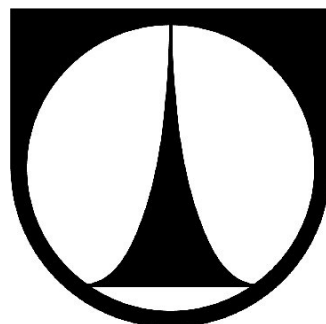


**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA TEXTILNÍ**



**DRSNOST POVRCHU PŘÍZE
A KOEFICIENT TŘENÍ**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

LIBEREC 2016

Bc. Pavel Bernát

Drsnost povrchu příze a koeficient tření

Diplomová práce

Studijní program: N3106 – Textilní inženýrství
Studijní obor: 3106T017 – Oděvní a textilní technologie
Autor práce: **Bc. Pavel Bernát**
Vedoucí práce: Ing. Monika Vyšanská, Ph.D.





Surface roughness of yarn and coefficient of friction

Diploma thesis

Study programme: N3106 – Textile Engineering

Study branch: 3106T017 – Clothing and Textile Engineering

Author: **Bc. Pavel Bernát**

Supervisor: Ing. Monika Vyšanská, Ph.D.



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta textilní

Akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Pavel Bernát**
Osobní číslo: **T13000067**
Studijní program: **N3106 Textilní inženýrství**
Studijní obor: **Oděvní a textilní technologie**
Název tématu: **Drsnost povrchu příze a koeficient tření**
Zadávací katedra: **Katedra textilních technologií**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :


1. Proveďte literární a internetový průzkum se zaměřením na tribologii, měřicí přístroje a techniky zjišťování koeficientu tření délkových textilií.
2. Realizujte měření koeficientu tření vybraných prstencových přízí na přístroji CTT.
3. Za shodných podmínek jako na přístroji CTT analyzujte kontaktní plochu daných přízí na komponentách CTT.
4. Korelujte naměřený koeficient tření s kontaktní plochou dvojic povrchů. Stanovte závěry.

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Rozsah pracovní zprávy: **cca 50 stran**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:

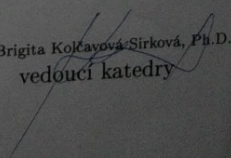
- [1] Morton, W. E., Hearle, J. W. S.: Physical properties of textile fibres, Textile Institute, UK, 1997
- [2] Lawson-Hemphill: CTT Constant tension transport, User manual, Swansea, USA.
- [3] Howell, H. G., Mieszkis, K. W., Tabor, D.: Friction in Textiles, Butterworths Publications Limited, London, 1959.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Monika Vyšanská, Ph.D.**
Katedra textilních technologií
Konzultant diplomové práce: **Ing. Eva Moučková, Ph.D.**
Katedra textilních technologií

Datum zadání diplomové práce: **20. února 2014**
Termín odevzdání diplomové práce: **14. května 2015**


Ing. Jana Drašarová, Ph.D.
děkanka




Ing. Brigita Kolářová-Sirková, Ph.D.
vedoucí katedry

V Liberci dne 22. dubna 2014

Žádost o změnu termínu odevzdání závěrečné práce

Jméno a příjmení: PAVEL BERNÁT

Osobní číslo: T13000067

Studijní program: N3106 - TEXTILNÍ INŽENÝRSTVÍ

Studijní obor: OTT

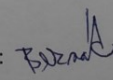
Zadávací katedra: KTT

Žádám o změnu termínu odevzdání ~~bakalářské práce z~~ 14.5.2015 na 13.5.2016
DIPLOMOVÉ

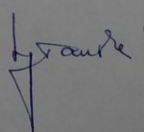
Odůvodnění žádosti:

Z DŮVODU ČASOVÉ NÁROČNOSTI.

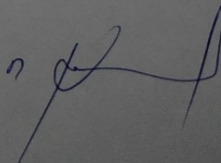
V LIBERCI dne 4.4.2016

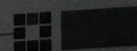
Podpis: 

Vyjádření vedoucího práce: SOUHLASÍM.



Vyjádření vedoucího katedry:

SOUHLASÍM 



Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé diplomové práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum:

Podpis:

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych rád poděkoval Ing. Bc. Monice Vyšanské, Ph.D., vedoucí této práce, za odborné vedení a hlavně trpělivost při konzultacích. Dále Ing. Evě Moučkové, Ph.D., za odborné rady a proškolení při měření na přístroji CTT a v neposlední řadě Šárce Řezníčkové, za její pomoc v laboratořích KTT.

Anotace

Diplomová práce se zaměřuje na tribologii, měřicí přístroje a techniky zjišťování koeficientu tření délkových textilií. V práci se realizuje postup měření koeficientu tření vybraných přízí na přístroji CTT. Za shodných podmínek jako na přístroji CTT je analyzována velikost kontaktní plochy daných přízí na komponentách přístroje CTT. Cílem práce je korelovat naměřený koeficient tření s velikostí kontaktní plochy dvojic povrchů a vytvořit regresní modely pro různé materiály a zákruty.

Annotation

This thesis focuses on tribology, measuring devices and techniques for detecting coefficient friction of length textiles. The friction coefficient measuring of selected yarns is realized on CTT device in the thesis. Under the same conditions (as on CTT device) contact area size of yarns is analyzed by the CTT device components. The goal is to correlate measured friction coefficient with the contact area size of two surfaces and to create regression models for various materials and twists.

KLÍČOVÁ SLOVA/KEY WORDS:

Tribologie/Tribology

Tření/Friction

Drsnost povrchu/Surface roughness

Koeficient tření/Coefficient of friction

CTT

Obsah:

Seznam použitých zkratk	9
1 Úvod	11
2 Tribologie	12
2.1 Kontaktní procesy (interakce povrchů)	12
3 Tření	13
3.1 Definice tření	13
3.2 Historie tření	14
3.3 Makroskopické zákony	15
3.4 Druhy třecích sil	17
3.4.1 Smykové tření	17
3.4.1.1 Koeficient tření	17
3.4.2 Valivé tření	18
3.4.3 Tření opásáním	19
3.5 Stick and Slip efekt	19
4 Tření v textilním průmyslu	20
4.1 Vlivy ovlivňující velikost třecích sil	21
4.2 Vliv stupně drsnosti na koeficient tření	22
5 Metody měření koeficientu tření	24
5.1 Metody měření tření délkových textilií	24
5.1.1 Guthie a Oliverova metoda	25
5.1.2 Rovina ve tvaru pásu obepínající rotující válcovou plochu	26
5.1.3 Měření Eulerova tření mezi pohyblivými kladkami	27
5.1.4 Měření koeficientu tření pomocí přístroje CTT	28
5.1.4.1 Testování příze odírající se o kolík	29
5.1.4.2 Testování příze odírající se o přízi	30
6 Měření chlupatosti příze pomocí přístroje UT IV-SX	31
7 Zjišťování parametrů příze pomocí obrazové analýzy	33
8 Tvorba příčných řezů textilií	34

9	Zjišťování počtu zákrutů jednoduché a skané příze	34
10	Vláknový materiál – Polypropylen, Viskóza	35
11	Vztahy pro statistické zpracování dat	37
12	Experimentální část	39
12.1	Podmínky měření na CTT	40
12.2	Výsledky měření na přístroji CTT	41
12.2.1	Vyhodnocení měření drsnosti povrchu kovového kolíku z CTT	42
12.3	Výsledky měření na přístroji UT IV-SX	43
12.4	Výpočet kontaktní plochy styčných povrchů	45
12.4.1	Výpočet délky nerovností řezu vláken na povrchu příze „ n “	47
12.4.2	Výpočet délky vlákna v přízi „ l “	48
12.4.2.1	Určení průměru zatížené příze „ Dr “	49
12.4.2.2	Určení velikosti úhlu „ β_j “	50
12.4.3	Výpočet počtu vláken v délce příze obepínající kolík „ N_k “	52
12.4.3.1	Výpočet délky příze na kolíku „ l_k “	53
12.4.3.2	Výpočet průměru vlákna rovnoběžného s osou příze „ d_2 “	54
12.5	Vyhodnocení kontaktní plochy styčných povrchů	55
13	Závěr	59
14	Seznam použité literatury	61

Seznam použitých zkratk:

A	kontaktní plocha [μm^2]
CTT	Constant tension transport
CV	viskóza
d	ekvivalentní průměr vlákna [μm]
d_2	ekvivalentní průměr vlákna rovnoběžný s osou příze [μm]
D	průměr příze [m]
Dr	průměr zatížené příze [μm]
G_0	hmotnost závaží [kg]
F_A	adhezní síla [N]
F_D	deformační síla [N]

F_E	elektrická síla při kontaktu [N]
F_K	konstituční síla [N]
F_n	kolmá tlaková síla [N]
F_S	síla stérických zábran [N]
F_t	třecí síla [N]
F_o	vstupní síla [N]
H	chlupatost příze [-]
H_{CLA}	stupeň drsnosti povrchu [μin]
$IS(D,H)$	95%-ní interval spolehlivosti (dolní a horní meze)
l	délka vlákna v přízi na kolíku [μm], na str. 37 také délka příze [km]
l_k	délka příze na kolíku [μm]
m	hmotnost [g]
n	délka nerovností řezu vláken na povrchu příze [μm]
N_k	počet vláken v délce příze obepínající kovový kolík [-]
PP	polypropylen
R	koeficient korelace [-], na str. 15 také poloměr průřezu tělesa [m]
R_k	poloměr kolíku [μm]
S_a	střední aritmetická odchylka od povrchu [μm]
SSE	Stick and slip efekt
T	jemnost [tex]
T_{in}	vstupní zatížení [g]
T_{out}	výstupní zatížení [g]
UT	Uster Tester IV-SX
Z	reálný zákrut příze [m^{-1}]
β	nejmenší úhel mezi dvěma přízemi [$^\circ$]
β_j	úhel mezi osou vlákna a osou příze [rad]
μ	dynamický koeficient tření [-]
μ_0	statický koeficient tření [-]
μ_i	střední hodnota
θ, θ_k	úhel opásání [rad]
ζ	délka ramene valivého odporu [m]

1 Úvod

Drsnost povrchu hraje významnou roli jako určující parametr v oblasti textilií. Ovlivňuje ji samotná technologie výroby s vybranými parametry příze jako jemnost, zákrut nebo hmotová nesejnoměrnost, ale hlavně s povrchovou drsností úzce souvisí existence tření a působení třecích sil.

Tření je fyzikální jev, který vzniká při pohybu. Setkáváme se s ním téměř pravidelně i v každodenním životě. Častokrát je i velmi žádané, na druhou stranu se ho někdy snažíme co nejvíce eliminovat. Za negativní jev můžeme považovat např. brždění těles, protože jeho síla působí proti směru pohybu daného tělesa. Problém tření je však i ve vzniku tepla, které při tomto jevu vzniká. V textilu se tření projevuje několika jevy, soudržností vláken v přízích či jiných délkových či plošných útvarech, vznikem elektrostatického náboje nebo opotřebením povrchu třeného materiálu, např. vznikem žmolků a chlupatosti.

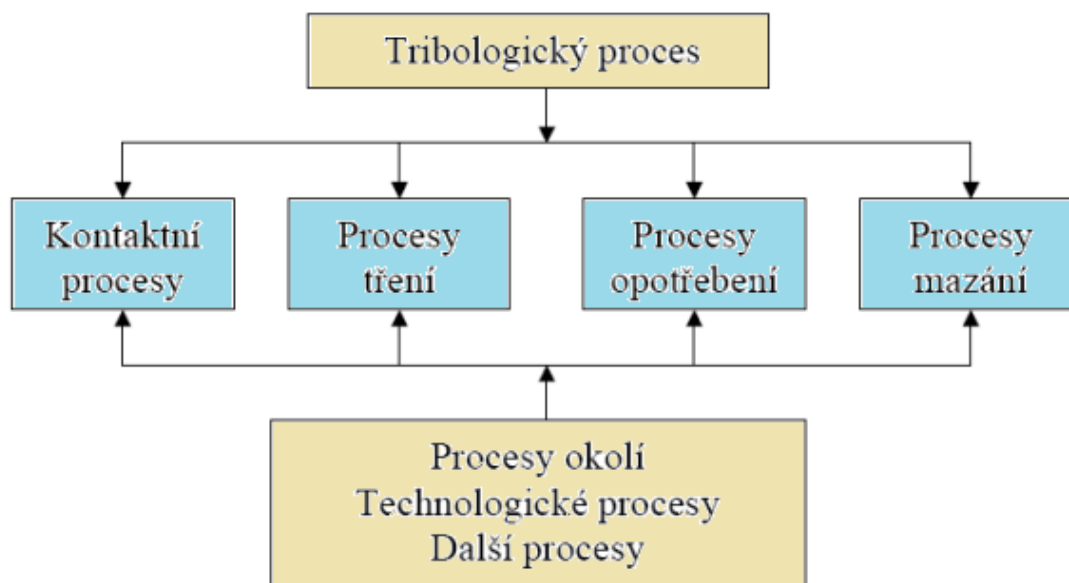
Abychom mohli tření nějakým způsobem měřit, porovnávat či vyhodnocovat, je nutné mít přístroje, které se měřením tření zabývají. Tyto přístroje se nazývají tribometry a vlastní vědu, která se zabývá měřením tření, nazýváme tribometrie. Nauka o tření a parametrech, které tření ovlivňuje je potom tribologie.

V teoretické části diplomové práce je vypracována rešerše zaměřující se na vysvětlení pojmů jako tribologie, tření, jeho definice, druhy atd., dále měřicí přístroje a techniky zjišťování koeficientu tření. Vycházelo se jak z tištěných pramenů, tak i z informací poskytnutých na internetové síti.

V praktické části byl proveden experiment, jehož hlavním cílem bylo naměřit koeficient tření na přístroji CTT, teoreticko-experimentálně analyzovat velikost kontaktní plochy dvojice povrchů, v našem případě kovového kolíku na přístroji CTT a dané příze. Následně zjistit korelaci obou zjištěných hodnot a z funkce vytvořit regresní model pro různé materiály a zákruty. Dále po proměření chlupatosti příze za pomoci přístroje Uster Tester, vyhodnotit případnou souvislost tohoto parametru s koeficientem tření z přístroje CTT.

2 Tribologie

Obecně tribologie je věda, či vědní obor, zabývající se výzkumem smykového tření a opotřebování povrchu látek, neboli chováním dotýkajících se povrchů těles ve vzájemném pohybu, nebo při pokusu o něj. Tento pohyb může být kluzný, rotační, valivý, kmitavý nebo nárazový. Ve skutečnosti se však uplatňují dva i více druhů pohybu současně. Tribologický proces může být charakterizován vzájemným působením mezi jednotlivými povrchy materiálů, použitými látkami mezi těmito povrchy a samotném okolí, ve kterém proces probíhá. Obecné vazby v tribologickém procesu, lze popsat obr. 1 [10].



