végezhetők el a mérések és határozhatók meg a szükséges beállítások.

2. MELLÉKLET: Keménység mérés

A vizsgálati modellhenger keménységének meghatározása Brinell-keménységméréssel történt. A Brinell- keménységmérést eredetileg kemény alapanyagok, pl.: acél vizsgálatára használták, de napjainkban már más „puhább” alapanyagok vizsgálatára is használják. Puhább anyagok esetében a standard, 3000 kilogrammnál kisebb súlyt használnak.



m2. 91. ábra. A Brinell-keménységmérés elvi vázlatja (Wikipédia, 2012)

$$BHN = \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

ahol:

BHN - Brinell-keménység, az angol Brinell Hardness Number rövidítése

F - a golyóra ható erő kilogrammsúlyban

D - a golyó átmérője milliméterben

d - a golyó által hagyott nyom átmérője milliméterben

A keménység meghatározás 30 mérés alapján történt, az adatok szórása: 0,4 volt. Az eredmények statisztikai kiértékelése után a modell henger keménysége: $0,018819 \left[\frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right]$

3. MELLÉKLET: Tömegelő és centrifugális erő meghatározása

3.1. Tömegelő meghatározása:

A próbatest tömegereje meghatározható:

Fonalelem tömege:

$$m = \frac{T_t}{1000} \cdot l$$

ahol:

m – fonal tömege [g]

T_t – fonal lineáris sűrűsége [g/m]

l – fonal hossza [m]

Textília tömege:

$$m = Q \cdot a \cdot l$$

ahol:

Q – területi sűrűség [g/m²]

a – próbatest szélessége [m]

l – próbatest hossza [m]

3.2. Centrifugális erő meghatározása:

A próbatestre ható centrifugális erő meghatározható (Jederán, 1985):

$$F_c = \frac{v^2}{R} r^2 \pi \rho dl$$

ahol:

F_c – centrifugális erő [N]

dl – fonalelem hossza [m]

d – fonalátmérő [m]

ρ – fonalsűrűség [kg/m³]

v – fonal sebessége [m/s]

R – súrlódó felület sugara [m]

r – fonal sugara [m]

(3.22)

Fonalelem tömege:

$$dm = dV \rho = r^2 \pi \rho dl$$

(3.23)

ahol:

V – fonalelem térfogata [m³]

r – fonal sugara [m]

dl – fonalelem hossza [m]

Ekkor a fonal finomsága:

$$T_t = 10^6 \frac{dm}{dl} = 10^6 r^2 \pi \rho$$

(3.24)

Tehát a centrifugális erő:

$$F_c = 10^{-6} \frac{v^2}{R} T t dl \cong 10^{-6} v^2 T t d\varphi \quad (3.25)$$

ahol:

$d\varphi$ - a dl kötéldarabhoz tartozó körülfogási szög [fok]

A kötél súrlódás vektorháromszögéből és a 3.25 összefüggésből következik:

$$dF = \mu(dN - dF_c) = \mu(F - 10^{-6} v^2 T t) d\varphi \quad (3.26)$$

3.26-es összefüggés differenciálegyenlete:

$$\int_{F_0}^{F_1} \frac{dF}{F - 10^{-6} v^2 T t} = \mu \int_0^\alpha d\varphi \quad (3.27)$$

3.27 integrálás után:

$$\ln \frac{F_1 - 10^{-6} v^2 T t}{F_0 - 10^{-6} v^2 T t} = \mu \alpha \quad (3.28)$$

$$F_1 = F_0 e^{\mu \alpha} + 10^{-6} v^2 T t (1 - e^{\mu \alpha}) \quad (3.29)$$

3.29-es összefüggés alapján a fonalban ébredő húzóerő nagysága a fonal sebességének függvénye és a sebesség növelésével csökken. $F_1 = F_0$ esetben a fékezés megszűnik.

$$F_0 (1 - e^{\mu \alpha}) = 10^{-6} v^2 T t (1 - e^{\mu \alpha}) \quad (3.30)$$

A fékezés megszűnésének kritikus sebessége:

$$v = \sqrt{\frac{F_0 \cdot 10^6}{T t}} \quad (3.31)$$

4. MELLÉKLET: Az alapgép átalakításának lépései

1. Fm-27 elektronikus elemiszál-szakító szerkezeti átalakítása
2. Mérőfej tesztpont jellevétele
3. Elmozdulás, hosszváltozás jellevétel
4. Digitális illesztő panel megtervezése, létrehozása
5. Összeszerelés, tesztelés
6. Jövőbeni továbbfejlesztési tervek megfogalmazása

4.1. *Fm-27 elektronikus elemiszál-szakító szerkezeti átalakítása*

A szerkezeti átalakítás fő lépései és az eredeti szakítógép szerkezeti vázlata a dolgozat 4.1.-es fejezetében található.

4.2. *Mérőfej tesztpont jel-levétele*

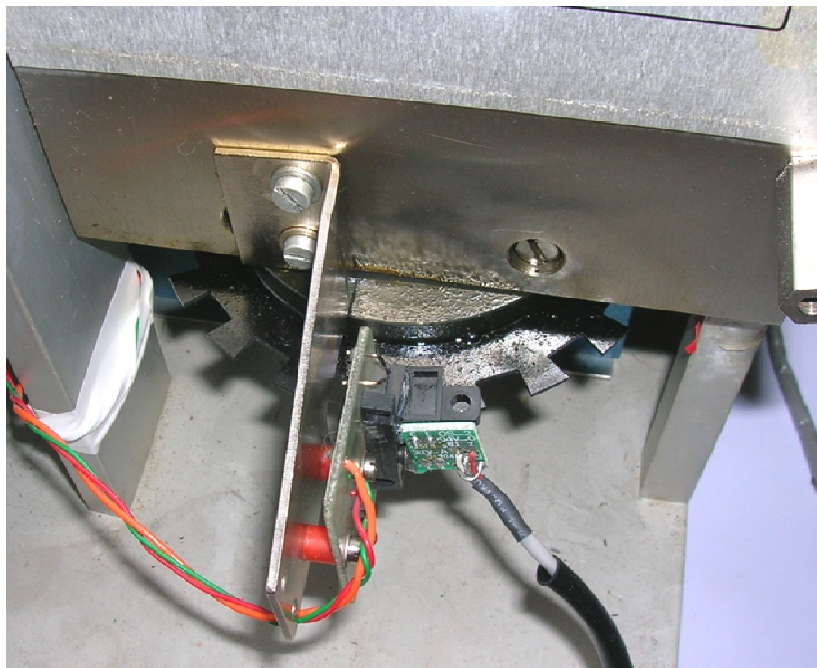
A berendezés mérőfejen megjelenő, a húzóerővel arányos villamos jelet egy hangfrekvenciás mérőhíd szolgáltatja. Az alapberendezés esetén ez a jel, megfelelő átalakítás után, a digitális kijelzőn olvasható, de az érték a mindenkor csúcserővel egyenlő. A tervezés során nem egy csúcserőre volt szükségem, hanem minden elmozdulási egységhez tartozó pillanatnyi erőértékre. Ezért a berendezés blokkvázlatáról beazonosított „tesztpont”-ról folyamatosan érkező jelek kerültek rögzítésre, kikerülve a berendezés eredeti vezérlésének adott esetben szükségtelen részleteit.

4.3. *Elmozdulás, hosszváltozás jel-levétel*

A függőleges helyzetű vonóorsó elmozdulása adja meg a vizsgált textilszerkezet hengeren megtett útját. Az elmozdulási egység rögzítéséhez a vonóorsó végén található fogazott tárcsát használtam. A tárcsához rögzítettem egy úgynevezett optokaput. Az optokapu pontosabban résoptó úgy működik, mint egy miniatűr fotocella. A résoptó (slotted optical sensor/switch) két részből áll, egy egyszerű infra-ledből és egy fototranzisztorból. Ezek egymással szemben helyezkednek el. Ha a résben nincs „tárgy” akkor látják egymást, ha van valami, akkor nem látják egymást az érzékelők. Megfelelő kapcsolással, és elhelyezéssel elérhető, hogy a fotocella érzékelje a fogas tárcsa fogainak „résben” történő elhaladását.

A led által kibocsátott fény folytonosságát a gép fogazott tárcsája megszakítja a főtengely elmozdulásának megfelelően. A fogazott tárcsát úgy alakították ki, hogy a befogópofa 0,1 mm-enkénti elmozdulása 1-1 impulzust bocsásson ki.

Az m4.92. ábrán jól látható a fogas tárcsához rögzített résoptó. A miniatűr fotocellához kapcsolt számlálóval pedig pontosan követhető a megtett elmozdulás.

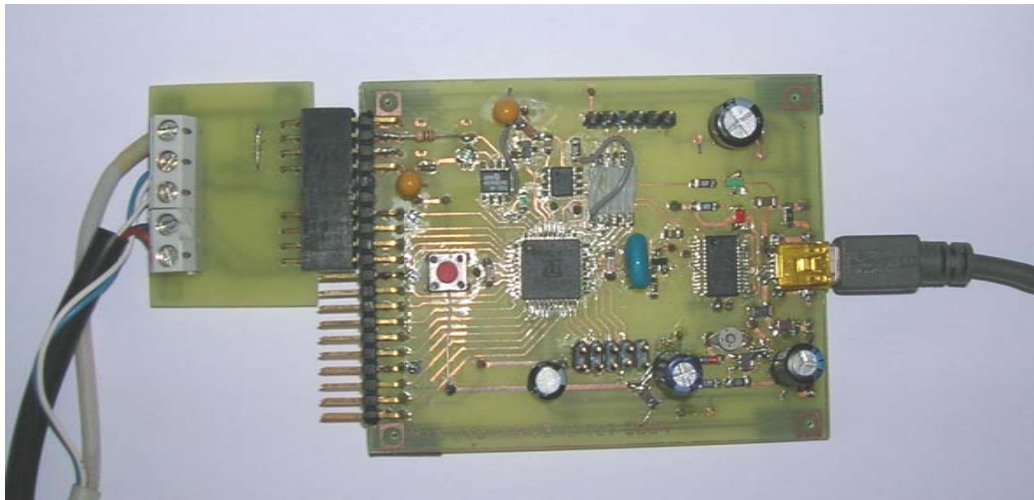


m4.92. ábra. Fogas tárcsához rögzített résoptó

4.4. Digitális illesztő panel megtervezése, létrehozása

A pillanatnyi erőérték és elmozdulás adatait a szakítógép megfelelő pontjairól érkeznek. Egy saját fejlesztésű digitalizáló illesztő panel segítségével tettem a jeleket a számítógép által is értelmezhetőkké.

A pillanatnyi erőértékkel arányos feszültségértéket, a mikrokontrollerben lévő program az A/D átalakító IC (MPC 3301) segítségével számszerűsíti, szinkronban az elemiszál-szakító elmozdulásával. Az USB porton keresztül folyamatosan érkeznek az adatok a PC-be.



m4.93. ábra. Digitalizáló és illesztő panel

Az m4.93. ábrán látható az elkészült digitalizáló és illesztő panel. A panel úgy van beprogramozva, hogy 1-1 beérkező impulzus hatására hajtson végre egy A/D átalakítási ciklust, amit azonnal továbbküld a PC-be.

A rendszer kalibrálásához szükség van egy időzített mérési folyamatra. Ekkor a digitális illesztő panel nem veszi figyelembe az optikai jeladó impulzusát, hanem másodpercenként mintegy 200-szor (200 Hz) önállóan végrehajtja az A/D átalakítást.

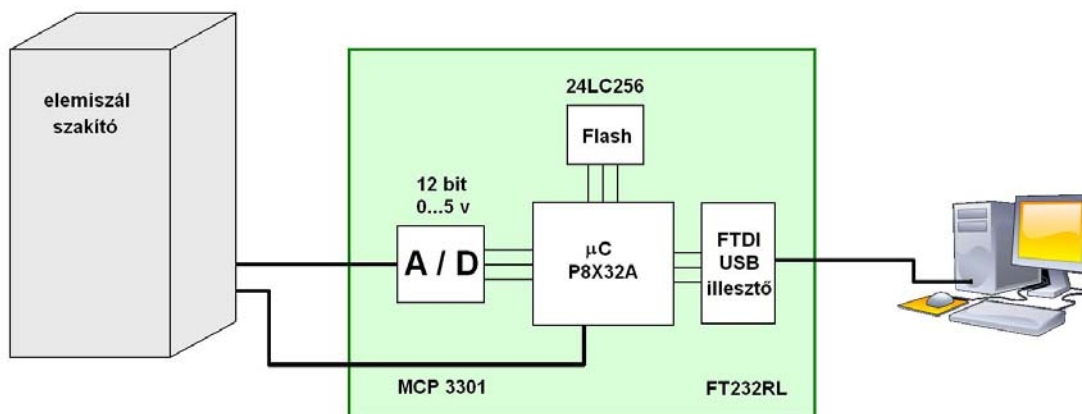
A PC-oldalon egy egyszerű kiértékelő program (Delfi-ben íródott egyszerű perifériaillesztő program adatátviteli, kiértékelő és tároló funkciókkal) fogadja és rajzolja képernyőre a számadatokat valamint az excel által kiértékelhető formátumot szolgáltat.

