TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta textilní

Studijní program: Textil
Studijní obor: TŘOV

Vztah mezi strukturou povrchu plošné textilie (vazbou) a koeficientem tření

Relationship Between the Surface Structure of Textiles And the Frictional Coefficient

Bakalářská práce
Č. p. 200

Autor: **Leoš Jirásek**
Vedoucí BP práce: Ing. Lea Fárská
Konzultant:

Počet stran : **60**
Počet příloh : **2**
Počet obrázků : **40**
Počet grfů : **12**
Počet tabulek : **5**

V Liberci 12. 5. 2006

Poděkování

Touto cestou bych chtěl poděkovat především vedoucímu bakalářské práce Ing. Lee Farské za odborné vedení, trpělivost a pomoc při zpracování této bakalářské práce. Samozřejmě mé díky patří také celé mé rodině za všestrannou podporu při mém vysokoškolském studiu.

Anotace

Tématem bakalářské práce je „Vztah mezi strukturou povrchu plošné textilie (vazbou) a koeficientem tření“

V obecné části je seznámení s pojmem tření, historií jeho měření, anizotropií a stick and slip efektem. Tato práce vysvětluje vznik tření, jeho důležitost v textilním průmyslu a rozdělení metod měření podle druhu tření u plošných textilií. Dále popisuje jednotlivé metody a přístroje k měření koeficientu tření.

V experimentální části je realizace měření koeficientu tření u deseti druhů tkanin v závislosti na úhlu pootočení.

V závěru je uvedeno shrnutí a zhodnocení výsledků měření.

Anotation

A subjekt of this diploma is „Relationship Between the Surface Structure of Textiles And the Frictional Coefficient“

In the universal part we acquaint with notions of friction and history of its measurement, anizotropy and stick and slip effect. This work gives information about beginings of friction its usefulness in the field of textile industry and fission method meassurment by kind friction in surface textile. As next it describes individual methods to meassurment friction’s coefficient.

In the experimental part is realization of a measurment of friction’s coefficient of teen kinds fabrice in dependencies on Angles rotation.

At the end there is a summary and appreciation of the results of a measurment.

Klíčová slova – Keywords

Koeficient tření - Friction coefficient

Stick and slip efekt - Stick and slip effect

Metody měření - Methods of Measurement

Anizotropie – Anizotropy

Třecí síla - Friction force

Tribometr-Tribometer

Obsah

1.Teoretická část 10
1.1 Tření 10
1.2 Tření v textiliích 10
1.3 Teorie tření 10
1.3.1 Rozdělení tření 13
1.3.1.1 Tření vlečné (kluzné, smykové) 13
1.3.1.2 Tření valivé 17
1.3.1.3 Tření opásáním 19
1.3.2 Koeficient tření 20
1.4. Metody měření tření textilních materiálů 21
1.4.1 Dvě stýkající se roviny pohybující se vůči sobě posuvným pohybem 22
1.4.1.1 Metoda nakloněné roviny 22
1.4.2 Dvě stýkající se roviny, z nichž jedna klouže po rotující rovině 24
1.4.3. Rovina klouže proti směru rotujícího válce (válců) 25
1.4.4 Rovina ve tvaru pásu obepínající rotující válcovou plochu 25
1.5 Přístroje ke stanovování koeficientu tření 26
1.5.1 Tahový tribometr 26
1.5.2 Sklonný tribometr 27
1.5.3 Tribometr HEF 28
1.6 Součinitel tření délkových textilií 29
1.7.Pojem anizotropie (různosměrovost) a její interpretace 30
1.7.1 Anizotropie součinitele tření tkanin 31
1.8 Stick and slip efekt 31
2. Praktická část 33
2.1 Použité zkušební materiály 33
2.1.1 Rozbor vzorků materiálů 33
2.2 Určení součinitele tření 43
2.2.1. Příprava vzorků k měření 43
2.2.2 Měřící zařízení KES AB – FB – 4 (Povrchové charakteristiky) 43
2.2.3. Princip měření 44
2.2.4. Schematické znázornění mechanismu na měření koeficientu tření a střední odchylky koeficientu tření (obr.38) 45
2.2.5 Snímač pro měření koeficientu tření a odchylky koeficientu tření 46
2.2.6 Grafické znázornění koeficientu tření 46
2.2.7 Zpracování dat 47
2.3. Výsledky měření 47
2.3.1. Určení anizotropie koeficientu tření 53
3. Závěr 56

Seznam použitých zkratek a symbolů:

f ,μ	*[1]*	koeficient tření
F_t, T	*[N]*	třecí síla
F_n, N	*[N]*	normálová síla, kolmá tlaková síla
f_s	*[1]*	statický koeficient tření
f_k	*[1]*	dynamický koeficient tření
S	*[m^2]*	skutečná styčná plocha
A_i	*[m^2]*	mikroskopické dotykové plošky
$\overline{\delta}$	*[Pa]*	střední napětí v tlaku
$\overline{\tau}$	*[Pa]*	střední tečné napětí
m	*[kg]*	hmotnost
F	*[N]*	tažná síla
G	*[N]*	gravitační síla
ξ	*[m]*	rameno valivého odporu
r	*[m]*	poloměr průřezu tělesa
F_0	*[N]*	napínací síla před tělesem
f_a	*[1]*	součinitel tření opásáním
α	*[rad]*	úhel opásání
α_0	*[rad]*	úhel nakloněné roviny
F_s	*[N]*	statický třecí odpor
F_k	*[N]*	kinetický třecí odpor
Δ_s	*[m]*	změna polohy
A_m	*[N]*	amplituda funkce
r_0	*[m]*	vlnová délka, rozteč jednotlivých skoků
S	*[$N*m^{-1}$]*	tuhost pružiny
η	*[Pa*s]*	dynamická viskozita
R	*[N]*	reakce podpory
E	*[Pa]*	modul pružnosti v tahu
M	*[N*m]*	moment síly
M_v	*[N*m]*	moment valivého tření
P	*[N]*	standardní zatížení snímače
L_{max}	*[mm]*	posuv po povrchu vzorku
V_{max}	*[-]*	maximální hodnota vlastnosti
V_{min}	*[-]*	minimální hodnota vlastnosti
S_A	*[-]*	stupeň anizotropie
MIU	*[-]*	koeficient tření
MMD	*[-]*	střední odchylka koeficientu tření

Úvod

Součinitel tření je důležitou i když zanedbávanou charakteristikou jak délkových tak i plošných textilií a je významnou povrchovou charakteristikou látek, která se projevuje při využívání délkových textilií při tkaní, pletení, šití, u plošných při nošení a při technickém použití.

O tření je velký zájem ve strojírenských oborech, kde se tření uplatňuje jak pasivně a parazitně při vzájemném tření pohybujících se povrchů v dotyku a ztrátami energie (zadření motorových pístů), tak i aktivně a konstruktivně, kde vznik vysokých teplot při tření umožňuje naopak využívat tření na svařování třením. Zákony tření byly nejprve formulovány pro pevné (tuhé) látky. Hlavní zákony tření formulovali Amonton, Coulomb, Euler a další.

Podle způsobu tření rozeznáváme tření vlečné, valivé a opásáním.V textilních úlohách se nejvíce uplatňují tření vlečné a opásáním, mnohem méně tření valivé. Pro určování součinitele tření textilií bude třeba zobecňovat zákony platné pro tuhé (pevné) látky, neboť textilie se chovají při tření méně předvídatelněji než např. kovy. Obecně je součinitel tření materiálovou veličinou. Je však možné očekávat složitou závislost na chování povrchů, jejich nestálosti, nestejnoměrnosti a směrovosti a i silnější závislost součinitele tření textilií na vnějších podmínkách jako je přítlak, plocha, rychlost pohybu, teplota, morfologie povrchů a pod. Pro textilní materiály je však třeba zkoumat vliv nejrůznějších činidel na povrch textilie jako jsou různé avivážní, šlichtovací a zušlechťovací prostředky. V textilních materiálech pak přistupují vlivy struktury vazeb tkanin, pletenin a struktury rounin. Jde tedy o velmi složitý a komplexní význam, mají-li se poznat zákonitosti tření textilií.

Cílem práce bylo měření součinitele tření tkanin o různých vazbách a zkoumání anizotropie součinitele tření. Anizotropie jako vlastnost vypovídající o směroné závislosti je vlastnost přispívající k odhalení souvislosti mezi strukturou a vlastnostmi.

1.Teoretická část

1.1 Tření

Tření je přírodní jev, který má charakter procesu a jako takový se váže na vzájemný relativní pohyb dvou dotýkajících se prvků. Vzniká při posouvání resp. valení tělesa po podložce.

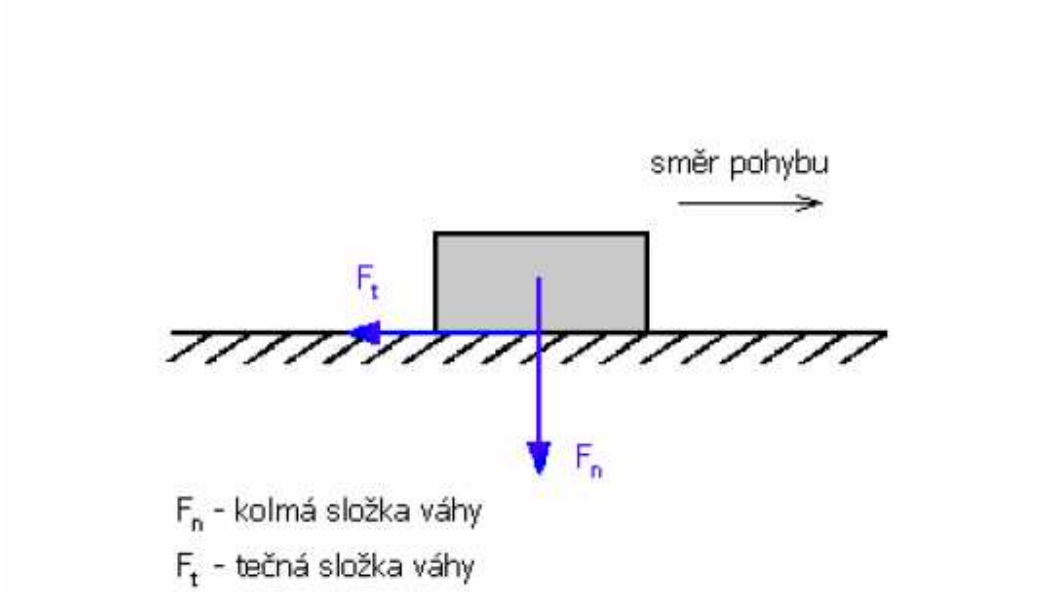
1.2 Tření v textiliích

Součinitel tření je důležitou charakteristikou jak délkových, tak i plošných textilií. U délkových hraje důležitou roli při vytváření plošných textilií, při technologických operacích a při technologickém zpracování nití. U plošných textilií pak vytváří pocit komfortu při jejich nošení a ovlivňuje spotřebitelskou životnost výrobků, jelikož způsobuje takové efekty, jako je plstnatění, oděr, otěr apod., což samozřejmě snižuje kvalitu výrobků a ovlivňuje také výrobu textilií.[1]

1.3 Teorie tření

Pohybují - li se po sobě dvě reálná tělesa, která jsou k sobě přitlačována silou , dochází na styčné ploše tělesa a podložky ke vzájemnému silovému působení a ke vzniku síly, která brzdí pohyb. Říkáme jí síla tření.[3]

Tento jev je charakterizován vznikem síly působící v tečné rovině dotyku proti vzájemnému pohybu obou těles (síla tření , třecí síla, třecí odpor). Fyzikální podstata vzniku síly tření může být různá podle podmínek, za nichž k pohybu těles dochází[3]. Třecí síla závisí na druhu ploch a jejich jakosti. Je - li vzájemný pohyb posuvný, hovoříme o smykovém (kluzném) tření.



Obrázek 1: Makroskopické zákony tření

Zkušenost potvrzuje platnost základních makroskopických zákonů smykového (kluzného) tření.

Makroskopické zákony: .

1) Síla tření je přímo úměrná působícímu zatížení (obr.1)

$$T = \mu . N \qquad (1)$$

Pokud tedy zvětšujeme n-krát tlakovou sílu N [N] přidáváním zátěže na těleso, je třecí síla T [N] n-krát větší.

2) Síla tření nezávisí na makroskopické (zdánlivé) ploše dotyku klouzajících těles.

3) Síla tření T_0 nutná k uvedení tělesa do pohybu ze stavu klidu, je větší než síla T nutná k udržení relativního rovnoměrného pohybu.[3]

$$T_0 > T \quad (2)$$

$$\mu_0 > \mu \quad (3)$$

$$T_0 = \mu_0 N \quad (4)$$

Konstantu μ_0 [-] nazýváme koeficient (součinitel) smykového tření za klidu (statický koeficient, součinitel tření).
Konstantu μ [-] nazýváme koeficient (součinitel) smykového tření za pohybu (dynamický koeficient, součinitel tření).[3]

Aby dvě tuhá tělesa s dokonale hladkým povrchem byla při dotyku vzájemně k sobě v klidu, musí síly, jimiž na sebe působí, být kolmé ke společné rovině. Takové síly se tuhostí těles navzájem ruší a nezbývá žádná složka, jež by mohla způsobit relativní pohyb obou těles. Ze zkušenosti je známo, že u skutečných těles tomu tak být nemusí a reakce mohou mít do jisté míry směr odchýlený od kolmice k tečné rovině, aniž se tělesa vzájemně posouvají. Pokud se takové šikmé reakce rozloží do složek kolmých ke společné tečné rovině a do složek ležících v tečné rovině, znamená to, že se ruší nejen kolmé složky, ale i složky tečné. Tečné složky, které brání nebo omezují vzájemný pohyb těles, nazýváme, jak bylo již uvedeno, silami tření.[4]

Na třecí síle se podílejí jednak síly adhezní F_A, ale i konstituční F_K a síly deformační F_D. U textilií, které vykazují chlupatost, přistupují ještě síly stérických zábran F_S. Obecně tedy pro celkovou třecí sílu platí vztah:

$$F = F_A + F_K + F_D + F_S \quad (5)$$

Adhezní síly jsou síly molekulové, konstituční síly jsou tvořeny bariérami profilů nerovnosti povrchů, deformační síly vznikají deformací povrchů a síly stérických zábran jsou způsobeny propletením vyvstávajících vláken a jejich pevností. U textilií se uplatňují všechny typy sil.[5,1]

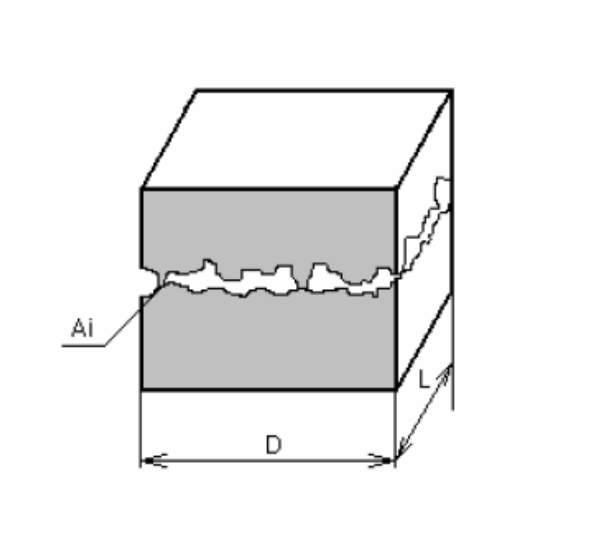
1.3.1 Rozdělení tření

Podle způsobu tření rozdělujeme tření na :

- tření vlečné (popř. kluzné, smykové)
- tření valivé
- tření opásáním

1.3.1.1 Tření vlečné (kluzné, smykové)

Názory na podstatu kluzného tření prošly složitým vývojem. Snahou teoretických přístupů bylo zejména vysvětlení základních makroskopických zákonů kluzného tření a vliv povrchů třených materiálů.



