

# A textilszerkezetek súrlódásának mérésére kidolgozott eljárások

Dr. Szücs Iván  
főiskolai tanár  
Óbudai Egyetem, RKK TTI

Oroszlány Gabriella  
adjunktus  
Óbudai Egyetem, RKK TTI

A technika fejlődésének köszönhetően egyre több információ áll rendelkezésünkre, ezért a körülöttünk zajló jelenségeket egyre pontosabban tudjuk vizsgálni. Ennek következtében egyre több szakterületen születnek újabb és újabb tudományos eredmények.

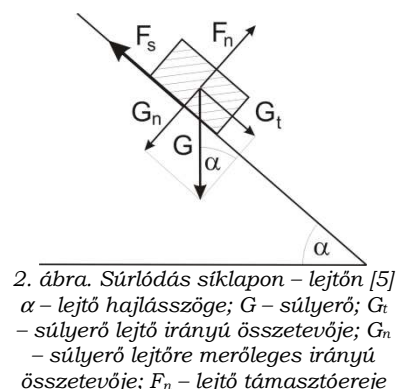
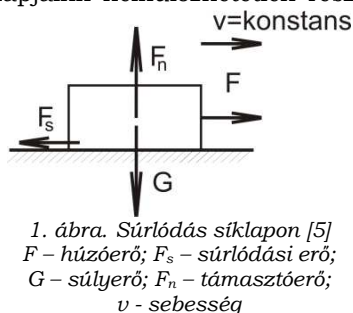
A textilipar minden technológiai folyamatában fontos szerepet játszik a súrlódás. Már a fonalgyártás elengedhetetlen feltétele az elemiszálak egymás közötti súrlódása és az ennek következtében létrejövő súrlódó erő. Ez a súrlódó erő eredményezi a fonalak szilárdságát.

A súrlódás nemcsak a feldolgozási folyamatokban játszik fontos szerepet, hanem döntően befolyásolja a fonal és a textilია sok fontos fizikai és használati tulajdonságát is. Például a textiliák fogása, amely szubjektív jellemző, szintén függ a súrlódási tulajdonságoktól.

## 1. Textilszerkezetek súrlódásának meghatározására használt módszerek

A hajlékony textilanyagok súrlódási tulajdonságainak vizsgálata nem egyszerű feladat. 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 textiliák és a textiliákban belüli műszaki textiliák jelentősége napjainkban egyre nő. A textiliák minden napjaink nélkülözhetetlen részei, nemcsak az öltözködés, hanem a műszaki élet egyre több területén is. Használatukhoz és felhasználási területük teljes spektrumának feltérképezéséhez elengedhetetlenül szükséges a súrlódási tulajdonságaik, ezen belül pedig a súrlódási tényezők ismerete. A súrlódási tényező a különböző



alanyagok, felületek, használati körülmények és hőmérsékletek során más és más. Ennek vizsgálata és a kapott eredmények felhasználása nagy jelentőségű lehet a

műszaki textiliák kialakításának területén.

A textiliparban alkalmazott berendezések üzemeltetése során és a textilipari termékek előállításakor számos műszaki probléma jelentkezhet. A meghibásodások jelentős részét az egymással érintkező felületek súrlódása és az ennek következtében fellépő kopás okozza. Az egymással kapcsolódó és elmozduló felületek tribológiai viselkedése 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 beállítását, és azok kölcsönhatására is hatással vannak. A súrlódási tulajdonságok alapvetően befolyásolják textilszerkezetek létrejöttét.

A súrlódó erő tehát alapvető fontosságú a fonalak és a szövetek előállításához. 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, az alkalmazott technológiák kiválasztását. Ismeretük birtokában, előre jelezhető lehetnek a műszaki jellemzők, és követhető az alakulásuk az egyes feldolgozási stádiumokban.

A textilszerkezetek súrlódásának meghatározására a következő törvények alapján történhet:

### I. A Coulomb-törvény alapján – sík lapon

- vízszintes sík lapon,
- állítható lejtőn.

### II. Az Euler-törvény alapján – hengeres felületen

- két paraméter állandó értéken tartásával álló fonal és forgó súrlódó test között (állandó paraméterek: körülfogási szög és az egyik ágba keletkező húzóerő),
- 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, pilanatnyi nyomaték kiegyenlítés alapján,
- egy paraméter állandó értéken tartásával, mérőrugókkal.

### 1.1. 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 (1. és 2. ábra). A súrlódó erő meghatározására először Charles Augustin de Coulomb (1736–1806) francia fizikus állított fel összefüggést.

### 1.1.1. A Guthrie- és Oliver-féle elemiszál súrlódásmérő készülék és módszer

A mérés elvi vázlatát *Howell és munkatársai* ismertették. Az elvi vázlatról készült rajz a 3. ábrán látható.

**A berendezés működése:** a torziós rugóhoz kapcsolt „1” keretre erősítik az egyik vizsgálni kívánt elemiszálát, a másikat pedig az előbbi keretre merőlegesen álló „2” keret tartja. A vizsgálat során „2” keret a nyíl irányában mozdul, a mozgás hatására az elemiszálak 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 publikálta [4].