Digitalizáló és illesztő panel felépítése:

- AD átalakító: szukceszív approximációs XL elven működő 12 bit-es analóg digitál átalakító MCP 3301
- Mikrovezérlő: önálló működésre képes és a hozzá való programtár
- USB port FTDI illesztő: ez tartja a kapcsolatot a számítógép felé
- Properel P8X32A chip : 8 db független processzor a szükséges RAM-okkal és köztes tárterülettel.
- 1 db analóg bemenőjel port
- és számos digitális bemenőjel-port

4.5. Összeszerelés, tesztelés

Az elkészült tervek alapján végrehajtottam a változtatásokat (m4.94. ábrán látható a berendezés és a PC összekötése).



m4.94. ábra. Vizsgálóberendezés digitalizáló illesztő paneljének felépítése

4.6. Jövőbeni továbbfejlesztési tervek megfogalmazása

A vizsgálatok és a mérési eredmények kiértékelése közben felmerült egy részletesebb, azonnali kiértékelési funkciókkal ellátott program igénye. A tovább fejlesztett programmal egyszerűsödne és felgyorsulna az eredmények összehasonlítása és statisztikai kiértékelése.

A hengerek felfüggesztésével fixáltam a függőleges „Y” irányú helyzetet, lehetőséget biztosítva az „X” irányú elmozdulásnak. A függőleges irányú komponens állíthatóvá tételével tovább növelhető a cserélhető hengerek átmérőjének tartománya és befolyásolható a vizsgált textilszerkezet mintahossza.

5. MELLÉKLET: Poliamid 6 monofilament vizsgálati eredmények

előterhelés F_0 [cN]	mérések száma	μ_{ny}	μ_{ny} [%]	szórás	μ_m	μ_m [%]	szórás
0,25	30	0,1709	100	0,0071	0,1319	100	0,0041
0,375	30	0,1937	113,3876	0,0064	0,1625	123,2051	0,0045
0,5	30	0,2092	122,423	0,0053	0,1856	140,7713	0,0048
0,625	30	0,2172	127,1062	0,0034	0,1904	144,3789	0,0055
0,75	30	0,2177	127,4372	0,0039	0,1931	146,4238	0,0041
0,875	30	0,2175	127,3015	0,0031	0,1922	145,7497	0,0043
1	30	0,2170	127,0089	0,0016	0,1925	145,9822	0,0024

*m5. 12. táblázat Poliamid 6 monofilament vizsgálat átlagolt eredményeinek összesített táblázata
(előterhelés növelés)*

Előterhelés	0,25 cN	0,375 cN	0,5 cN	0,625 cN	0,75 cN	0,875 cN	1 cN
0,25 cN	-	$t \geq t_{p=0,05}$	$t \geq t_{p=0,05}$	$t \geq t_{p=0,05}$	$t \geq t_{p=0,05}$	$t \geq t_{p=0,05}$	$t \geq t_{p=0,05}$
0,375 cN	-	-	$t \geq t_{p=0,05}$	$t \geq t_{p=0,05}$	$t \geq t_{p=0,05}$	$t \geq t_{p=0,05}$	$t \geq t_{p=0,05}$
0,5 cN	-	-	-	$t \geq t_{p=0,05}$	$t \geq t_{p=0,05}$	$t \geq t_{p=0,05}$	$t \geq t_{p=0,05}$
0,625 cN	-	-	-	-	$t \geq t_{p=0,05}$	$t \geq t_{p=0,05}$	$t \geq t_{p=0,05}$
0,75 cN	-	-	-	-	-	$t \leq t_{p=0,05}$	$t \leq t_{p=0,05}$
0,875 cN	-	-	-	-	-	-	$t \leq t_{p=0,05}$
1 cN	-	-	-	-	-	-	-

*m5.13. táblázat Poliamid 6 monofilament nyugalmi súrlódási tényezőinek eltérés táblázata
(a szürke szín a szignifikáns eltérést jelöli)*

Előterhelés	0,25 cN	0,375 cN	0,5 cN	0,625 cN	0,75 cN	0,875 cN	1 cN
0,25 cN	-	$t \geq t_{p=0,05}$	$t \geq t_{p=0,05}$	$t \geq t_{p=0,05}$	$t \geq t_{p=0,05}$	$t \geq t_{p=0,05}$	$t \geq t_{p=0,05}$
0,375 cN	-	-	$t \geq t_{p=0,05}$	$t \geq t_{p=0,05}$	$t \geq t_{p=0,05}$	$t \geq t_{p=0,05}$	$t \geq t_{p=0,05}$
0,5 cN	-	-	-	$t \geq t_{p=0,05}$	$t \geq t_{p=0,05}$	$t \geq t_{p=0,05}$	$t \geq t_{p=0,05}$
0,625 cN	-	-	-	-	$t \geq t_{p=0,05}$	$t \geq t_{p=0,05}$	$t \geq t_{p=0,05}$
0,75 cN	-	-	-	-	-	$t \leq t_{p=0,05}$	$t \leq t_{p=0,05}$
0,875 cN	-	-	-	-	-	-	$t \leq t_{p=0,05}$
1 cN	-	-	-	-	-	-	-

*m5.14. táblázat Poliamid 6 monofilament mozgási súrlódási tényezőinek eltérés táblázata
(a szürke szín a szignifikáns eltérést jelöli)*

F0=0,5 [cN]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
μ_{ny}	0,1709	0,1687	0,1703	0,1638	0,1669	0,1628	0,1382	0,1485	0,1434	0,1194	0,1425	0,1284	0,1432	0,1439	0,1556	0,1372	0,131	0,1514	0,1287	0,1237	0,1067	0,0915	0,0915	0,109	0,1312	0,1136	0,1245	0,1221	0,1194	0,1046
μ_{ny} [%]	100	98,71	99,65	95,85	97,66	95,26	80,87	86,89	83,91	69,87	83,38	75,13	83,79	84,20	91,05	80,28	76,65	88,59	75,31	72,38	62,43	53,54	53,54	63,78	76,77	66,47	72,85	71,45	69,87	61,21
μ_m	0,1319	0,1306	0,1274	0,1251	0,122	0,1199	0,1129	0,1107	0,1155	0,1124	0,1164	0,1184	0,1142	0,11	0,1162	0,1018	0,0973	0,1021	0,0958	0,0871	0,0808	0,0788	0,0788	0,0874	0,0886	0,0775	0,0744	0,0751	0,0725	0,0665
μ_m [%]	100	99,01	96,59	94,84	92,49	90,90	85,60	83,93	87,57	85,22	88,25	89,76	86,58	83,40	88,10	77,18	73,77	77,41	72,63	66,03	61,26	59,74	59,74	66,26	67,17	58,76	56,41	56,94	54,97	50,42
$\Delta\mu$	0,039	0,0381	0,0429	0,0387	0,0449	0,0429	0,0253	0,0378	0,0279	0,007	0,0261	0,01	0,029	0,0339	0,0394	0,0354	0,0337	0,0493	0,0329	0,0366	0,0259	0,0127	0,0127	0,0216	0,0426	0,0361	0,0501	0,047	0,0469	0,0381
$\Delta\mu$ [%]	100	97,69	110,00	99,23	115,13	110,00	64,87	96,92	71,54	17,95	66,92	25,64	74,36	86,92	101,03	90,77	86,41	126,41	84,36	93,85	66,41	32,56	32,56	55,38	109,23	92,56	128,46	120,51	120,26	97,69

F0=1 [cN]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
μ_{ny}	0,217	0,2045	0,2129	0,2007	0,2118	0,2042	0,1992	0,1947	0,191	0,1865	0,1888	0,1849	0,1827	0,1797	0,1749	0,1852	0,1876	0,1797	0,1812	0,1853	0,1797	0,1737	0,1757	0,17	0,1726	0,1686	0,1737	0,1703	0,1669	0,1686
μ_{ny} [%]	100	94,24	98,11	92,49	97,60	94,10	91,80	89,72	88,02	85,94	87,00	85,21	84,19	82,81	80,60	85,35	86,45	82,81	83,50	85,39	82,81	80,05	80,97	78,34	79,54	77,70	80,05	78,48	76,91	77,70
μ_m	0,1925	0,1832	0,1883	0,1842	0,1883	0,1833	0,1788	0,1749	0,1728	0,1676	0,169	0,1612	0,1589	0,1582	0,1555	0,156	0,1619	0,1562	0,1539	0,1566	0,1531	0,1513	0,1538	0,1521	0,1507	0,1505	0,1483	0,1461	0,1448	0,1458
μ_m [%]	100	95,17	97,82	95,69	97,82	95,22	92,88	90,86	89,77	87,06	87,79	83,74	82,55	82,18	80,78	81,04	84,10	81,14	79,95	81,35	79,53	78,60	79,90	79,01	78,29	78,18	77,04	75,90	75,22	75,74
$\Delta\mu$	0,0245	0,0213	0,0246	0,0165	0,0235	0,0209	0,0204	0,0198	0,0182	0,0189	0,0198	0,0237	0,0238	0,0215	0,0194	0,0292	0,0257	0,0235	0,0273	0,0287	0,0266	0,0224	0,0219	0,0179	0,0219	0,0181	0,0254	0,0242	0,0221	0,0228
$\Delta\mu$ [%]	100	86,94	100,41	67,35	95,92	85,31	83,27	80,82	74,29	77,14	80,82	96,73	97,14	87,76	79,18	119,18	104,90	95,92	111,43	117,14	108,57	91,43	89,39	73,06	89,39	73,88	103,67	98,78	90,20	93,06

F0=1,5 [cN]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
μ_{ny}	0,2177	0,2194	0,2141	0,208	0,2101	0,2087	0,202	0,2102	0,2029	0,1974	0,2004	0,2009	0,1952	0,194	0,193	0,1928	0,1892	0,1899	0,1859	0,1882	0,1874	0,1891	0,1869	0,1888	0,1887	0,1892	0,1831	0,183	0,1822	0,1839
μ_{ny} [%]	100	100,78	98,35	95,54	96,51	95,87	92,79	96,55	93,20	90,68	92,05	92,28	89,66	89,11	88,65	88,56	86,91	87,23	85,39	86,45	86,08	86,86	85,85	86,72	86,68	86,91	84,11	84,06	83,69	84,47
μ_m	0,1931	0,1951	0,1772	0,1836	0,173	0,1676	0,1693	0,1636	0,1584	0,1565	0,1532	0,1535	0,1498	0,1506	0,1508	0,1493	0,1495	0,148	0,1468	0,1542	0,1548	0,1465	0,1482	0,1501	0,1486	0,1491	0,1484	0,1464	0,145	0,1442
μ_m [%]	100	101,04	91,77	95,08	89,59	86,79	87,67	84,72	82,03	81,05	79,34	79,49	77,58	77,99	78,09	77,32	77,42	76,64	76,02	79,85	80,17	75,87	76,75	77,73	76,95	77,21	76,85	75,82	75,09	74,68
$\Delta\mu$	0,0246	0,0243	0,0369	0,0244	0,0371	0,0411	0,0327	0,0466	0,0445	0,0409	0,0472	0,0474	0,0454	0,0434	0,0422	0,0435	0,0397	0,0419	0,0391	0,034	0,0326	0,0426	0,0387	0,0387	0,0401	0,0401	0,0347	0,0366	0,0372	0,0397
$\Delta\mu$ [%]	100	98,78	150,00	99,19	150,81	167,07	132,93	189,43	180,89	166,26	191,87	192,68	184,55	176,42	171,54	176,83	161,38	170,33	158,94	138,21	132,52	173,17	157,32	157,32	163,01	163,01	141,06	148,78	151,22	161,38