Obrázek 2: Mikroskopické dotykové plochy

Základním poznatkem teorie tření je, že dotyk reálných těles se neuskutečňuje v celé makroskopicky pozorovatelné ploše dotyku, nýbrž jen v řadě mikroskopických dotykových plošek A_i vznikajících v místech styku výčnělků podle obrázku 2. Tyto mikroskopické plošky vytvářejí skutečnou plochu dotyku, která je mnohem menší než zdánlivá dotyková plocha.[3]

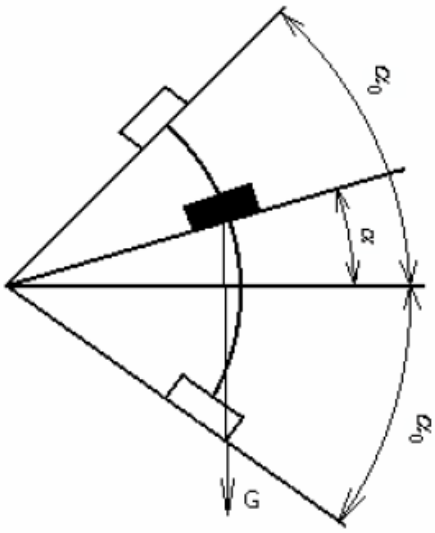
Při dotyku čistých kovových povrchů se nerovnosti plasticky deformují do té míry, až vzniká skutečná styčná plocha (tj. součet všech mikroskopických dotykových plošek, na nichž se tělesa dotýkají), která je schopna unést kolmou tlakovou sílu předpokládá, že střední napětí v tlaku δ [Pa, kg/ms^2] na skutečné styčné ploše S je stálé a velikost středního tečného napětí τ [Pa, kg/ms] potřebného k usmyknutí spojů závisí na velikosti adheze v celé styčné ploše. Potom jsou kolmá tlaková síla a celková síla tření dány vztahy N = δ.S a T = τ.S, takže součinitel smykového tření definovaný jako poměr tečné síly tření ke kolmé tlakové síle je:

$$\mu = \frac{\tau}{\delta} \qquad (6)$$

Pokud je adheze velmi značná, klade se obyčejně τ rovno napětí na mezi pevnosti ve smyku měkčího kovu, avšak dosud není jasná představa o tom, jaký je vztah kolmého napětí δ ve styčných ploškách k mechanickým vlastnostem materiálu jako celku. Lze předpokládat, že bude záviset na pružném a plastickém chování materiálu. Nelze tedy dosud předem spolehlivě určit součinitele smykového tření z mechanických vlastností třených materiálů. Uvedená představa vysvětluje skutečnost zjištěnou v širokém rozsahu experimentálních podmínek, že součinitel smykového tření nezávisí na velikosti kolmé tlakové síly, a tudíž, že **síla tření je přímo úměrná kolmé tlakové síle a nezávisí na zdánlivé velikosti dotykových ploch.** [4]

$$T = \mu.N \qquad (7)$$

Položíme-li na šikmou rovinu nějaké těleso, pozorujeme, že těleso zůstává na rovině v klidu, má-li úhel sklonu α vhodnou velikost. Z obrázku 3 je patrné, že těleso nezůstává klidu pouze při určité hodnotě úhlu, ale i v celém oboru úhlů.

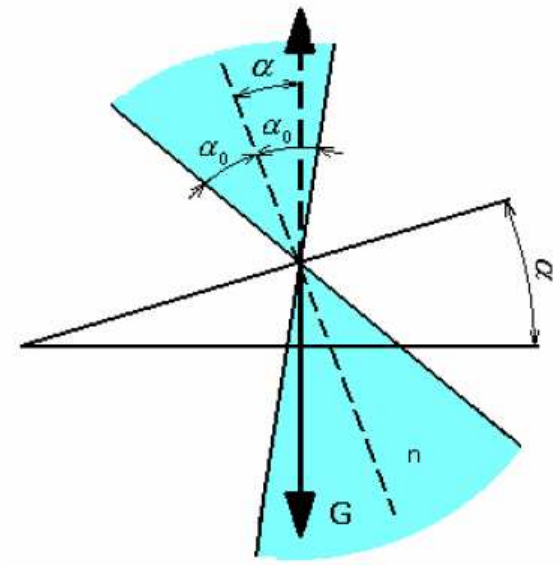


Obrázek 3: Úhly nakloněné roviny

Pokud je úhel α menší než jistá mezní hodnota α_0, tak se těleso nepohybuje. Jakmile však úhel α tuto mezní hodnotu překročí, dá se těleso do pohybu.Úhel α_0 závisí na jakosti povrchů obou těles a je tím menší, čím jsou povrchy hladší. Tento úhel vhodně charakterizuje smykové tření a nazývá se úhlem tření v klidu.

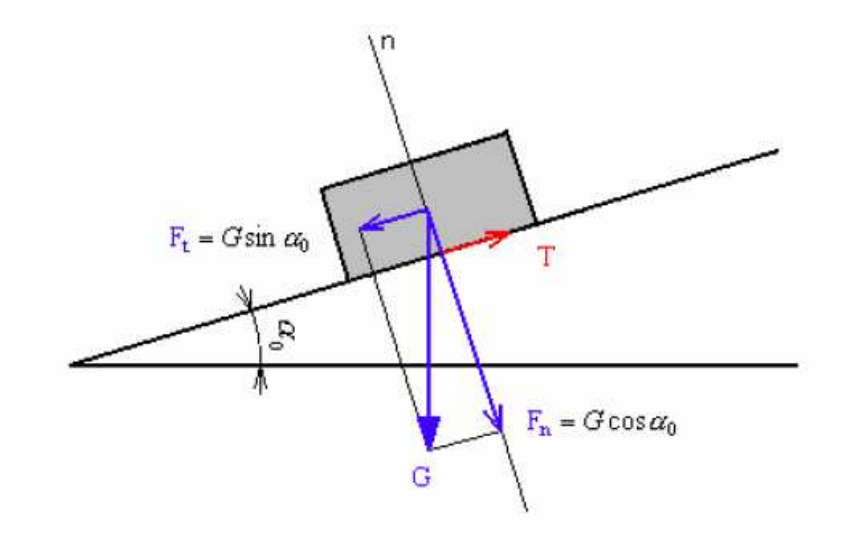
Jelikož jak váha G tělesa, tak reakce R roviny svírající s normálou roviny stejný úhel jako nakloněná rovina s vodorovným směrem (obrázek 4), bude těleso na rovině v klidu tak dlouho, dokud úhel α mezi váhou G nebo reakcí R a normálou n nepřekročí hodnotu α_0 , čili podmínka lpění je vyjádřena nerovností:

$$\alpha \leq \alpha_o \qquad (8)$$



Obrázek 4: Úhly nakloněné roviny

Pokud se nepatrně zvětší úhel α sklonu nakloněné roviny nad hodnotu α_0 úhlu tření za klidu, dá se těleso na rovině do pohybu (obrázek 5).



Obrázek 5: Nakloněná rovina

Čekali bychom, že se těleso bude velmi zvolna a prakticky rovnoměrně pohybovat po nakloněné rovině dolů, neboť tečná složka váhy Gsinα bude jen zcela nepatrně větší než síla tření $\mu_0 N = \mu_0 G\sin\alpha$. Ve skutečnosti zpravidla zjistíme, že nastane znatelně zrychlený pohyb, při němž je zrychlení větší, než by mělo být podle zrychlující síly $G\sin\alpha - \mu_0 G\cos\alpha$. Tuto skutečnost je možné vysvětlit jen tím, že jakmile se těleso dá do pohybu, zmenší se součinitel tření a zůstává pak za pohybu prakticky na této nižší hodnotě. Součinitel tření μ, který působí mezi povrchy vzájemně se pohybujících těles, se nazývá dynamickým koeficientem tření.
Bývá tedy zpravidla menší než statický koeficient tření.

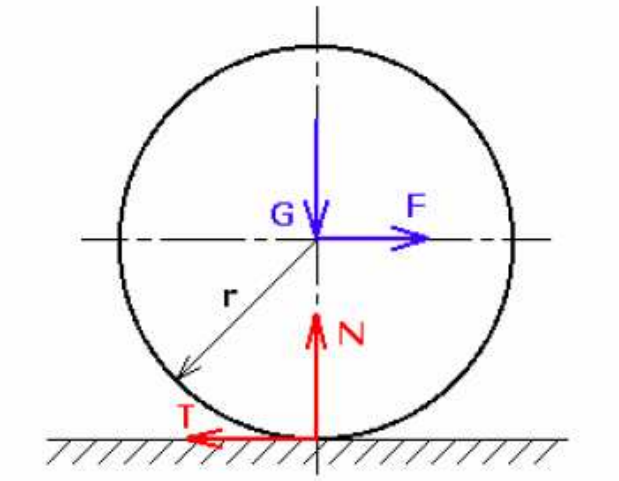
$$\mu < \mu_0 \tag{9}$$

Zrychlující síla působící na těleso v rovině bude pak (Gsinα-μGcosα) a zrychlení a tělesa, značí-li m jeho hmotu [4], bude:

$$a = \frac{G}{m}(\sin\alpha - \mu\cos\alpha) = g(\sin\alpha - \mu\cos\alpha) \tag{10}$$

1.3.1.2 Tření valivé

Při valivém pohybu pevného oblého tělesa po jiném tělese, ke kterému je první těleso tlačeno určitou silou, odporuje tomuto pohybu tzv. valivé tření [4]. Tento odpor je jiného druhu než je u smykového tření. Plyne tak z této úvahy:



Obrázek 6: Valivé tření

Velikost valivého odporu F_t má vzorec:

$$F_t = \xi \,.\, F_n / R \qquad (11)$$

kde ξ (ksí) je rameno valivého odporu F_n je kolmá tlaková síla mezi tělesy (např. tíha tělesa), R je poloměr průřezu tělesa.Hodnota ramene valivého odporu ξ (ksí) záleží na materiálové dvojici třecích se těles. Příklady hodnot jsou na tab.1.

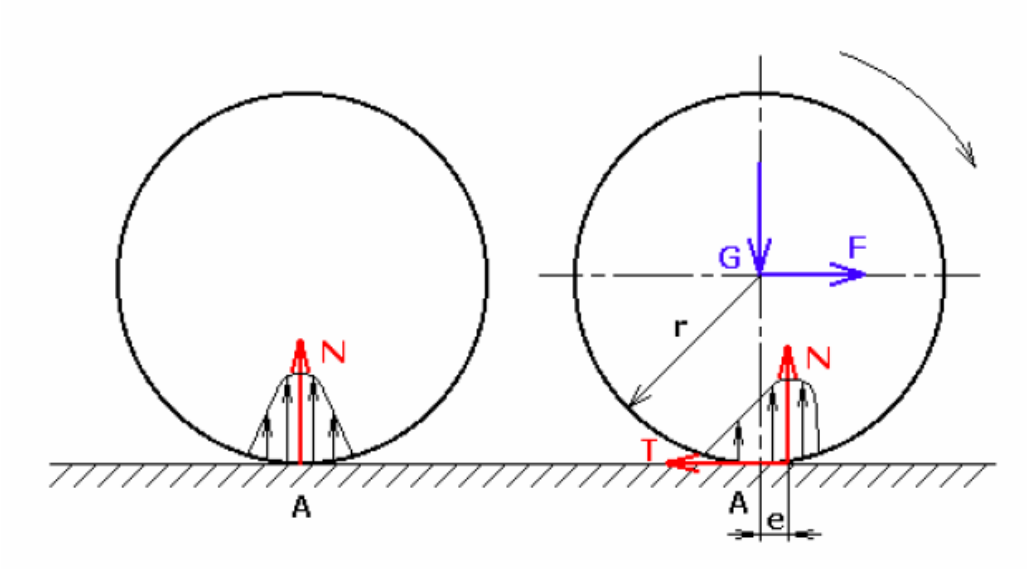
Druh stykových ploch	Rameno valivého odporu ξ (mm)
ocel na ocel	0,05-0,06
litina na litinu	0,005-0,006
pryž na beton	1,5-2,5
pryž na asfalt	2,5-4,5

Tabulka 1: Hodnoty ramene valivého odporu

Valivý odpor je pro stejnou přítlačnou sílu F_n o hodně menší než smykové tření.

Na válec hmotnosti m na vodorovné drsné rovině působí malá tažná síla F (obrázek 6). Působení roviny na válec je dáno reakcemi N a T v přímce dotyku. Pokud má být válec v klidu, musí platit podmínky rovnováhy N - G = 0 ; F – T = 0 a r.F = 0, z čehož plyne T = 0, F = 0 a N = G.

Působí-li tedy nějaká sebemenší síla , nemůže být válec v klidu a bude se valit. Pokusy však ukazují, že u skutečných těles může působit malá síla , aniž se těleso dá do pohybu. Musí tu tedy existovat nějaký odpor, který brání tělesu v pohybu.



Obrázek 7: Rovnováha sil u valivého tření

Tento valivý odpor vzniká zřejmě tím, že se rotační těleso a podložka při dotyku nepatrně deformují, takže dotyk nenastává v bodě nebo přímce, ale v plošce. Jsou-li tělesa navzájem v klidu, je rozložení měrných tlaků v dotykové plošce zhruba souměrné kolem osy tělesa (obrázek 7). To znamená, že výslednice N prochází ideálním bodem dotyku A a leží v ose. Z obrázku 7 vidíme snadno, že pokud má válec vlivem tažné síly F a síly tření T snahu valit, vznikne nesouměrné rozložení měrných tlaků tak, že na běžné straně budou tlaky větší než na straně opačné. Proto neprochází výslednice N těchto měrných tlaků ideálním bodem dotyku A [4].

1.3.1.3 Tření opásáním

Tření opásáním nazýváme též tření Eulerovo (obrázek 8). Při tření opásaných předmětů kruhového průřezu používáme Eulerův vztah:

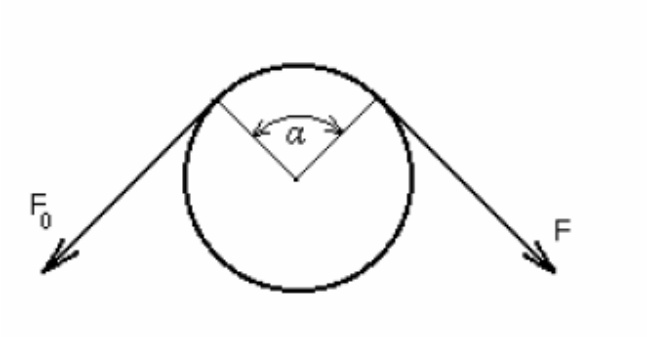
$$F = F_0 \cdot \exp(f_a.\alpha) \qquad [N] \qquad (11)$$

kde je: F třecí síla za třecím tělesem

F_0 napínací síla před tělesem

α úhel opásání

f_a součinitel tření opásáním



Obrázek 8: Tření opásáním

1.3.2 Koeficient tření

Pro zjišťování velikosti třecí síly stanovujeme koeficient tření, který nám vlastně určuje velikost tření.

Velikost koeficientu tření plošných textilií se může hodnotit jako konečný aspekt pro zařazení určité textilie do použití. Na základě zjištění velikosti koeficientu tření je možno určit technologii výroby oděvu nebo může ovlivnit celkové využití konkrétního materiálu a jeho zhodnocení konečným spotřebitelem.

Koeficient smykového tření je vždy nutné vztahovat k určité materiálové dvojici a konkrétním podmínkám tření. Jeho velikost závisí na řadě faktorů, jako je povrch plošných textilií, použitý typ plošné textilie, dostava a použitá vazebná technika [3].

Jak bylo již uvedeno, pokud se má pohybovat jedno těleso po druhém, je k tomu zapotřebí síly. Teprve když vnější síla dosáhne určité hranice, dostane se těleso do pohybu. Tato síla určuje velikost tření v klidu, což je tření statické. Hodnota statického koeficientu tření μ_0 (resp.f_s) bývá zpravidla vyšší při náhlém rozběhu na rychlost v. Z ní pak přejde na nižší dynamický koeficient tření μ (resp f_d).

Vyšší statické tření může být způsobeno různými vazbami mezi kluznými povrchy. Tedy síla potřebná k uvedení tělesa do pohybu je vyšší, než síla potřebná k udržení pohybu rovnoměrného.