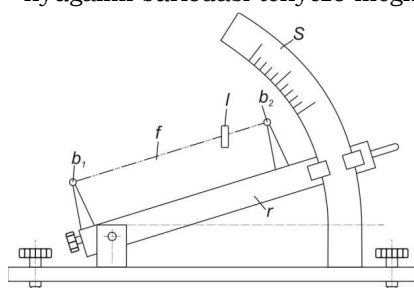
**Az elrendezés és az eljárás hátránya:** két egymás utáni anyag mérésekor a reprodukálhatóság kérdéses: valóban lehet-e biztosítani az azonos feszítést és terhelést?

### 1.1.2. Állítható lejtésszögű mérőberendezés fonálvizsgálathoz

A mérés elvi elrendezése a 4. ábrán látható. A vizsgálandó „f” fonalat a  $b_1$  és  $b_2$  befogókba rögzítik. A fonálra ráhelyezik az „l” lovas.

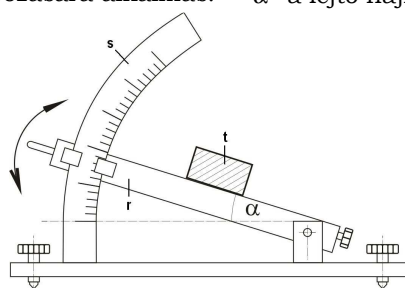
**A berendezés működése:** kiinduláskor a vizsgált fonal vízszintes. Az „r” rudat lassan megdöntve, a fonal a vízszinteshez képest egyre nagyobb szöget zár be. Az „l” lovas tömegének pályáirányú komponense egy adott szögnél legyőzi a súrlódó erőt és a lovas csúszni kezd a fonalon. Az „s” skálán leolvassza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

**Az elrendezés és az eljárás hátránya:** csak a nyugalmi súrlódási tényező meghatározására alkalmas.



4. 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



5. 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 fonál mérésére alkalmazott lejtős módszereknél figyelembe kell venni a fonalak deformálódási képességét. A fonálra helyezett „nehezebb” tárgy megnyújthatja azt és ezáltal az eredeti „egyenes” vonalú elrendezést eltorzítthatja. 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 minta rögzítése nagy precizitást igényel, hogy a fonalban ébredő erők azonosak legyenek.

A fonal nyugalmi súrlódási tényezője ( $\mu_{ny}$ ):

$$\mu_{ny} = \tan \alpha$$

ahol

$\mu_{ny}$  – nyugalmi súrlódási tényező, arányossági együttható [-]

$\alpha$  – a lejtő hajlásszöge.

### 1.1.3. Állítható lejtésszögű mérőberendezés textilvizsgálathoz

A mérés elvi elrendezése a 5. ábrán látható. A vizsgálandó textilanyagot az állítható lejtésszögű lejtőre, vagy „t” testre rögzítik. Mindig a berendezés kialakítása határozza meg a rögzítés módját (5. ábra).

**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 pályáirányú komponense egy adott szögnél legyőzi a súrlódó erőt, és a lovas csúszni kezd a fonalon. Az „s” skálán leolvassza az „ $\alpha$ ” szögértéket, a fonal nyugalmi súrlódási tényezője ( $\mu_{ny}$ ) kiszámítható.

**Az elrendezés és az eljárás hátránya:** csak a nyugalmi súrlódási tényező meghatározására alkalmas. A fonál mérésére alkalmazott lejtős módszereknél figyelembe kell venni a fonalak deformálódási képességét. A fonálra helyezett „nehezebb” tárgy megnyújthatja azt és ezáltal az eredeti „egyenes” vonalú elrendezést eltorzítthatja. 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 minta rögzítése nagy precizitást igényel, hogy a fonalban ébredő erők azonosak legyenek.

A fonal nyugalmi súrlódási tényezője ( $\mu_{ny}$ ):

$$\mu_{ny} = \tan \alpha$$

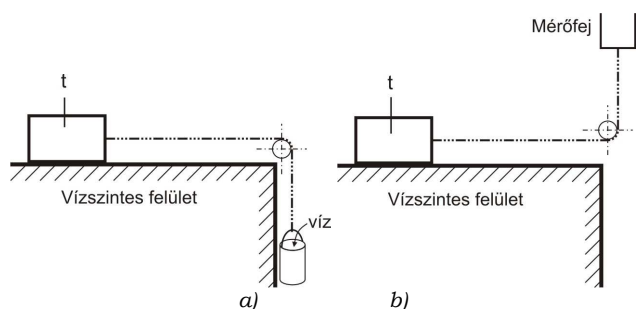
ahol

$\mu_{ny}$  – nyugalmi súrlódási tényező, arányossági együttható [-]

$\alpha$  – a lejtő hajlásszöge

### 1.1.4. Vízszintes síklapú mérőberendezés textilvizsgálathoz

A mérés elvi elrendezése az 6. ábrán látható. A vizsgálandó textilanyagot a vízszintes felületre vagy „t” testre rögzítik. Mindig a berendezés kialakítása határozza meg a rögzítés módját.



6. ábra. Vizsgálati elrendezés vízszintes lapon [5]

**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 (pl. szakító-gép mérőfejéhez) van rögzítve, a mérőfej elmozdulása-kor 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 síkfelületen mérő módszereknél figyelembe kell venni a textiliák hajlékonyságát és gyűrődési hajlamát, illetve azt, 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 is.