Obr. 1 Vazby v tribologickém systému [10]

2.1 Kontaktní procesy (interakce povrchů)

Kontakt mezi jednotlivými prvky tribologického systému je základním znakem chování tohoto systému. Při kontaktních procesech je třeba uvažovat se základními tvarově-rozměrovými a materiálovými vlastnostmi styčných ploch, jejich vzájemnou vazbou a reakcí mezi nimi. Tyto interakce mohou být především materiálové, fyzikální, chemické, atd. Díky velkému počtu kontaktních situací je třeba zvažovat především tyto vlivy [10]:

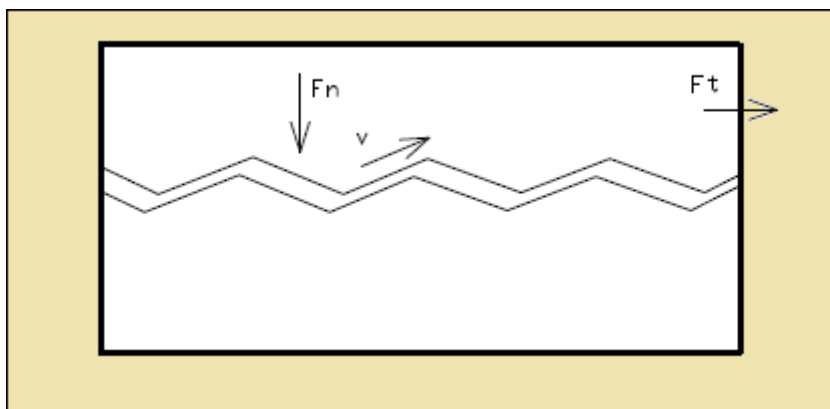
- mikrogeometrii a makrogeometrii kontaktních ploch
- rozměr ploch zúčastňujících se kontaktního procesu
- fyzikální, mechanické a chemické vlastnosti těles tvořící tribologický systém
- charakteristický druh deformace mezi jednotlivými tělesy
- rychlost a typ vzájemného relativního pohybu

3 Tření

3.1 Definice tření

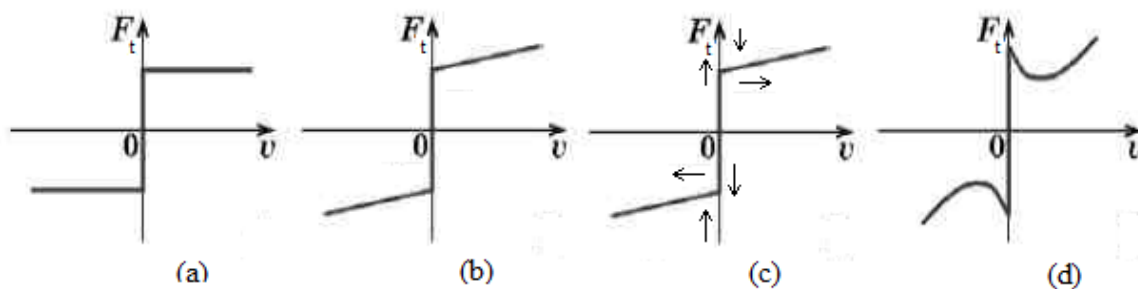
Třením rozumíme sílu (odpor) proti pohybu jednoho tělesa po povrchu druhého tělesa. Pokud se těleso pohybuje, zákonitě na něj působí brzdící síly. Při posunu tělesa po pevné podložce nevzniká odporová, ale třecí síla. Ta působí proti směru pohybu tělesa a tím ho přirozeně brzdí. Velikost tření závisí především na materiálu, dále pak na tlaku, který těleso klade na podložku.

Tření je tedy přírodní jev, který má charakter procesu a zabývá se interakcí povrchu těles v relativním pohybu. Fyzikální podstata vzniku síly tření může být různá podle podmínek, za nichž k pohybu těles dochází. Podle klasické mechanické teorie je odpor proti pohybu způsoben tím, že pohybující se těleso je potřeba pozvedávat do úrovně nejvyšších výčnělků na povrchu drsné podložky. Za klidu jsou pak obě tělesa do sebe zaklíněna povrchovými nerovnostmi – viz obr. 2. Velmi často bývá mezi tělesy obsaženo kapalně či plynné médium, které může navíc obsahovat i tuhé částice. Tohoto znečištění je potřeba si všimnout a přesně definovat, jelikož má velký vliv na velikost koeficientu tření [3, 4, 11].



Obr. 2 Vliv drsnosti povrchu na třecí odpor [4]

Pokud je těleso v pohybu, pak můžeme definovat 4 základní vztahy, které se týkají funkční závislosti třecí síly F_t na rychlosti v – viz obr. 3

Obr. 3 Vliv rychlosti v na třecí odpor F_t [8]

Obr. 3 zobrazuje do různé míry zidealizovaný vliv rychlosti v (kladné i záporné) na třecí sílu odporu F_t :

- třecí odpor se s rychlostí nemění (když $v \neq 0$)
- třecí odpor se s rychlostí mění lineárně
- třecí odpor se s rychlostí mění lineárně, jen pro $v \rightarrow 0$ je větší (statické tření)
- třecí odpor je složitější funkcí rychlosti – nejpravděpodobnější varianta

Tření po fyzikální stránce, je mechanický odpor působící proti pohybu pevného tělesa, které je v dotyku s jiným pevným tělesem nebo s tekutinou např. tření smykové (smyk pevných rovinných ploch), tření valivé (válení rotačního tělesa po rovinné podložce) a tření viskózní (pohyb pevného tělesa po viskózním prostředí).

Po stránce technické je tření při bezprostředním dotyku tuhých těles označováno jako suché (tření bez maziva), tření kapalinné vzniká u funkčních ploch, které jsou oddělené souvislou vrstvou maziva nebo jiného média (tření na vzduchovém polštáři). Přejíčovou oblastí mezi třením suchým a kapalinným je tření polosuché, kdy z vrstvy maziva vystupují vrcholy nerovností povrchu.

Oproti pojmu tření je rozlišován pojem opotřebením, které je definováno jako progresivní ztráta materiálu při pohybu jednoho tělesa po druhém. Při žádoucím opotřebením hovoříme o obrábění. Prostředkem ke snížení třecího odporu je lubrikace, která jednak snižuje koeficient tření a snižuje opotřebením vlivem mazadel (lubrikantů) [8, 11].

3.2 Historie tření

Tření je fyzikální jev, který se vyskytuje při vzájemném působení dvou a více těles. Je to odpor proti působení pohybu tělesa. Tento jev může být vítanou vlastností, ale i vlastností, kterou se člověk snaží zmenšit nebo úplně odbourat. Při tření těles o sebe dochází k zahřívání, čehož využívali už před mnoha lety pralidé, kdy pomocí tření dřev o sebe rozdělávali oheň, což byl veliký krok v dějinách země. Lidé už v nejstarších dobách hledali

způsob, jak zmenšit potřebnou námahu k tažení nebo smykání předmětů. Povšimli si toho, že po dešti mokry povrch umožňoval vynakládat menší sílu. První zmínkou dokládající tuto znalost je nástěnný reliéf v egyptské jeskyni El-berša, zobrazující dopravu 6,75 metrů vysoké sochy Džehutihotepe z XII. dynastie střední říše asi 1880 let před naším letopočtem. Výjev představoval sochu taženou na dřevěných saních, před něž se rozlévalo mazivo.

S vynálezem kola sice lidé zmenšili tření mezi taženým předmětem a povrchem země, ale vznikl problém, jak odstranit čepové tření mezi kolem a hřídelí. Odpověď našli v podobě využití živočišného tuku. Nejstarší doklad takového počínání je z roku 1400 před naším letopočtem, kdy stopa tuku byla nalezena na hřídeli kola dřevěného vozíku v egyptské hrobce.

Tření má dlouhodobou tradici, od středověku je možné hovořit o prvních teoriích tření, ke kterým patří především práce Leonarda da Vinci (1452-1519), který podle vlastních experimentů došel k poznatku že:

*-velikost třecí síly je úměrná kolmému zatížení a nezávisí na velikostech ploch třecích těles
-součinitel tření pro všechny kovy je stejný*

Téměř o 200 let později francouzský inženýr Amontons (1633-1705) formuluje stejné poznatky a tím zakládá geometricko-mechanickou teorii tření. V roce 1699 definuje první zákon tření:

$$\mu = \frac{F_t}{F_n} \quad (1)$$

Později tento vztah přechází do literatury jako Coulombův zákon, i když Coulomb až v roce 1779 nachází svůj dvoudílný výraz pro třecí sílu. V průběhu dalších let se tyto teorie vyvíjejí a navzájem ovlivňují hlavně zásluhou badatelů, jako byl Hardy, Tomlison, Ten Boch, Göttner, Prandl a další. Ve 40. a 50. letech našeho století se tyto práce na základě rozsáhlých experimentálních prací sjednotily a současný stav poznatků dospěl do stádia, kdy se dokázala a uznává dvojí mechanicko-molekulárně-adhezní podstata tření [4, 8].

3.3 Makroskopické zákony

Jak již bylo řečeno, jsou-li dvě dotýkající se tělesa navzájem v relativním pohybu, působí v místě styku odpor označovaný jako třecí síla F_t [N]. Poměr třecí síly F_t k normále F_n [N] je dán příslušnou konstantou úměrnosti – viz vzorec 1 a obr. 4. Z předešlých výzkumů jsou známy tři zákony tření [9]:

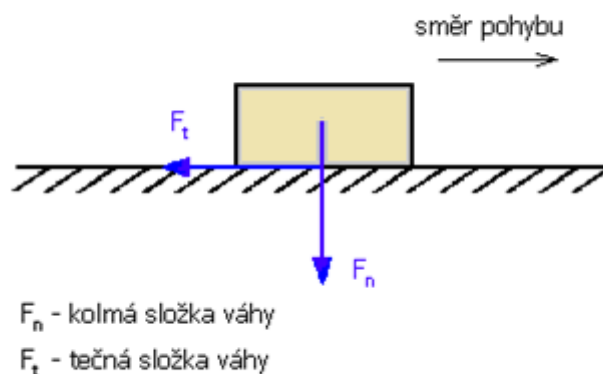
1) Velikost síly tření je přímo úměrná působícímu zatížení. Pokud tedy zvětšujeme n-krát tlakovou sílu F_n [N] přidáváním zátěže na těleso, je třecí síla F_t [N] n-krát větší.

2) Velikost síly tření nezávisí na makroskopické (viditelné) ploše styku těles.

3) Síla tření F_{t0} potřebná k uvedení tělesa ze stavu klidu do pohybu je větší, než síla F_t nutná k udržení relativního rovnoběžného pohybu. Proto platí: $F_{t0} > F_t; \mu_0 > \mu$;

$$F_{t0} = \mu_0 \cdot F_n \quad (2)$$

Konstanta μ_0 [-] je nazývána jako koeficient smykového tření za klidu (statický koeficient tření). Konstanta μ [-] je označována jako koeficient smykového tření za pohybu (dynamický koeficient tření) – viz kap 3.4.1.1.



Obr. 4 Odporová síla F_t [N] působí proti směru pohybu [4]

Na třecí síle se podílejí jednak síly adhezní F_A , jednak síly konstituční F_K a také síly deformační F_D . Adhezní síly jsou síly molekulové, konstituční jsou určeny drsností povrchu a deformační, určené deformací povrchu, jsou síly makroskopické. U textilií, které vykazují chlupatost, přistupují ještě síly stérických zábran F_S . Celkovou třecí sílu F_t pro textilie tedy vyjádříme jako součet adhezních, konstitučních, deformačních sil a sil stérických zábran. Konstituční síly jsou tvořeny bariérami profilů nerovnosti povrchů, deformační síly jejich deformací, síly stérických zábran jsou způsobeny propletením vyvstávajících vláken a jejich pevností. Pro celkovou třecí sílu platí tedy vztah:

$$F_t = F_A + F_K + F_D + F_S + (F_E) \quad (3)$$

Poslední člen silového příspěvku na tření uvedený v závorce (F_E) představuje přímý vliv elektrických sil při kontaktu a pro kinetické tření vzniklou triboelektřinou. Pro statická měření lze tento příspěvek zanedbat, pro kinetická měření může být tento příspěvek natolik

významný, že převyšší i statický součinitel tření, který bývá obecně větší než součinitel tření kinetický [8].

3.4 Druhy třecích sil

Podle způsobu tření rozdělujeme tření na:

- tření smykové (kluzné, vlečné)
- tření valivé (valivý odpor)
- tření opásáním (Eulerovo tření)

3.4.1 Smykové tření

Je to tření, které vzniká mezi tělesy při jejich posuvném pohybu. Někdy je nazýváno také kinematické tření. Pro svůj poměrně velký rozsah rychlostí je téměř konstantní, avšak při uvádění tělesa do pohybu (za jinak stejných podmínek), je tření větší, než u tělesa pohybujícího se. Pro malé rychlosti, lze závislost smykového tření na rychlosti zcela zanedbat a v takovém případě hovoříme o tzv. suchém (Coulombově) tření. Silové poměry u smykového tření můžeme pozorovat na obr. 3. Třecí síla F_t [N] při smykovém tření má velikost – viz vzorec 1, str. 15.

Klidové tření (statické) je tření, vznikající mezi tělesy, která se vzhledem k sobě nepohybují. Jedná se o speciální případ smykového tření – viz vzorec 2 [9, 10].

3.4.1.1 Koeficient tření

Hodnota koeficientu tření udává velikost třecího odporu. Je to poměr třecí síly F_t [N] ke kolmé tlakové síle F_n [N] mezi tělesy při smykovém tření a je označován μ [-] (někdy také f [-]). To znamená, že s růstem normálové síly F_n , klesá koeficient tření μ .

Existují dva koeficienty tření. Jsou to statický koeficient tření μ_0 , když jsou smýkající se tělesa v klidu a kinetický (dynamický) koeficient tření μ , který se uplatňuje za pohybu těles. Statický koeficient tření bývá zpravidla větší ($\mu < \mu_0$).

Hodnoty součinitele smykového tření závisí na reálné ploše kontaktů těles, dále na konkrétní dvojici látek, na povrchu, drsnosti těles, mezi nimiž smykové tření probíhá ale také na velikosti přítláčné síly F_n . Obvykle nabývá hodnot $0 < \mu < 1$, ale například pro dokonale hladce broušené kovové plochy, může dosahovat i hodnot větších než 1 [4, 9].