Velikost dynamického tření je závislá na rychlosti. Zmenšení třecí síly nastává při nízkých rychlostech, se zvětšováním rychlosti třecí síla vzrůstá.

Pro názornost uvádím v tabulce 2 koeficienty smykového tření za klidu a za pohybu pro některé kombinace materiálů [4].

Dvojice materiálů	Koeficient smykového tření	
	v klidu	v pohybu
ocel na led	0,027	0,014
ocel na ocel	0,110 - 0,300	0,070 - 0,250
kov na dřevo	0,600	0,200 - 0,600
dřevo na dřevo	0,430 - 0,620	0,190 - 0,480
kůže na kovu	0,250 - 0,600	0,120 - 0,360

Tabulka 2: Koeficienty tření

1.4. Metody měření tření textilních materiálů

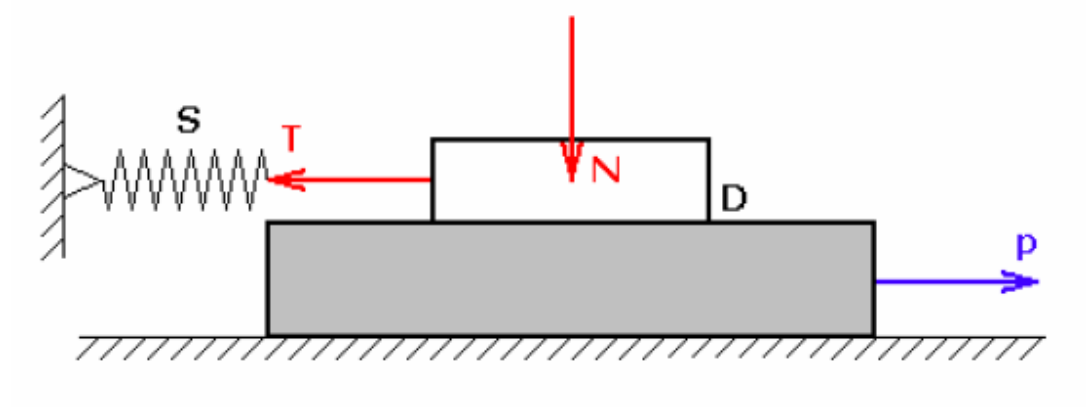
V předchozí části bylo uvedeno, že existuje tření statické a tření dynamické. V praxi nás zajímají oba druhy tření. Ne na každém zařízení je však možné oba druhy tření zjišťovat. Některé přístroje slouží k měření tření statického, jiná zařízení zjišťují pouze tření dynamické. Jsou však i přístroje, které umožňují zjišťovat a měřit jak tření statické, tak i dynamické.

Metody měření koeficientu tření je možné rozdělit do 4 skupin:

1) dvě stýkající se roviny pohybující se vůči sobě posuvným pohybem
2) dvě stýkající se roviny, z nichž jedna klouže po rotující rovině
3) rovina klouže proti směru rotujícího válce (válců)
4) rovina ve tvaru pásu obepínající rotující válcovou plochu

1.4.1 Dvě stýkající se roviny pohybující se vůči sobě posuvným pohybem

Do první skupiny patří metoda měření tření pomocí přístroje Bowdena – Lebena, který se stal základem pro zkoumání tření.



Obrázek 9: Dvě stýkající se roviny pohybující se vůči sobě posuvným pohybem

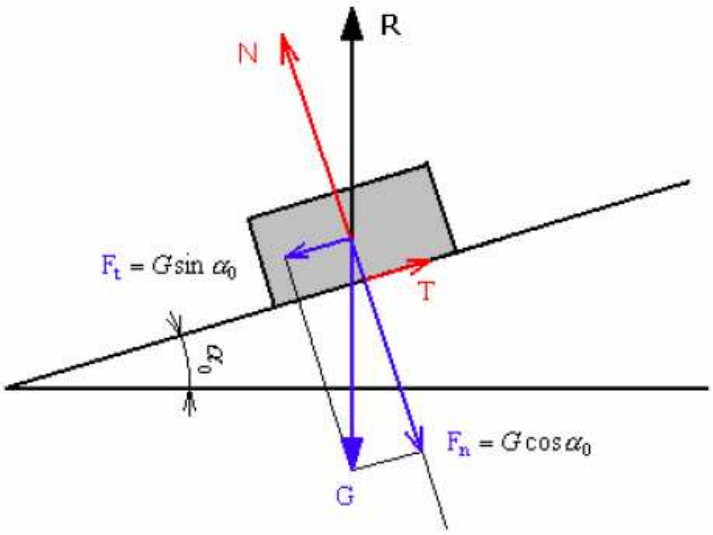
Třecí element D, na který působí zatížení N [N], tlačí na destičku umístěnou pod ním, na které je upevněna textilie. Tato destička se pohybuje konstantní rychlostí. Síla tření táhne třecí element spolu s destičkou až do okamžiku, kdy se jí síla vyvíjená pružinou S upevněnou k třecímu elementu vyrovná. Natažení spirály je pak měřítkem tření statického. Jelikož tření dynamické je nižší než tření statické, bude třecí element, ihned jakmile začne klouzat, stažen zpět až do vyrovnání síly vyvíjené pružinou s hodnotou dynamického tření. Zde se zastaví a bude se vracet zpět na hodnotu síly statického tření. Do této skupiny je možné zařadit i situaci na obrázku 9.

Další metodou pro měření tření plošných textilií,patřící do této skupiny, je metoda nakloněné roviny.

1.4.1.1 Metoda nakloněné roviny

Jak bylo již uvedeno, pro měření tření plošných textilií je možné použít metodu nakloněné roviny (obrázek 10), která umožňuje nejjednodušší způsob měření statického koeficientu tření. Pomocí této metody je však možné měřit i dynamický koeficient tření.

Síla tření, protože je to reakce, má opačný směr než síla, která se snaží tělesa ve směru jejich styčné plochy navzájem posunout a dokud relativní pohyb nenastane, má s ní i stejnou velikost. Síla tření tedy vymizí, nepůsobí-li žádná síla, která by mohla způsobit relativní pohyb těles. Takovou vlastnost síly tření za klidu musíme požadovat, má-li být splněn princip setrvačnosti [4].



Obrázek 10: Nakloněná rovina

Předpokládejme, že nakloněná rovina má právě sklon, který se rovná úhlu tření. Těleso umístěné na nakloněné rovině je v klidu. To znamená, že váha G tělesa se ruší s reakcí podpory R. Pokud platí R = -G, ruší se i složky obou sil v kolmém směru k nakloněné rovině a i ve směru k ní tečném. Kolmá F_n složka váhy je v rovnováze s kolmou složkou N reakce roviny a tečná složka F_t váhy je zřejmě v rovnováze s tečnou složkou T reakce roviny. Tečná složka T je silou tření. Pomocí rovnic je snadné najít vztah síly tření k úhlu tření α_0.

Z obrázku 10 plyne:

$$|F_t| = |T| = |G|\sin\alpha_0 \quad \text{a} \quad |Fn| = |N| = |G|\cos\alpha_0 \qquad (12)$$

Takže pro velikost síly tření dostaneme:

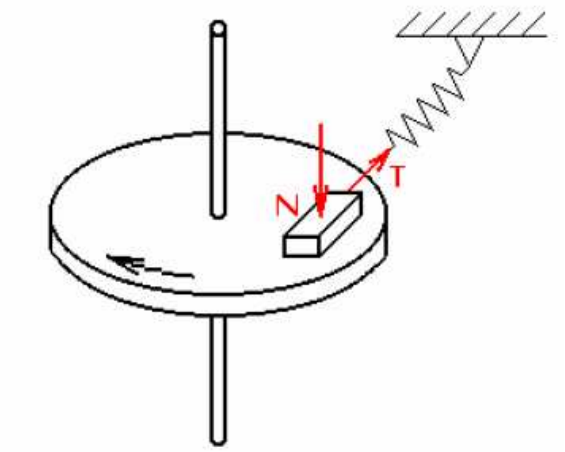
$$|T| = |N| tg\alpha_0 \tag{13}$$

Můžeme úměrnost mezi silou tření a kolmou tlakovou silou vyjádřit ve tvaru:

$$|T| = \mu_0 |N| \tag{14}$$

Konstanta μ_0 (nebo f) se nazývá koeficient smykového tření za klidu nebo také statický koeficient tření. Tento koeficient má rozměr pouhého čísla a závisí stejně jako úhel tření α_0 na vlastnostech stýkajících se ploch (např. vazbě plošné textilie a hladkosti povrchů) [4].

1.4.2 Dvě stýkající se roviny, z nichž jedna klouže po rotující rovině



Obrázek 11: Dvě stýkající se roviny, z nichž jedna klouže po rotující rovině

Pro zařízení z této skupiny je charakteristické, že na povrchu vnějšího obvodu rotujícího kotouče je umístěn třecí element se zkoumaným materiálem. Normálová síla je nastavitelná přes vahadlo cejchovaného mikrometrického šroubu. Na části vahadla je umístěn snímač, který registruje třecí sílu.

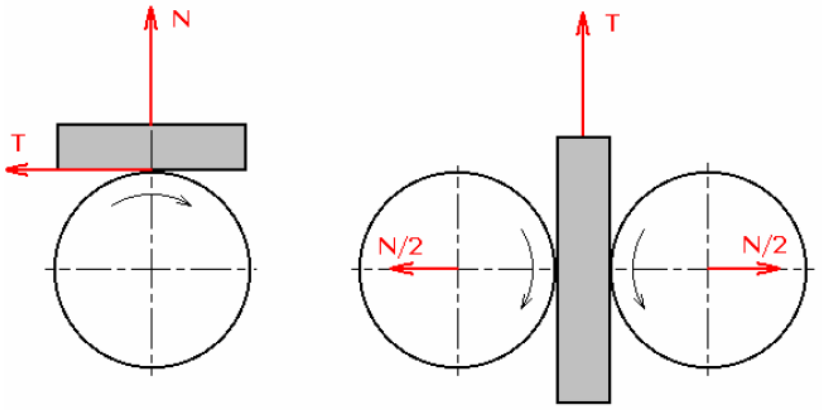
Koeficient tření se vypočítá ze znalosti normálové síly působící na třecí element a ze změřené třecí síly podle vzorce:

$$T = \mu.N \qquad (15)$$

Přístroje pracující na tomto principu mohou měřit dynamický koeficient tření v širokém rozsahu rychlosti unášeného kotouče. Je možné vyjádřit i statický koeficient tření. Pro různé druhy materiálů odpovídají různé registrační snímače.

1.4.3. Rovina klouže proti směru rotujícího válce (válců)

U přístrojů této skupiny je k rotujícímu válci přitlačován třecí element se vzorkem pomocí definovaného tlaku pružiny, která je umístěná na kloubu s nastavitelným předpětím. Třecí síla působící proti nastavenému předpětí kloubu vychýlí toto rameno ve směru rotujícího válce. Tento přístroj je určen výhradně k měření dynamického koeficientu tření. Pro různé druhy textilií a různé druhy materiálů je nutné vyměnit přítlačnou sílu pružiny a nastavení kloubu [6].



Obrázek 12: Rovina klouzající proti směru rotujícího válce (válců)

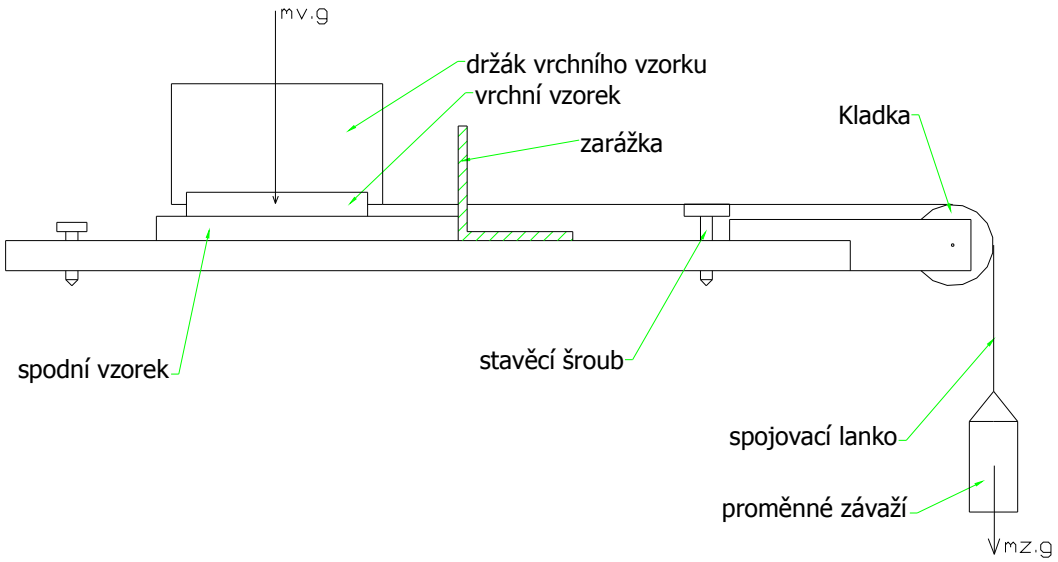
1.4.4 Rovina ve tvaru pásu obepínající rotující válcovou plochu

Přístroje této čtvrté skupiny zkoumají vzorek ve tvaru pásu vzájemně obepínající válcový povrch, jenž rotuje. V této metodě se vypočítává koeficient tření z velikosti napětí ve zkoumaném vzorku podle Eulerova vztahu. [1]

1.5 Přístroje ke stanovování koeficientu tření

Jelikož norma ČSN nestanovuje přesné postupy zkoušení, o něco takového se pokoušela jen norma Din a Gost, jsou postupy měření koeficientu tření zařízení pro jeho stanovování navrhovány individuálně jednotlivými pracovišti zabývajícími se daným problémem. Pro jednoduchost měření a zanesení co nejmenšího počtu chyb do měření je dobré vycházet z podstaty a principu tření. K tomu se hodí využít starých známých principů, jako je například tahový tribometr.

1.5.1 Tahový tribometr



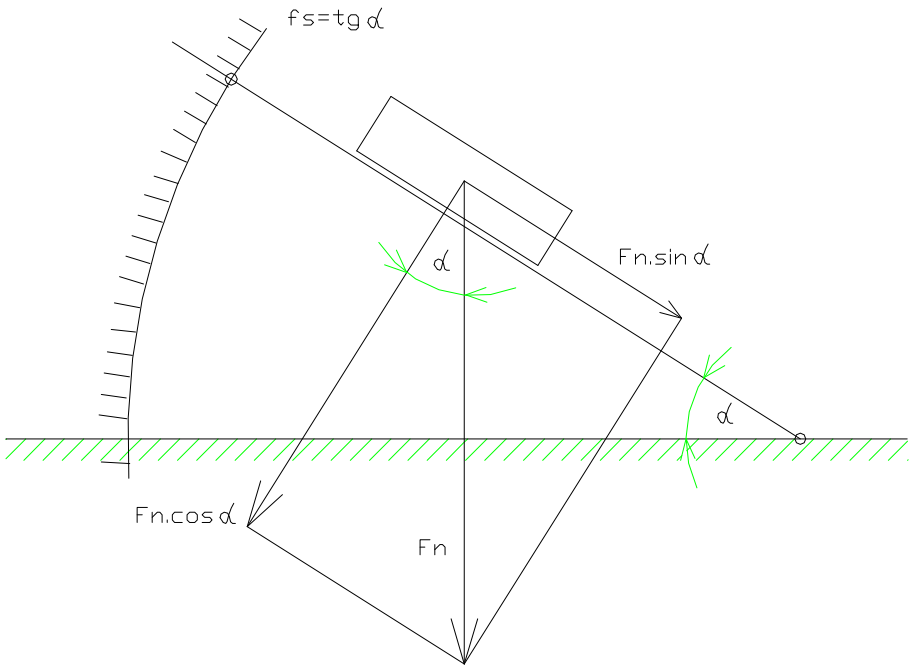
Obrázek 13: Tahový tribometr

Těleso umístěné na podložce je zatěžováno gravitační silou danou jeho hmotností m_v. Na něj je pomocí lanka přes kladku upevněno závaží o hmotnosti m_z. Hmotnost m_z se může zvětšovat (závaží je k tomu uzpůsobeno například možností dolévání kapaliny nebo vsypáním prášku) do té doby než dojde k pohybu tělesa umístěného na podložce. Tento okamžik, kdy došlo k pohybu, signalizuje, že byly vyrovnány silové poměry na laně. Koeficient tření se pak může stanovit dělením hmotnosti obou těles.

$$fs = \frac{mz}{mv} \tag{16}$$

Tento tribometr je určen pouze ke stanovení statického koeficientu tření. Chyba měření, která zde může vznikat, je dána velikostí čepového tření v kladce.