A nyugalmi súrlódási tényező ( $\mu_{ny}$ ):

$$\mu_{ny} = \frac{F_s}{F_N}$$

ahol

$F_s$  – a súrlódó erő [N]

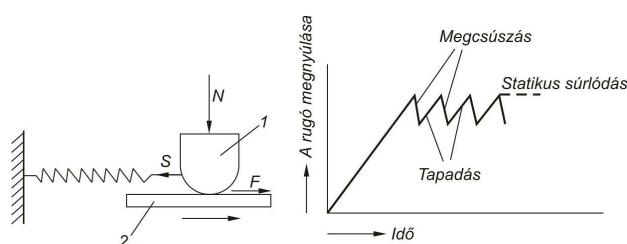
$F_N$  – normál erő, az egymáson elcsúszó felületekre merőleges erő és azokat összeszorító erő [N]

$\mu_{ny}$  – a súrlódási tényező, arányossági együttható [-]

#### 1.1.5. Vízszintes síklapú rugós mérőberendezés textil- és szálköteg vizsgálatához

A 7. ábrán látható elvi vázlatot 1939-ben fejlesztette ki Bowden és Leben.

**A berendezés működése:** az „1” számkó „N” terheléssel nyomja a „2” lapot. A lap a nyíl irányába állandó sebességgel mozog. A készüléken a „2” lapra rögzített textília vagy szálköteg súrlódási tényezője vizsgálható szilárd felülettel szemben. A számkó és a lap között keletkező súrlódó erő addig húzza a számkót, amíg a számkóhoz kötött rugóban ébredő „S” erő éppen egyensúlyba jut a súrlódó erővel. A keletkező súrlódó erőből kiszámítható a nyugalmi súrlódási tényező. A

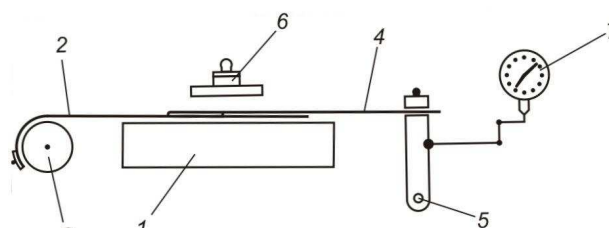


7. ábra Bowden–Leben-féle textilanyag és szálköteg súrlódás mérő készülék elve és diagramja [2]  
1 – számkó; 2 – lap. N – terhelés

kísérlet során a számkó egy bizonyos ponton, amikor a nyugalmi súrlódó erőt a rugóban ébredő feszültséget legyőzi, megcsúszik, és gyorsulva visszafelé mozog, majd lelassul, és végül megáll. [1] [2]

**Az elrendezés és az eljárás hátránya:** csak a nyugalmi súrlódási tényező meghatározására alkalmas. A síkfelületen mérő módszereknél figyelembe kell venni a textiliák hajlékonyságát és azt, hogy deformálódnak, hogy ha egy „nehezebb” tárgy siklik végig felületükön, ekkor egy úgynevezett anyagtorlasz alakulhat ki a mozgó test előtt. Ez az anyagtorlasz hatással lehet a mérési eredmények pontosságára.

#### 1.1.6. Dreby-féle készülék textilvizsgálathoz



8. ábra. Dreby-féle kelmésúrlódás mérő készülék [2]  
1 – asztalka, 2 – próbadarab, 3 – rögzítő henger, 4 – próbadarab, 5 – torziós rugó, 6 – súly, 7 – skála

A 8. 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.

**Az elrendezés és az eljárás hátránya:** csak lap-szerű textiliák egymás közötti súrlódásának meghatározására alkalmas. Az alsó mozgó próbadarabon szintén kialakulhat anyagtorlasz (gyűrődés), amely hatással lehet a mérési eredmények pontosságára.

A mért súrlódó felszín (8. ábra 4-es részlet) mindig ugyanaz, mert nem mozdul el. Ezzel szemben a 2-es számú próbadarabnak mindig „új” része súrlódik.

#### 1.2. Fonal súrlódása hengeres felületen az Euler elv alapján

Fischer (1966) és Dowson (1998) szerint a fonalak, textiliák és más flexibilis alapanyagok (pl. fóliák) esetén jól

alkalmazható megoldás a súrlódó erő, illetve a súrlódási tényező hengeres felületen történő vizsgálata. A 9. ábrán egy hengeres súrlódó test és egy rajta átvett fonal látható.

A súrlódó erő a súrlódó test utáni és előtti húzóerő különbsége:

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

ahol

$F_s$  – súrlódó erő [N]

$F_1$  – súrlódó test utáni erő – húzóerő [N]

$F_0$  – súrlódó test előtti erő [N]

$\alpha$  – körülfogási szög

$\mu$  – súrlódási tényező, arányossági együttható [-]

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

A mérés elvi elrendezése a 10. ábrán látható.

**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:** 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 fonalrészlet dörzsöli, így a súrlódási tényező az időben változik.

Ugyan ezen az elven működik a Szuj Li-Szony-féle készülék amely a 11. 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.

**A berendezés működése:** egy hengeres próbatestre egymással párhuzamosan fonaldarabokat kell rögzíteni, ezeken átvetik a vizsgált fonaldarabot a 11. ábra elrendezésének megfelelően. A súrlódó test elforgatása-

kor ébredő erő mérhető. A forgás következtében az „1” és „2” fonalak között a súrlódás megváltozik, ami 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 fonalvéghöz 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. A mérés közben a vizsgált próbatestnek mindig ugyanaz az a része súrlódik, ezért a súrlódási tényező az időben változik.