Tab. 1 Hodnoty statických (μ_0) a dynamických (μ) koeficientů pro různé materiály [9]

Látky	μ	μ_0
ocel - ocel	0,1	0,15
ocel - dřevo	0,35	0,55
dřevo - dřevo	0,35	0,65
kůže - dřevo	0,27	0,47
nylon - nylon	0,4	0,47
viskóza -viskóza	0,26	0,35
PA 6 - PA 6	0,4	0,47
hedvábí - hedvábí	0,26	0,35
bavlna - bavlna		0,22

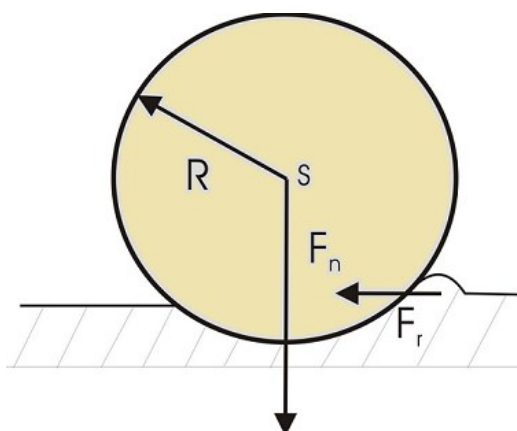
3.4.2 Valivé tření

Toto tření vzniká při valivém pohybu tělesa kruhovitého průřezu po jiném tělese, ke kterému je první těleso tlačeno silou, tomuto pohybu odporuje valivé tření. Tento odpor je jiný než u smykového tření.

Velikost valivého odporu F_t [N] má velikost:

$$F_t = \zeta \frac{F_n}{R} \quad (4)$$

kde ζ [m] je rameno valivého odporu, F_n [N] je kolmá tlaková síla mezi tělesy (např. tíha tělesa), R [m] je poloměr průřezu tělesa.



Obr. 5 Rozložení sil při valivém tření [9]

Valivý odpor je pro stejnou přítláčnou sílu F_n výrazně menší než smykové tření. Rameno valivého odporu (součinitel valivého tření) je fyzikální veličina, která udává poměr velikosti valivého odporu a kolmé tlakové síly mezi tělesy při jednotkovém poloměru kola. Hodnota ramena valivého odporu závisí na konkrétní dvojici látek těles, mezi kterými je valivý odpor [8, 9].

3.4.3 Tření opásáním (Eulerovo tření)

Tření opásáním se též nazývá Eulerovo tření a jde zde o tření opásaných předmětů kruhového průřezu [8, 9].

Při zjišťování tření opásáním používáme Eulerova vztahu:

$$F_t = F_0 \cdot e^{\mu \cdot \theta} \quad (5)$$

kde F_t [N] je třecí síla za třecím tělesem, F_0 [N] je napínací síla před tělesem, μ [-] je součinitel tření opásáním a θ [rad] je úhel opásání.

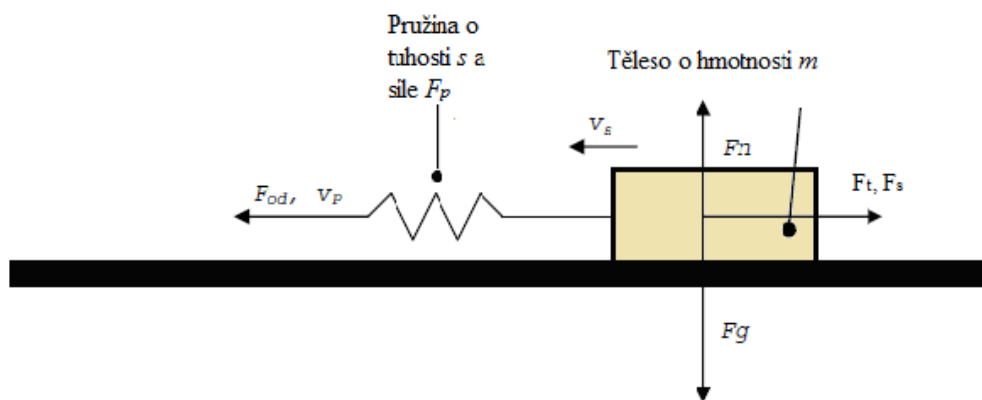


Obr. 6 Rozložení sil při tření opásáním [9]

3.5 Stick and Slip efekt

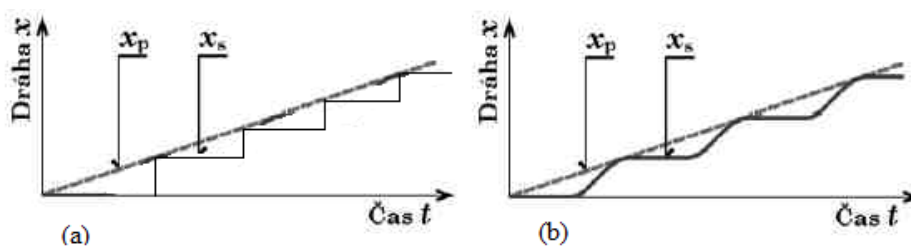
Existují dva koeficienty tření. Statický koeficient tření, při klidu obou smýkajících se těles a dynamický koeficient tření při relativním pohybu smýkajících se těles. Statický koeficient bývá obvykle větší, což vede ke vzniku tzv. Stick and Slip efektu. Anglický název by se dal volně přeložit jako „přilepení a uklouznutí“. Těleso, které se tře po podložce, tedy nekoná rovnoměrný pohyb, ale pohyb skokový [4, 8].

Představme si *těleso* o hmotnosti m , které je taženo posuvným zařízením po ploše pomocí *pružiny* o tuhosti s , rychlostí v_s , ale průběh rychlosti tažení v_p je kvůli pružné vazbě mezi *tělesem* a posuvným zařízením jiný, než průběh rychlosti tělesa v_s – viz obr. 7.



Obr. 7 Těleso tažené rychlostí v_p , silou F_{od} posuvným zařízením přes pružinu o tuhosti s po rovině rychlostí v_s [8]

Pokud je *těleso* reálné těleso, tj. má určitou hmotnost m , působí na podložku určitou tlakovou silou F_G . Podložka tedy musí na *těleso* vytvořit reakci F_n , která se při pohybu *tělesa* přetransformuje do třecí síly F_t , která působí proti pohybu *tělesa*. Dále proti pohybu *tělesa* působí setrvačná síla F_s . Výslednou závislost narůstání dráhy x_p a x_s na čase t ukazuje graf na obr. 8.



Obr. 8 Ideální (a) a skutečný (b) průběh narůstání dráhy x_s v závislosti na čase t [8]

Pokud je *těleso* v klidu, dochází k postupnému natahování *pružiny* až do okamžiku, kdy síla *pružiny* $F_p > F_t + F_s$ třecí síla, která drží *těleso* v klidu a síla setrvačná F_s , která se snaží uchovat *těleso* v klidu. Při překonání zádržné síly ($F_t + F_s$) dojde ke skokovému pohybu *tělesa* a při splnění určitých podmínek dojde k zastavení *tělesa* a opakování děje.

Tento jev se nazývá SSE (nebo smyčcový efekt) a podává názorný důkaz, že koeficient statického tření $\mu_0 > \mu$ koeficient dynamického tření [8].

4. Tření v textilním průmyslu

Tření hraje velkou roli v našem životě. Ve skutečnosti je těžké si představit fyzikální jev, ve kterém se tření nevyskytuje. Nejinak tomu je v textilním průmyslu. Je nutné znát třecí

síly, abychom se při výrobě vyhnuli problémům s nimi spjatými, popřípadě, abychom je mohli využít v náš prospěch.

U délkových a plošných textilií je důležitou charakteristikou součinitel tření. U délkových textilií hraje významnou roli při vytváření plošných textilií, při technologických operacích a při technologickém zpracování nití. U plošných pak vytváří pocit komfortu při jejich nošení a ovlivňuje spotřebitelskou životnost výrobku, jelikož způsobuje efekty jako oděr, otěr, plstnatění atd., což snižuje kvalitu výrobku a ovlivňuje také výrobu textilií. Při častém tření může dojít k porušení či vytažení vláken a tvoření žmolků nebo zvrásnění na povrchu textilie.

V textilním průmyslu se tření může projevit dvěma formami. Za kladnou můžeme považovat soudržnost vláken v přízích nebo například soudržnost nití v plošných textiliích. Za zápornou můžeme považovat rychlejší prošoupávání látky, nabíjení statickou elektřinou apod., a proto je důležité znát složení jednotlivých materiálů a to, jak na sebe fyzicky působí. Někdy může být vysoké tření mezi materiály požadováno, v jiných případech nízké tření zajišťuje příjemný pocit. Vyšší tření je požadováno všude tam, kde by se mělo zabránit nepříjemnému klouzání mezi oděvem a jiným textilním produktem jako např. potahy sedaček, křesel, nebo může být požadováno mezi vrstvami šatů. Vysoké tření je také důležité v procesu šití, aby se předešlo švovému skluzu. Oproti tomu nízké tření se požaduje kvůli snadnějšímu oblékání (punčochy, ponožky) nebo menšímu opotřebení např. u podšívek bund nebo sak.

Textilní materiály, jako jsou příze, pleteniny, tkaniny mají ještě méně předvídatelné chování, než kompaktní pevné materiály. Skutečný kontakt povrchů textilních materiálů např. po oceli, keramice nebo jiném textilním materiálu je realizován na mnoha malých místech kontaktem vláken na povrchu textilie. Když začíná působit tangenciální síla, vlákna mohou začít měnit svoji pozici a pohyb těles začíná ještě dříve, než je třecí odpor překonán. Po změně vzájemné pozice začíná skluz v kontaktních místech, ne v jednom okamžiku, ale postupně. Zpravidla není na povrchu vláken zcela kompaktní pevná vrstva, takže se tření vláken nemůže řídit jen Coulombovým zákonem, ale kompromisem mezi třením pevné látky a kapaliny. Během procesu tření jsou vnější plochy vláken deformovány a mění svou geometrii a na třecí odpor nemá vliv jen struktura textilie, ale také použitá příze [4, 9].

4.1 Vlivy ovlivňující velikost třecích sil

Je třeba brát v úvahu to, že povrchy vláken jsou drsné. Při tření dochází k plastické deformaci lokálních extrémů (asperit) doprovázenému lokálním ohřevem až natavováním. Celková třecí síla je pak součtem této deformační síly a adhezní síly vznikající vlivem

elektrostatických vazeb mezi povrchy a difúze atomů přes mezipovrch. Tření je tedy do značné míry závislé na povrchové energii vláken.

Protože se velikost třecí síly mění s různým materiálem, průměrem příze, povrchovou úpravou a s dalšími vlastnostmi, je potřeba zjistit, jak tyto vlastnosti tření ovlivňují [6, 19].

- **Materiál třecího tělesa** – musí být odolný vůči vysokým teplotám a oděru, vhodně zvolený materiál snižuje koeficient tření.
- **Úhel opásání** – udává, na jaké části obvodu válcové plochy se příze této plochy dotýká. U většího úhlu opásání vzniká větší třecí síla.
- **Reálná kontaktní plocha těles** – čím je větší plocha kontaktu, tím je větší třecí síla.
- **Materiál příze** – každý materiál má jinou tuhost, která ovlivňuje velikost mezivláčenného tření a různou viskoelasticitou způsobuje časový posun změny chování příze při pohybu [19].
- **Zákrut** – vliv zákrutu na velikost tření není zcela jednoznačný. Větší zákrut znamená, větší tuhost příze a větší nerovnosti na povrchu, což vede k větší frekvenci odskoků příze od třecího tělesa. Větší zákrut vede k vyššímu koeficientu tření, i když díky stick and slip efektu – viz kap. 3.5 je to znatelné pouze u vyšších rychlostí [7].
- **Tuhost příze** – tuhá (málo ohebná) příze opásává těleso pod menším úhlem. Tuhá příze se vlivem většího odporu méně ohne, tím pádem je úhel opásání i velikost třecí síly menší.
- **Povrchová úprava** – vlivem preparace příze dochází k cílené změně třecích vlastností. Zlepšují se kluzné vlastnosti povrchu příze.
- **Rychlost tření** – při malých rychlostech zůstává koeficient smykového tření stálý. Při větších rychlostech se snižuje. Tím se snižuje i třecí síla.
- **Chlupatost** – větší chlupatost zapříčiňuje větší úhel opásání a nárůst tahové síly. Při větší chlupatosti odstávající vlákna brání v tření samotné příze, což snižuje celkový koeficient tření.
- **Klimatické podmínky** – vlivem různých klimatických podmínek se mění povrch styčných materiálů a tím i jejich chování. Největší vliv na změnu povrchů má teplota a vlhkost [19].

4.2 Vliv stupně drsnosti povrchu na koeficient tření

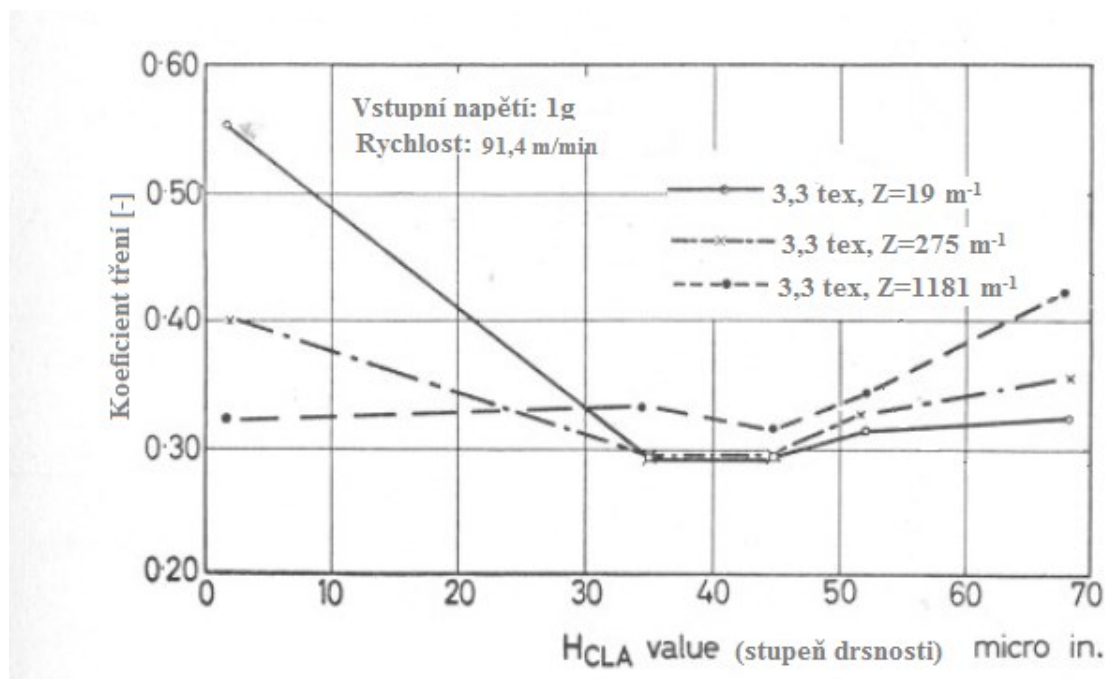
Je důležité si uvědomit, že jedním způsobem, jak snížit tření na vodičích stroje a tudíž i napětí v niti je snížit skutečnou kontaktní plochu mezi vodičem a přízí. Základní předpoklad je proto zjistit stupeň drsnosti povrchu.