1.5.2 Sklonný tribometr



Obrázek 14: Sklonný tribometr

Jde v podstatě o nakloněnou rovinu, na které je umístěno těleso. Nakloněnou rovinu pomalu nakláníme a sledujeme úhel sklonu,kdy dojde k utržení tělesa. Pro koeficient tření mezi daným tělesem a podložku platí vztah:

$$\operatorname{tg} \alpha = f_s \qquad (17)$$

Chybu do tohoto měření může vnášet chvění desky nakloněné roviny při jejím naklápění. Pro toto měření nelze použít vzorky o velké výšce pro jejich velký klopný moment. Tento moment by mohl též vnést do měření nepřesnost. Sklonný tribometr se tudíž hodí k měření při nízkých zatíženích povrchu měrným tlakem.

Výše uvedené tribometry jsou vhodné pro měření statického koeficientu smykového tření pro měření dynamického koeficientu byly vyvinuty složitější přístroje, například tribometr HEF.

1.5.3 Tribometr HEF

Tribometr umožňuje práci ve více režimech. Měření se může provádět při:

-otáčení vzorku 1 a pohybu vzorku 2

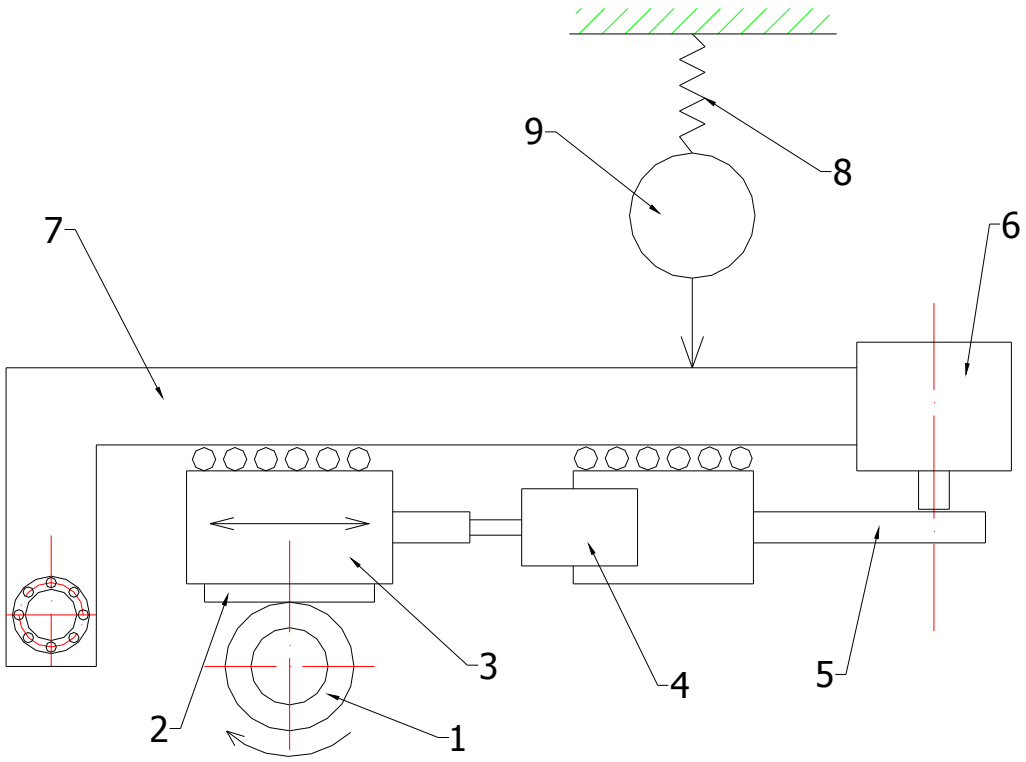
-klidu vzorku 1 a pohybu vzorku 2

-otáčení vzorku 1 a klidu vzorku 2

Mezi vzorky je čárový typ styku. Přístroj umožňuje měřit především koeficient tření za pohybu, ale zvládne i měření koeficientu statických.

Parametry přístroje:

Rychlost rotace vzorku číslo 1	od 1.37 $m*s^{-1}$ do 2.72 $m*s^{-1}$
Rychlost posuvu vzorku 2	od 0.001 $m*s^{-1}$ do 2.10 $m*s^{-1}$
Rozsah zatížení	0-1000 N



Obrázek 15: Tribometr HEF

1) Válcový vzorek, 2)Plochý vzorek, 3) Posuvná část držáku vzorku, 4) Tenzometrický snímač, 5) Excentr pohánějící posuvnou část vzorku, 6) Motor posuvu, 7) Otočné rameno, 8) Pružina vyvozující napětí, 9)Tenzometrický snímač

1.6 Součinitel tření délkových textilií

Součinitel tření délkových textilií je určován Coulombovými nebo Eulerovými zákony, které jsou ve tvaru:

$$F = f \cdot N \qquad (18)$$

$$F = F_0 \exp(f \cdot \alpha) \qquad (19)$$

kde N je kolmé zatížení k plochám dotyku, f je součinitel tření, F je třecí síla, α je úhel opásání a F_0 je třecí protisíla pro úhel opásání α = 0. Výhodnější a obecnější použití je využití Coulombova zákona, kterým je možné určovat i směrovou závislost tření mezi vlákny.

Postup měření je v tomto případě takovýto: Na velkou plochu se rovnoběžně navinou měřená vlákna. Naproti plochu kruhového tvaru se také rovnoběžně navinou měřená vlákna a na tribometru uskutečněném nakloněnou rovinou je možné měřit vlákna v závislosti na úhlu překřížení. Kromě toho je možné měřit součinitele tření mezi vlákny různého druhu.

Součinitel tření délkových textilií je také možné s výhodou měřit kluzem po ocelovém drátu pod úhlem φ podobně jako na nakloněné rovině. Vyhodnocování součinitele tření je však složitější.

1.7.Pojem anizotropie (různosměrovost) a její interpretace

Pokud se některá vlastnost materiálu projevuje v různých směrech jiným způsobem, nazýváme tento stav anizotropií té dané vlastnosti. Anizotropie znamená směrovou závislost.

Graficky se anizotropie dobře vyjadřuje v polárních diagramech. Čím jsou diagramy protáhlejší,tím je chování materiálu anizotropnější. Pokud se polární diagram blíží kruhovému tvaru,Znamená to že měřená vlastnost není citlivá na změny v různých směrech a jde tedy o izotropní materiál.

Anizotropie se též kvantitativně hodnotí parametrem, který nazýváme stupeň anizotropie S_A, který byl zaveden v literatuře [5]

$$S_A \frac{(V_{\max} - V_{\min})}{(V_{\max} + V_{\min})} \qquad (20)$$

kde V_{max} - maximální hodnota vlastnosti

V_{min} – minimální hodnota vlastnosti

Stupeň anizotropie nabývá hodnot od 0 do 1, přičemž pro dokonale izotropní materiál je roven 0. Pokud je minimální hodnota rovna 0 , materiál je dokonale anizotropní. [5]

1.7.1 Anizotropie součinitele tření tkanin

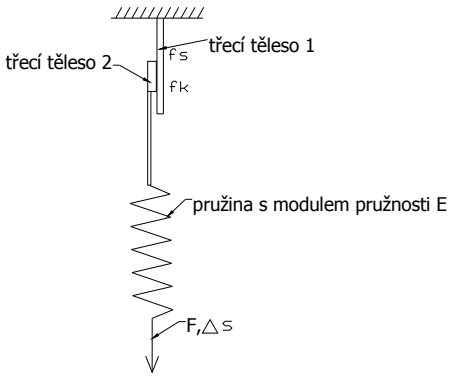
U plošných textilií jsou základními prvky jejich struktury vlákna či nitě. Ty jsou vázány zvláště ve tkaninách třecími silami opásáním. Vlastní povrch tkaniny má pak svůj součinitel tření, který by se měl dát teoreticky odvodit ze součinitele tření vláken. Dosud se však nikdo o takovou teorii nepokusil. Proto se prozatím určuje součinitel tření plošných textilií po většině experimentálně.

Vazby tkanin vytvářejí osnovní a útkové vazné body, které se velkou měrou podílejí na součiniteli tření tkanin. Již z jednoduchého modelu tkaniny je patrné, že součinitel tření ovlivňují největší měrou konstituční a deformační třecí síly. Adhezní a stérické třecí síly je možné pro běžné příze zanedbat. [8]

1.8 Stick and slip efekt

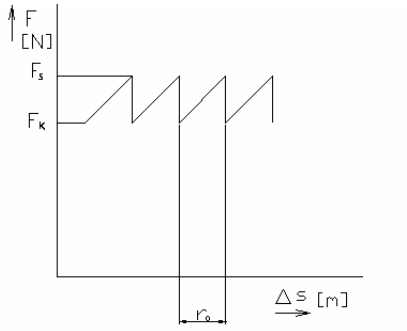
Jak už bylo popsáno, existují dva koeficienty tření-statický koeficient tření, při klidu obou smykajících se těles, a dynamický koeficient tření při relativním pohybu smykajících se těles. Statický koeficient tření bývá zpravidla větší, což vede ke vzniku takzvaného Stick and Slip efektu. Anglický název tohoto fenoménu by se dal volně přeložit jako „přilepení a uklouznutí“. Třecí se těleso po podložce tedy nekoná rovnoměrný pohyb, ale jeho pohyb je skokový. Popis Stick and Slip efektu lze snadněji vysvětlit na experimentálním měření koeficientu tření na dynamometru. Při tomto experimentu vyvolávají sílu F čelisti dynamometru.

Stick and Slip efekt se ovšem nemůže projevit, pokud bude rychlost posouvání třecího tělesa vynuceně konstantní. Střídavé dočasné zastavení tělesa a následný rychlý prokluz po překonání statického třecího odporu umožňuje teprve vložení pružného prvku mezi čelisti a třecí místo. Může to být například pružina se známou tuhostí, jak je znázorněno na obrázku 16. [10]



Obrázek 16: Vznik stick and slip efektu

Na obrázku 16 je znázorněno snad nejjednodušší řešení, u kterého je sériově k pružnému prvku o modulu pružnosti *E* umístěn prvek třecí, se dvěma hodnotami třecího odporu, statického F_s a kinetického F_k *(*F_s>F_k*)*. Změna polohy Δ_s má za následek lineární vzrůst síly *F* až do hodnoty F_s, načež se třecí odpor sníží skokem na velikost F_k (kinetické tření). Právě tento pilovitý průběh třecí síly, který je znázorněn na grafu 1, se nazývá Stick and Slip efekt. [10]



Graf 1: Pilovitý průběh třecí síly

Amplituda funkce je:

$$F_s\text{-}F_k=A_m \qquad (21)$$

Rozteč jednotlivých skoků nebo také vlnová délka r_0 *[m]* v hodnotě třecího odporu bude odpovídat rozdílu statického a kinetického tření děleného tuhostí pružiny S *[*$N*m^{-1}$*]*:

$$r_0 = \frac{F_s - F_k}{S} \qquad (22) \quad [10]$$

2. Praktická část

2.1 Použité zkušební materiály

Jako zkušební materiály bylo použito 10 tkanin o různých vazbách, vyrobených převážně ze syntetických materiálů Polyester a Polyamid 6.6 (Nylon). Pouze dva vzorky jsou kombinací syntetických materiálů a bavlny. Na tyto materiály nebyla aplikována žádná úprava.

Zkušební materiály poskytla firma Textonia Czech s.r.o Hronov.

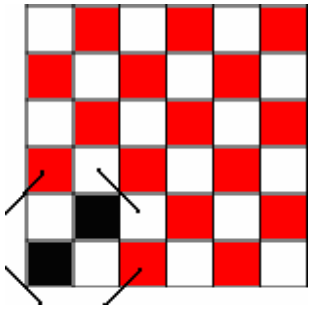
Vzorník použitých zkušebních materiálů je poskytnutý v příloze č.1.

Měření bylo prováděno na měřícím přístroji KES AB – FB – 4 (bod 2.2.2.) na katedře oděvnictví TU Liberec.

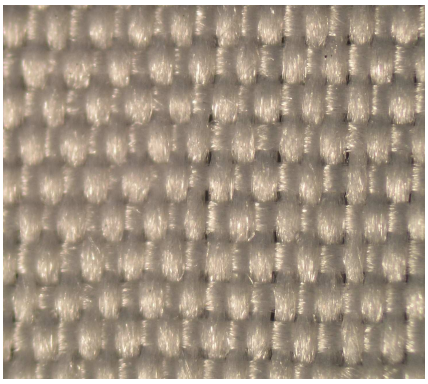
2.1.1 Rozbor vzorků materiálů

Vzorek č. 1

Vazba : vzorek č.1 je tkán v plátnové vazbě P^{1}_{1} ,střída vazby je 2/2 a je zobrazena na obrázku 17. Na obrázku 18 je fotografie vazby.



Obrázek 17: Střída vazby 1



Obrázek 18: Fotografie vazby 1

Plošná měrná hmotnost : S = 0,0668 Kg/m^2

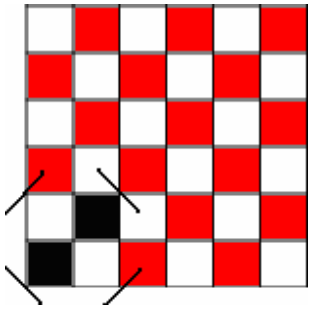
Dostava osnovy : 67 nití / cm

Dostava útku : 46 nití / cm

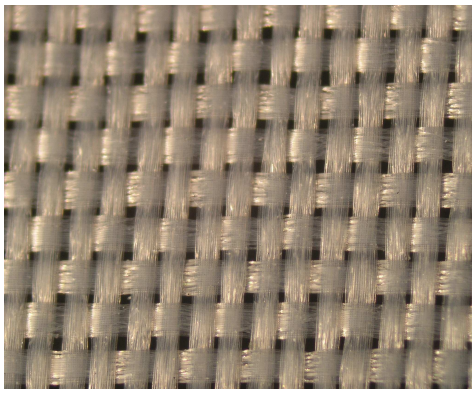
Materiál : Polyester

Vzorek č. 2

Vazba : vzorek č. 2 je tkán v plátnové vazbě P^{1}_{1} ,střída vazby je 2/2 a je zobrazena na obrázku 19. Na obrázku 20 je fotografie vazby.



Obrázek 19: Střída vazby 2



Obrázek 20: Fotografie vazby 2

Plošná měrná hmotnost : S = 0,0525 Kg/m^2

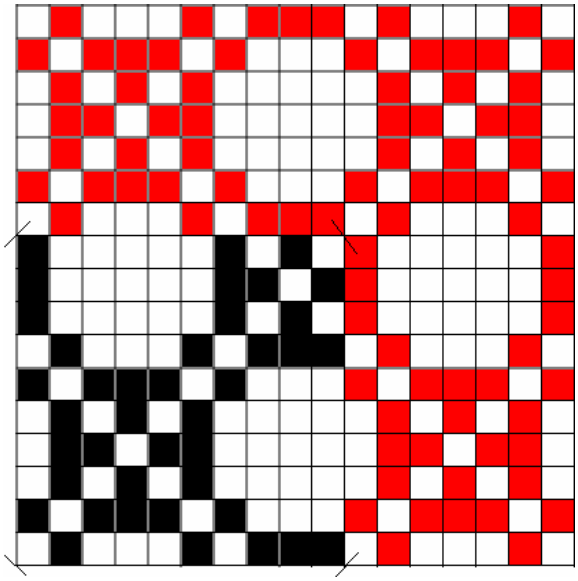
Dostava osnovy : 37 nití / cm

Dostava útku : 27 nití / cm

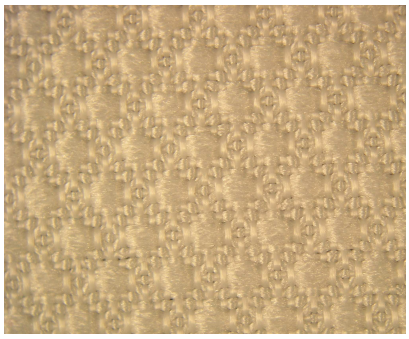
Materiál : Polyamid 6.6 (Nylon)

Vzorek č. 3

Vazba : vzorek č.3 je komponovaná, vzorovaná vazba s efektem dlouhých plotáží. Tvarovaný multifil v útku a hladký multifil v osnově. Střída vzoru je zobrazena na obrázku 21. Na obrázku 22 je fotografie vazby.