### 1.2.2. Álló fonalat és forgó súrlódó testet alkalmazó mérés állandó körülfogási szög és állandó eredő erő mellett

A mérés elvi elrendezése a 12. ábrán látható. A két állandó értékű paraméter: a két fonalágban ébredő erők vektori összege, és az a szög, amely alatt a fonal a súrlódó testet körülfogja.

**A berendezés működése:** a tárcsán átvett fonal két végére egy közös súlyt kell helyezni, majd a tárcsát megforgatják. A fonalvégek közös pontja „M” a forgatáskor keletkező súrlódó erő hatására a függőlegesből kitér „x” értékkel, ebből a kitérésből kiszámítható a súrlódási tényező.

$$\frac{P_2}{P_1} = e^{\mu\alpha}$$

ahol

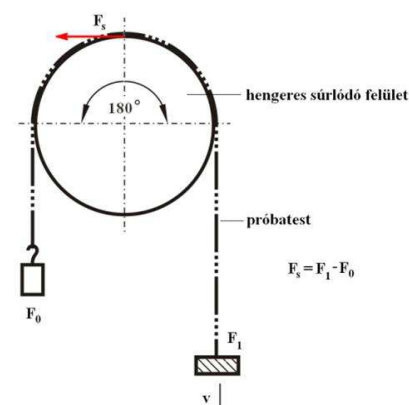
$P_1$  – lefelé haladó fonalágban ébredő húzóerő [N]

$P_2$  – a felfelé mozgó fonalágban ébredő húzóerő [N]

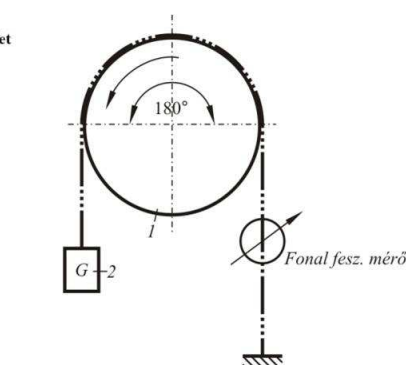
$\mu_{ny}$  – nyugalmi súrlódási tényező [-]

$\alpha$  – körülfogási szög

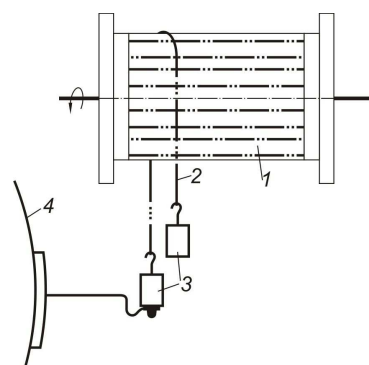
A szinusz-tétel alapján a  $P_2$  és  $P_1$  hányados felírható:



9. ábra. Hengeres súrlódó test a rajta átvett mintával



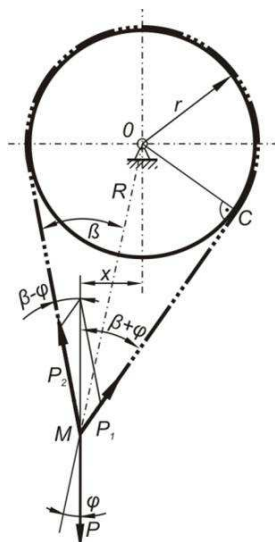
10. ábra. Mérés elvi elrendezése  
1 – hengeres próbatest; 2 – súly



11. ábra. Két fonal közötti súrlódási tényező meghatározására alkalmas berendezés

1 – hengeres próbatest az alkotókkal párhuzamosan rögzített fonaldarabokkal,  
2 – a terhelte fonal, súrlódó test,  
3 – terhelő erő, 4 – torziós mérleg





12. ábra. Elvi elrendezés.  
 $P_1$  és  $P_2$  – a fonalágakban ébredő erők,  
 $X$  – függőlegestől való kitérés

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{\sin(\beta + \varphi)}{\sin(\beta - \varphi)}$$

A képletek összevonása után:

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{\sin(\beta + \varphi)}{\sin(\beta - \varphi)} = e^{\mu\alpha}$$

Az egyenlet  $\mu$ -re rendezve:

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

Az MOC  $\Delta$ -ból:

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

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

Behelyettesítés után:

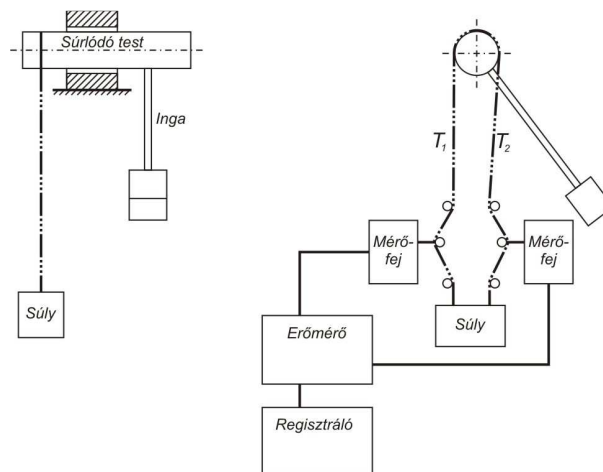
$$\mu = \frac{1}{\alpha} \ln \frac{r + x}{r - x}$$

**Az elrendezés és az eljárás hátránya:** 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 fonalrészletet dörzsöli, így a súrlódási tényező az időben, változik.