F0=2 [cN]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
μ_{ny}	0,2092	0,2337	0,2331	0,2245	0,2287	0,215	0,225	0,2222	0,2194	0,2249	0,2293	0,2287	0,2185	0,2254	0,2262	0,2173	0,2112	0,2269	0,2168	0,2171	0,2177	0,2092	0,2191	0,2094	0,2244	0,2264	0,2185	0,2285	0,2272	0,2201
μ_{ny} [%]	100	111,71	111,42	107,31	109,32	102,77	107,55	106,21	104,88	107,50	109,61	109,32	104,45	107,74	108,13	103,87	100,96	108,46	103,63	103,78	104,06	100,00	104,73	100,10	107,27	108,22	104,45	109,23	108,60	105,21
μ_m	0,1856	0,2173	0,2061	0,1943	0,2048	0,1999	0,1991	0,1925	0,2057	0,2069	0,2057	0,21	0,2029	0,2057	0,2004	0,2119	0,203	0,2049	0,2089	0,2056	0,2009	0,2013	0,2078	0,2018	0,2125	0,2053	0,2131	0,2032	0,2048	0,1992
μ_m [%]	100	117,08	111,05	104,69	110,34	107,70	107,27	103,72	110,83	111,48	110,83	113,15	109,32	110,83	107,97	114,17	109,38	110,40	112,55	110,78	108,24	108,46	111,96	108,73	114,49	110,61	114,82	109,48	110,34	107,33
$\Delta\mu$	0,0236	0,0164	0,027	0,0302	0,0239	0,0151	0,0259	0,0297	0,0137	0,018	0,0236	0,0187	0,0156	0,0197	0,0258	0,0054	0,0082	0,022	0,0079	0,0115	0,0168	0,0079	0,0113	0,0076	0,0119	0,0211	0,0054	0,0253	0,0224	0,0209
$\Delta\mu$ [%]	100	69,49	114,41	127,97	101,27	63,98	109,75	125,85	58,05	76,27	100,00	79,24	66,10	83,47	109,32	22,88	34,75	93,22	33,47	48,73	71,19	33,47	47,88	32,20	50,42	89,41	22,88	107,20	94,92	88,56

m5.15. táblázat Poliamid 6 monofilament ismételt vizsgálatának átlagolt eredményei (ismétlések száma n=30)

mérés sorszám	F ₀ =0,5 [cN]		F ₀ =1 [cN]		F ₀ =1,5 [cN]		F ₀ =2 [cN]	
	μ _{ny}	μ _m	μ _{ny}	μ _m	μ _{ny}	μ _m	μ _{ny}	μ _m
	SZÓRÁS		SZÓRÁS		SZÓRÁS		SZÓRÁS	
1	0,0086	0,0125	0,0053	0,0043	0,0049	0,0085	0,0022	0,0073
2	0,0064	0,0081	0,003	0,0032	0,005	0,0038	0,0027	0,0062
3	0,0038	0,006	0,0128	0,0019	0,0044	0,0053	0,002	0,0021
4	0,0135	0,007	0,0097	0,0068	0,0052	0,0019	0,0021	0,003
5	0,013	0,0061	0,0065	0,0065	0,0041	0,0032	0,0022	0,0024
6	0,0069	0,0128	0,0034	0,0034	0,0048	0,0036	0,0022	0,0024
7	0,006	0,0049	0,0069	0,003	0,0042	0,0019	0,0031	0,0027
8	0,0079	0,0108	0,0071	0,004	0,0045	0,0019	0,0066	0,0022
9	0,014	0,0044	0,011	0,007	0,0029	0,0025	0,0056	0,0023
10	0,0112	0,0034	0,0145	0,0056	0,0047	0,0028	0,0019	0,0025
11	0,0081	0,0051	0,0072	0,0041	0,0048	0,0017	0,0027	0,003
12	0,0119	0,0034	0,0053	0,006	0,0047	0,0031	0,0022	0,0025
13	0,015	0,0035	0,0072	0,0075	0,0046	0,0024	0,0022	0,0025
14	0,0143	0,0055	0,0053	0,0072	0,0061	0,0025	0,0025	0,0022
15	0,0105	0,0078	0,004	0,0053	0,0049	0,0033	0,002	0,0024
16	0,0107	0,0065	0,0048	0,0053	0,0048	0,0033	0,002	0,0024
17	0,0059	0,0053	0,0098	0,003	0,0055	0,0043	0,0021	0,0024
18	0,0095	0,0078	0,0041	0,0048	0,0043	0,0036	0,0021	0,0023
19	0,0068	0,0073	0,006	0,0034	0,0147	0,0028	0,0023	0,0026
20	0,0071	0,0064	0,0075	0,0035	0,0124	0,0021	0,0049	0,002
21	0,0097	0,0036	0,0068	0,0049	0,0043	0,0025	0,0048	0,0024
22	0,01	0,0027	0,0065	0,005	0,0035	0,003	0,003	0,0021
23	0,0083	0,0027	0,0053	0,0042	0,0044	0,0026	0,0048	0,0022
24	0,0069	0,0048	0,007	0,0035	0,0043	0,0042	0,0018	0,0014
25	0,0073	0,008	0,0056	0,0037	0,0035	0,0021	0,0022	0,0017
26	0,0023	0,0051	0,007	0,0117	0,0039	0,0028	0,0019	0,0022
27	0,0018	0,0063	0,0081	0,0088	0,0034	0,0029	0,002	0,0022
28	0,0019	0,0077	0,0088	0,0094	0,0045	0,0037	0,0059	0,0018
29	0,0016	0,0052	0,0032	0,0081	0,0049	0,0051	0,0018	0,0019
30	0,0017	0,004	0,0019	0,0083	0,0059	0,0036	0,0015	0,0017
átlag	0,0081	0,0062	0,0067	0,0054	0,0051	0,0032	0,0028	0,0026

m5. 16. táblázat Poliamid 6 monofilament ismételt vizsgálatának szórás eredményei

6. MELLÉKLET: Poliamid 6 multifilament vizsgálati eredmények

előterhelés F_0 [cN]	μ_{ny}	μ_{ny} [%]	szórás	μ_m	μ_m [%]	szórás
5	0,1794	100	0,0044	0,1723	100	0,0046
6	0,1918	106,9042	0,0029	0,1802	104,627	0,0073
7	0,2082	116,0612	0,0040	0,1916	111,2575	0,0046
8	0,2129	118,6788	0,0025	0,2042	118,5324	0,0031
9	0,2164	120,6031	0,0015	0,2119	123,0081	0,0038
10	0,2167	120,8211	0,0052	0,2105	122,2296	0,0063
11	0,2248	125,3239	0,0079	0,2208	128,1781	0,0057
12	0,2373	132,2974	0,0052	0,2350	136,407	0,0038
13	0,2491	138,8294	0,0037	0,2442	141,7664	0,0023
14	0,2610	145,4635	0,0044	0,2589	144,3036	0,0034
15	0,2579	143,7627	0,0044	0,2551	148,1192	0,0019
16	0,2554	142,3774	0,0035	0,2551	142,1757	0,0009
17	0,2459	137,0876	0,0040	0,2367	137,4106	0,0034
18	0,2548	142,0281	0,0045	0,2501	139,4204	0,0039
19	0,2607	145,3373	0,0048	0,2545	147,7558	0,0042
20	0,2501	139,4236	0,0034	0,2437	141,4792	0,0028
21	0,2488	138,6773	0,0041	0,2446	142,0102	0,0035
22	0,2506	139,698	0,0040	0,2493	144,7588	0,0034
23	0,2488	138,7065	0,0044	0,2439	135,948	0,0038
24	0,2473	137,8323	0,0035	0,2426	140,8465	0,0038
25	0,2437	135,8419	0,0038	0,2402	139,4274	0,0029
30	0,2470	137,662	0,0033	0,2459	142,7446	0,0029
35	0,2405	134,0765	0,0040	0,2370	132,1311	0,0032
40	0,2406	134,1177	0,0039	0,2396	133,5435	0,0027
45	0,2414	134,5449	0,0035	0,2403	139,5139	0,0034
50	0,2375	132,3836	0,0069	0,2356	131,3522	0,0033

m6. 17. táblázat Poliamid 6 multifilament vizsgálat átlagolt eredményeinek összesített táblázata
(előterhelés növelés)

előterhelés [cN]	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	30	40	50
5	-	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ
6	-	-	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ
7	-	-	-	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ
8	-	-	-	-	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ
9	-	-	-	-	-	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ
10	-	-	-	-	-	-	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ
11	-	-	-	-	-	-	-	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ
12	-	-	-	-	-	-	-	-	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ
13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ
14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ
15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ
16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n
17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n
18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n
19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n	n	n	n	n	n	n	n	n
20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n	n	n	n	n	n	n	n
21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n	n	n	n	n	n	n
22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n	n	n	n	n	n
23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n	n	n	n	n
24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n	n	n	n
25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n	n	n
30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n	n
40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n
50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

m6. 18. táblázat Poliamid 6 multifilament nyugalmi súrlódási tényezőinek eltérés táblázata
(sz – szignifikáns eltérés; n – nincs szignifikáns eltérés)

előterhelés [cN]	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	30	40	50
5	-	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ
6	-	-	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ
7	-	-	-	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ
8	-	-	-	-	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ
9	-	-	-	-	-	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ
10	-	-	-	-	-	-	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ
11	-	-	-	-	-	-	-	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ
12	-	-	-	-	-	-	-	-	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ
13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ
14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ
15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ	SZ
16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n
17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n
18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n
19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n	n	n	n	n	n	n	n	n
20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n	n	n	n	n	n	n	n
21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n	n	n	n	n	n	n
22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n	n	n	n	n	n
23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n	n	n	n	n
24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n	n	n	n
25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n	n	n
30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n	n
40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n
50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

*m6.19. táblázat Poliamid 6 multifilament mozgási súrlódási tényezőinek eltérés táblázata
(sz – szignifikáns eltérés; n – nincs szignifikáns eltérés)*

F0=5 [cN]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
μ_{oy}	0,1794	0,1947	0,1975	0,1999	0,2074	0,2079	0,2065	0,2029	0,2025	0,1916	0,1876	0,1824	0,1772	0,1720	0,1692	0,1665	0,1649	0,1641	0,1602	0,1599	0,1576	0,1515	0,1514	0,1504	0,1489	0,1499	0,1481	0,1467	0,1460	0,1459
μ_{oy} [%]	100	108,53	110,09	111,43	115,61	115,89	115,11	113,10	112,88	106,80	104,57	101,68	98,78	95,88	94,32	92,81	91,92	91,47	89,30	89,13	87,85	84,45	84,40	83,84	83,00	83,56	82,56	81,78	81,38	81,33
μ_n	0,1723	0,1792	0,1876	0,1917	0,1993	0,1997	0,1947	0,1947	0,1947	0,1897	0,1815	0,1796	0,1749	0,1692	0,1690	0,1663	0,1607	0,1639	0,1580	0,1587	0,1565	0,1512	0,1511	0,1500	0,1480	0,1497	0,1477	0,1452	0,1450	0,1449
μ_n [%]	100	104,03	108,91	111,29	115,70	115,94	113,03	113,03	113,03	110,13	105,37	104,27	101,54	98,23	98,11	96,55	93,29	95,15	91,73	92,13	90,86	87,78	87,72	87,08	85,92	86,91	85,75	84,30	84,18	84,12
$\Delta\mu$	0,0071	0,0155	0,0099	0,0082	0,0081	0,0082	0,0118	0,0082	0,0078	0,0019	0,0061	0,0028	0,0023	0,0028	0,0002	0,0002	0,0042	0,0002	0,0022	0,0012	0,0011	0,0003	0,0003	0,0004	0,0009	0,0002	0,0004	0,0015	0,0010	0,0010
$\mu_{oy}-\mu_n$ [%]	100	216,96	138,57	114,78	113,38	114,78	165,17	114,78	109,18	26,59	85,38	39,19	32,19	39,19	2,80	2,80	58,79	2,80	30,79	16,80	15,40	4,20	4,20	5,60	12,60	2,80	5,60	21,00	14,00	14,00