Stupeň drsnosti povrchu se značí hodnotou H_{CLA} a vyjadřuje se v mikro anglických palcích. Přístroj, který drsnost povrchu měří, se nazývá Talysurf – viz obr. 9. Přesněji řečeno, Talysurf naměří hodnotu S_a [μm] (někdy také R_a), což je střední aritmetická odchylka profilu a podle převodní tabulky drsnosti povrchu – viz příloha 1, se tato hodnota převede na H_{CLA} [3].



Obr. 9 Přístroj Talysurf CLI 500

Existuje optimální oblast hodnot stupně drsnosti povrchu, o který se příze odírá, kde je koeficient tření nezávislý na zákrutu příze či multifilu. Z grafu na obr. 10 je patrné, že pro nízké hodnoty H_{CLA} odpovídá předpoklad, kde s vyšším zákrutem příze klesá koeficient tření a naopak pro vysoké hodnoty H_{CLA} je typické, že s vyšším zákrutem příze roste koeficient tření mezi přízí a keramickým kolíkem [3].



Obr. 10 Graf závislosti koeficientu tření nylonových multifilů různého zákrutu na různém stupni drsnosti keramického kolíku [3]

5. Metody měření koeficientu tření

V praxi je důležité jak statické, tak dynamické tření, ne však všechny přístroje dokáží měřit obojí. To znamená, že každý přístroj nedokáže změřit i takzvaný stick and slip efekt – viz kap. 3.5. Pro měření koeficientu tření slouží přístroje zvané tribometry. Můžeme je rozdělit podle druhu tření, které vyšetřují a to na přístroje pro měření smykového tření, valivého tření a tření opásáním (Eulerova tření) – viz kap. 3.4.

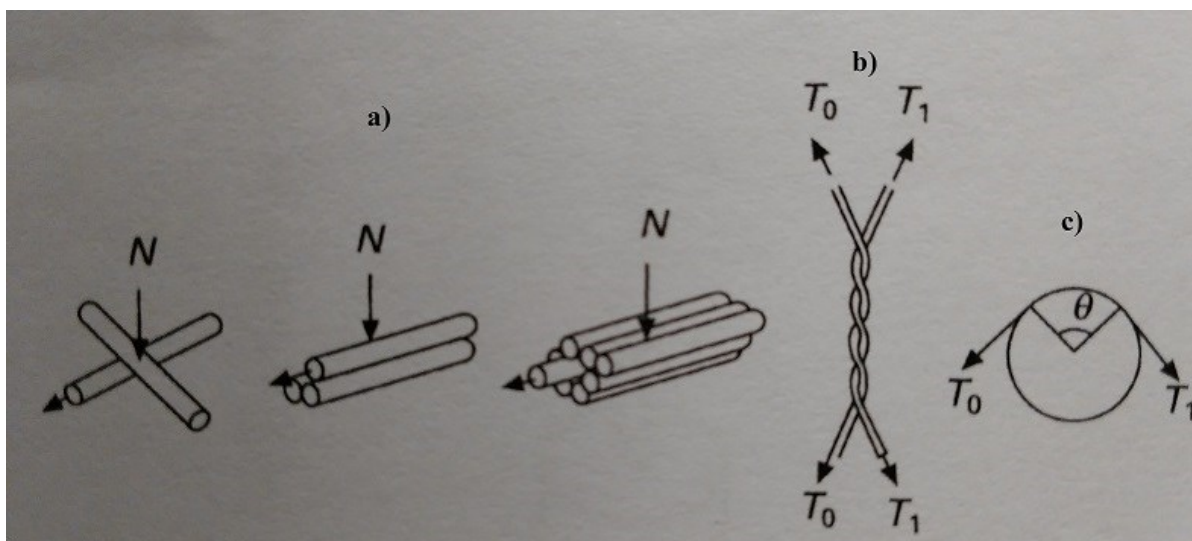
5.1 Metody měření tření délkových textilií

Pro měření koeficientu tření u délkových textilií, ať už jde o vlákno nebo přízi, existuje mnoho metod a přístrojů. Liší se od sebe především velikostí kontaktu třených těles (bodový, liniový, plošný).

Jak naznačuje obr. 11, tření délkových textilií můžeme klasifikovat do tří skupin [1]:

- a) základní studie metod, založená na Amontonsových zákonech – viz kap. 3.3, při které je pohyb jednoho tělesa, s ohledem na druhé, přímočarý. Tato skupina obsahuje největší počet přístrojů.

- b) zákrutová metoda, ve které jsou dva materiály, příze nebo vlákna, zakrouceny do sebe. I když je dráha obou těles šroubovitá, skutečná kontaktní plocha je přímka, rovnoběžná s osou obou materiálů.
- c) metoda opásáním, kde jeden materiál, obvykle textilie, prochází přes zakřivenou plochu válcového tělesa, obvykle z netextilního materiálu. Tato metoda je vhodná pro zkoušky při vysoké rychlosti a často obsahuje u styčných ploch mazadlo.

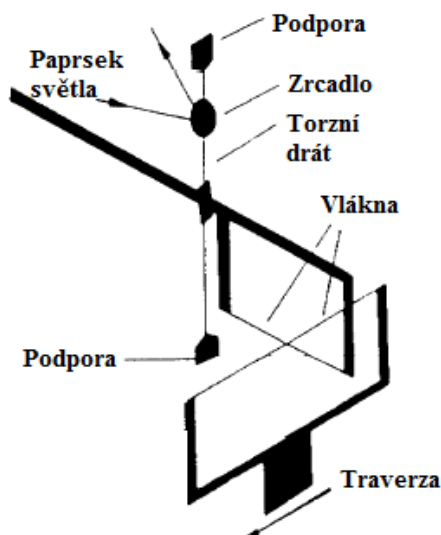


Obr. 11 Ilustrace principů, různých typů třecích testů [1]

V následující části budou uvedeny a stručně popsány vybrané metody a principy měření koeficientu tření délkových textilií. Podrobněji je probráno měření pomocí přístroje CTT, který hraje v této práci důležitou roli.

5.1.1 Guthrie a Oliverova metoda

Tato metoda využívá tření dvou na sebe kolmých vláken upnutých do rámu. Jde v podstatě o torzní váhy, které registrují velikost vychýlení jednoho z rámečků, viz obr. 12. Dochází zde, ke kolísání mezi statickou a dynamickou hodnotou tření. Na podobném principu bodového kontaktu pracuje i metoda Mercese a Makinsona, metoda Olofssona a Graléna nebo Howellova metoda [20].

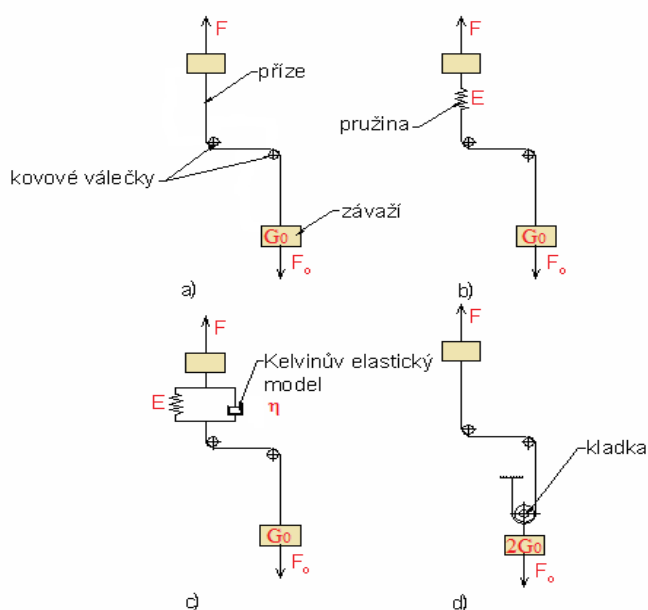


Obr. 12 Guthrie a Oliverova metoda měření tření vláken [20]

5.1.2 Rovina ve tvaru pásu obepínající rotující válcovou plochu

Zde se koeficient tření určuje z velikosti napětí ve zkoumaném vzorku podle Eulerova vztahu – viz kap. 3.4.3.

Tyto přístroje zkoumají vzorek ve tvaru pásu nebo příze vzájemně obepínající válcový povrch, jenž může rotovat. Jestliže válec nekoná pohyb, obepínající příze je protahována válcem nebo válci odtahovou silou, kterou vyvíjí například dynamometr. Tato metoda je spíše než u plošných textilií používána k měření koeficientu tření u vláken a přízí. Vhodné jsou například k modelování tření mezi pletacími jehlami a přízí [4, 9].

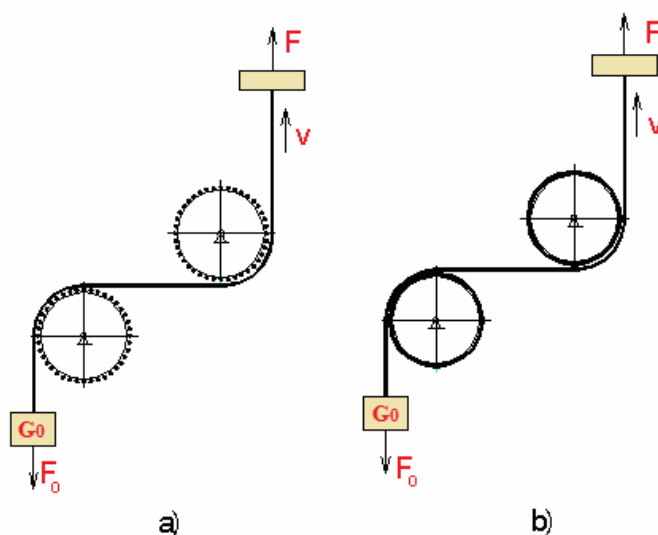


Obr. 13 Měření Eulerova tření na dynamometru [4]

Jak je zřetelné z obr. 13, příze vždy prochází přes dva kovové válečky, které napodobují pletací jehly. Vstupní síla F_0 [N] vytváří tíha závaží G_0 [kg] a celkový úhel opásání je θ ($2 \times 90^\circ$). Výstupní síla F [N] je měřena dynamometrem INSTRON. Pro možnost změny rychlosti skluzu a pro měření stick and slip efektu – viz kap. 3.5, je nezbytný nějaký pružný prvek mezi místem tření a čelistmi dynamometru. To může zajistit i sama měřená příze, jako na obr. 13(a), ale musí mít dostatečnou délku, což vede k problémům při měření méně pružných materiálů. Pružným prvkem může být vložená pružina, jako na obr. 13(b) nebo Kelvinův elastický model obr. 13(c). Stick and slip efekt může být ovlivněn setrvačností závaží G_0 [kg], tomu částečně zabraňuje uspořádání na obr. 13(d), kde příze prochází přes pohyblivou kladku zanedbatelného odporu a tíha závaží je dvojnásobná $2 G_0$ [4].

5.1.3 Měření Eulerova tření mezi pohyblivými kladkami

Při měření tření mezi dvěma kladkami obr. 14(a) je příze vedena přes dvě kladky, na kterých jsou vedle sebe další příze, které mohou být připevněny rovnoběžně s osou kladky, nebo mohou být natočeny pod určitým úhlem. Na obr. 14(b) je stejný princip měření, jen příze je nahrazena pásem textilie. Kladky jsou buďto volné nebo fixované a to je vhodné pro měření stick and slip efektu. Mohou být i poháněné a v tom případě je rychlost příze nulová. Síla F_0 [N] je realizována vahou závaží G_0 [kg] a výstupní síla F [N] je měřena senzorem dynamometru [4].



Obr. 14 Měření Eulerova tření mezi pohyblivými kladkami [4]

5.1.4 Měření koeficientu tření pomocí přístroje CTT

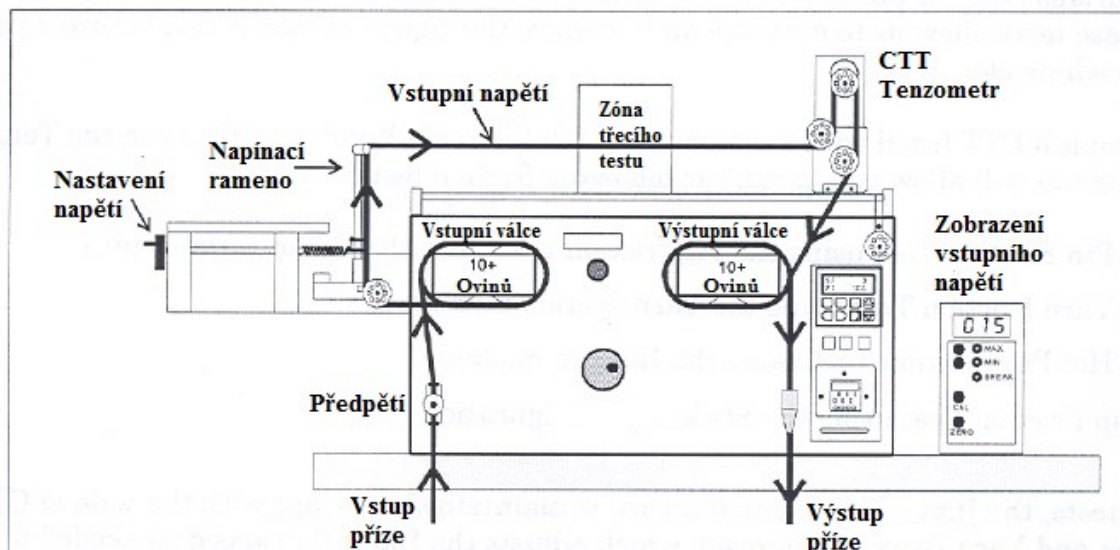
Přístroj CTT (Constant tension transport) - viz obr. 15, proměřuje řadu vlastností příze a mezi nimi i koeficient tření. Tyto testy umožňují měřit a srovnávat vzájemné působení mezi přízí a případně dalšími prvky stroje. Přístroj CTT měří kinetické tření a disponuje následujícími třecími testy:

- testování příze, která se odírá o kovový, příp. keramický kolík
- testování příze, která se odírá o přízi
- testování příze, která se odírá o horký kolík
- testování Stick and slip efektu



Obr. 15 Přístroj CTT [2]

Princip měření je založen na vedení příze přes brzdičku, jenž zajišťuje její předpětí, ke vstupním válcům, které řídí pohon příze a podle potřeby upravují vstupní navíjecí rychlost. Dále přes napínací rameno udržující konstantní vstupní napětí do místa, kde probíhá samotný třecí test. Příze poté probíhá přes vestavěný tenzometr, který měří výstupní napětí až k výstupním válcům, které se starají o odtah - viz obr. 16.