Obrázek 21: Střída vzoru 3



Obrázek 22: Fotografie vazby 3

Plošná měrná hmotnost : S = 0,1778 Kg/m^2

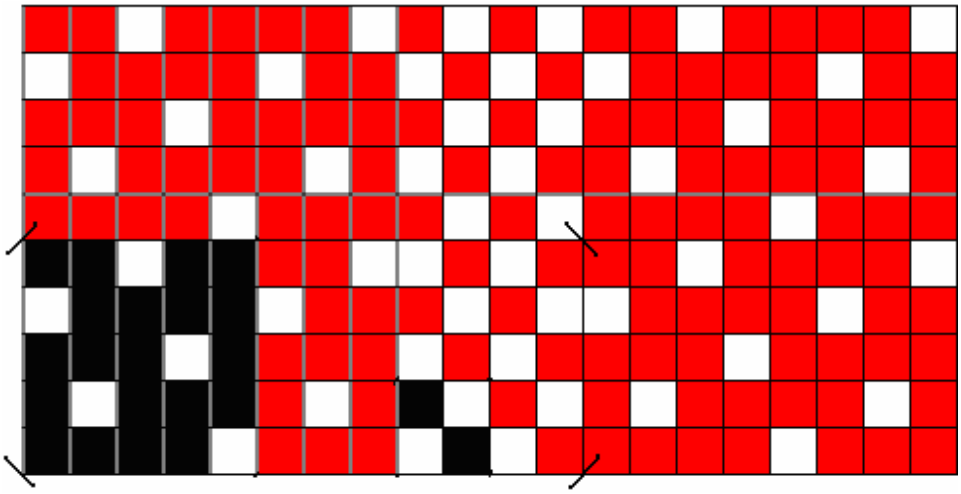
Dostava osnovy : 30 nití / cm

Dostava útku : 46 nití / cm

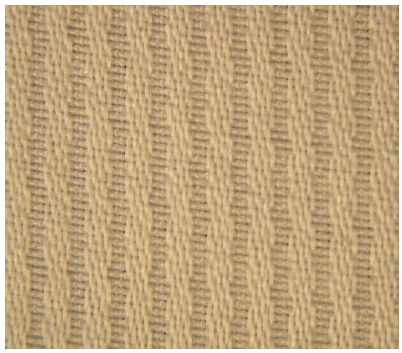
Materiál : Polyester

Vzorek č. 4

Vazba : Proužky v atlasové vazbě (pětivazný osnovní atlas A^4_1 [2]) se střídají s proužky v plátnové vazbě (P^1_1). Střída vzoru je zobrazena na obrázku 23. Na obrázku 24 je fotografie vazby.



Obrázek 23: Střída vzoru 4



Obrázek 24: Fotografie vazby 4

Plošná měrná hmotnost : S = 0,1778 Kg/m^2

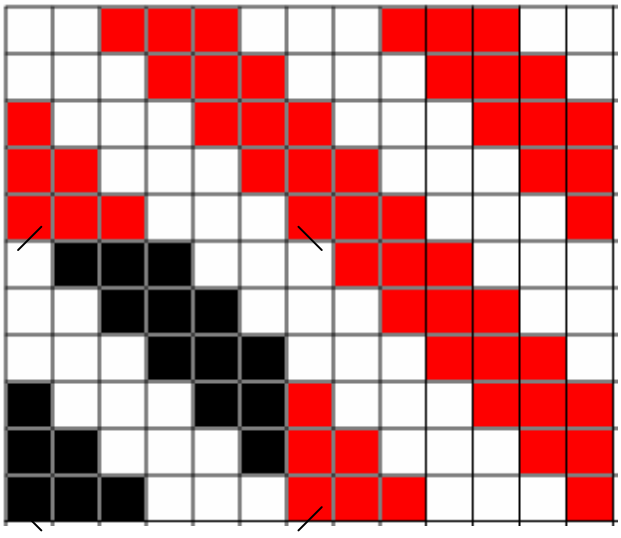
Dostava osnovy : 30 nití / cm

Dostava útku : 46 nití / cm

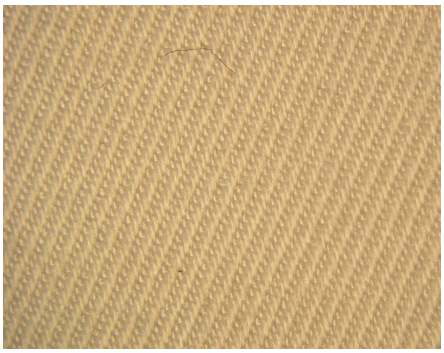
Materiál : Polyester

Vzorek č. 5

Vazba : vzorek č. 5 je tkán v šestivazné keprové vazbě K^{3}_{3} S , střída vazby je zobrazena na obrázku 25. Na obrázku 26 je fotografie vazby.



Obrázek 25: Střída vazby 5



Obrázek 26: Fotografie vazby 5

Plošná měrná hmotnost : S = 0,1557 Kg/m^2

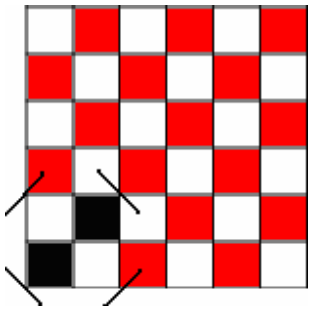
Dostava osnovy : 77 nití / cm

Dostava útku : 35 nití / cm

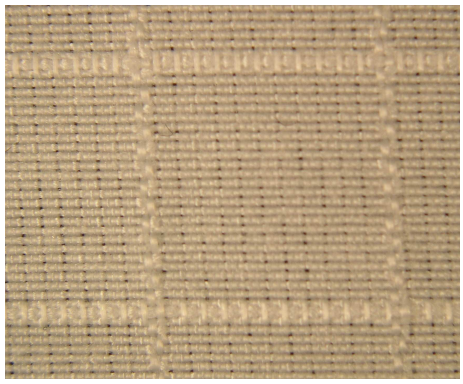
Materiál : Polyester

Vzorek č. 6

Vazba : vzorek č. 6 je tkán v plátnové vazbě $P\ ^{1}_{1}$, kde vzor čtverečků je tvořen zdvojenými nitěmi. Střída vazby je 2/2 a je zobrazena na obrázku 27. Na obrázku 28 je fotografie vazby.



Obrázek 27: střída vazby 6



Obrázek 28: Fotografie vazby 6

Plošná měrná hmotnost : S = 0,0990 Kg/m^2

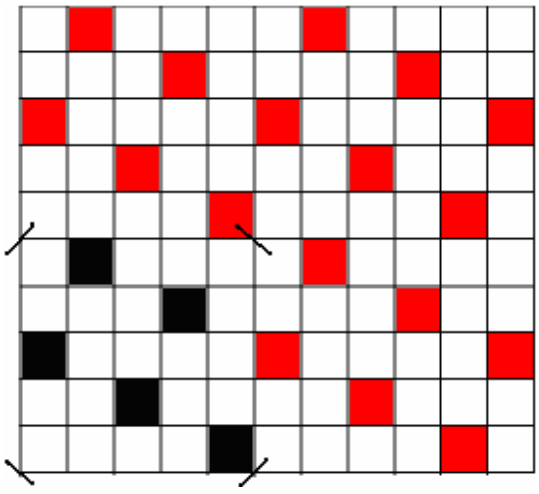
Dostava osnovy : 50 nití / cm

Dostava útku : 32 nití / cm

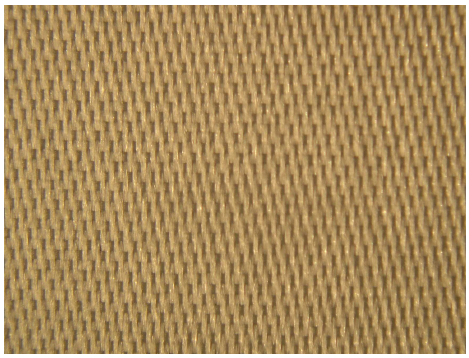
Materiál : Polyamid 6.6 (Nylon)

Vzorek č. 7

Vazba : vzorek č. 7 je tkán ve vazbě pětivazného útkového atlasu A $^{1}{}_{4}$ (3). Střída vazby je zobrazena na obrázku 29. Na obrázku 30 je fotografie vazby.



Obrázek 29: střída vazby 7



Obrázek 30: Fotografie vazby 7

Plošná měrná hmotnost : S = 0,1030 Kg/m^2

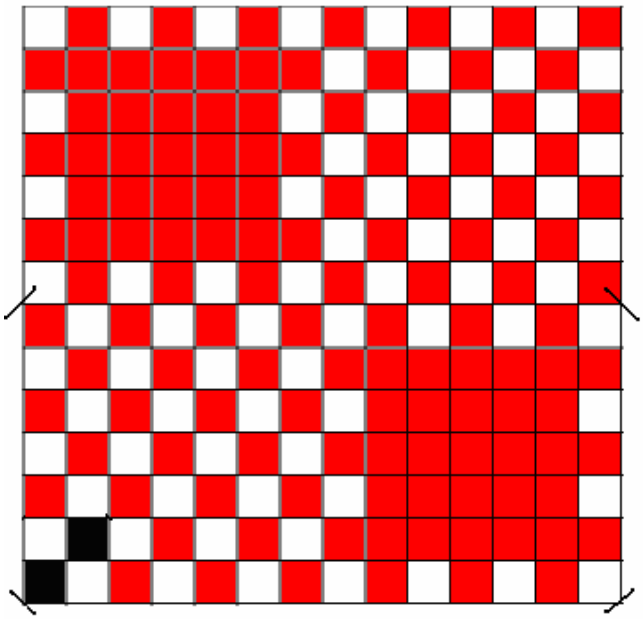
Dostava osnovy : 58 nití / cm

Dostava útku : 35 nití / cm

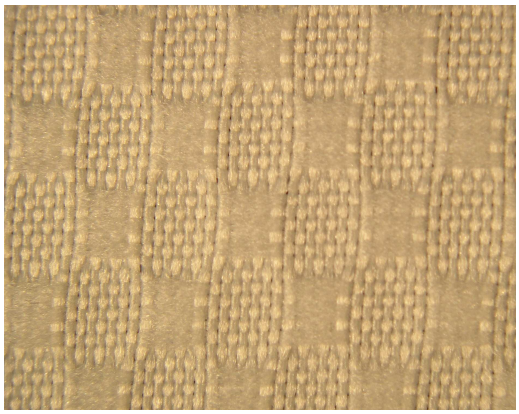
Materiál : Polyester

Vzorek č. 8

Vazba : vzorek č. 8 je tkán v plátnové vazbě $P\ ^{1}_{1}$ se vzorem, střída vazby je 2/2 a je zobrazena na obrázku 31. Na obrázku 32 je fotografie vazby.



Obrázek 31: Střída vazby 8



Obrázek 32: Fotografie vazby 8

Plošná měrná hmotnost : S = 0,1253 Kg/m^2

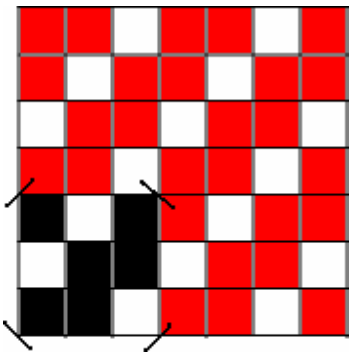
Dostava osnovy : 46 nití / cm

Dostava útku : 28 nití / cm

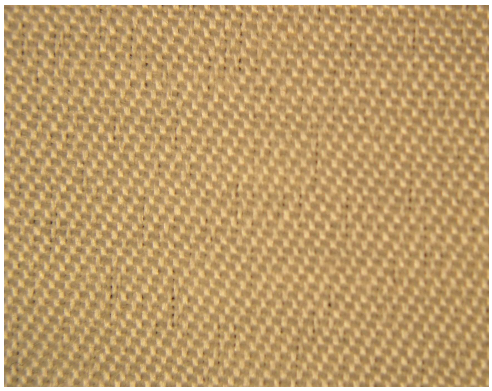
Materiál : Polyester

Vzorek č. 9

Vazba : vzorek č. 9 je tkán v plátnové vazbě $K^{2}_{1}Z$, střída vazby je zobrazena na obrázku 33. Na obrázku 34 je fotografie vazby.



Obrázek 33: Střída vazby 9



Obrázek 34: Fotografie vazby 9

Plošná měrná hmotnost : S = 0,1080 Kg/m^2

Dostava osnovy : 54 nití / cm

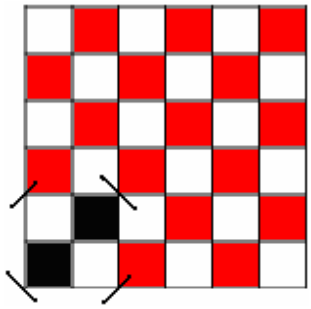
Dostava útku : 34 nití / cm

Materiál : osnova - Polyester

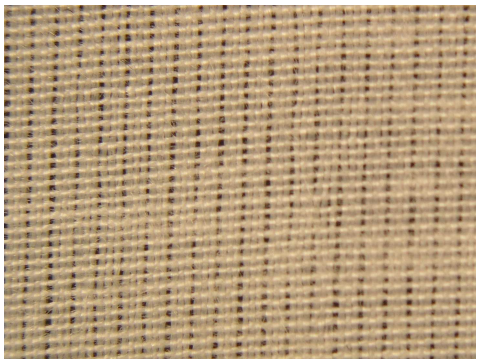
útek - Bavlna

Vzorek č. 10

Vazba : vzorek č. 10 je tkán v plátnové vazbě $P\ ^{1}_{1}$, střída vazby je 2/2 a je zobrazena na obrázku 35. Na obrázku 36 je fotografie vazby.



Obrázek 35: Střída vazby 10



Obrázek 36: Fotografie vazby 10

Plošná měrná hmotnost : S = 0,0801 Kg/m^2

Dostava osnovy : 39 nití / cm

Dostava útku : 31 nití / cm

Materiál : osnova – Polyamid 6.6 (Nylon)

útek – Bavlna

2.2 Určení součinitele tření

2.2.1. Příprava vzorků k měření

Pro měření součinitele tření byly vystřiženy čtvercové vzorky 20 × 20 cm. Měřeno bylo od každého druhu tkaniny 6 vzorků, které byly stříhány vždy po 15° vzhledem k osnově a útku. Na každém vzorku byly provedeny 3 měření.

2.2.2 Měřící zařízení KES AB – FB – 4 (Povrchové charakteristiky)

Tento měřící přístroj je nový automatický model pro testování povrchu textilií, který může měřit povrchové vlastnosti tkanin, papírů a netkaných textilií.

Měřící přístroj zaznamenává měřené hodnoty pomocí senzorů (snímačů), které stanovují koeficient tření, střední odchylku koeficientu tření a geometrickou drsnost tkaniny, obr 37. [9]

Obrázek 37: Měřící zařízení pro zjišťování povrchových charakteristik

2.2.3. Princip měření

Položíme-li zkušební vzorek na pracovní desku a přístroj zapneme, snímače pro snímání koeficientu tření zaujmou automaticky svou polohu a tím měření začíná. Signály koeficientu tření a střední odchylky koeficientu tření jsou zpracovávány současně a to v intervalu polovičního a nebo celého jednoho cyklu.