F0=15 [cN]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
μ_{oy}	0,2579	0,2592	0,2612	0,2657	0,2699	0,2670	0,2550	0,2592	0,2598	0,2514	0,2564	0,2512	0,2479	0,2496	0,2471	0,2489	0,2466	0,2457	0,2436	0,2452	0,2431	0,2429	0,2388	0,2401	0,2378	0,2392	0,2372	0,2384	0,2360	0,2378
μ_{oy} [%]	100	100,50	101,28	103,02	104,65	103,53	98,87	100,50	100,74	97,48	99,42	97,40	96,12	96,78	95,81	96,51	95,62	95,27	94,45	95,07	94,26	94,18	92,59	93,10	92,21	92,75	91,97	92,44	91,51	92,21
μ_n	0,2551	0,2574	0,2611	0,2637	0,2651	0,2649	0,2550	0,2569	0,2585	0,2510	0,2546	0,2511	0,2451	0,2449	0,2443	0,2456	0,2463	0,2420	0,2408	0,2450	0,2423	0,2361	0,2340	0,2373	0,2370	0,2345	0,2285	0,2326	0,2262	0,2261
μ_n [%]	100	100,89	102,34	103,35	103,91	103,83	99,95	100,69	101,32	98,38	99,79	98,42	96,07	95,99	95,75	96,26	96,54	94,85	94,38	96,03	94,97	92,54	91,72	93,01	92,89	91,91	89,56	91,17	88,66	88,62
$\mu_{oy}-\mu_n$	0,0028	0,0018	0,0001	0,0020	0,0048	0,0021	0,0000	0,0023	0,0013	0,0004	0,0018	0,0001	0,0028	0,0047	0,0028	0,0033	0,0003	0,0037	0,0028	0,0002	0,0008	0,0068	0,0048	0,0028	0,0008	0,0047	0,0087	0,0058	0,0098	0,0117
$\mu_{oy}-\mu_n$ [%]	100	65,06	3,61	72,65	173,49	75,90	0,00	83,13	46,99	14,46	65,06	3,61	101,20	169,88	101,20	119,27	10,84	133,73	101,20	7,23	28,92	245,78	173,49	101,20	28,92	169,88	314,45	209,63	354,21	422,88

F0=25 [cN]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
μ_{oy}	0,2437	0,2457	0,2478	0,2442	0,2336	0,2312	0,2329	0,2271	0,2220	0,2201	0,2168	0,2171	0,2134	0,2141	0,2144	0,2129	0,2131	0,2116	0,2104	0,2178	0,2184	0,2125	0,2118	0,2137	0,2122	0,2127	0,2120	0,2100	0,2086	0,2077
μ_{oy} [%]	100	100,82	101,69	100,21	95,86	94,87	95,57	93,19	91,10	90,32	88,96	89,09	87,57	87,86	87,98	87,36	87,45	86,83	86,34	89,37	89,62	87,20	86,91	87,69	87,08	87,28	86,99	86,17	85,60	85,23
μ_n	0,2402	0,2419	0,2466	0,2304	0,2326	0,2311	0,2245	0,2270	0,2217	0,2200	0,2167	0,2170	0,2130	0,2135	0,2137	0,2120	0,2127	0,2111	0,2101	0,2166	0,2182	0,2100	0,2093	0,2113	0,2111	0,2117	0,2056	0,2054	0,2047	0,2064
μ_n [%]	100	100,72	102,68	95,93	96,85	96,23	93,48	94,52	92,31	91,60	90,23	90,35	88,69	88,90	88,98	88,27	88,56	87,90	87,48	90,19	90,85	87,44	87,15	87,98	87,90	88,15	85,61	85,52	85,23	85,94
$\mu_{oy}-\mu_n$	0,0035	0,0038	0,0012	0,0138	0,0010	0,0001	0,0084	0,0001	0,0003	0,0001	0,0001	0,0001	0,0004	0,0006	0,0007	0,0009	0,0004	0,0005	0,0003	0,0012	0,0002	0,0025	0,0025	0,0024	0,0011	0,0010	0,0064	0,0046	0,0039	0,0013
$\mu_{oy}-\mu_n$ [%]	100	107,69	34,01	391,07	28,34	2,83	238,05	2,83	8,50	2,83	2,83	2,83	11,34	17,00	19,84	25,50	11,34	14,17	8,50	34,01	5,67	70,85	70,85	68,01	31,17	28,34	181,37	130,36	110,52	36,84

F0=35 [cN]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
μ_{oy}	0,2405	0,2480	0,2431	0,2291	0,2332	0,2281	0,2236	0,2197	0,2177	0,2124	0,2138	0,2060	0,2037	0,2031	0,2003	0,2018	0,2077	0,2019	0,1997	0,2023	0,1988	0,1970	0,1996	0,1978	0,1964	0,1963	0,1940	0,1919	0,1905	0,1915
μ_{oy} [%]	100	103,12	101	95,26	102	94,84	103	91,35	104	88,32	105	85,65	106	84,45	107	83,91	108	83,95	109	84,12	110	81,91	111	82,25	112	81,62	113	79,79	114	79,63
μ_n	0,2370	0,2479	0,2352	0,2259	0,2330	0,2277	0,2229	0,2187	0,2155	0,2108	0,2127	0,2046	0,2032	0,2031	0,1990	0,2010	0,2049	0,2010	0,1995	0,2019	0,1975	0,1967	0,1989	0,1946	0,1958	0,1932	0,1939	0,1910	0,1900	0,1900
μ_n [%]	100	104,60	99,23	95,30	98,31	96,09	94,06	92,28	90,95	88,93	89,76	86,33	85,74	85,68	83,96	84,81	86,46	84,81	84,18	85,19	83,33	82,99	83,93	82,12	82,63	81,51	81,81	80,59	80,17	80,17
$\mu_{oy}-\mu_n$	0,0035	0,0001	0,0079	0,0032	0,0002	0,0004	0,0007	0,0010	0,0022	0,0016	0,0011	0,0014	0,0005	0,0000	0,0013	0,0008	0,0028	0,0009	0,0002	0,0004	0,0013	0,0003	0,0007	0,0032	0,0006	0,0031	0,0001	0,0009	0,0005	0,0015
$\mu_{oy}-\mu_n$ [%]	100	3,09	226,63	92,69	5,71	10,40	19,54	28,69	61,60	46,97	30,51	40,00	14,29	1,26	37,83	22,86	80,00	25,71	5,71	11,43	37,14	8,69	19,66	90,97	16,00	89,14	2,86	25,71	14,17	42,86

m6.20. táblázat Poliamid 6 multifilament ismételt vizsgálatának átlagolt eredményei (ismétlések száma n=30)

mérés sorszám	$F_0=5$ [cN]		$F_0=15$ [cN]		$F_0=25$ [cN]		$F_0=35$ [cN]	
	μ_{ny}	μ_m	μ_{ny}	μ_m	μ_{ny}	μ_m	μ_{ny}	μ_m
	SZÓRÁS		SZÓRÁS		SZÓRÁS		SZÓRÁS	
1	0,0087	0,0098	0,0102	0,0066	0,0077	0,0076	0,0058	0,0033
2	0,0094	0,0093	0,0109	0,0074	0,0084	0,0085	0,0069	0,0040
3	0,0094	0,0069	0,0073	0,0063	0,0078	0,0067	0,0046	0,0020
4	0,0118	0,0074	0,0075	0,0066	0,0051	0,0071	0,0049	0,0024
5	0,0097	0,0099	0,0075	0,0087	0,0060	0,0051	0,0023	0,0046
6	0,0148	0,0131	0,0080	0,0061	0,0064	0,0055	0,0027	0,0050
7	0,0081	0,0064	0,0080	0,0136	0,0064	0,0062	0,0033	0,0033
8	0,0131	0,0063	0,0085	0,0094	0,0071	0,0068	0,0039	0,0040
9	0,0090	0,0076	0,0067	0,0061	0,0079	0,0077	0,0038	0,0042
10	0,0121	0,0118	0,0070	0,0112	0,0052	0,0079	0,0041	0,0045
11	0,0081	0,0060	0,0066	0,0108	0,0080	0,0050	0,0041	0,0040
12	0,0136	0,0062	0,0068	0,0089	0,0052	0,0053	0,0043	0,0043
13	0,0163	0,0085	0,0081	0,0074	0,0059	0,0060	0,0045	0,0030
14	0,0108	0,0109	0,0086	0,0098	0,0064	0,0067	0,0048	0,0035
15	0,0092	0,0088	0,0067	0,0076	0,0079	0,0077	0,0039	0,0040
16	0,0115	0,0080	0,0069	0,0091	0,0052	0,0079	0,0042	0,0042
17	0,0085	0,0082	0,0065	0,0070	0,0076	0,0077	0,0037	0,0041
18	0,0093	0,0112	0,0067	0,0094	0,0079	0,0080	0,0038	0,0044
19	0,0099	0,0064	0,0084	0,0066	0,0063	0,0060	0,0026	0,0047
20	0,0099	0,0062	0,0091	0,0073	0,0068	0,0067	0,0032	0,0024
21	0,0086	0,0102	0,0075	0,0087	0,0053	0,0053	0,0032	0,0045
22	0,0127	0,0095	0,0079	0,0089	0,0056	0,0057	0,0055	0,0049
23	0,0073	0,0083	0,0069	0,0079	0,0088	0,0086	0,0079	0,0039
24	0,0083	0,0101	0,0071	0,0093	0,0099	0,0055	0,0045	0,0091
25	0,0092	0,0090	0,0088	0,0073	0,0071	0,0059	0,0029	0,0031
26	0,0126	0,0095	0,0093	0,0078	0,0072	0,0064	0,0035	0,0038
27	0,0090	0,0074	0,0068	0,0080	0,0076	0,0077	0,0040	0,0058
28	0,0098	0,0091	0,0071	0,0065	0,0055	0,0080	0,0063	0,0045
29	0,0089	0,0071	0,0068	0,0076	0,0118	0,0051	0,0089	0,0066
30	0,0128	0,0083	0,0070	0,0065	0,0105	0,0053	0,0055	0,0087
átlag	0,0104	0,0086	0,0077	0,0081	0,0071	0,0067	0,0045	0,0044

m6.21. táblázat Poliamid 6 multifilament ismételt vizsgálatának szórás eredményei

7. MELLÉKLET: Poliamid 6 multifilament kötegszám növelés vizsgálati eredmények

filament kötegszám	μ_{ny}	szórás	$\mu_{ny} \%$	μ_m	szórás	$\mu_m \%$	$\Delta\mu$	$\Delta\mu \%$
1	0,2579	0,0092	100	0,2551	0,0098	100	0,0028	100
2	0,2645	0,0126	102,56	0,2632	0,0103	103,18	0,0013	46,43
3	0,2927	0,009	113,49	0,28	0,0078	109,76	0,0127	453,57
4	0,3085	0,0098	119,62	0,2981	0,0081	116,86	0,0104	371,43
5	0,3037	0,0089	117,76	0,2876	0,0078	112,74	0,0161	575,00

m7.22. táblázat Poliamid 6 multifilament vizsgálat átlagolt eredményeinek összesített táblázata (kötegszám növelés)

Kötegszám	1	2	3	4	5
1	-	$t \leq t_{p=0,05}$	$t \leq t_{p=0,05}$	$t \leq t_{p=0,05}$	$t \leq t_{p=0,05}$
2	-	-	$t \leq t_{p=0,05}$	$t \leq t_{p=0,05}$	$t \leq t_{p=0,05}$
3	-	-	-	$t \leq t_{p=0,05}$	$t \leq t_{p=0,05}$
4	-	-	-	-	$t \leq t_{p=0,05}$
5	-	-	-	-	-

m7. 23. táblázat Poliamid 6 multifilament nyugalmi és mozgási súrlódási tényezőinek eltérés táblázata (a szürke szín a szignifikáns eltérést jelöli)

Kötegszám	1	2	3	4	5
1	-	$t \geq t_{p=0,05}$	$t \geq t_{p=0,05}$	$t \geq t_{p=0,05}$	$t \geq t_{p=0,05}$
2	-	-	$t \geq t_{p=0,05}$	$t \geq t_{p=0,05}$	$t \geq t_{p=0,05}$
3	-	-	-	$t \geq t_{p=0,05}$	$t \geq t_{p=0,05}$
4	-	-	-	-	$t \geq t_{p=0,05}$
5	-	-	-	-	-

m7. 24. táblázat Poliamid 6 multifilament nyugalmi súrlódási tényezőinek eltérés táblázata (a szürke szín a szignifikáns eltérést jelöli)

Kötegszám	1	2	3	4	5
1	-	$t \geq t_{p=0,05}$	$t \geq t_{p=0,05}$	$t \geq t_{p=0,05}$	$t \geq t_{p=0,05}$
2	-	-	$t \geq t_{p=0,05}$	$t \geq t_{p=0,05}$	$t \geq t_{p=0,05}$
3	-	-	-	$t \geq t_{p=0,05}$	$t \geq t_{p=0,05}$
4	-	-	-	-	$t \geq t_{p=0,05}$
5	-	-	-	-	-

m7. 25. táblázat Poliamid 6 multifilament mozgási súrlódási tényezőinek eltérés táblázata (a szürke szín a szignifikáns eltérést jelöli)