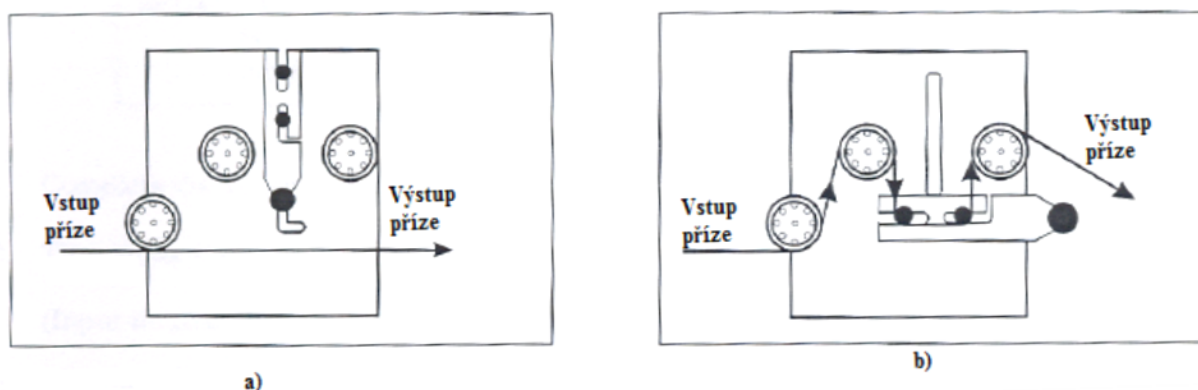


Obr. 16 Vedení příze přístrojem CTT [2]

Program využívá vstupní napětí, které se určí z jemnosti dané příze. Tenzometr změří napětí výstupní a po určení dalších parametrů, jako je úhel opásání, systém podle daného vzorce – viz vzorec 6, str. 30, vypočítá koeficient tření. Díky podpůrnému počítači program také poskytuje okamžité statistické vyhodnocení zkoušek [2].

5.1.4.1 Testování příze odírající se o kolík [2]

Při této zkoušce je příze třena při určité rychlosti přes dva kolíky (kovové nebo keramické), s předem daným úhlem opásání – viz obr. 18.



Obr. 17 Vedení příze při tření příze o kolík [2]

Na obr. 17(a) je způsob vedení příze před testem, kdy je zadáno do PC vstupní napětí a úhel opásání ($90^\circ + 90^\circ = 180^\circ = 3,14$ rad). Pro zahájení testu je potřeba stáhnout držák

kolíků směrem dolů a otočením držáku doprava se začne příze o kolíky odírat - viz obr. 17(b). Pro velikost tření při vedení příze přes vodič kruhového průřezu platí následující vztah:

$$\mu = \frac{\ln\left(\frac{T_{out}}{T_{in}}\right)}{\theta} \quad (6)$$

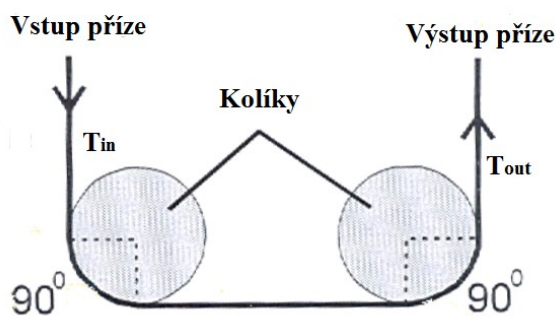
Kde:

μ koeficient tření příze o kolík [-]

T_{out} ... výstupní zatížení [g]

T_{in} vstupní zatížení [g]

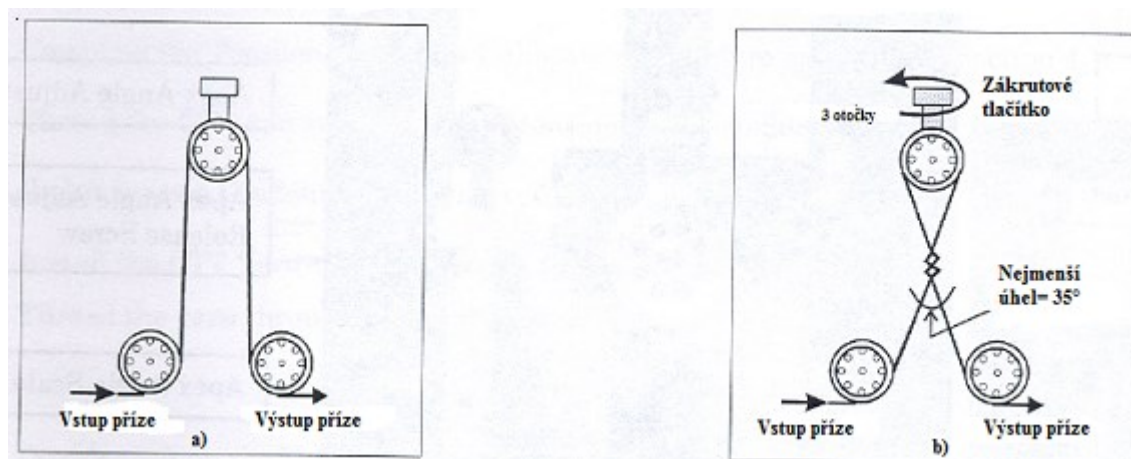
θ celkový úhel opásání [rad]



Obr. 18 Detail vedení příze přes kolíky [2]

5.1.4.2 Testování příze odírající se o přízi [2]

Při zjišťování koeficientu tření příze o přízi je testovaná příze zakroucena do sebe. V důsledku tohoto kontaktu se výstupní napětí změní. Software vypočítá koeficient tření z hodnot vstupního a výstupního napětí, ale také z počtu ovinů a úhlu mezi přízemi.



Obr. 19 Vedení příze při tření příze o přízi [2]

Na obr. 19(a) je způsob vedení příze před testem, kdy je zadáno do PC vstupní napětí a příze není ve vzájemném kontaktu. Obr. 19(b) znázorňuje, zakroucení příze do sebe pomocí zákrutového tlačítka. Pro velikost tření při vedení příze přes přízi platí následující vztah:

$$\mu = \frac{\ln(T_{out}/T_{in})}{4\pi(n-0,5)\sin \beta/2} \quad (7)$$

Kde:

μ koeficient tření příze o přízi [-]

T_{out} .. výstupní zatížení [g]

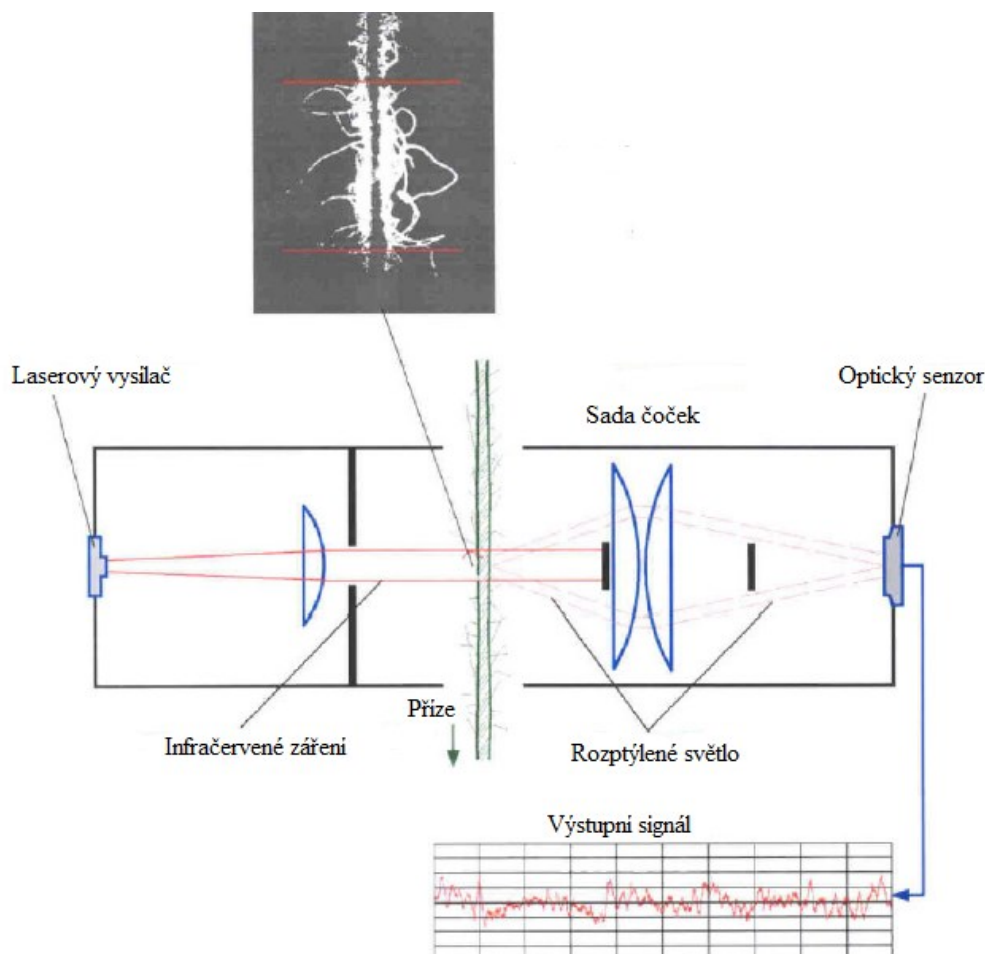
T_{in} ... vstupní zatížení [g]

β nejmenší úhel mezi dvěma přízemi (tento úhel bývá obvykle 35°)

n počet ovinů příze ($n=3$)

6 Měření chlupatosti příze pomocí přístroje UT IV-SX

Metoda měření je založena na fotometrickém principu. Měření chlupatosti spočívá v prosvětlování příze monochromatickým infračerveným zářením, aby se eliminoval vliv barvy příze. Textilní barviva se jeví v infračerveném světle jako zářivě barevná. Zdroj světla produkuje záření, jehož proud je rozptýlen odstávajícími vlákny na přízi a následně zachytáván senzory. Přímé paprsky jsou pohlceny před dosažením senzoru – viz obr. 20. Výsledný index chlupatosti značený jako H , je úhrnná délka všech vláken, která jsou měřena na délce 1 cm příze. Tato vlákna jsou měřena pouze do vzdálenosti 1 cm od povrchu příze. Vedle chlupatosti H je možno měřit ještě směrodatnou odchylku chlupatosti sh .



Obr. 20 Princip měření chlupatosti na přístroji Uster Tester IV-SX [14]

Uster Tester dokáže vyhotovit několik numerických, ale i grafických výstupů. Dle potřeby si uživatel sám zvolí charakter výsledného protokolu.

Mezi základní výstupy patří tabulka naměřených hodnot se základním statistickým zpracováním v případě většího počtu měření. V tabulce přístroj podle nastavení zobrazí lineární i kvadratickou hmotovou nestejnomyšnost (U, CV) na různých délkách 0,01 m, 1 m, 3 m, 5 m, 10 m, 50 m, 100 m. Dále počet silných, slabých míst a nopků na 1 km příze. Výstupem jsou dále výsledky měření chlupatosti a průměr příze, je-li přístroj vybaven přídatnými optickými senzory. Z grafických výstupů je to potom histogram, spektrogram či délková variační křivka, atd [14].

7 Zjišťování parametrů příze pomocí obrazové analýzy

System pro počítačovou analýzu obrazu je složen z digitalizačního zařízení a počítače, který je vybaven speciálním softwarem (např. aplikace NIS Elements, ACC - Avigilon Control Centre). Klíčovým krokem v celém postupu je získání kvalitního digitalizovaného obrazu předlohy (např. mikroskopického preparátu). K digitalizaci lze užít skener nebo mikroskop, který je propojen s digitální kamerou – viz obr. 21. Poté je obraz v nekomprimované podobě uložen v počítači a s pomocí výše zmíněných aplikací dále upravován a hodnocen. Klíčovým krokem analýzy obrazu je tzv. segmentace, při které jsou v obraze označeny objekty určené k hodnocení, teprve pak je možné provést měření a stanovit požadované morfometrické nebo denzitometrické vlastnosti objektů. Interaktivní měření umožňuje uživateli provádět přímá měření objektů s okamžitým výstupem naměřených údajů ve zvolených jednotkách. Můžeme si vybrat z parametrů jako např. plochu, obvod, délku, poloměr, počet, kulatost objektů nebo intenzitu zvolené barevné složky. V textilu je obrazová analýza hojně využívána, jako pomocný nástroj při vývoji alternativních metod měření (průměr příze, chlupatost, zaplnění příze nebo plošné zakrytí tkanin) [13].



Obr. 21 Sestava pro počítačovou analýzu obrazu se softwarem NIS Elements

8 Tvorba příčných řezů textilií

Řezem textilie nazýváme protnutí textilie rovinou svírající daný úhel (úhly) s určenou osou (osami). Jedna z os textilie je obvykle totožná se směrem průchodu strojem. Průřez (příčný řez) textilie je řez vedený kolmo ke směru průchodu textilie strojem a podélný řez je rovnoběžný s tímto směrem. U vláken, hedvábí a přízí se zpravidla používají příčné řezy, které jsou kolmé k jejich ose.

Tvrký řez se tvoří z bločku, ve kterém je zalita textilie do media na bázi epoxidové pryskyřice. U tvrdých řezů je možno ke zvýšení kvality jejich obrazu provádět metalografický výbrus. Textilie může být fixována ve směsi včelího vosku a parafinu, z tohoto bločku se tvoří tzv. měkký řez. Při tvorbě měkkých řezů je nutno bloček s textilií mrazit. Tvrdé příčné řezy umožňují lepší fixaci textilie, touto technikou lze vyrobit tenčí řezy (minimální tloušťka: tvrdé příčné řezy cca 3 – 5 μm , měkké příčné řezy cca 10 μm) a výbrusem je možno zlepšit kvalitu preparátu. Z tohoto zmraženého bločku se dále speciální technikou pomocí mikrotomu – viz obr. 22, oddělují mikrometrické řezy [15].