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

A mérés elvi elrendezése a 13. ábrán látható. A súrlódó testen keresztülvetik a vizsgálandó fonalat és annak két végét egy közös súllyal terhelik.

**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 keletke-



13. ábra A mérőberendezés elvi vázlata  
 a) oldalnézet, b) előnézet

zik. 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.

$$\text{Ekkor fennáll az } \frac{F_1}{F_2} = e^{\mu\alpha} \text{ egyenlőség.}$$

ahol

$F_1$  – fonalágban ébredő húzóerő [N]

$F_2$  – fonalágban ébredő húzóerő [N]

$\mu$  – súrlódási tényező [-]

$\alpha$  – körülfogási szög (ez esetben  $\alpha = \pi$  rad)

A csúszó súrlódási tényező kisebb a tapadó súrlódási tényezőnél,  $F_1$  erő értéke a megcsúszás pillanatában  $F_1=F_2e^{\mu\alpha}$  értékre esik vissza.

**Az elrendezés és az eljárás hátránya,** hogy álló fonal és mozgó súrlódó test között méri a súrlódási tényezőt továbbá a súrlódó test mindig ugyanazt a fonalrészletet dörzsöli, így a súrlódási tényező az időben, változik. A mérés időtartama az inga mozgási idejétől függ.

### 1.2.4. Futó fonalat és álló súrlódó testet alkalmazó mérés állandó körülfogási szög és állandó húzóerő mellett

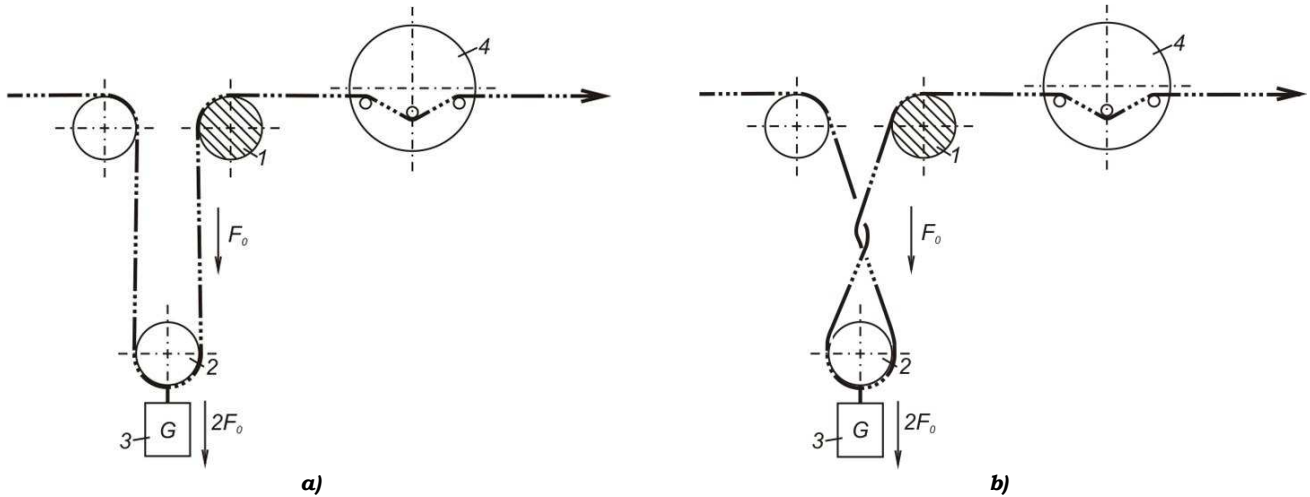
Ezzel az eljárással már üzemi viszonyok között vizsgálható a súrlódás, ill. a súrlódási tényező. Az állandó értéken tartott paraméterek: a fonalágakban ébredő húzóerő, és a körülfogási szög.

A fonalágban ébredő erő állandó értéken tartható

- súlyterheléssel,
- szabályozó fékkel,
- kúpos adagoló hengerrel.

A mérés elvi elrendezése a 14. ábrán látható.

**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



14. 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

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 alapjáig, vagy felemelkedik a súrlódó testig, és nem tudja biztosítani a mérőrendszerbe bemenő fonalágban ébredő állandó húzóerőt.

#### 1.2.5. „Fonal-fonal” súrlódást is mérő, négygörgős mérési eljárás futó fonalagnál

A mérés elvi elrendezése a 15. és 16. ábrán látható. A műszer olyan kialakítású, hogy alkalmas fonal súrlódási 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.