8. MELLÉKLET: Poliamid 6 multifilament sodratszám növelés

Sodratszám	μ_{ny}	szórás	$\mu_{ny} \%$	μ_m	szórás	$\mu_m \%$	$\Delta\mu$	$\Delta\mu \%$
0	0,2437	0,0028	100	0,2402	0,0034	100	0,0035	100
20	0,2445	0,0028	100,33	0,2380	0,0032	99,09	0,0065	185,71
40	0,2433	0,0030	99,85	0,2368	0,0034	98,60	0,0065	185,71
60	0,2429	0,0030	99,66	0,2354	0,0034	97,99	0,0075	214,29
80	0,2389	0,0033	98,03	0,2336	0,0037	97,25	0,0053	151,43
100	0,2287	0,0033	93,86	0,2272	0,0037	94,60	0,0015	42,86
120	0,2278	0,0034	93,48	0,2263	0,0038	94,21	0,0015	42,86

m8. 26. táblázat Poliamid 6 multifilament vizsgálat átlagolt eredményeinek összesített táblázata (sodratszám növelés)

sodratszám	0	20	40	60	80	100	120
0	-	$t \leq t_{p=0,05}$	$t \leq t_{p=0,05}$	$t \leq t_{p=0,05}$	$t \leq t_{p=0,05}$	$t \leq t_{p=0,05}$	$t \leq t_{p=0,05}$
20	-	-	$t \leq t_{p=0,05}$	$t \leq t_{p=0,05}$	$t \leq t_{p=0,05}$	$t \leq t_{p=0,05}$	$t \leq t_{p=0,05}$
40	-	-	-	$t \leq t_{p=0,05}$	$t \leq t_{p=0,05}$	$t \leq t_{p=0,05}$	$t \leq t_{p=0,05}$
60	-	-	-	-	$t \leq t_{p=0,05}$	$t \leq t_{p=0,05}$	$t \leq t_{p=0,05}$
80	-	-	-	-	-	$t \leq t_{p=0,05}$	$t \leq t_{p=0,05}$
100	-	-	-	-	-	-	$t \leq t_{p=0,05}$
120	-	-	-	-	-	-	-

m8. 27. táblázat Poliamid 6 multifilament nyugalmi és mozgási súrlódási tényezőinek eltérés táblázata (a szürke szín a szignifikáns eltérést jelöli)

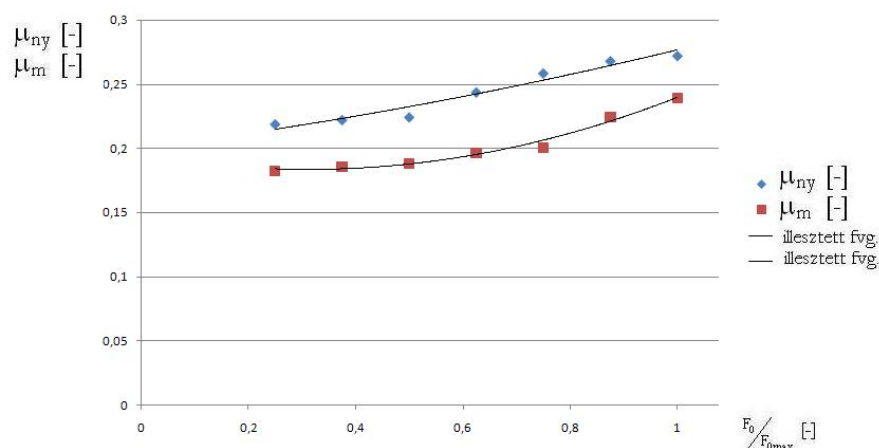
sodratszám	0	20	40	60	80	100	120
0	-	$t \leq t_{p=0,05}$	$t \leq t_{p=0,05}$	$t \leq t_{p=0,05}$	$t \geq t_{p=0,05}$	$t \geq t_{p=0,05}$	$t \geq t_{p=0,05}$
20	-	-	$t \leq t_{p=0,05}$	$t \leq t_{p=0,05}$	$t \geq t_{p=0,05}$	$t \geq t_{p=0,05}$	$t \geq t_{p=0,05}$
40	-	-	-	$t \leq t_{p=0,05}$	$t \geq t_{p=0,05}$	$t \geq t_{p=0,05}$	$t \geq t_{p=0,05}$
60	-	-	-	-	$t \geq t_{p=0,05}$	$t \geq t_{p=0,05}$	$t \geq t_{p=0,05}$
80	-	-	-	-	-	$t \leq t_{p=0,05}$	$t \leq t_{p=0,05}$
100	-	-	-	-	-	-	$t \leq t_{p=0,05}$
120	-	-	-	-	-	-	-

m8. 28. táblázat Poliamid 6 multifilament nyugalmi súrlódási tényezőinek eltérés táblázata (a szürke szín a szignifikáns eltérést jelöli)

sodratszám	0	20	40	60	80	100	120
0	-	$t \leq t_{p=0,05}$	$t \leq t_{p=0,05}$	$t \leq t_{p=0,05}$	$t \geq t_{p=0,05}$	$t \geq t_{p=0,05}$	$t \geq t_{p=0,05}$
20	-	-	$t \leq t_{p=0,05}$	$t \leq t_{p=0,05}$	$t \geq t_{p=0,05}$	$t \geq t_{p=0,05}$	$t \geq t_{p=0,05}$
40	-	-	-	$t \leq t_{p=0,05}$	$t \geq t_{p=0,05}$	$t \geq t_{p=0,05}$	$t \geq t_{p=0,05}$
60	-	-	-	-	$t \geq t_{p=0,05}$	$t \geq t_{p=0,05}$	$t \geq t_{p=0,05}$
80	-	-	-	-	-	$t \leq t_{p=0,05}$	$t \leq t_{p=0,05}$
100	-	-	-	-	-	-	$t \leq t_{p=0,05}$
120	-	-	-	-	-	-	-

m8. 29. táblázat Poliamid 6 multifilament mozgási súrlódási tényezőinek eltérés táblázata (a szürke szín a szignifikáns eltérést jelöli)

9. MELLÉKLET: Aramid monofilament vizsgálati eredmények



m9. 95. ábra Aramid monofilament súrlódási tényezőinek változása az előterhelés függvényében ($F_0=0,5$ [cN], $F_{0max}=2$ [cN])

A legpontosabb illeszkedést, az alábbi függvények adták a vizsgált tartományban:

$$\mu_{ny} = 2,4 \cdot 10^{-2} \left(\frac{F_0}{F_{0max}} \right)^2 + 5,1 \cdot 10^{-2} \left(\frac{F_0}{F_{0max}} \right) + 2 \cdot 10^{-1} \quad R^2 = 0,952 \quad (m9.1)$$

ahol:

μ_{ny} – nyugalmi súrlódási tényező [-]

F_0 – előterhelés nagysága [N]

F_{0max} – előterhelés maximális értéke [N]

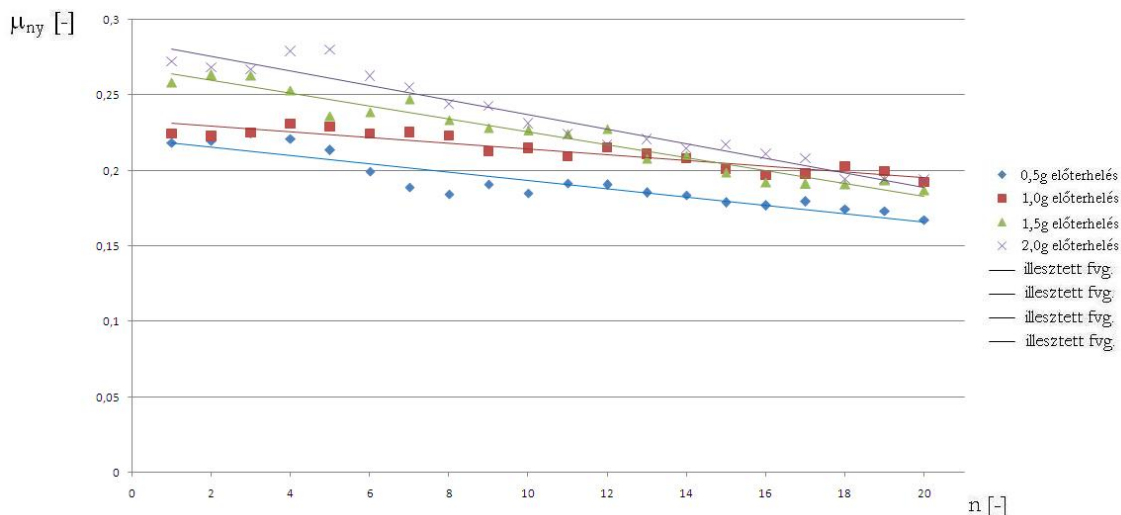
$$\mu_m = 1,17 \cdot 10^{-1} \left(\frac{F_0}{F_{0max}} \right)^2 - 7,3 \cdot 10^{-2} \left(\frac{F_0}{F_{0max}} \right) + 1,95 \cdot 10^{-1} \quad R^2 = 0,981 \quad (m9.2)$$

ahol:

μ_m – mozgási súrlódási tényező [-]

F_0 – előterhelés nagysága [N]

F_{0max} – előterhelés maximális értéke [N]



m9. 96. ábra Aramid monofilament ismételt mérése növelt előterhelés mellett és a változást leíró függvények (n – ismétlések száma)

Az átlagolt mérési eredmények tendenciája lineáris csökkenést mutat, az adatpontokra illesztett függvények:

0,5 cN előterhelés:

$$\mu_{ny} = -2 \cdot 10^{-3} n + 2,21 \cdot 10^{-1} \quad R^2 = 0,851 \quad (m9.3)$$

1 cN előterhelés:

$$\mu_{ny} = -1 \cdot 10^{-3} n + 2,33 \cdot 10^{-1} \quad R^2 = 0,869 \quad (m9.4)$$

1,5 cN előterhelés:

$$\mu_{ny} = -4 \cdot 10^{-3} n + 2,68 \cdot 10^{-1} \quad R^2 = 0,95 \quad (m9.5)$$

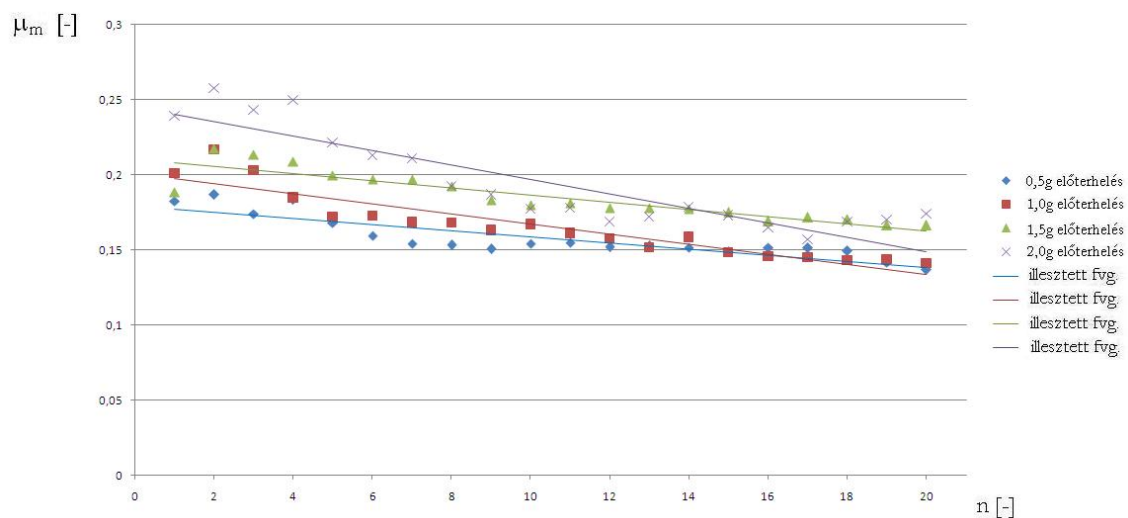
2 cN előterhelés:

$$\mu_{ny} = -4 \cdot 10^{-3} n + 2,85 \cdot 10^{-1} \quad R^2 = 0,937 \quad (m9.6)$$

ahol:

μ_{ny} – nyugalmi súrlódási tényező [-]

n – ismétlések száma



m9. 97. ábra Aramid monofilament ismételt mérése növelt előterhelés mellett és a változást leíró függvények (n – ismétlések száma)

A súrlódási tényező változásának tendenciáját az alábbi függvények mutatják a vizsgált tartományban:

0,5 cN előterhelés:

$$\mu_m = -2 \cdot 10^{-3} n + 1,79 \cdot 10^{-1} \quad R^2 = 0,766 \quad (m9.7)$$

1 cN előterhelés:

$$\mu_m = -3 \cdot 10^{-3} n + 2,01 \cdot 10^{-1} \quad R^2 = 0,856 \quad (m9.8)$$

1,5 cN előterhelés:

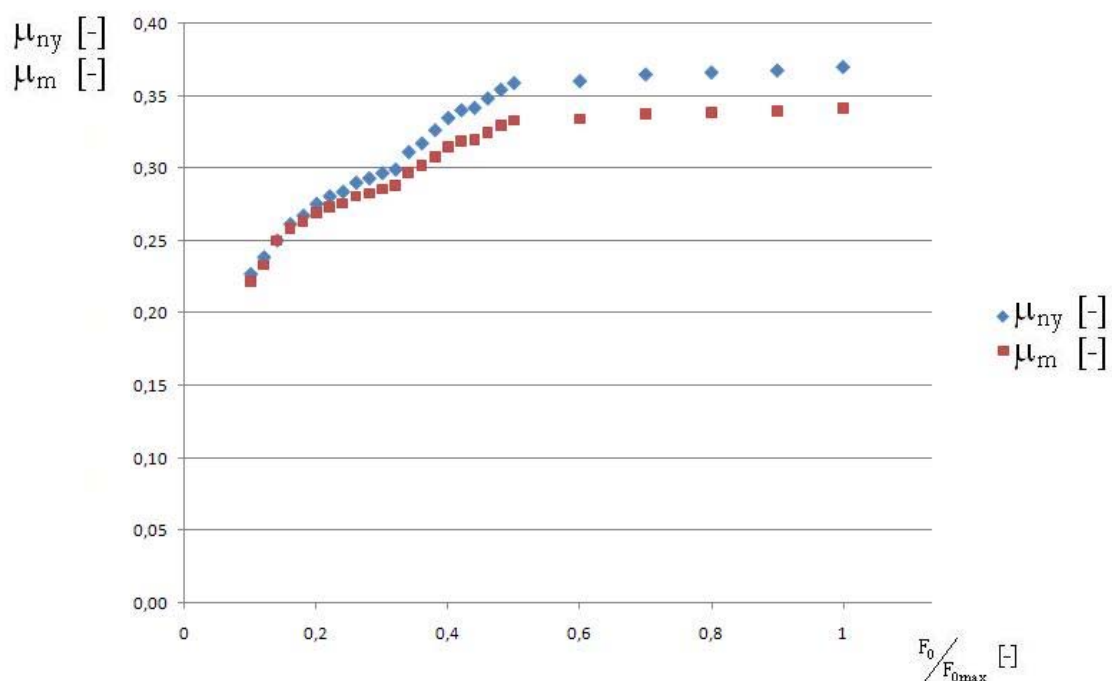
$$\mu_m = -2 \cdot 10^{-3} n + 2,1 \cdot 10^{-1} \quad R^2 = 0,816 \quad (m9.9)$$

2 cN előterhelés:

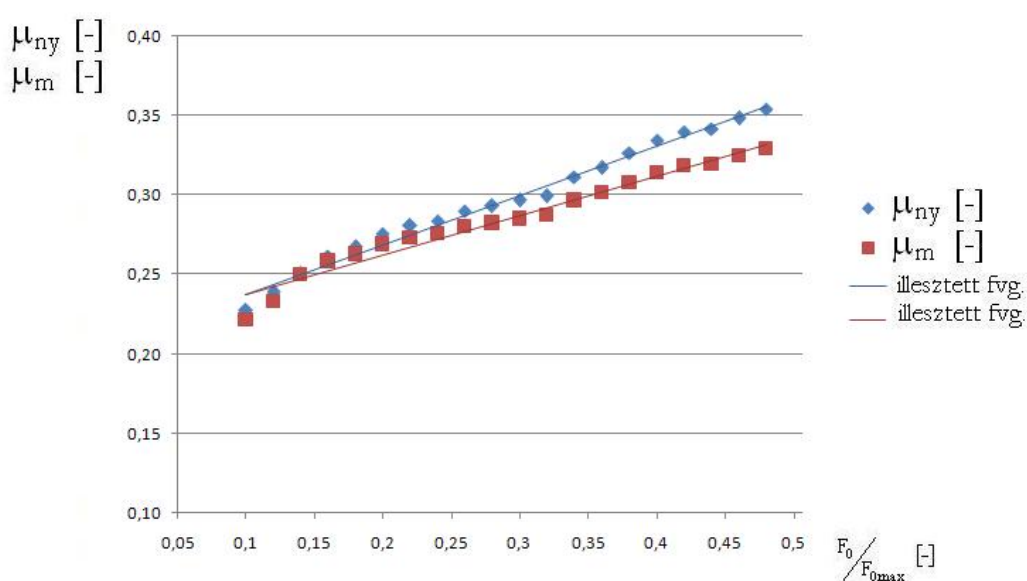
$$\mu_m = -4 \cdot 10^{-3} n + 2,45 \cdot 10^{-1} \quad R^2 = 0,803 \quad (m9.10)$$

abol:

μ_{ny} – nyugalmi súrlódási tényező [-]
 n – ismétlések száma



m9. 98. ábra Aramid multifilament súrlódási tényezőinek változása az előterhelés függvényében ($F_0=5$ [cN], $F_{0max}=50$ [cN])



m9. 99. ábra Aramid multifilament súrlódási tényezője a 5 cN és 15 cN közötti előterhelési tartományban és a változást leíró függvény

Az adatpontokra illesztett egyenesek adatai:

$$\mu_{ny} = 3,11 \cdot 10^{-1} \left(\frac{F_0}{F_{0max}} \right) + 2,06 \cdot 10^{-1} \quad R^2 = 0,985 \quad (m9.11)$$

$$\mu_m = 2,5 \cdot 10^{-1} \left(\frac{F_0}{F_{0\max}} \right) + 2,11 \cdot 10^{-1} \quad (m9.12)$$

ahol:

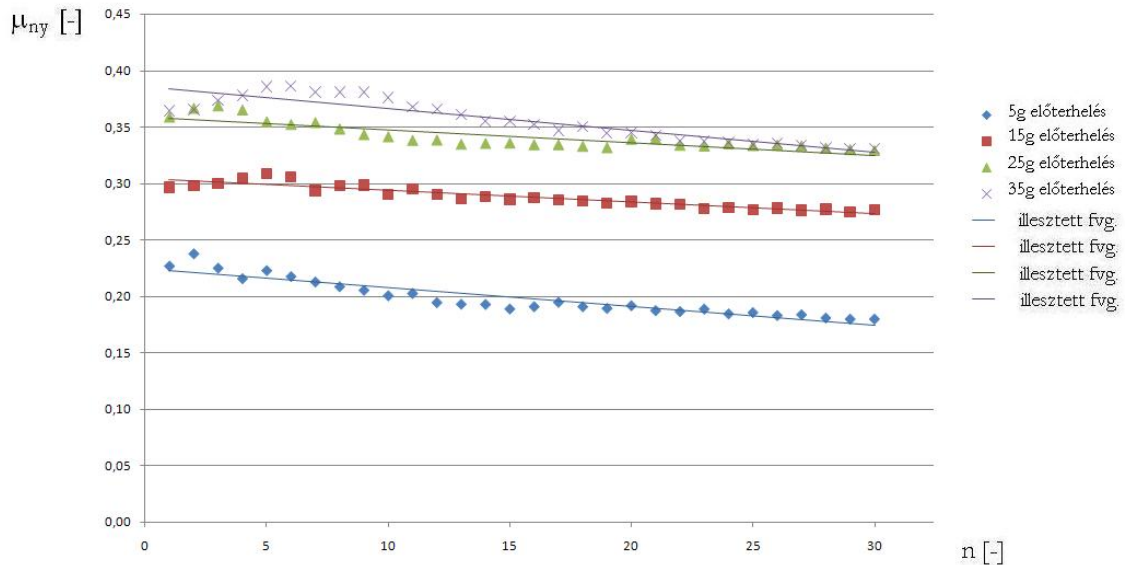
$$R^2 = 0,967$$

μ_{ny} - nyugalmi súrlódási tényező [-]

μ_m - mozgási súrlódási tényező [-]

F_0 - előterhelés nagysága [N]

$F_{0\max}$ - előterhelés maximális értéke [N]



m9. 100. ábra Aramid multifilament ismételt mérése növelt előterhelés mellett és a változást leíró függvények (n – ismétlések száma)

Az átlagolt mérési eredmények tendenciája lineáris csökkenést mutat, az adatpontokra illesztett függvények:

5 cN előterhelés:

$$\mu_{ny} = -1 \cdot 10^{-3} n + 2,24 \cdot 10^{-1} \quad R^2 = 0,861 \quad (m9.13)$$

15 cN előterhelés:

$$\mu_{ny} = -1 \cdot 10^{-3} n + 3,04 \cdot 10^{-1} \quad R^2 = 0,875 \quad (m9.14)$$

25 cN előterhelés:

$$\mu_{ny} = -1 \cdot 10^{-3} n + 3,58 \cdot 10^{-1} \quad R^2 = 0,728 \quad (m9.15)$$

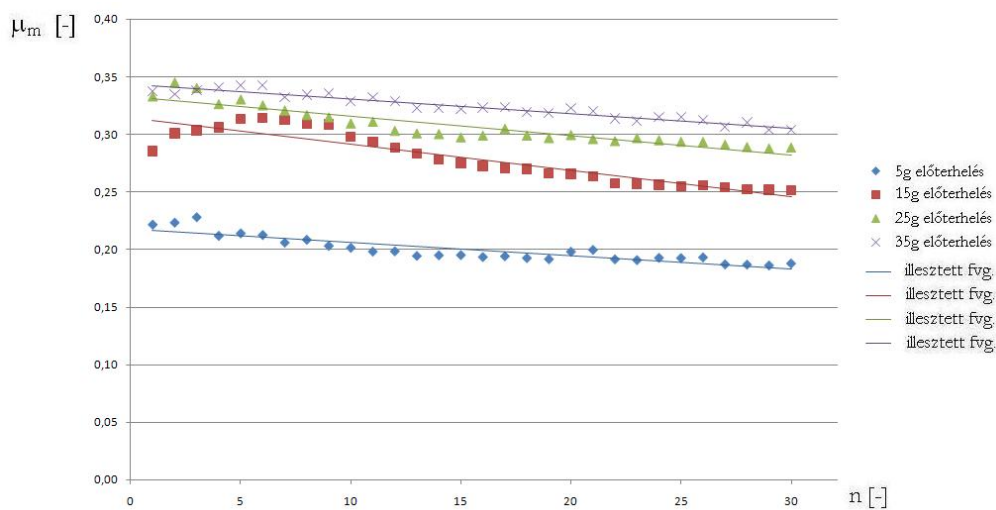
35 cN előterhelés:

$$\mu_{ny} = -2 \cdot 10^{-3} n + 3,68 \cdot 10^{-1} \quad R^2 = 0,847 \quad (m9.16)$$

ahol:

μ_{ny} – nyugalmi súrlódási tényező

n – ismétlés száma [-]



m9. 101. ábra Aramid multifilament ismételt mérése növelt előterhelés mellett és a változást leíró függvények (n – ismétlések száma)

Az átlagolt mérési eredmények tendenciája lineáris csökkenést mutat, az adatpontokra illesztett függvények:

5 cN előterhelés:

$$\mu_m = -1 \cdot 10^{-3} n + 2,17 \cdot 10^{-1} \quad R^2 = 0,923 \quad (m9.17)$$

15 cN előterhelés:

$$\mu_m = -2 \cdot 10^{-3} n + 3,14 \cdot 10^{-1} \quad R^2 = 0,855 \quad (m9.18)$$

25 cN előterhelés:

$$\mu_m = -1 \cdot 10^{-3} n + 3,32 \cdot 10^{-1} \quad R^2 = 0,855 \quad (m9.19)$$