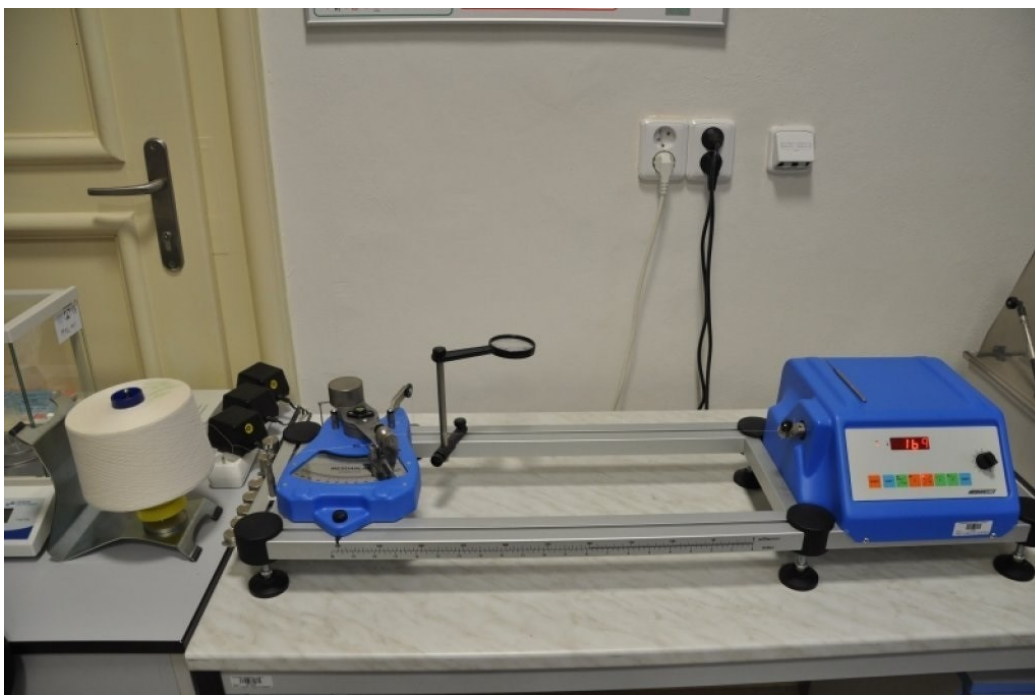
Obr. 22 Mikrotom Leica RM 2255 pro tvorbu měkkých řezů přízí a plošných textilií v různých tloušťkách

9 Zjišťování počtu zákrutů jednoduché a skané příze

Definice zákrutu

Zákrut je počet otáček, které vloží zakrucovací stroj do svazku rovnoběžných vláken na délku 1 m. Následkem zakrucování dochází ke zkracování původní délky – k seskání.

Zákrutoměr je zařízení k určování počtu těchto zákrutů a seskání – viz obr. 23. Měření se provádí rozkrucováním příze o známé měřené délce, v našem případě 500 nebo 250 mm, při určeném předpětí 0,5 cN/tex. Svojí konstrukcí zákrutoměr připomíná soustruh. Na pravé straně je svorka pro upnutí zkoušené příze na otočném vřetenu s plynule regulovatelným motorickým i ručním otáčením a počítadlem otočení (zákrut), na levé straně je svorka pevně na výkyvném rameni s aretací při upínání, s měřením pohybu výkyvného ramene při rozkrucování (seskání) [16].



Obr. 23 Zákrutoměr MESDANLAB v laboratoři KTT

10 Vlákenný materiál – Polypropylen, Viskóza

Polypropylen

Polypropyleny (mezinárodní zkratka PP) jsou částečně krystalické plasty, které se získávají za pomoci katalyzátorů polymerizací propenu. Ze tří známých variant se k výrobě textilních vláken hodí jen izotaktické polymery, které mají naprosto stejnoměrnou molekulární strukturu.

Asi 20% polypropylenu se produkuje jako textilní vlákno, s průmyslovou výrobou se začalo koncem 50. let minulého století v Itálii.

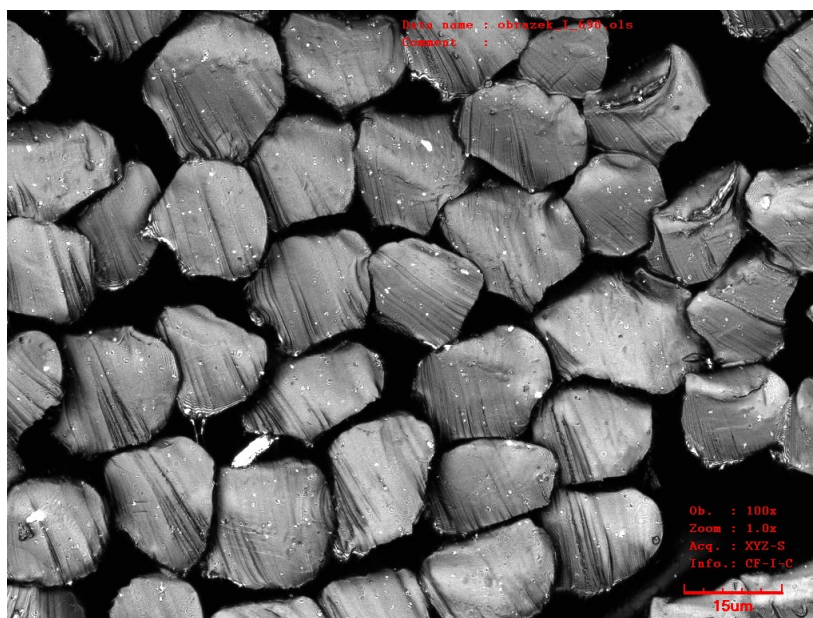
Výchozí surovinou k výrobě jsou odpady vzniklé při zpracování ropy, polypropylen je proto levnější než ostatní syntetické materiály. Polymerizovaná hmota se taví a dluží při

teplotě do 200 °C. Během tohoto procesu se často přidávají barviva, protože hotové vlákno se dá jen velmi obtížně barvit [18].

Vzhledem k tomu, že povrch vlákna ovlivňuje řadu vlastností, používá se k úpravě vlastností vláken modifikace jejich povrchu. Tak například matování ve hmotě vláken přídatkem titanové běloby (TiO_2) výrazně zvyšuje abrasivitu vlákna vůči kovovým částem zpracovatelských strojů – viz obr. 24 [20].

Polypropylen je nejlehčí ze všech textilních vláken ($0,91 \text{ g/cm}^3$), vlákno je odolné proti chemikáliím, má velmi dobrou pevnost v oděru, minimální navlhavost, nízký sklon k nabíjení statickou elektřinou a ke žmolkování. V omaku se PP vlákna neliší od ovčí vlny.

K nevýhodám patří nízká schopnost zotavení po deformaci, malá odolnost proti účinkům světla a vyšších teplot [18].



Obr. 24 Příčný řez svazkem rovnoběžných vláken z matovaného polypropylenu (jemnost 16,5 tex) pořízen pomocí konfokálního mikroskopu

Viskóza

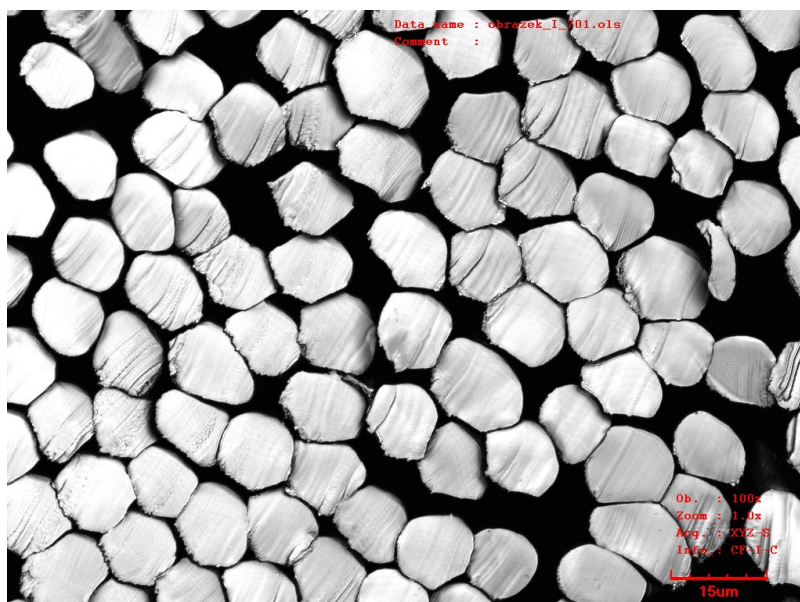
Viskózová vlákna (mezinárodní zkratka CV) jsou výrobky z regenerované celulózy. Celulóza, jako základní surovina pro výrobu viskózy, je přírodní polymer, tedy organická sloučenina s molekulovým řetězcem.

Celulóza je sice obsažena v buněčných stěnách každé rostliny, k rentabilní výrobě viskózy se však hodí jen určité druhy dřeva. Typicky se používá buk nebo smrk, které obsahují např. 40 a více % celulózy, ekonomicky výhodnější mohou být stromy rychleji rostoucí.

Viskózová vlákna se dodávají jako filament nebo stříž, lesklá, matovaná, barvená nebo bělená ve hmotě v jemnostech a délce (u stříže) podle účelu použití.

Geometrie příčného řezu bývá obvykle ve tvaru tzv. „mráčku“, ovšem vlivem polymerizace vláken může být tvar až skoro kruhový – viz obr 25.

Obyčejné viskózové vlákno dosahuje v suchém stavu jen asi 80-90 % pevnosti bavlny a za mokra klesá na polovinu vlastní hodnoty. Modifikované druhy viskózy se vyrábí až s dvojnásobnou pevností oproti bavlně a tato klesá v mokrém stavu jen asi o 25 %. Výrobky z viskózového vlákna mají příjemný omak, dobrou savost a (ve směsích s jinými vlákny a v závislosti na struktuře tkaniny) nemačkovost. Při vyšších teplotách se však snadno sráží a nejsou odolné proti biologickým vlivům [17].



Obr. 25 Příčný řez svazkem rovnoběžných vláken z viskózy – speciálně upravený Lyocell (jemnost 16,5 tex) pořízen pomocí konfokálního mikroskopu

11 Vztahy pro statistické zpracování dat

Data získaná z měření byla statisticky zpracovávána a vyhodnocována. Normalita a homogenita dat byla testována s využitím statistických testů v programu QC Expert. V práci jsou použity níže uvedené vztahy.

Výběrový průměr

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (8)$$

Výběrový rozptyl

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (9)$$

Směrodatná odchylka

$$s = \sqrt{s^2} \quad (10)$$

Variační koeficient

$$v = \frac{s}{\bar{x}} 100 \quad (11)$$

Kde:

- n ... počet měření
- x_i ... naměřená hodnota

Interval spolehlivosti střední hodnoty μ_i

Je to interval (rozmezí možných hodnot), ve kterém s vysokou, předem zvolenou pravděpodobností leží hodnota hledaného parametru. Volená pravděpodobnost (vyjádřeno v procentech) se nazývá koeficient spolehlivosti, případně statistická jistota. Počítá se s předpokladem, že interval spolehlivosti střední hodnoty μ má normální rozdělení $N(\mu_i, \sigma^2)$ [12].

$$\bar{x} - t_{1-\frac{\alpha}{2}}(n-1) \frac{s}{\sqrt{n}} \leq \mu_i \leq \bar{x} + t_{1-\frac{\alpha}{2}} \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (12)$$

Kde:

- \bar{x} ... průměrná hodnota
- n ... počet měření
- s ... směrodatná odchylka
- $t_{1-\alpha/2}(n-1)$... 100(1- $\alpha/2$)% kvantil Studentova t-rozdělení s (n-1) stupni volnosti
- α ... hladina významnosti

Koeficient korelace

Vyjadřuje míru lineární stochastické vazby mezi dvěma veličinami [12].

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (13)$$

Metoda nejmenších čtverců

Metoda nejmenších čtverců je aproximační metoda, která spočívá v tom, že hledáme takové parametry funkce, pro které je součet čtverců odchylek vypočtených hodnot od hodnot naměřených minimální. V práci je použitý typ lineární závislosti, která je pro případ jedné nezávislé a jedné závislé proměnné reprezentována rovnicí přímky [12].

Párové porovnání dvou výběrů

Párové porovnání analyzuje jeden a týž soubor měřený dvakrát za dvou různých podmínek, tím se získá dvojice proměnných x, y . Cílem je rozhodnout, zda tyto podmínky ovlivňují měřenou hodnotu. Při tom se především posuzuje, zda střední hodnota rozdílu první a druhé proměnné $E(x - y)$ je statisticky odlišná od nuly [12].

12 Experimentální část

Cílem práce je provést měření vybraných prstencových přízí s různým počtem zákrutů na přístroji CTT – viz kap. 5.1.4 a podle vztahu 6 vypočítat koeficient tření. Za stejných podmínek, jako na přístroji CTT se teoreticko-experimentálně analyzuje kontaktní plocha těchto přízí na komponentách CTT. Zjištěný koeficient tření se bude korelovat s velikostí kontaktní plochy dvojic povrchů (příze, kov).

Je proměřována jednoduchá prstencová příze ze dvou různých materiálů. Příze z viskózy i polypropylenu o stejné jemnosti 16,5 tex, ale ve čtyřech různých variantách zákrutu - viz tab. 2.

Tab. 2 Přehled měřených přízí

Materiál	PP				CV			
Jmenovitá jemnost [tex]	16,5				16,5			
Reálná jemnost [tex]	16,38	16,36	16,69	16,45	16,37	16,28	16,19	16,69
IS _D [tex]	16,30	16,30	16,64	16,36	16,26	16,18	16,10	15,92
IS _H [tex]	16,46	16,42	16,75	16,54	16,47	16,37	16,28	15,99
Jmenovitý zákrut [m ⁻¹]	612	845	1070	1220	612	845	1070	1220
Reálný zákrut [m ⁻¹]	599	838	1079	1246	606	804	1033	1188
IS _D [tex]	590	829	1063	1233	600	794	1017	1171
IS _H [tex]	608	847	1095	1259	612	814	1049	1205

Reálná jemnost byla spočítána z průměrné hodnoty z deseti vzorků od každého zákrutu – viz příloha 2. Po navinutí určité délky příze na viják se tento materiál zvažil pomocí laboratorních vah a dopočítala se požadovaná jemnost ze známého vztahu – viz vzorec (14).

$$T = \frac{m}{l} \quad (14)$$

kde:

T jemnost [tex]

l délka [km]

m ... hmotnost [g]

Reálný zákrut byl naměřen pomocí zákrutoměru – viz kap. 9. Od každého jmenovitého zákrutu bylo provedeno po dvaceti měřeních a kompletní hodnoty – viz příloha 2.

12.1 Podmínky měření na přístroji CTT

CTT (Constant tension transport)

rychlost měření : 100 m/min.

doba měření: 1 min.

K dispozici bylo od každého materiálu a zákrutu 5 potáčů, z nichž se provedla měření. Dohromady bylo tedy realizováno 40 měření. Přístroj CTT dokáže měřit v rychlostech 20 – 360 m/min. Pro tento experiment byla zvolena rychlost 100 m/min po dobu 1 minuty. Proměřilo se tedy 100 m příze z každého potáče (přístroj proměřuje každý 1 m příze), což odpovídá 500 m od každého materiálu a zákrutu.

Vzhledem k tomu, že přístroj dokáže pracovat se vstupním předpětím 2 – 700 g, bylo podle dané jemnosti přízi zvoleno předpětí 17 g. Úhel opásání byl nastaven na 180° (2 x 90°) – viz obr. 18, kap. 5.1.4.1. Před začátkem měření byly příze klimatizovány po dobu 24 hod.