Az erőmérő az erők (\$T\_1\$ és \$T\_0\$) különbségét (\$\Delta T\$) adja meg.

$$\ln \frac{T_1}{T_0} = \mu \alpha$$

ahol

\$T\_0\$ – előterhelés [N]

\$T\_1\$ – fonalágban ébredő húzóerő [N]

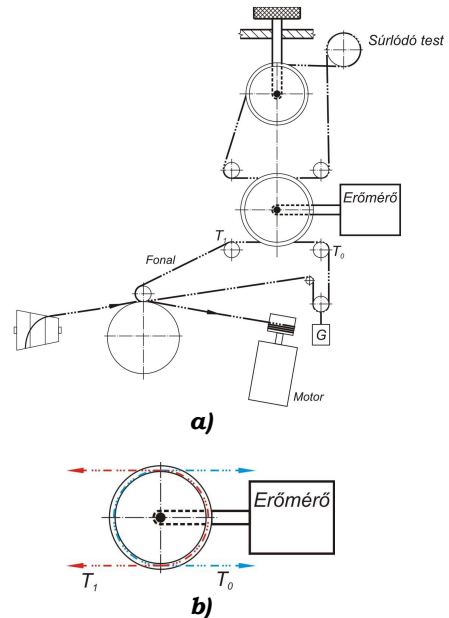
\$\mu\$ – súrlódási tényező [-]

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

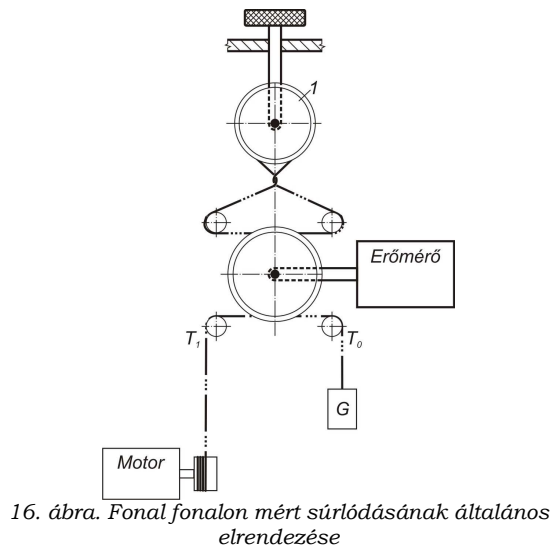
$$\ln \frac{\Delta T + T_0}{T_0} = \mu \alpha$$

$$\mu = \frac{\ln \frac{\Delta T + T_0}{T_0}}{\alpha}$$

**Az elrendezés és az eljárás hátránya:** csak fonalak vizsgálatára alkalmas, a befűzése bonyolult. Nagyon sok vezetőelem található a szerkezetben, ezeknek a vezetőelemeknek nem lehet súrlódása a pontos mérés érdekében.



15. ábra. Ellentétes fonalág kapcsolású mérés  
a.) általános elrendezés, b.) az erőmérő kinagyított részlete



16. ábra. Fonal fonalon mért súrlódásának általános elrendezése

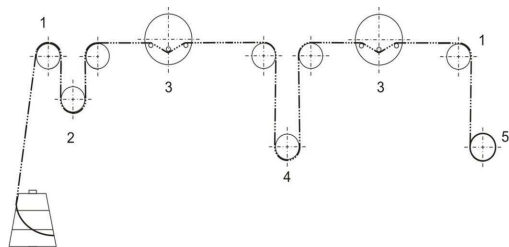
### 1.2.6. Nyomatékkiegyenlítéses és mérőrugós súrlódó erő meghatározási módszerek

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

A nyomatékkiegyenlítés megvalósítható két erőmérő segítségével is. Ennél az eljárásnál a mozgó fonal egy mérőtűskét ölel át, és egy elektromos erőmérővel méri a tűske előtti, illetve utáni fonalágban ébredő erőt. A mérőműszer kimenő ágán olyan elektromos értékeket kapunk, melyek arányosak a húzóerővel. A legkorszerűbb megoldásoknál a két elektromos jelet egy számláló azonnal feldolgozza és kiértékeli. A mérés elvi elrendezése a 17. ábrán látható. Ezt az elrendezést használja az ASTM D 3108-07 szabvány is. [4]

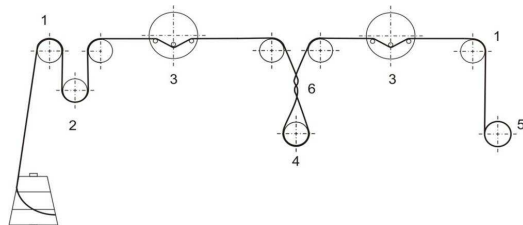
Hasonló elven működik az ASTM D 3412-07 szabvány elvi vázlatán látható elrendezés (18. ábra). Az egymásba hurkolódó fonalágak egymáson súrlódnak és a feszültségmérők segítségével meghatározható a súrlódási tényező értéke.

A nyomatékkiegyenlítés megvalósítható mérőrugókkal is. Ennek a megoldásnak az elvi elrendezése a 19. ábrán látható.



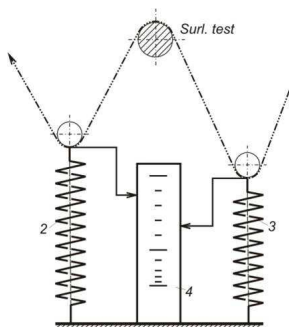
17. ábra. Nyomatékkiegyenlítéses mérés elvi vázlat (ASTM D 3108-07)

1 vezető henger; 2 bemeneti feszültség állító; 3 fonalfeszültség-mérők; 4 súrlódó „tűske”; 5 fonal



18. ábra. Fonal fonalon történő súrlódásmérő készülék elvi vázlat (ASTM D 3412-07)

1 vezető henger; 2 bemeneti feszültség állító; 3 fonalfeszültség-mérők; 4 súrlódó „tűske”; 5 fonal  
6 fonalhurok



19. ábra. Mérőrugós mérési eljárás elvi vázlat  
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 logaritmus szerepel  $\alpha$ -val osztva, így a két rugó megnyúlásának különbsége megadja a súrlódási tényezőt.