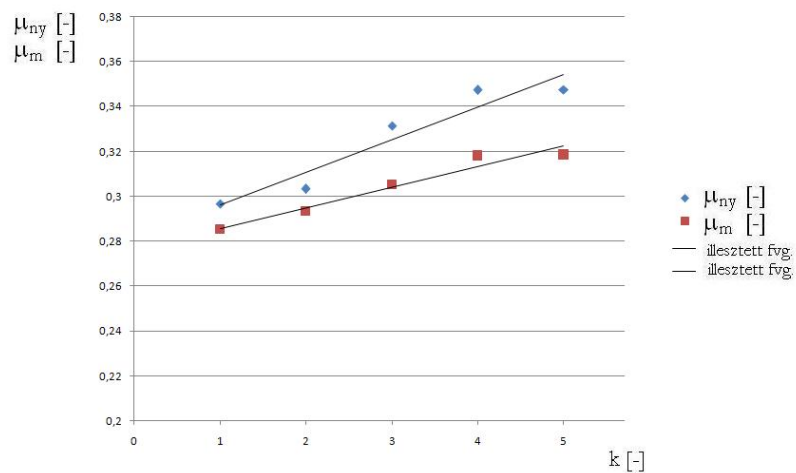
35 cN előterhelés:

$$\mu_m = -1 \cdot 10^{-3} n + 3,43 \cdot 10^{-1} \quad R^2 = 0,791 \quad (m9.20)$$

ahol:

μ_m – mozgási súrlódási tényező

n – ismétlés száma [-]



m9. 102. ábra Aramid multifilament súrlódási tényezőjének változása a kötegszám növelésének függvényében a mérési eredményekre illesztett függvény (k – kötegszám)

A függvény illesztés során a legjobb illeszkedést, a legnagyobb regressziót az alábbi függvény adta a vizsgált tartományban:

$$\mu_{ny} = 1,4 \cdot 10^{-2} k + 2,81 \cdot 10^{-1} \quad R^2 = 0,914 \quad (m9.21)$$

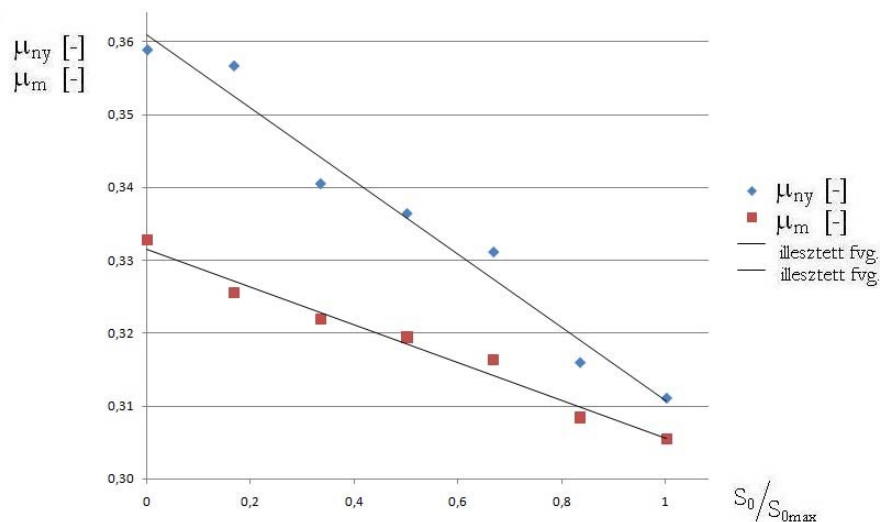
$$\mu_m = 9 \cdot 10^{-3} k + 2,76 \cdot 10^{-1} \quad R^2 = 0,95 \quad (m9.22)$$

ahol:

μ_{ny} – nyugalmi súrlódási tényező

μ_m – mozgási súrlódási tényező

k – kötegszám [-]



m9. 103. ábra Aramid multifilament súrlódási tényezőinek változása a sodratszám függvényében ($s_{max}=120$)

Az átlagolt mérési eredmények tendenciája lineáris csökkenést mutat, az adatpontokra illesztett függvények:

$$\mu_{ny} = -5 \cdot 10^{-2} \left(\frac{S_0}{S_{0\max}} \right) + 3,6 \cdot 10^{-1}$$

$$R^2 = 0,971 \quad (m9.23)$$

$$\mu_m = -2,6 \cdot 10^{-2} \left(\frac{S_0}{S_{0\max}} \right) + 3,31 \cdot 10^{-1}$$

$$R^2 = 0,976 \quad (m9.24)$$

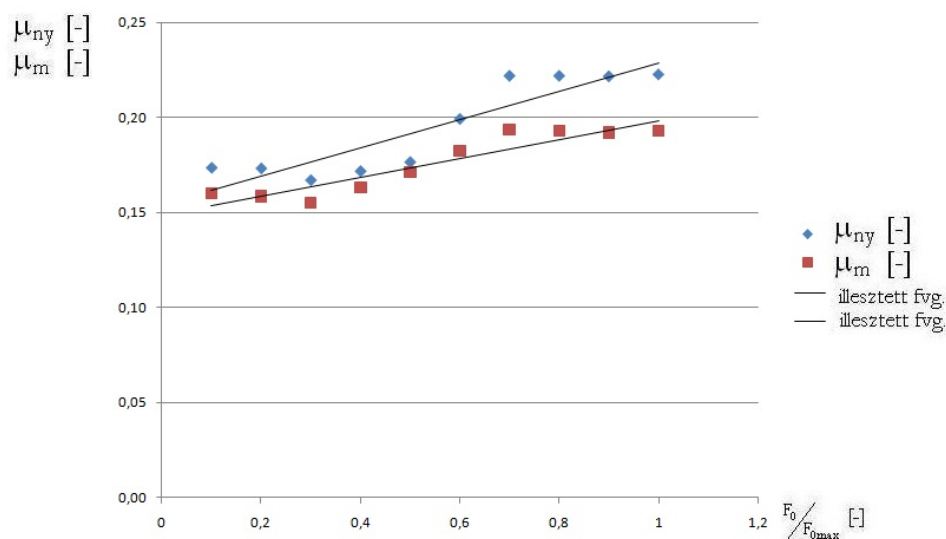
abol:

μ_{ny} - nyugalmi súrlódási tényező

S_0 - sodratszám $[1/m]$

$S_{0\max}$ - sodratszám $[1/m]$

10. MELLÉKLET: Pamut előfonal vizsgálati eredmények



m10. 104. ábra Pamut előfonal súrlódási tényezőinek változása az előterhelés függvényében ($F_0=5$ [cN], $F_{0max}=50$ [cN])

A legpontosabb illeszkedést, az alábbi függvények adták a vizsgált tartományban:

$$\mu_{ny} = 7,4 \cdot 10^{-2} \left(\frac{F_0}{F_{0max}} \right) + 1,54 \cdot 10^{-1} \quad R^2 = 0,825 \quad (m10.1)$$

ahol:

μ_{ny} – nyugalmi súrlódási tényező [-]

F_0 – előterhelés nagysága [N]

F_{0max} – előterhelés maximális értéke [N]

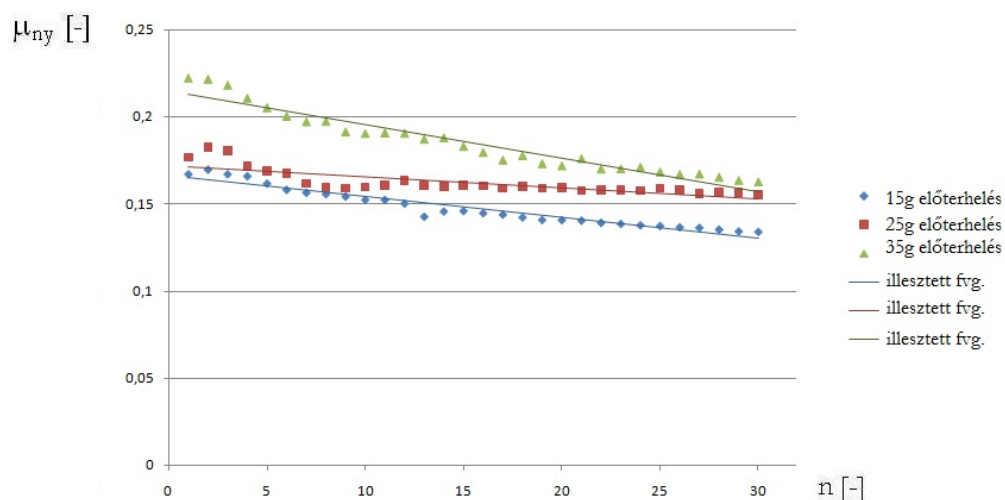
$$\mu_m = 4,9 \cdot 10^{-2} \left(\frac{F_0}{F_{0max}} \right) + 1,48 \cdot 10^{-1} \quad R^2 = 0,866 \quad (m10.2)$$

ahol:

μ_m – mozgási súrlódási tényező [-]

F_0 – előterhelés nagysága [N]

F_{0max} – előterhelés maximális értéke [N]



*m10. 105. ábra Pamut előfonal ismételt mérése növelt előterhelés mellett és a változást leíró függvények
(n – ismétlések száma)*

Az átlagolt mérési eredmények tendenciája lineáris csökkenést mutat, az adatpontokra illesztett függvények:

15 cN előterhelés:

$$\mu_{ny} = -1 \cdot 10^{-3} n + 1,66 \cdot 10^{-1} \quad R^2 = 0,931 \quad (m10.3)$$

25 cN előterhelés:

$$\mu_{ny} = -6,28 \cdot 10^{-4} n + 1,72 \cdot 10^{-1} \quad R^2 = 0,817 \quad (m10.4)$$

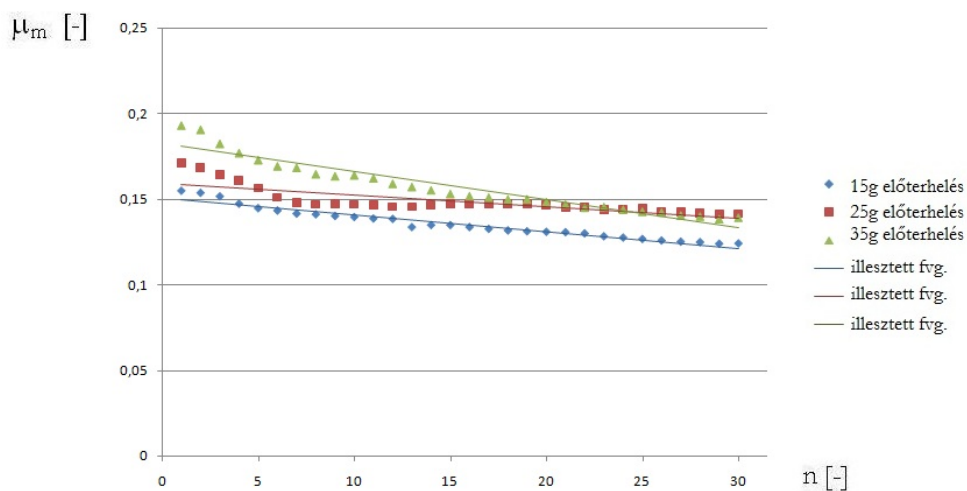
35 cN előterhelés:

$$\mu_{ny} = -1 \cdot 10^{-3} n + 2,41 \cdot 10^{-1} \quad R^2 = 0,928 \quad (m10.5)$$

ahol:

μ_{ny} – nyugalmi súrlódási tényező [-]

n – ismétlések száma



m10. 106. ábra Pamut előfonal ismételt mérése növelt előterhelés mellett és a változást leíró függvények (n – ismétlések száma)

A súrlódási tényező változásának tendenciáját az alábbi függvények mutatják a vizsgált tartományban:

15 cN előterhelés:

$$\mu_m = -1 \cdot 10^{-3} n + 1,5 \cdot 10^{-1} \quad R^2 = 0,942 \quad (m10.6)$$

25 cN előterhelés:

$$\mu_m = -6,93 \cdot 10^{-4} n + 1,59 \cdot 10^{-1} \quad R^2 = 0,630 \quad (m10.7)$$

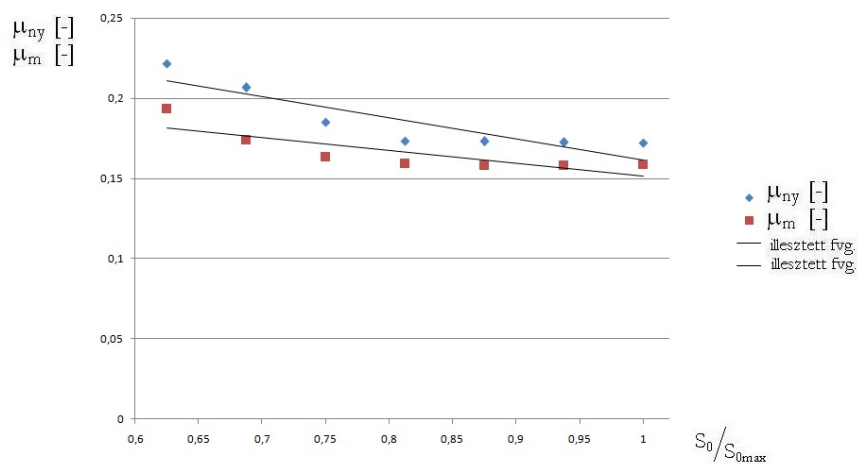
35 cN előterhelés:

$$\mu_m = -1 \cdot 10^{-3} n + 1,82 \cdot 10^{-1} \quad R^2 = 0,914 \quad (m10.8)$$

abol:

μ_m – mozgási súrlódási tényező [-]

n – ismétlések száma



m10. 107. ábra Pamut előfonal súrlódási tényezőinek változása a sodratszám függvényében ($s_{max} = 160$)

Az átlagolt mérési eredmények tendenciája lineáris csökkenést mutat, az adatpontokra illesztett függvények:

$$\mu_{ny} = -1,31 \cdot 10^{-1} \left(\frac{S_0}{S_{0\max}} \right) + 2,93 \cdot 10^{-1} \quad R^2 = 0,783 \quad (m10.9)$$

$$\mu_m = -8 \cdot 10^{-2} \left(\frac{S_0}{S_{0\max}} \right) + 2,31 \cdot 10^{-1} \quad R^2 = 0,776 \quad (m10.10)$$

ahol:

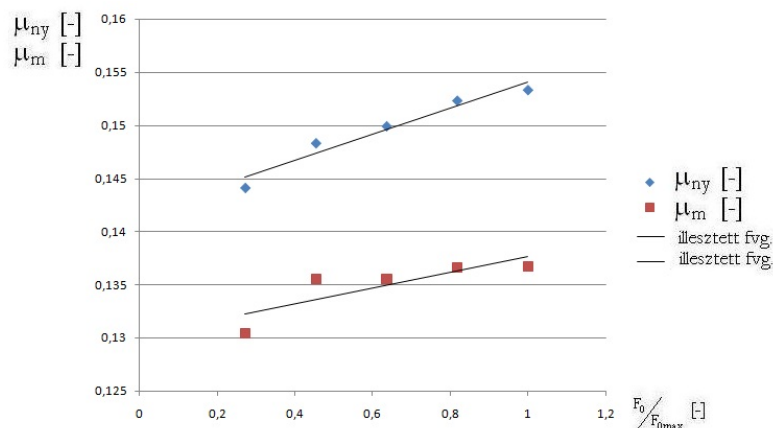
μ_{ny} – nyugalmi súrlódási tényező [-]

μ_m – mozgási súrlódási tényező [-]

S_0 - sodratszám [1/m]

$S_{0\max}$ - sodratszám [1/m]

11. MELLÉKLET: Polipropilén szalag vizsgálati eredmények



m11. 108. ábra Polipropilén szalag súrlódási tényezőinek változása az előterhelés függvényében ($F_0=15$ [cN], $F_{0max}=55$ [cN])

A legpontosabb illeszkedést, az alábbi függvények adták a vizsgált tartományban:

$$\mu_{ny} = 1,2 \cdot 10^{-2} \left(\frac{F_0}{F_{0max}} \right) + 1,41 \cdot 10^{-1} \quad R^2 = 0,961 \quad (m11.1)$$

$$\mu_m = 7 \cdot 10^{-3} \left(\frac{F_0}{F_{0max}} \right) + 1,3 \cdot 10^{-1} \quad R^2 = 0,692 \quad (m11.2)$$

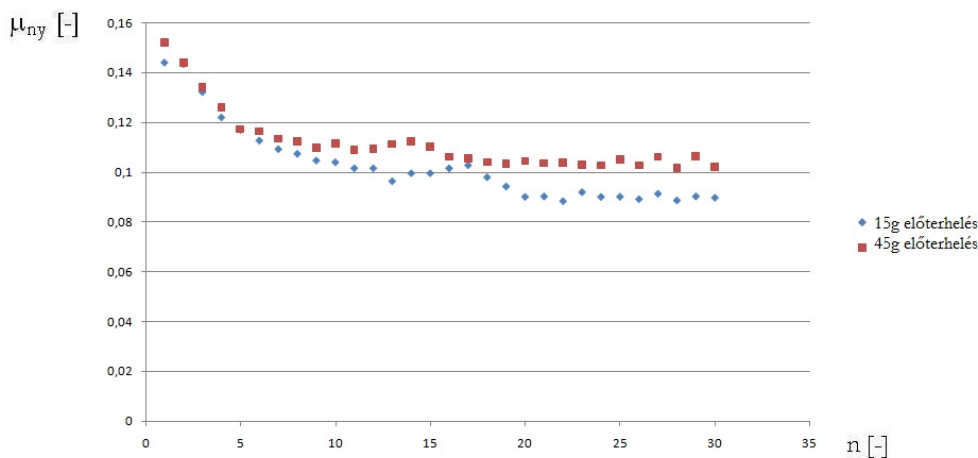
ahol:

μ_{ny} – nyugalmi súrlódási tényező [-]

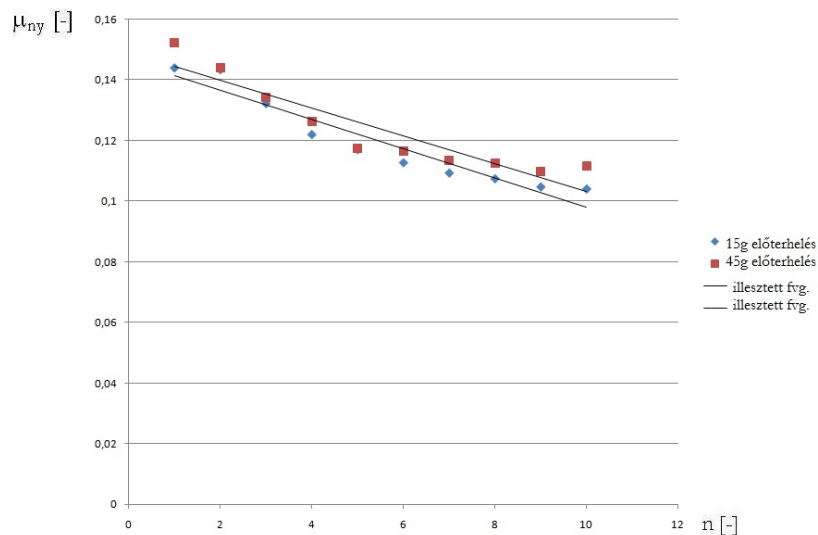
μ_m – mozgási súrlódási tényező [-]

F_0 – előterhelés nagysága [N]

F_{0max} – előterhelés maximális értéke [N]



m11. 109. ábra Polipropilén szalag ismételt mérése növelt előterhelés mellett és a változást leíró függvények (n – ismétlések száma)



m11. 110. ábra Polipropilén szalag ismételt mérése növelt előterhelés mellett és a változást leíró függvények – kiemelt részlet (n – ismétlések száma)

Az átlagolt mérési eredmények tendenciája lineáris csökkenést mutat, az adatpontokra illesztett függvények:

15 cN előterhelés:

$$\mu_{ny} = 41 \cdot 10^{-3} n + 1,46 \cdot 10^{-1} \quad R^2 = 0,916 \quad (m11.3)$$

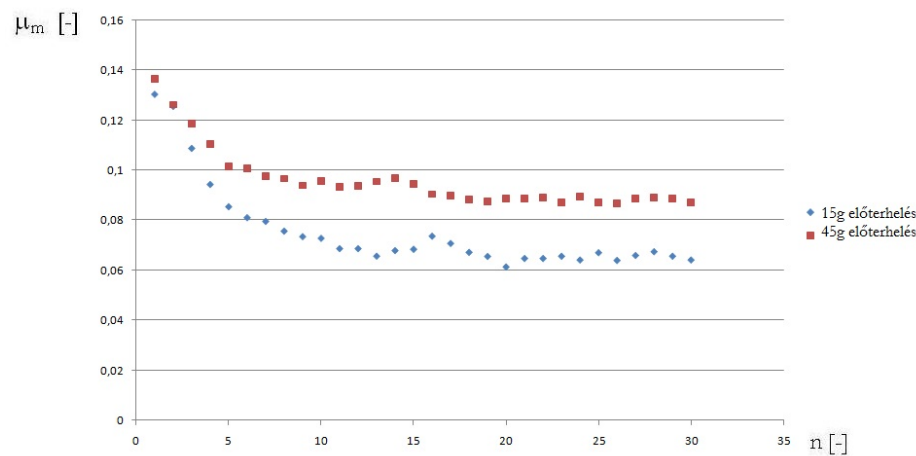
45 cN előterhelés:

$$\mu_{ny} = -4 \cdot 10^{-3} n + 1,49 \cdot 10^{-1} \quad R^2 = 0,858 \quad (m11.4)$$

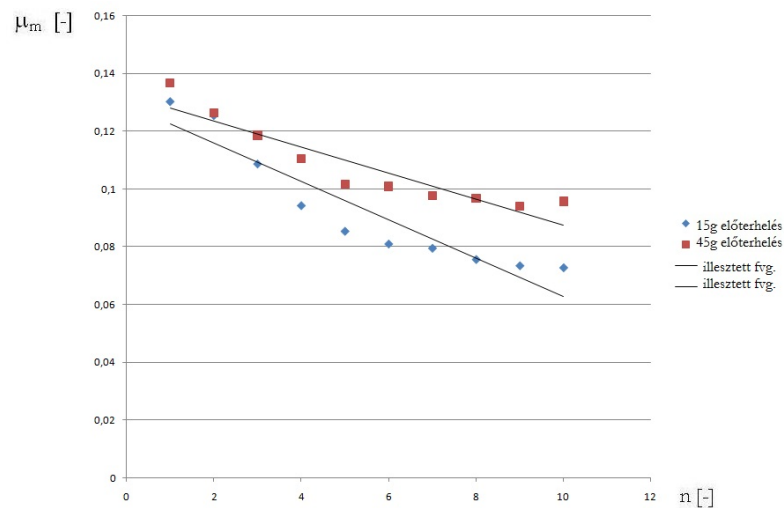
ahol:

μ_{ny} – nyugalmi súrlódási tényező [-]

n – ismétlések száma



m11. 111. ábra Polipropilén szalag ismételt mérése növelt előterhelés mellett és a változást leíró függvények (n – ismétlések száma)



m11. 112. ábra Polipropilén szalag ismételt mérése növelt előterhelés mellett és a változást leíró függvények – kiemelt részlet (n – ismétlések száma)

A súrlódási tényező változásának tendenciáját az alábbi függvények mutatják a vizsgált tartományban:

15 cN előterhelés:

$$\mu_m = -6 \cdot 10^{-3} n + 1,29 \cdot 10^{-1} \quad R^2 = 0,872 \quad (m11.5)$$

45 cN előterhelés:

$$\mu_m = -4 \cdot 10^{-3} n + 1,32 \cdot 10^{-1} \quad R^2 = 0,860 \quad (m11.6)$$

ahol:

μ_m – mozgási súrlódási tényező [-]

n – ismétlések száma

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Szeretnék e sorok által köszönetet mondani mindazoknak, akik az értekezés elkészítésében segítségemre voltak.

Ezúton szeretnék köszönetet mondani témavezetőmnek, Dr. Szücs Ivánnak az értekezés elkészítésében nyújtott segítségével, útmutató tanácsaiért, melyekkel bevezetett a tudomány világába.

Külön köszönetemet szeretném kifejezni Dr. Patkó István dékán úrnak, aki mindig biztosított a támogatásáról és segítette munkámat.

Köszönet illeti az Óbudai Egyetem RKK Terméktervező Intézet igazgatóját Dr. Kisfaludy Mártát, Borka Zsoltot és Koleszár Andrást valamint az intézetben dolgozó többi kollégámat, amiért kutatómunkám során különböző területeken szakmai segítséget nyújtottak.

Köszönetemet és hálámat fejezem ki opponenseimnek, akik mérhetetlen szakmai segítséget nyújtottak építő jellegű kritikájukkal és így nagymértékben előremozdították értekezésemet.

Köszönettel tartozom Kelemen Gizellának, Dr. Koltai Lászlónak és Dr. Borbély Ákosnak, valamint mindazon barátaimnak, kollégáimnak, akik észrevételeikkel, hasznos tanácsaikkal folyamatosan segítettek.

Végül, de nem utolsó sorban, köszönöm Édesanyámnak, hogy mellettem állt és támogatott.