Byl sledován a hodnocen parametr μ , tedy hodnota koeficientu tření. Jako další parametr ke korelaci s koeficientem tření byla naměřena chlupatost (hodnota H) daných přízi na přístroji Uster Tester IV-SX – viz kap. 6, který proměřoval přízi za stejných podmínek, jako CTT.

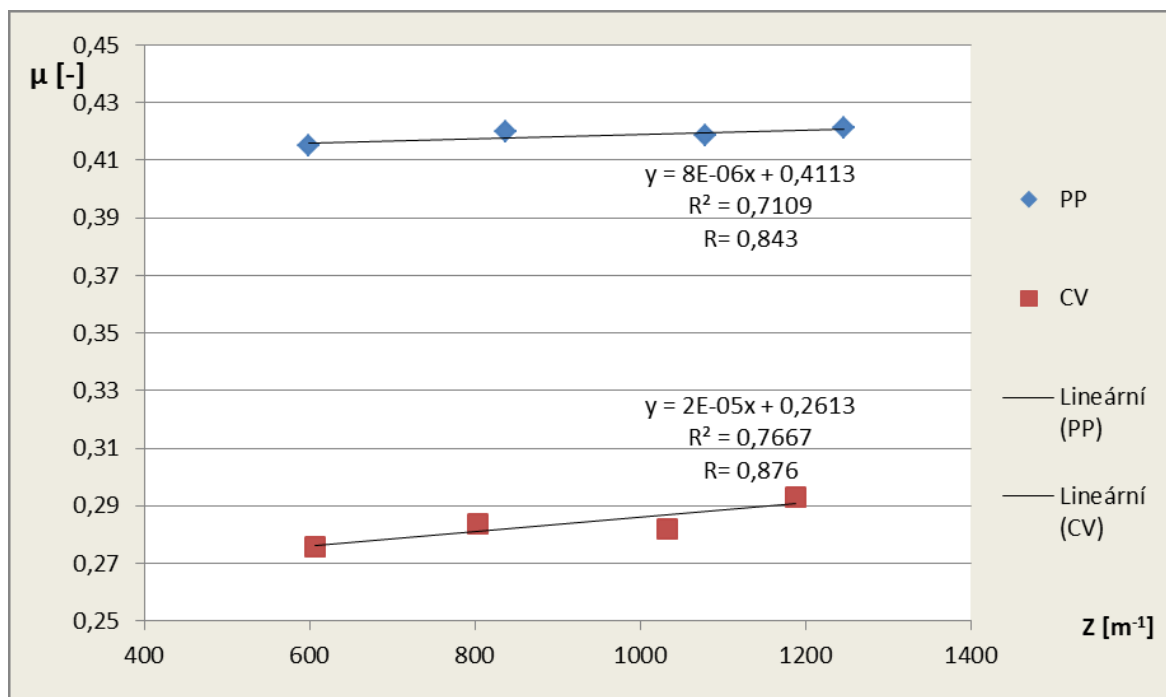
12.2 Výsledky měření na přístroji CTT

Přístroj s pomocným počítačovým softwarem vypočítal na základě vstupního a výstupního napětí (zatížení) požadovanou hodnotu koeficientu tření – viz vzorec 6, kap. 5.1.4.1. V tab. 3 jsou uvedeny výsledky měření koeficientu tření μ na přístroji CTT s přidanou základní statistikou.

Tab. 3 Statistické výsledky měření μ na přístroji CTT

μ [-]	CTT							
	Materiál	PP				CV		
Zákrut [m ⁻¹]	612	845	1070	1220	612	845	1070	1220
Arit. průměr [-]	0,4150	0,4198	0,4186	0,4211	0,2757	0,2837	0,2820	0,2932
IS_D [-]	0,4142	0,4192	0,4180	0,4204	0,2751	0,2832	0,2815	0,2926
IS_H [-]	0,4158	0,4203	0,4192	0,4217	0,2764	0,2843	0,2825	0,2937
Směr. odchylka [-]	0,0092	0,0064	0,0065	0,0073	0,0077	0,0063	0,0060	0,0059
Var. koef. [%]	2,22	1,53	1,56	1,73	2,79	2,22	2,12	2,03

Vzájemná souvislost mezi hodnotami koeficientu tření μ obou materiálů, měřenými pomocí přístroje CTT a hodnotami zákrutů je znázorněna v grafu na obr. 26. Jednotlivými body byla metodou nejmenších čtverců proložena přímka a byl stanoven koeficient korelace R – viz kap. 11, popisující míru lineární závislosti obou skupin dat. Zjištěný korelační koeficient nabývá hodnot $R=0,843$ (PP) a $R=0,876$ (CV).



Obr. 26 Závislost koeficientu tření μ měřeném na přístroji CTT na zákrutu s výsledným korelačním koeficientem

Je zřetelné, že koeficient tření u PP přízi je značně vyšší, než u CV přízi. Je to dáno nejspíše strukturou jednotlivých materiálů. Řezná plocha PP vláken je větší než u CV. Oproti tomu hustota PP je daleko nižší než u CV. U obou typů vlákenného materiálu byla také v obrazové analýze, za pomoci interaktivního měření – viz kap. 7, naměřena cirkularita vláken – viz příloha 7. Díky tomu lze usuzovat, že PP vlákna mají také členitější tvar než vlákna CV a tím pádem i vyšší počet kontaktních míst, která nejspíše přispívají ke zvýšení koeficientu tření.

Podstatným vlivem je matování polypropylenu – viz obr. 24. Je známo, že matováním vláken přísádkem oxidu titaničitého (TiO_2) se výrazně zvyšuje abrazivita vlákna vůči kovovým částem zpracovatelského stroje – viz kap. 10.

Se vzrůstajícím zákrutem, lze pozorovat stoupající trend hodnoty koeficientu tření a to u obou materiálů. S větším zákrutem roste tuhost příze a s tím jsou spojené větší nerovnosti na povrchu příze, což vede k větší frekvenci odskoků příze od třecího tělesa - viz kap. 4.1. Také záleží na drsnosti materiálu, o který jsme přízi odírali.

12.2.1 Vyhodnocení měření drsnosti povrchu kovového kolíku z CTT

Kovový kolík z přístroje CTT byl proměřen na přístroji Talysurf – viz obr. 9, kap. 4.2, který měří parametry drsnosti povrchu. Konkrétně nás zajímala průměrná aritmetická odchylka od povrchu (S_a) – viz kap. 4.2. Měřilo se při rychlosti 50 $\mu\text{m/s}$ a na kolíku bylo

provedeno 10 měření na ploše 0,1x0,1 mm. Dané určení plochy bylo zvoleno z důvodu průměru odírané příze, která je řádově shodná.

Výsledná průměrná hodnota S_a se přepočítala podle převodní tabulky - viz příloha 1 na hodnotu H_{CLA} a ta se porovnávala se stejnými hodnotami v grafu na obr. 10, kap. 4.2.

I přes některé rozdílnosti materiálů jak příze, tak odíraného kolíku, bylo experimentem potvrzeno, že výsledné hodnoty odpovídají oblasti grafu, pro kterou je typické, že příze s vyšším zákrutem vykazují vyšší koeficient tření – viz tab. 4.

Tab. 4 Naměřené hodnoty S_a na přístroji Talysurf a přepočítaná hodnota H_{CLA}

Číslo měření	Měření S_a [μm]
1	3,59
2	4,11
3	3,93
4	4,59
5	4,27
6	5,21
7	3,67
8	3,57
9	3,11
10	3,72
Arit. průměr [μm]	3,98
Směr. odchylka [μm]	0,60
Var. koef. [%]	15,06
IS_D [μm]	3,61
IS_H [μm]	4,35
H_{CLA} [μin]	
159,2	

12.3 Výsledky měření na přístroji UT IV-SX

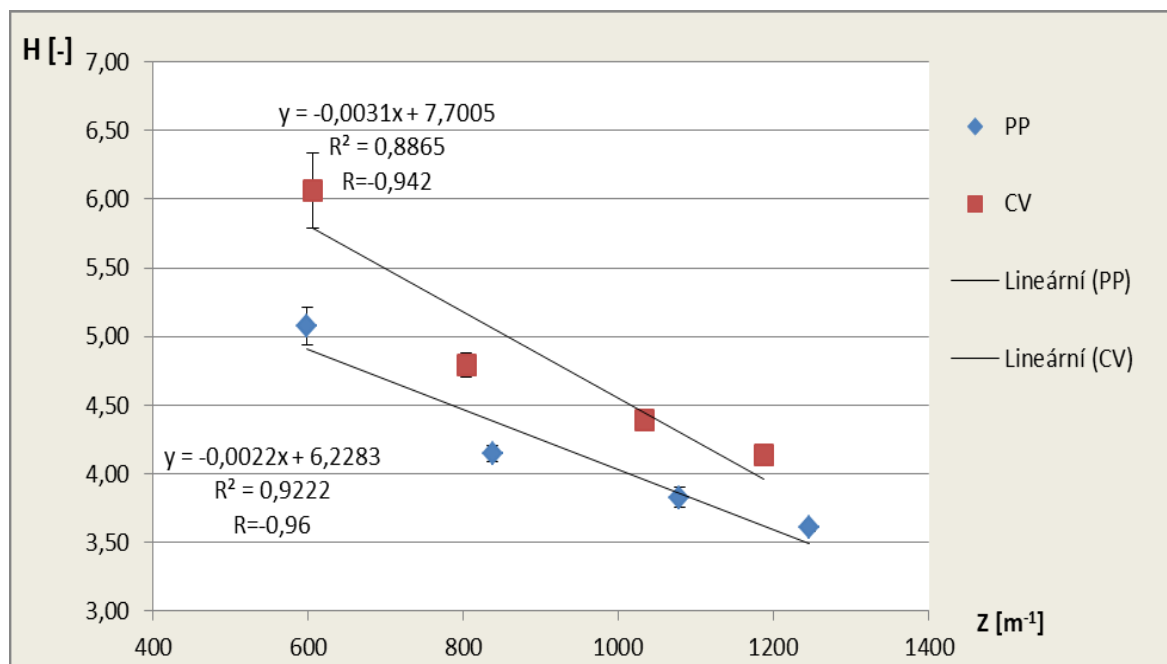
V tab. 5 jsou uvedeny výsledky se základní statistikou dat pro hodnoty chlupatosti příze z přístroje Uster Tester IV-SX - viz kap. 6.

Tab. 5 Statistické výsledky měření H na přístroji UT IV-SX

H [-]	UT IV-SX							
Materiál	PP				CV			
Zákrut [m^{-1}]	612	845	1070	1220	612	845	1070	1220
Arit. průměr [-]	5,07	4,15	3,83	3,61	6,06	4,79	4,39	4,13
IS_D [-]	4,94	4,09	3,75	3,58	5,79	4,70	4,32	4,08
IS_H [-]	5,21	4,21	3,91	3,63	6,33	4,88	4,46	4,18
Směr. odchylka [-]	0,16	0,07	0,09	0,02	0,31	0,10	0,08	0,06
Var. koef. [%]	3,10	1,63	2,24	0,67	5,16	2,09	1,77	1,35

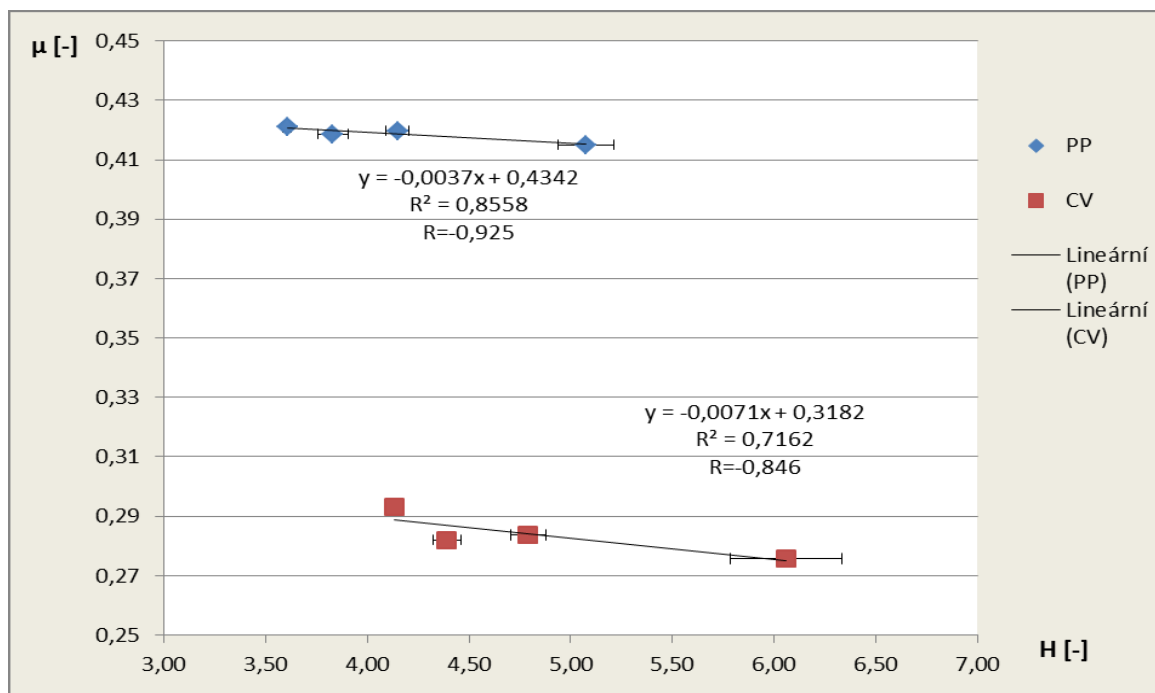
Vzájemná závislost mezi hodnotami chlupatosti příze H měřenými pomocí přístroje Uster Tester a hodnotami zákrutů je znázorněna v grafu na obr 27. Jednotlivými body byla metodou nejmenších čtverců proložena přímka a byl stanoven koeficient korelace R – viz kap. 11.

Jelikož se hodnoty korelačního koeficientu blíží téměř -1 , $R=-0,96$ (PP) a $R=-0,942$ (CV), lze konstatovat, že mezi hodnotami chlupatosti příze a zákrutu existuje silná nepřímá lineární závislost.



Obr. 27 Závislost chlupatosti příze H měřené na přístroji Uster Tester na zákrutu s výsledným korelačním koeficientem

Závislost mezi hodnotami koeficientu tření μ a chlupatosti příze H měřenými pomocí přístroje Uster Tester je znázorněna v grafu na obr. 28. Hodnoty korelačního koeficientu se opět blíží téměř -1 , $R=-0,925$ (PP) a $R=-0,846$ (CV), lze tudíž konstatovat, že mezi hodnotami koeficientu tření a chlupatostí příze existuje nepřímá lineární závislost.