### 1.2.7. Buckle–Pollitt-féle fonalsúrlódás mérő készülék két paraméter állandó értéken tartásával

Buckle és Pollitt által szerkesztett készülék segítségével közvetlenül mérhető a fonalak súrlódási tényezője, a szerkezet vázlata a 20. ábrán látható.

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 „T<sub>0</sub>” és „T<sub>1</sub>” erő fejt ki nyomatékot. [6]

Az Egyensúlyi egyenlet:

$$T_0 \cdot L_0 = T_1 \cdot L_1$$

ahol

$L_0$  – a fonalirányú  $T_0$  erő O-tengelytől mért merőleges távolság [mm]

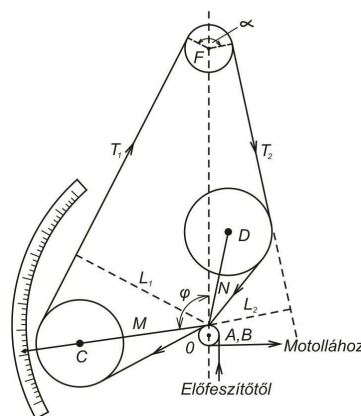
$L_1$  – a fonalirányú  $T_1$  erő O-tengelytől mért merőleges távolság [mm]

$$\frac{T_1}{T_0} = \frac{L_0}{L_1} = e^{\mu\alpha}$$

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 „T<sub>0</sub>” és „T<sub>1</sub>” erőkből a statikus, egyenletes forgatás esetén mért erőkből pedig a kinetikus súrlódási tényező számítható ki. [4]

Az összegyűjtött vizsgálati módszerek rendszerezése és elemzése során külön vizsgáltuk a Coulomb-törvény alapján, síkfelületen mérő berendezéseket és az Euler-törvény alapján hengeres vizsgáló felülettel rendelkező műszereket.

A II. táblázat tartalmazza a Coulomb-képlet alapján működő vizsgálóberendezéseket, megjelöltük, hogy melyik technikai megoldással milyen textilszerkezet vizsgálatára van lehetőség illetve, hogy melyik súrlódási



20. ábra. Buckle – Pollitt-féle fonalsúrlódásmérő készülék [2], 1968).

tényező meghatározására van mód.

A vizsgálható textilszerkezetek között megkülönböztettünk egydimenziós termékeket: elemi szálat, filamenteket (mono- és multifilamenteket), fonalakat és kétdimenziós termékeket: textilanyagokat, hajlékony csomagolóanyagokat.

A II. táblázat tartalmazza az Euler-képlet alapján működő vizsgálóberendezéseket, itt is jelöltük, hogy melyik technikai megoldással milyen textilszerkezet vizsgálatára van lehetőség, illetve, hogy melyik sűrűdési

si tényező meghatározására van mód.

A III. táblázatban a Coulomb-képlet alapján működő mérőműszerek találhatók, jelöltük, hogy melyik eljárással, milyen felületen van lehetőség sűrűdési tényező meghatározására.

A IV. táblázatban rendszereztük az Euler-képlet alapján működő mérőeszközöket és jelöltük, hogy melyik eljárással, milyen felületen van lehetőség sűrűdési tényező meghatározására.

II. táblázat. A Coulomb-elv alapján működő – síkfelületen mérő berendezések csoportosítása a vizsgálható alapanyag alapján

A Coulomb-elv alapján – sík felületen	egydimenziós termékek				kétdimenziós termékek					
	elemiszál, monofilament		multifilament		fonal		textilanyag		csomagoló- anyagok (papír, hullámkarton lemez, műanyag fólia ...stb.)	
	$\mu_{ny}$	$\mu_m$	$\mu_{ny}$	$\mu_m$	$\mu_{ny}$	$\mu_m$	$\mu_{ny}$	$\mu_m$	$\mu_{ny}$	$\mu_m$
kidolgozott mérési eljárások										
1.1.1. Guthrie és Oliver féle készülék és módszer	✓	✓								
1.1.2. Állítható lejtésszögű mérőberendezés fonálvizsgálat-hoz			✓		✓					
1.1.3. Állítható lejtésszögű mérőberendezés textilvizsgálat-hoz							✓			
1.1.4. Vízszintes síklapú mérő berendezés textilvizsgálat-hoz							a.) és b.) eset ✓	b.) esetben ✓		
1.1.5. Vízszintes síklapú rugós mérő berendezés textilvizsgálat-hoz (Bowden – Leben-féle készülék)					✓		✓			
1.1.6. Dreby-féle készülék textilvizsgálat-hoz							✓	✓		

III. táblázat. Az Euler-elv alapján működő – hengeres felületen mérő berendezések csoportosítása a vizsgálható alapanyag alapján