Jeden vzorek je použit pro změření čtyř úhlů a to tak, že při posuvu vzorku zprava doleva (vpřed) se změří jeden úhel a při posuvu zleva doprava (vzad) se změří úhel o 180° větší. Poté se vzorek otočí o 90° a změří stejným způsobem.

Vzorek: -velikost vzorku 20 × 20 cm
-napětí aplikovaného vzorku: 20 gf / cm (400 gf na 20 cm délky vzorku)
-[1gf / cm = 0,98 N / cm]

Měření se postupně provádí 3krát, přičemž se mění pozice vzorku, posouvající se po pracovní desce. Pracovní deska je hladká, ocelová a horizontálně uspořádaná. Oba konce vzorku jsou upevněny v čelistech o konstantním napětí. Vzorek na pracovní desce se pohybuje po dráze 30 mm a to nejprve zprava doleva (proces „vpřed“), poté následuje zpětný chod (proces „vzad“). Elektrické signály zachycené během prvních a posledních 5 mm jsou vynechány a prostředních 20 mm je převedeno do integrálu a použito pro výpočet.

Elektrické signály tření procházejí filtrem, kde se odstraňují vlny nízké frekvence pod 1 Hz (1Hz odpovídá 1 mm vlnové délky).

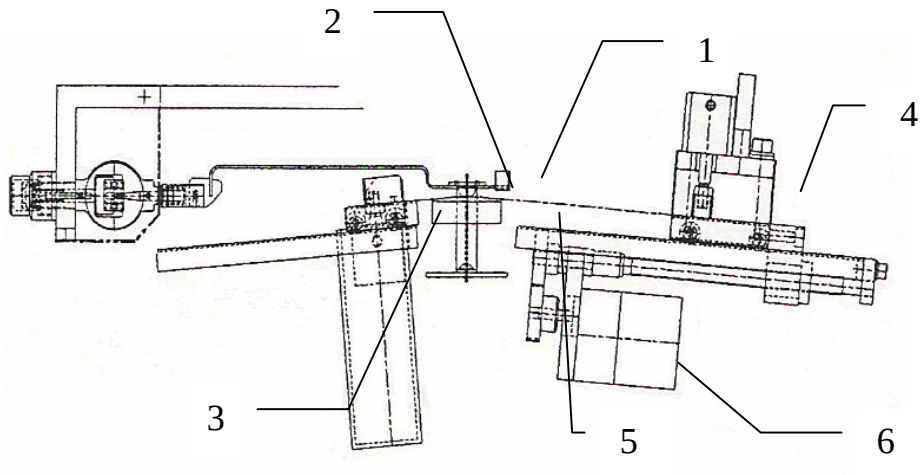
Jakmile proces měření skončí, jednotka ve snímači se nadzdvihne, vrátí se do původní pozice a znovu se nastaví. Zkušební vzorek se uvolní z napětí. [7]

Charakteristické hodnoty pro měření koeficientu tření a střední hodnoty koeficientu tření:

-MIU……koeficient tření [-]

-MMD…..střední odchylka koeficientu tření [-] [7]

2.2.4. Schematické znázornění mechanismu na měření koeficientu tření a střední odchylky koeficientu tření (obr.38)



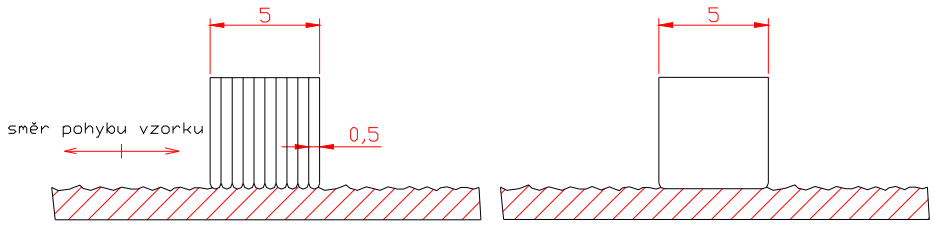
Obrázek 38: Mechanismus pro měření koeficientu tření a střední odchylky koeficientu tření

1-snímač pro měření koeficientu tření a střední odchylky koeficientu tření, 2-zkušební vzorek, 3-posuvná přítlačná čelist 1, 4-posuvná přítlačná čelist 2, 5-kontaktní plocha snímače a zkušebního vzorku, 6-pohonný motor [7]

2.2.5 Snímač pro měření koeficientu tření a odchylky koeficientu tření

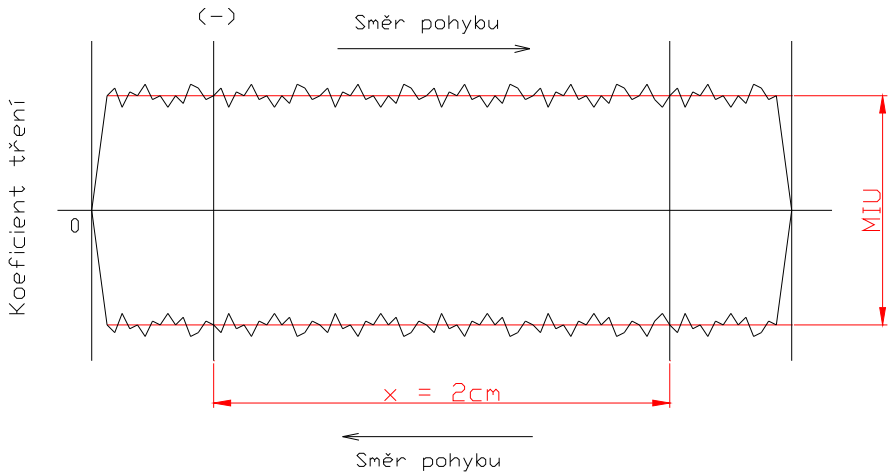
Snímač je umístěný v horní části měřícího zařízení nad zkušebním vzorkem. K povrchu zkušebního vzorku je přibližován automaticky, dokud se povrchu vzorku nedotkne. [7]

Třecí prvek zobrazený na obrázku 39 modeluje dotyku prstu a měří na zkušebním vzorku tření. Pro získání spolehlivých dat je složen z 10 ohnutých drátů, přičemž jeden ocelový drát má průměr 0,5 mm. Při dotyku čidla působí na zkušební vzorek síla 50 gf. [7]



Obrázek 39: Snímač pro měření koeficientu tření a střední odchylky koeficientu tření

2.2.6 Grafické znázornění koeficientu tření



Graf 2: Koeficient tření [7]

2.2.7 Zpracování dat

Koeficient tření μ je definován:

$$\mu = \frac{F}{P} \qquad [-] \tag{23}$$

F…… třecí síla

P…… standardní zatížení snímače působící na plochu textilie

$$\mu = \frac{1}{L\max} \int_0^{L\max} \mu dL \quad [-] \tag{24}$$

μ…… koeficient tření

Lmax….. posun po povrchu vzorku

Střední odchylka koeficientu tření je definována:

$$MMD = \frac{1}{L\max} \int_0^{L\max} \left|\mu - \overline{\mu}\right| dL \quad [-] \qquad [7] \tag{25}$$

2.3 Výsledky měření

V tabulkách č. 3 a 4 jsou uvedeny průměrné hodnoty koeficientu tření jednotlivých materiálů, v úhlu po 15° vzhledem k útku. Úhel α = 0° znamená že je materiál měřen ve směru útku a α = 90° ve směru osnovy. Na každém materiálu jsou provedena 3 měření pro každý úhel. Výsledky byly pro přehlednější hodnocení zpracovány v grafech 3-12.

Grafy 3-12 vyjadřují, jak je závislý koeficient tření na úhlu pootočení od útku materiálu α. Pro lepší přehled byly zakresleny všechna 3 měření do jednoho grafu pro každý měřený materiál.

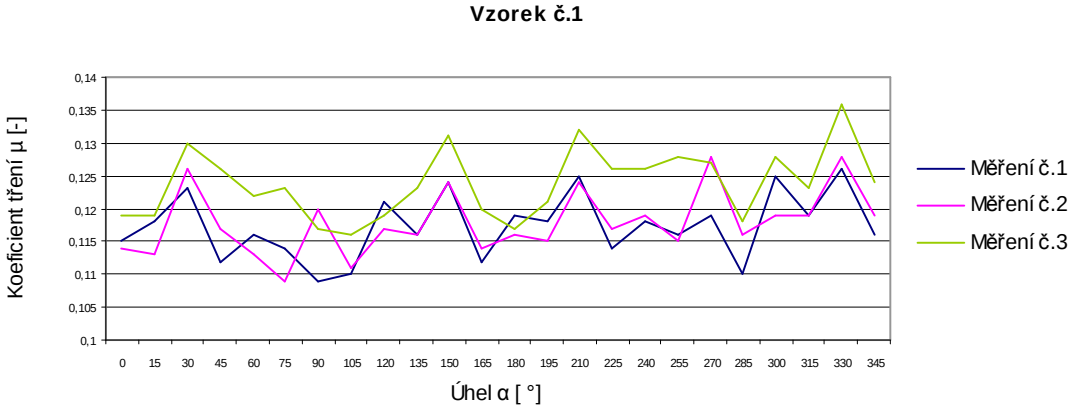
Na CD v příloze č. 2 jsou uvedeny tabulky hodnot koeficientu tření MIU a směrodatné odchylky koeficientu tření MMD naměřených na dráze prostředních 20 mm po 1 mm a statistické charakteristiky měření.

Průměrné hodnoty součinitele tření μ [-]													
Vzorek	Číslo měření	Úhel α [°]											
		0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165
1	1	0,115	0,118	0,123	0,112	0,116	0,114	0,109	0,11	0,121	0,116	0,124	0,112
	2	0,114	0,113	0,126	0,117	0,113	0,109	0,12	0,111	0,117	0,116	0,124	0,114
	3	0,119	0,119	0,13	0,126	0,122	0,123	0,117	0,116	0,119	0,123	0,131	0,12
	Ø [-]	0,116	0,117	0,126	0,118	0,117	0,115	0,115	0,112	0,119	0,118	0,126	0,115
2	1	0,136	0,128	0,118	0,109	0,101	0,106	0,104	0,109	0,109	0,109	0,107	0,112
	2	0,125	0,125	0,11	0,106	0,106	0,118	0,101	0,108	0,104	0,107	0,101	0,114
	3	0,137	0,13	0,113	0,116	0,112	0,116	0,104	0,121	0,105	0,117	0,113	0,111
	Ø [-]	0,133	0,128	0,114	0,110	0,106	0,113	0,103	0,113	0,106	0,111	0,107	0,112
3	1	0,145	0,146	0,157	0,175	0,209	0,243	0,275	0,249	0,189	0,174	0,163	0,155
	2	0,149	0,126	0,159	0,178	0,206	0,253	0,269	0,253	0,198	0,176	0,155	0,14
	3	0,125	0,151	0,166	0,181	0,212	0,258	0,274	0,259	0,206	0,184	0,162	0,152
	Ø [-]	0,14	0,141	0,161	0,178	0,209	0,251	0,273	0,254	0,198	0,178	0,16	0,149
4	1	0,175	0,173	0,153	0,128	0,126	0,113	0,11	0,124	0,124	0,139	0,153	0,168
	2	0,184	0,164	0,149	0,127	0,124	0,111	0,104	0,118	0,118	0,14	0,145	0,162
	3	0,181	0,173	0,142	0,127	0,114	0,112	0,122	0,113	0,131	0,139	0,146	0,167
	Ø [-]	0,18	0,17	0,148	0,127	0,121	0,112	0,112	0,118	0,124	0,139	0,148	0,166
5	1	0,145	0,155	0,147	0,139	0,143	0,138	0,142	0,146	0,141	0,148	0,15	0,142
	2	0,146	0,15	0,15	0,139	0,137	0,146	0,142	0,146	0,135	0,15	0,151	0,153
	3	0,159	0,163	0,139	0,153	0,147	0,154	0,147	0,153	0,142	0,139	0,151	0,138
	Ø [-]	0,15	0,156	0,145	0,144	0,142	0,146	0,144	0,148	0,139	0,146	0,151	0,144
6	1	0,165	0,172	0,17	0,155	0,149	0,134	0,135	0,143	0,149	0,123	0,18	0,166
	2	0,171	0,185	0,179	0,167	0,153	0,147	0,138	0,155	0,153	0,151	0,165	0,179
	3	0,163	0,177	0,168	0,17	0,16	0,155	0,131	0,148	0,161	0,164	0,177	0,165
	Ø [-]	0,166	0,178	0,172	0,164	0,154	0,145	0,135	0,149	0,154	0,146	0,174	0,17
7	1	0,097	0,102	0,123	0,118	0,153	0,212	0,209	0,162	0,133	0,115	0,099	0,095
	2	0,099	0,102	0,114	0,118	0,151	0,222	0,201	0,165	0,132	0,118	0,105	0,097
	3	0,102	0,106	0,103	0,106	0,122	0,127	0,177	0,233	0,198	0,166	0,117	0,106
	Ø [-]	0,099	0,103	0,113	0,114	0,142	0,187	0,196	0,187	0,154	0,133	0,107	0,099
8	1	0,273	0,226	0,18	0,163	0,15	0,143	0,144	0,149	0,161	0,181	0,188	0,224
	2	0,279	0,226	0,182	0,167	0,146	0,146	0,149	0,144	0,162	0,182	0,184	0,225
	3	0,283	0,235	0,192	0,168	0,163	0,154	0,151	0,158	0,165	0,18	0,186	0,233
	Ø [-]	0,278	0,229	0,185	0,166	0,153	0,148	0,148	0,15	0,163	0,181	0,186	0,227
9	1	0,134	0,14	0,127	0,124	0,129	0,125	0,126	0,124	0,123	0,131	0,136	0,141
	2	0,13	0,133	0,124	0,123	0,126	0,125	0,126	0,124	0,131	0,125	0,132	0,129
	3	0,133	0,143	0,128	0,132	0,125	0,124	0,129	0,129	0,13	0,135	0,139	0,14
	Ø [-]	0,132	0,139	0,126	0,126	0,127	0,125	0,127	0,126	0,128	0,13	0,136	0,137
10	1	0,107	0,105	0,111	0,109	0,104	0,108	0,11	0,104	0,107	0,111	0,115	0,11
	2	0,109	0,102	0,11	0,107	0,105	0,103	0,109	0,107	0,108	0,111	0,113	0,114
	3	0,119	0,115	0,111	0,107	0,113	0,112	0,112	0,113	0,109	0,117	0,118	0,12
	Ø [-]	0,112	0,107	0,111	0,108	0,107	0,108	0,110	0,108	0,108	0,113	0,115	0,115