Az Euler-elv alapján – hengeres felületen	egydimenziós termékek				kétdimenziós termékek					
	elemiszál, monofilament		multifilament		fonal		textilanyag		csomagoló- anyagok (papír, hullámkarton lemez, műanyag fólia ...stb.)	
	$\mu_{ny}$	$\mu_m$	$\mu_{ny}$	$\mu_m$	$\mu_{ny}$	$\mu_m$	$\mu_{ny}$	$\mu_m$	$\mu_{ny}$	$\mu_m$
kidolgozott mérési eljárások										
1.2.1. Álló fonalat és forgó sűrűlődo testet alkalmazó mérés állandó körülfogási szög és állandó előterhelés mellett (Szuj Li-Szonyi féle készülék)			✓	✓	✓	✓				
1.2.2. Álló fonalat és forgó sűrűlődo testet alkalmazó mérés állandó, körülfogási szög és állandó eredő erő mellett			✓	✓	✓	✓				
1.2.3. Álló fonalat és lengő sűrűlődo testet alkalmazó mérés, állandó körülfogási szög és állandó eredő erő mellett			✓	✓	✓	✓				
1.2.3. Futó fonalat és álló sűrűlődo testet alkalmazó mérés, állandó körülfogási szög és állandó húzóerő mellett			✓	✓	✓	✓				
1.2.4. „Fonál-fonál” sűrűlődást is mérő, négygörgős mérési eljárás, futó fonalaknál			✓	✓	✓	✓				
1.2.5. Nyomatékkiegyenlítéses és mérőrugós sűrűlődo erő meghatározási módszerek			✓	✓	✓	✓				
1.2.6. Buckle–Pollitt-féle fonalsűrűlődo mérő készülék két paraméter állandó értéken tartásával			✓	✓	✓	✓				



IV. táblázat. A Coulomb-elv alapján működő – síkfelületen mérő berendezések csoportosítása a súrlódó felület alapján

A Coulomb-elv alapján – síkfelületen	elemiszál, monofilament	multifilament	fonal	textilanyag	súrlódó test - adott alap- anyagú	súrlódó test – cserélhető, bevonható
kidolgozott mérési eljárások						
1.1.1. Guthrie és Oliver féle készülék és módszer	✓					
1.1.2. Állítható lejtésszögű mérőberendezés fonálvizsgálathoz					✓	
1.1.3. Állítható lejtésszögű mérőberendezés textilvizsgálathoz				✓	✓	
1.1.4. Vízszintes síklapú mérőberendezés textilvizsgálathoz				✓	✓	
1.1.5. Vízszintes síklapú rugós mérő berendezés textilvizsgálathoz (Bowden – Leben-féle készülék)					✓	
1.1.6. Dreby-féle készülék textilvizsgálathoz				✓		

V. táblázat. Az Euler-elv alapján működő – hengeres felületen mérő berendezések csoportosítása a súrlódó felület alapján

Az Euler-elv alapján – hengeres felületen	elemiszál, monofilament	multifilament	fonal	textilanyag	súrlódó test - adott alap- anyagú	súrlódó test – cserélhető, bevonható
kidolgozott mérési eljárások						
1.2.1. Álló fonalat és forgó súrlódó testet alkalmazó mérés állandó körülíró szög és állandó előterhelés mellett (Szuj Li-Szonyi féle készülék)	✓	✓	✓		✓	
1.2.2. Álló fonalat és forgó súrlódó testet alkalmazó mérés állandó, körülíró szög és állandó eredő erő mellett					✓	
1.2.3. Álló fonalat és lengő súrlódó testet alkalmazó mérés, állandó körülíró szög és állandó eredő erő mellett					✓	
1.2.3. Futó fonalat és álló súrlódó testet alkalmazó mérés, állandó körülíró szög és állandó húzóerő mellett					✓	
1.2.4. „Fonal-fonal” súrlódást is mérő, négygörgős mérési eljárás, futó fonalaknál			✓		✓	✓
1.2.5. Nyomatékiegyenlítő és mérőrugós súrlódó erő meghatározási módszerek			✓		✓	
1.2.6. Buckle–Pollitt-féle fonalsúrlódásmérő készülék két paraméter állandó értéken tartásával					✓	✓

Összességében megállapítható, hogy a kialakított mérési eljárások többsége a 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 textilanyagok esetében a feldolgozás (pl. szövés vagy kötés, különféle kikészítő eljárások, színezés, kalanderezés stb.) során hengereken vezetnek a kelméket;
- a textíliák a felhasználás közben szabad illetve kényszer-deformációnak vannak kitéve. A kényszer-deformáció alatt általában nem síklapra, hanem valamilyen, a sík felülethez eltérő formára „feszülnek” rá (pl. elasztikus ruhadarabok, hevederek). Ponyvaszerkezetek és sátrak esetében nincs úgynevezett, a formát adó kényszerítő felület, ahogyan a súrlódásuk sem jelentős.[3]

A hajlékony csomagolóanyagokat is általában hengereken vezetnek. Elegendő a papír- és fóliagyártó gépsorokra vagy nyomtató berendezésekre gondolni.

#### Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Bowden, F.P. - Leben, L. (1938): The nature of sliding and the analysis of friction, Nature 141 691
- [2] Gyimesi, J. (1968): Textilanyagok fizikai vizsgálata. Műszaki könyvkiadó
- [3] Halász Marianna 2008 OTKA beszámoló - [http://www.otka.hu/index.php?akt\\_menu=3803](http://www.otka.hu/index.php?akt_menu=3803)
- [4] Howell, H.G. – Mieszkics, K.W. – Tabor, D. (1959): Friction in Textiles. London, The Textile Institute-Butterworths. pp. 196-198.
- [5] Hudson, A. - Nelson, R. (2005): Útban a modern fizikához ISBN 9789635771974 INOK KFT
- [6] 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