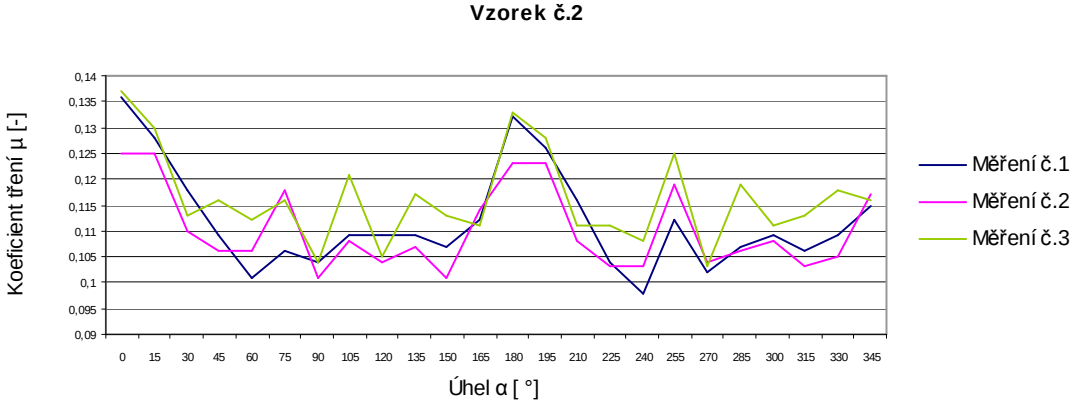
Tabulka 3: Hodnoty koeficientu tření

Průměrné hodnoty součinitele tření μ [-]													
Vzorek	Číslo měření	Úhel α [°]											
		180	195	210	225	240	255	270	285	300	315	330	345
1	1	0,119	0,118	0,125	0,114	0,118	0,116	0,119	0,11	0,125	0,119	0,126	0,116
	2	0,116	0,115	0,124	0,117	0,119	0,115	0,128	0,116	0,119	0,119	0,128	0,119
	3	0,117	0,121	0,132	0,126	0,126	0,128	0,127	0,118	0,128	0,123	0,136	0,124
	Ø [-]	0,117	0,118	0,127	0,119	0,121	0,120	0,125	0,115	0,124	0,120	0,130	0,120
2	1	0,132	0,126	0,116	0,104	0,098	0,112	0,102	0,107	0,109	0,106	0,109	0,115
	2	0,123	0,123	0,108	0,103	0,103	0,119	0,104	0,106	0,108	0,103	0,105	0,117
	3	0,133	0,128	0,111	0,111	0,108	0,125	0,103	0,119	0,111	0,113	0,118	0,116
	Ø [-]	0,129	0,126	0,112	0,106	0,103	0,119	0,103	0,111	0,109	0,107	0,111	0,116
3	1	0,141	0,144	0,153	0,172	0,208	0,241	0,27	0,245	0,189	0,171	0,16	0,152
	2	0,146	0,152	0,157	0,174	0,2	0,249	0,267	0,25	0,196	0,171	0,151	0,148
	3	0,152	0,15	0,164	0,179	0,21	0,255	0,271	0,258	0,199	0,183	0,159	0,154
	Ø [-]	0,146	0,149	0,158	0,175	0,206	0,248	0,269	0,251	0,195	0,175	0,157	0,151
4	1	0,177	0,175	0,155	0,13	0,128	0,115	0,112	0,126	0,126	0,141	0,155	0,171
	2	0,185	0,166	0,151	0,129	0,128	0,113	0,107	0,121	0,122	0,143	0,147	0,165
	3	0,185	0,175	0,145	0,129	0,116	0,113	0,125	0,114	0,132	0,142	0,148	0,169
	Ø [-]	0,182	0,172	0,15	0,129	0,124	0,114	0,115	0,12	0,127	0,142	0,15	0,168
5	1	0,147	0,152	0,145	0,133	0,14	0,139	0,142	0,146	0,134	0,153	0,15	0,151
	2	0,144	0,152	0,151	0,137	0,14	0,149	0,14	0,143	0,138	0,152	0,157	0,151
	3	0,156	0,165	0,142	0,155	0,149	0,151	0,146	0,155	0,147	0,136	0,152	0,137
	Ø [-]	0,149	0,156	0,146	0,142	0,143	0,146	0,143	0,148	0,14	0,147	0,153	0,146
6	1	0,163	0,17	0,168	0,157	0,148	0,134	0,134	0,142	0,15	0,152	0,181	0,164
	2	0,171	0,187	0,177	0,168	0,151	0,147	0,137	0,157	0,154	0,152	0,164	0,178
	3	0,164	0,176	0,166	0,168	0,162	0,156	0,133	0,147	0,159	0,165	0,179	0,161
	Ø [-]	0,166	0,178	0,17	0,164	0,154	0,146	0,135	0,149	0,154	0,156	0,175	0,168
7	1	0,095	0,103	0,121	0,117	0,151	0,211	0,208	0,166	0,131	0,114	0,098	0,097
	2	0,097	0,101	0,115	0,117	0,15	0,22	0,204	0,164	0,131	0,116	0,103	0,099
	3	0,102	0,105	0,124	0,125	0,176	0,231	0,199	0,167	0,145	0,116	0,108	0,109
	Ø [-]	0,098	0,103	0,12	0,12	0,159	0,221	0,204	0,166	0,136	0,115	0,103	0,102
8	1	0,27	0,224	0,179	0,161	0,152	0,141	0,145	0,147	0,158	0,185	0,189	0,221
	2	0,283	0,225	0,181	0,168	0,143	0,147	0,146	0,142	0,165	0,183	0,189	0,222
	3	0,281	0,233	0,151	0,166	0,168	0,158	0,152	0,156	0,166	0,182	0,188	0,229
	Ø [-]	0,278	0,227	0,17	0,165	0,154	0,149	0,148	0,148	0,163	0,183	0,189	0,224
9	1	0,133	0,139	0,125	0,123	0,128	0,124	0,125	0,123	0,122	0,13	0,135	0,139
	2	0,129	0,132	0,21	0,122	0,125	0,124	0,123	0,122	0,129	0,125	0,13	0,127
	3	0,134	0,142	0,126	0,13	0,123	0,123	0,128	0,127	0,129	0,137	0,137	0,137
	Ø [-]	0,132	0,138	0,154	0,125	0,125	0,124	0,125	0,124	0,127	0,131	0,134	0,134
10	1	0,109	0,107	0,113	0,111	0,106	0,1	0,112	0,106	0,107	0,112	0,117	0,112
	2	0,109	0,103	0,111	0,109	0,11	0,105	0,108	0,106	0,113	0,11	0,112	0,114
	3	0,121	0,116	0,112	0,111	0,115	0,113	0,114	0,111	0,111	0,116	0,119	0,12
	Ø [-]	0,113	0,109	0,112	0,110	0,110	0,106	0,111	0,108	0,110	0,113	0,116	0,115

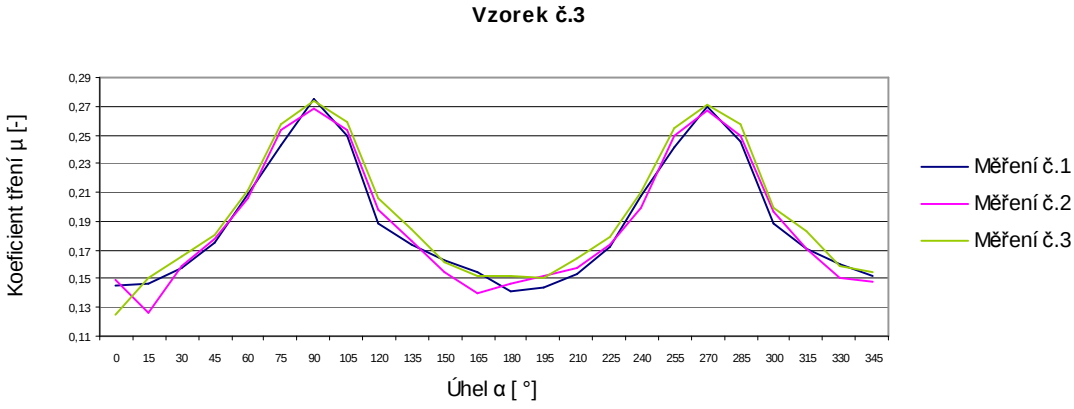
Tabulka 4: Hodnoty koeficientu tření



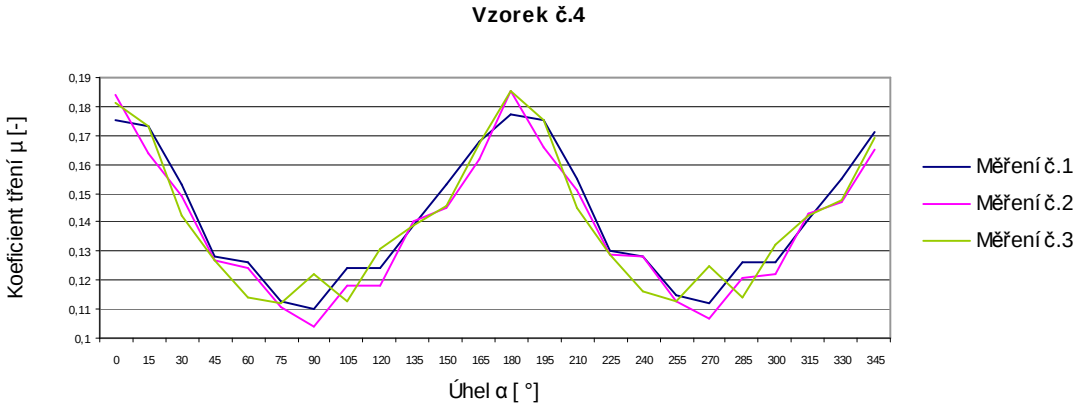
Graf 3: Hodnoty koeficientu tření materiálu č.1



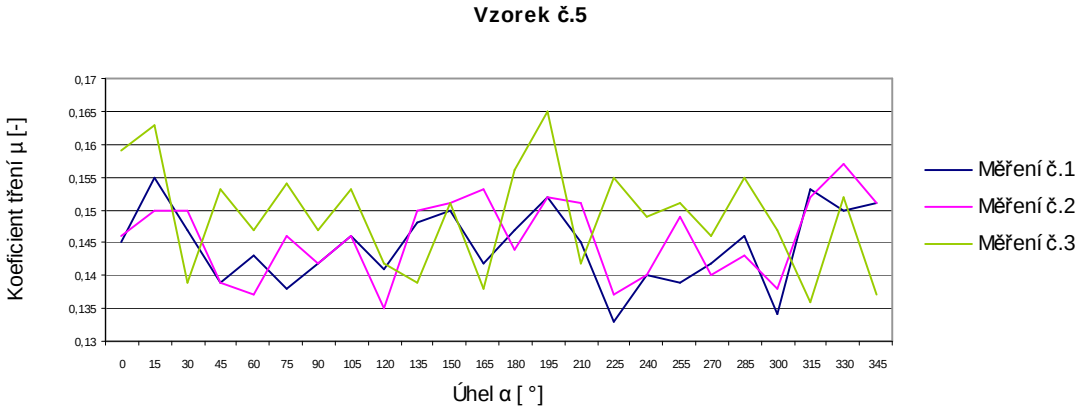
Graf 4: Hodnoty koeficientu tření materiálu č. 2



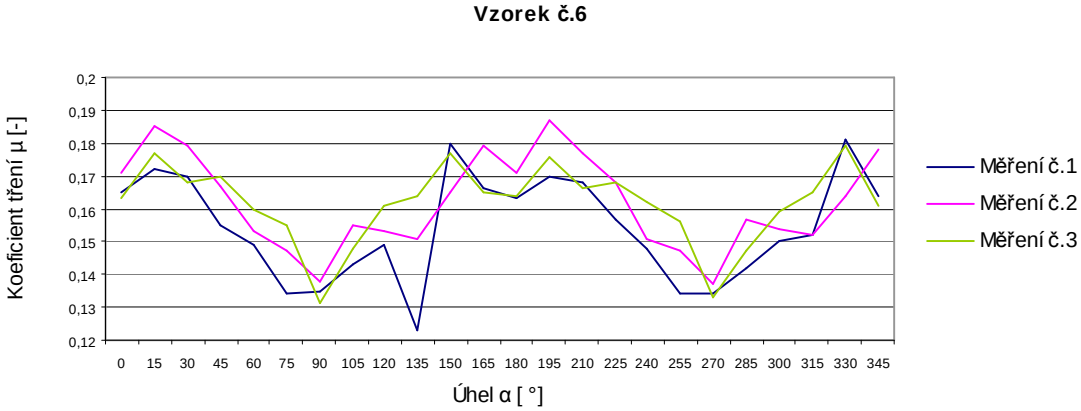
Graf 5: Hodnoty koeficientu tření materiálu č. 3



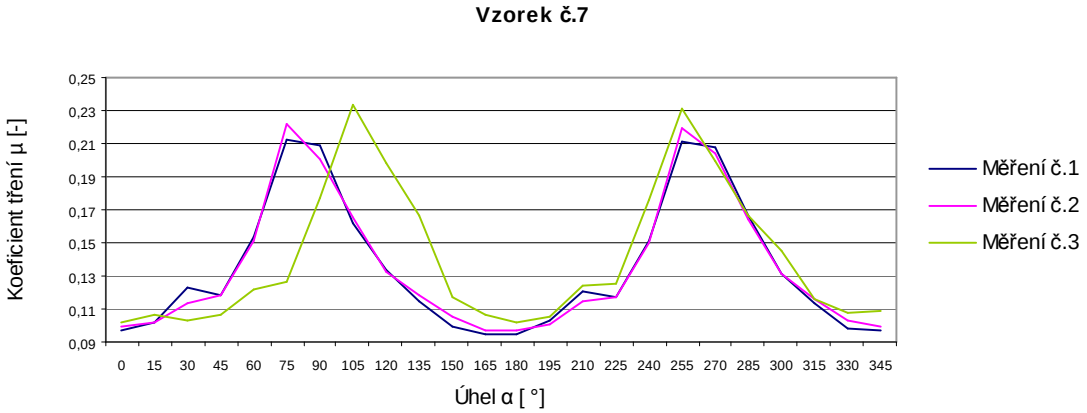
Graf 6: Hodnoty koeficientu tření materiálu č. 4



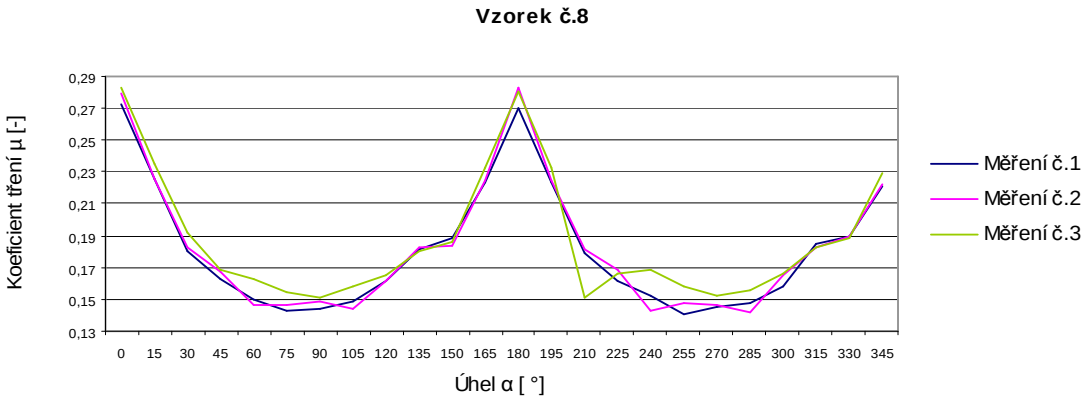
Graf 7: Hodnoty koeficientu tření materiálu č. 5



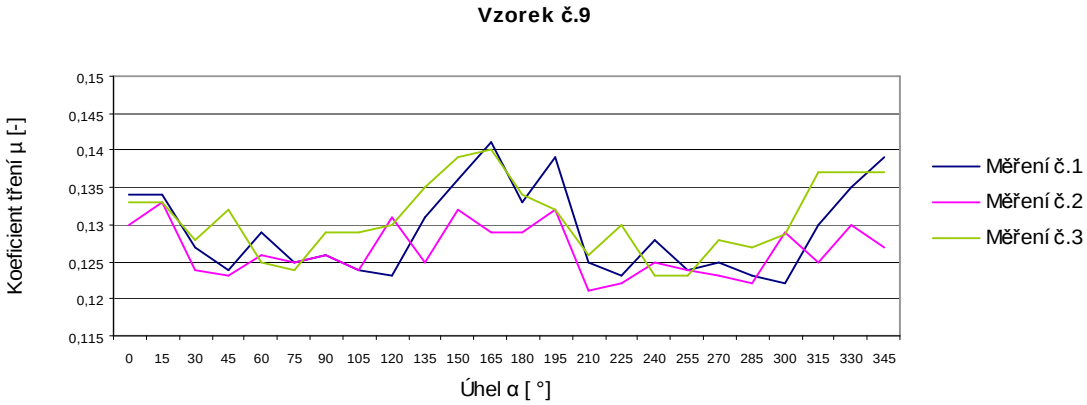
Graf 8: Hodnoty koeficientu tření materiálu č. 6



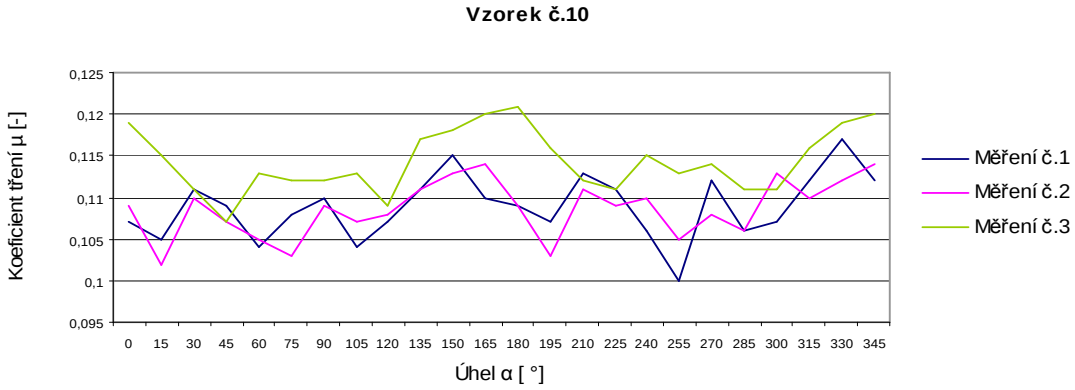
Graf 9: Hodnoty koeficientu tření materiálu č. 7



Graf 10: Hodnoty koeficientu tření materiálu č. 8



Graf 11: Hodnoty koeficientu tření materiálu č. 9



Graf 12: Hodnoty koeficientu tření materiálu č. 10

Z naměřených hodnot a grafů je vidět, že nejvyšší hodnoty koeficientu tření jsou u vzorků 3, 4, 6 a 8, které jsou tkány ve vzorových vazbách. Při porovnání vzorků 1, 2, 5, 7, 9 a 10, které jsou tkány v základních vazbách (plátno, kepr, nebo atlas), jsou nevyšší hodnoty koeficientu tření u vazeb keprových (vzorky 5 a 9) a vazby atlasové (vzorek 7). Vzorky tkané v plátnové vazbě (1, 2, a 10) mají hodnoty koeficientu tření nižší, ne však výrazně.Dá se tedy usoudit, že vazba nemá na koeficient tření nijak velký vliv. Výrazněji se od nich liší pouze vzorové vazby. Dá se tedy předpokládat, že čím složitější bude vzor vazby, tím vyšší bude koeficient tření. Z grafů je dále vidět že nejvíce závislé na úhlu pootočení vzhledem k osnově jsou vzorky 3, 4, 7 a 8. Nejvyšší hodnoty koeficientu tření u vzorků 3 a 7 jsou ve směru osnovy a nejnižší ve směru útku. U vzorků 4 a 8 je to naopak, nejvyšší ve směru útku a nejnižší ve směru osnovy. Ostatní vzorky jsou méně směrově závislé.

2.3.1 Určení anizotropie koeficientu tření

Stupně anizotropie koeficientu tření byly počítány podle vztahu (20) a byly označeny S_{μ}. Stupně anizotropie koeficientu tření pro všech 10 měřených vzorků jsou uvedeny v tabulce 5.

Z tabulky 5 a z polárních diagramů na obrázku 40 je patrné že směrová závislost koeficientu tření je velmi malá u vzorků tkaných v plátnových a keprových vazbách a u vzorové vazby, kde je použita plátnová vazba (vzorek 6), tyto vazby jsou přibližně izotropní. Nízké hodnoty součinitele anizotropie svědčí o nízké směrovosti a vysoké izotropii součinitele tření pro všechny tyto typy tkanin.

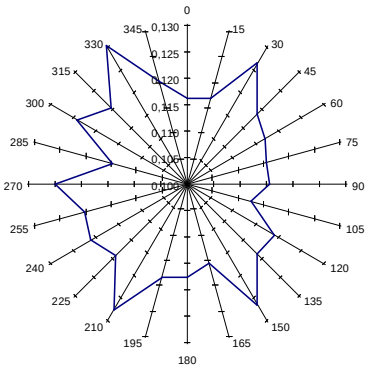
Nejvyšší stupeň anizotropie vykazuje vzorek 7 tkaný v atlasové vazbě a vzorky tkané ve vzorových vazbách (vzorky 3, 4 a 8). Tyto vazby jsou vysoce anizotropní.

Z polárních diagramů je dále vidět že maximální hodnoty součinitele tření pro vzorky 2, 4, 5, 6, 8, 9 a 10 jsou ve směru útkových nití. U vzorků 3 a 7 jsou nejvyšší hodnoty ve směru nití osnovních. Pouze u vzorku č.1 jsou hodnoty ve směru osnovních i útkových nití přibližně stejné.

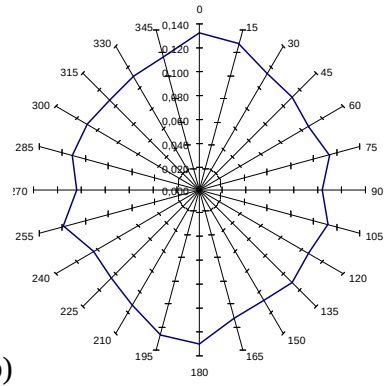
Vzorek	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Sμ	0,074	0,127	0,322	0,238	0,057	0,137	0,381	0,305	0,057	0,040

Tabulka 5: Stupně anizotropie koeficientu tření

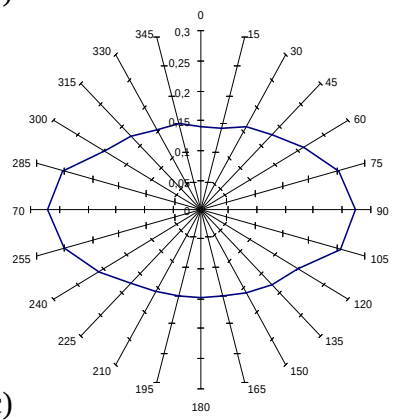
a)



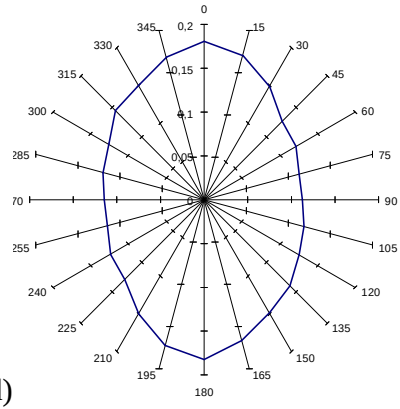
b)

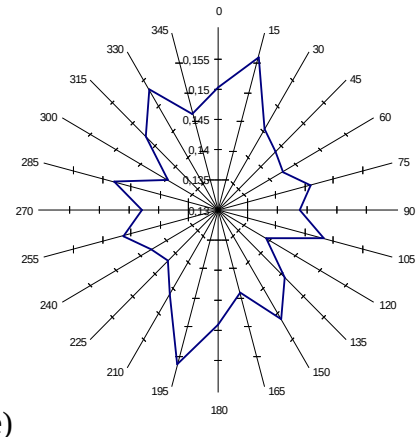


c)

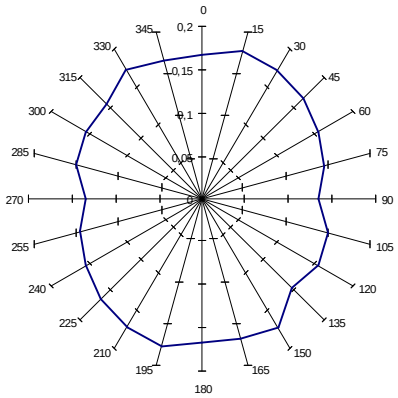


d)

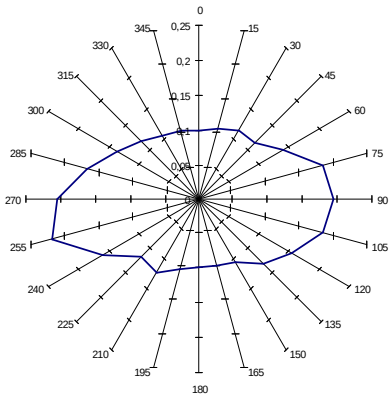




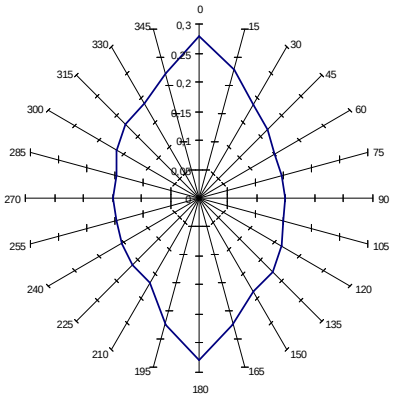
e)



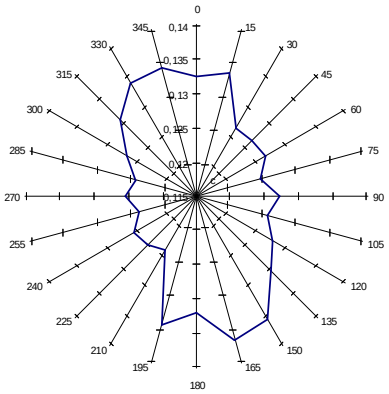
f)



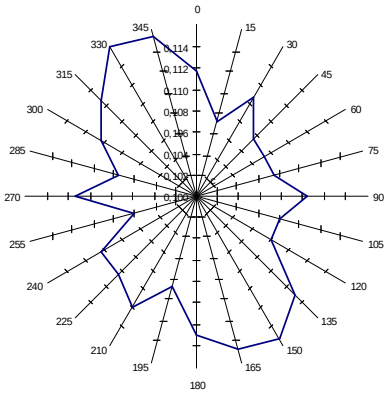
g)



h)



i)



j)

Koeficient tření [-]

Obrázek 40: Polární diagramy součinitele tření

: a) vzorek č.1, b) vzorek č.2, c) vzorek č.3, d) vzorek č.4, e) vzorek č.5, f) vzorek č.6, g) vzorek č.7,h) vzorek č.8, i) vzorek č.9, j) vzorek č.10

Výhody použité metody měření :

1) Vysoká přesnost naměřených výsledků.
2) Velké množství naměřených hodnot na relativně krátké dráze.
3) Lze dodržet konstantní napětí při upnutí vzorků.
4) Netvoří se zde elektrostatický náboj, který by mohl ovlivnit naměřené hodnoty.

Nevýhodou tohoto měřícího přístroje je jeho nedostupnost, protože v České republice je tento přístroj pouze na oděvní katedře Technické univerzity v Liberci. Také je tento měřící přístroj velmi drahý a náročný na údržbu.

3 Závěr

V této bakalářské práci jsou shrnuty poznatky o tření, jeho významu a způsobu hodnocení. Je zde popsán koeficient tření, Stick and slip efekt a jev anizotropie. Bylo provedeno měření vedoucí ke zjištění součinitele tření a anizotropie součinitele tření.

Měření bylo prováděno na deseti vzorcích tkanin, které se navzájem liší vazbou a materiálovým složením. Pro měření koeficientu tření byl použit měřící přístroj KES-AB-FB4. Byly zde také popsány základní výhody a nevýhody tohoto měřícího přístroje.

Vzorky byly měřeny po úhlu patnácti stupňů vzhledem k útku pro zjištění koeficientu tření a anizotropie koeficientu tření daných vzorků. U všech vzorků se anizotropie nějakou měrou projevila. Nejméně u vazeb plátnových a naopak nejvíce směrově závislý je vzorek tkaný v atlasové vazbě.

Z měření koeficientu tření vyplynulo, že se nejvyšší hodnoty vyskytují převážně ve směru útku a nejnižší hodnoty ve směru osnovy. Pouze u dvou vzorků byly nejvyšší hodnoty naměřeny ve směru osnovy a nejnižší hodnoty ve směru útku.

Seznam použité literatury:

[1] – Strutex – 8.Národní konference , 2002

[2] – Vlasáková H. :Hodnocení vlastností délkových a plošných textilií a vnitřního tlumení [Diplomová práce] , TU Liberec , Fakulta textilní , 2001

[3] – Oliva H.,Olexa J. :Úvod do teorie tření , opotřebení a kontaktního porušování , ČVUT Praha , 1978

[4] – Horák Z., Krupka F., Šindelář V., Technická fyzika, Praha, 1960

[5] – Sodomka L. : Anizotropie netkaných textilií , Textil 35 , 1980

[6] – Kopřivová M. : Měření tření plošných textilií [Diplomová práce], TU Liberec, Fakulta Textilní, 2001

[7] – KES AB – FB – 4 – Users Manual

[8] – Sodomka L.,Vlasáková H.,Vágnerová H.:Anizotropie součinitele tření základních vazeb bavlněných tkanin , Strutex -7.Národní konference , 2001

[9] – http://www.keskato.co.jp./

[10]- Kovář R., Konečný F. :Woven Fabric-To-Fabric Slip, 2nd International textile, clothing and design conference-Magic World of Textiles, Dubrovník, Croatia

Seznam obrázků

Obrázek 1: Makroskopické zákony tření 11
Obrázek 2: Mikroskopické dotykové plochy 13
Obrázek 3: Úhly nakloněné roviny 15
Obrázek 4: Úhly nakloněné roviny 16
Obrázek 5: Nakloněná rovina 16
Obrázek 6: Valivé tření 18
Obrázek 7: Rovnováha sil u valivého tření 19
Obrázek 8: Tření opásáním 20
Obrázek 9: Dvě stýkající se roviny pohybující se vůči sobě posuvným pohybem 22
Obrázek 10: Nakloněná rovina 23
Obrázek 11: Dvě stýkající se roviny, z nichž jedna klouže po rotující rovině 24
Obrázek 12: Rovina klouzající proti směru rotujícího válce (válců) 25
Obrázek 13: Tahový tribometr 26
Obrázek 14: Sklonný tribometr 27
Obrázek 15: Tribometr HEF 29
Obrázek 16: Vznik stick and slip efektu 32
Obrázek 17: Střída vazby 1 33
Obrázek 18: Fotografie vazby 1 34
Obrázek 19: Střída vazby 2 34
Obrázek 20: Fotografie vazby 2 35

Obrázek 21: Střída vzoru 3 35
Obrázek 22: Fotografie vazby 3 36
Obrázek 23: Střída vzoru 4 36
Obrázek 24: Fotografie vazby 4 37
Obrázek 25: Střída vazby 5 37
Obrázek 26: Fotografie vazby 5 38
Obrázek 27: střída vazby 6 38
Obrázek 28: Fotografie vazby 6 39
Obrázek 29: střída vazby 7 39
Obrázek 30: Fotografie vazby 7 40
Obrázek 31: Střída vazby 8 40
Obrázek 32: Fotografie vazby 8 41
Obrázek 33: Střída vazby 9 41
Obrázek 34: Fotografie vazby 9 42
Obrázek 35: Střída vazby 10 42
Obrázek 36: Fotografie vazby 10 43
Obrázek 37: Měřící zařízení pro zjišťování povrchových charakteristik 44
Obrázek 38: Mechanismus pro měření koeficientu tření a střední odchylky koeficientu tření 45
Obrázek 39: Snímač pro měření koeficientu tření a střední odchylky koeficientu tření 46
Obrázek 40: Polární diagramy součinitele tření 55

Seznam grafů

Graf 1: Pilovitý průběh třecí síly 32
Graf 2: Koeficient tření [7] 46
Graf 3: Hodnoty koeficientu tření materiálu č.1 50
Graf 4: Hodnoty koeficientu tření materiálu č. 2 50
Graf 5: Hodnoty koeficientu tření materiálu č. 3 50
Graf 6: Hodnoty koeficientu tření materiálu č. 4 51
Graf 7: Hodnoty koeficientu tření materiálu č. 5 51
Graf 8: Hodnoty koeficientu tření materiálu č. 6 51
Graf 9: Hodnoty koeficientu tření materiálu č. 7 52
Graf 10: Hodnoty koeficientu tření materiálu č. 8 52
Graf 11: Hodnoty koeficientu tření materiálu č. 9 52
Graf 12: Hodnoty koeficientu tření materiálu č. 10 53

Seznam tabulek

Tabulka 1: Hodnoty ramene valivého odporu 18
Tabulka 2: Koeficienty tření 21
Tabulka 3: Hodnoty koeficientu tření 48
Tabulka 4: Hodnoty koeficientu tření 49
Tabulka 5: Stupně anizotropie koeficientu tření 54

Seznam příloh

Příloha 1 : Vzorník měřených materiálů
Příloha 2 : Naměřené hodnoty koeficientu tření MIU a směrodatné odchylky koeficientu tření MMD (CD)