Obr. 28 Závislost koeficientu tření μ na chlupatosti příze H s výsledným korelačním koeficientem

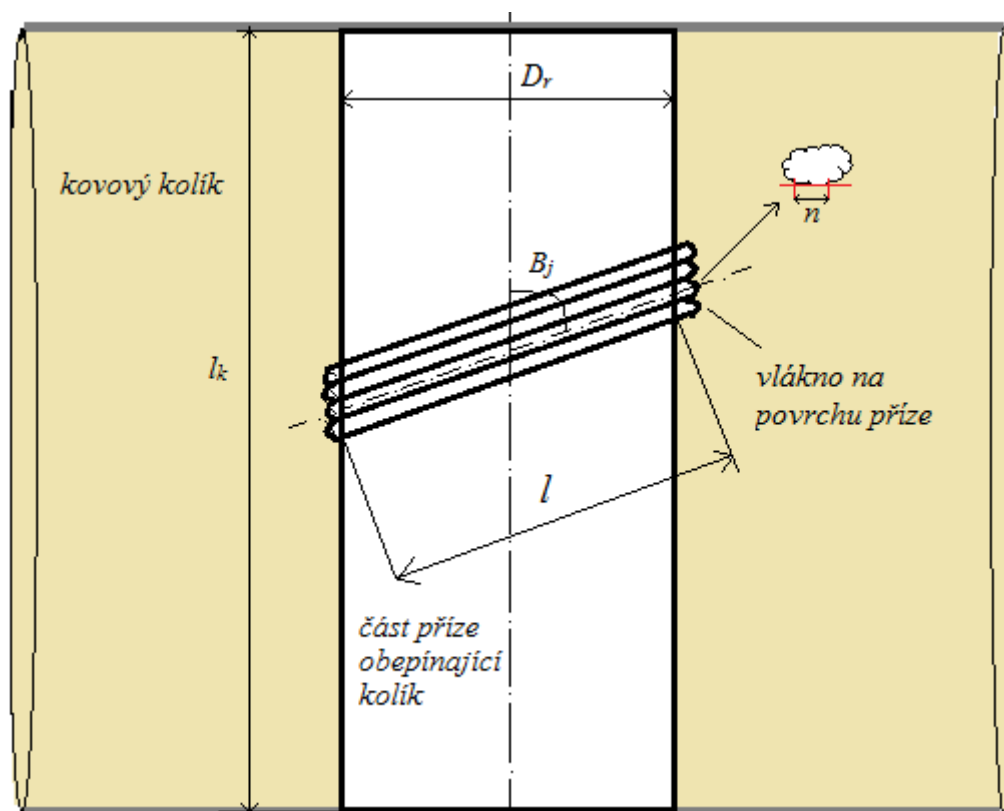
Co se týče chlupatosti příze, vyšší hodnoty pozorujeme u CV přízí. Chlupatost příze ovlivňují charakteristiky vláken jako: typ, délka, jemnost, resp. průměr a tvar příčného řezu, ohybová a torzní tuhost, pevnost a tažnost. S narůstajícím zákrutem lze pozorovat klesající trend hodnot chlupatosti a to opět u obou materiálů. Se zvyšujícím se zákrutem jsou odstávající vlákna více stlačována do jádra příze, zaplnění roste a průměr příze se zmenšuje – viz kap. 4.1.

Jak je patrné z obr. 28, u obou materiálů lze pozorovat trend poklesu koeficientu tření se zvyšující se chlupatostí. Při větší chlupatosti odstávající vlákna brání v tření samotné příze, což snižuje celkový koeficient tření – viz kap. 4.1.

12.4 Výpočet kontaktní plochy styčných povrchů

Při teoretickém výpočtu kontaktní plochy A [μm^2] se zjišťuje velikost styčných ploch mezi přízí a povrchem komponent (kovových kolíků) přístroje CTT – viz obr. 29. Jelikož je výpočet značně komplikovaný, zavádí se určité zjednodušující předpoklady:

- na povrchu příze leží přesně jedno vlákno vedle druhého
- vlákno se při tření příze nedeformuje, deformuje se pouze příze
- zanedbáváme chlupatost příze, problematika vlivu chlupatosti na koeficient tření byla řešena samostatně v kap. 12.3



Obr. 29 Model jednoduché prstencové přize obepínající kolík

Velikost kontaktní plochy se určí podle následujícího vzorce:

$$A = n.l.N_k \quad (15)$$

Kde:

A ... velikost kontaktní plochy [μm^2]

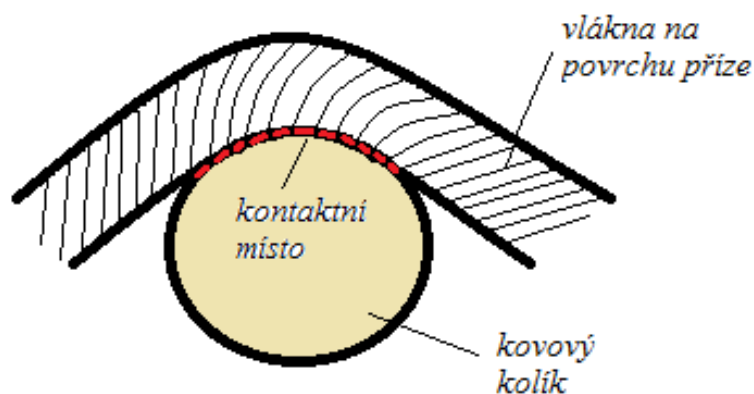
n ... délka nerovností řezu vláken na povrchu přize [μm]

l ... délka vlákna v přizi na kolíku [μm]

N_k ... počet vláken v délce přize obepínající kovový kolík [-]

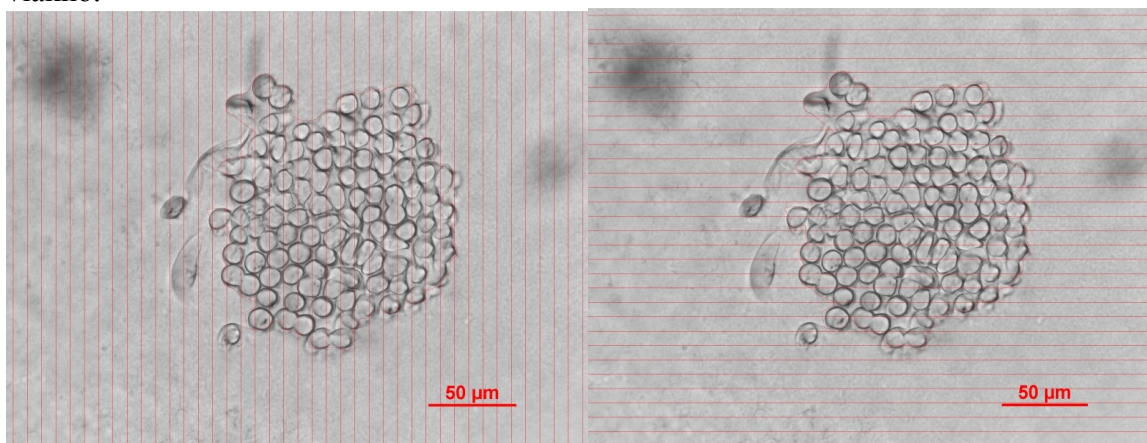
12.4.1 Výpočet délky nerovností řezu vláken na povrchu příze „n“

V první řadě bylo potřeba zjistit délku nerovností řezu vlákna v přízi dotýkající se pomyslného rozhraní mezi přízí a kovovým kolíkem. Jde nám o kontaktní místo respektive, v jaké délce se dotýkají. Zajímají nás vlákna na povrchu příze – viz obr. 30.

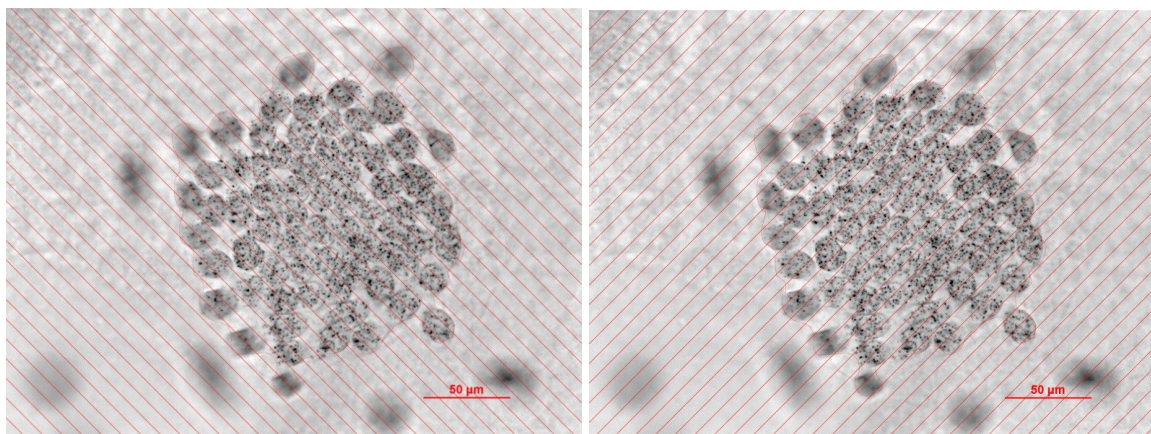


Obr. 30 Schéma kontaktních míst vláken s kovovým kolíkem

Ke zjištění tohoto parametru bylo zapotřebí vytvořit příčné řezy přízi – viz kap. 8. Po nasnímání řezů pod mikroskopem byly v obrazové analýze – viz kap. 7 obkresleny kontury řezu příze. Následně byl vytvořen sled příkazů v makru obrazové analýzy - viz příloha 3, které proložilo řezem ve čtyřech různých směrech přímky o vzdálenosti 1 pixelu – viz obr. 31 a 32 (na obrázku je vzdálenost přímek větší, kvůli lepší ilustraci) a vyhodnotilo nejdelší úseky kontaktů vlákna v řezu s přímkou. Přímka prakticky simuluje kontakt válec – vlákno.



Obr. 31 Příčné řezy CV příze (Z 1220 m⁻¹) s proloženými přímkami vertikálně a horizontálně

Obr. 32 Příčné řezy PP příze ($Z\ 1220\ m^{-1}$) s diagonálně proloženými přímkami

Tab. 6 obsahuje nejdelší naměřené úseky kontaktů krajních vláken v řezu s přímkou. Jednotlivá čísla měření odpovídají největším hodnotám pro daný řez příze. Dále je přidána základní statistika, kde jsou hodnoty aritmetického průměru dále použity při výpočtu celkové kontaktní plochy. Kompletní tabulka s naměřenými hodnotami – viz příloha 4.

Tab. 6 Naměřené nejdelší úseky kontaktů vlákna v řezu s přímkou se základní statistikou

$n\ [\mu m]$	PP				CV			
Zákrut [m^{-1}]	612	845	1070	1220	612	845	1070	1220
Arit. průměr [μm]	7,06	6,90	7,10	6,97	6,46	6,83	5,90	6,06
$IS_D\ [\mu m]$	6,42	6,43	5,84	6,40	5,66	5,92	5,38	4,85
$IS_H\ [\mu m]$	7,70	7,36	8,35	7,53	7,26	7,74	6,42	7,27
Směr. odchylka [μm]	1,54	1,21	3,73	1,45	2,38	2,37	1,29	3,04
Var.koef. [%]	21,75	20,62	35,33	20,75	26,90	34,76	33,89	31,26

12.4.2 Výpočet délky vlákna v přízi „ l “

K výpočtu hodnoty $l\ [\mu m]$ – viz obr. 33, délky vlákna na povrchu příze obepínající kolík potřebujeme zjistit dva parametry.

1. Velikost průměru zatížené příze $D_r\ [\mu m]$ neboli průměru příze, která je při měření umístěna na kovovém kolíku a je zatížena předpětím.
2. Velikost úhlu $\beta_j\ [rad]$, který svírá úhel mezi osou příze a osou vlákna. Jak je patrné z obr. 33, díky základní goniometrické funkci hodnota l vychází ze vztahu:

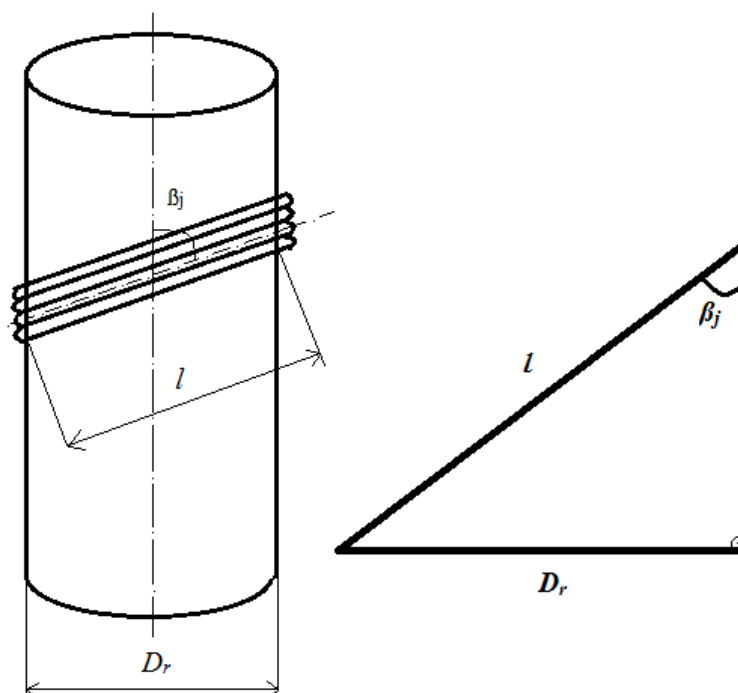
$$\sin \beta_j = \frac{D_r}{l} \Rightarrow l = \frac{D_r}{\sin \beta_j} \quad (16)$$

Kde:

l délka vlákna v přízi na kolíku [μm]

D_r průměr zatížené příze [μm]

β_j úhel mezi osou vlákna a osou příze [rad]



Obr. 33 Model zatížené příze

12.4.2.1 Určení průměru zatížené příze „ D_r “

Pro určení průměru zatížené příze D_r [μm] – viz obr. 33, bylo nutné nasimulovat situaci jako při měření na přístroji CTT – viz obr. 34. Kolem kolíku (1), který byl připevněn do držáku (2) pod makroskop (3), byla opásána příze (4) zatížená stejným předpětím (5) 17 g jako při zkoušce na CTT. Pomocí tohoto makroskopu byla příze nasnímána a obrazy následně vyhodnoceny v obrazové analýze, ze které se získalo 30 hodnot zatíženého průměru D_r od každého materiálu a jeho jmenovitého zákrutu. Následné statistické vyhodnocení - viz tab. 7, kap. 12.4.2.2.

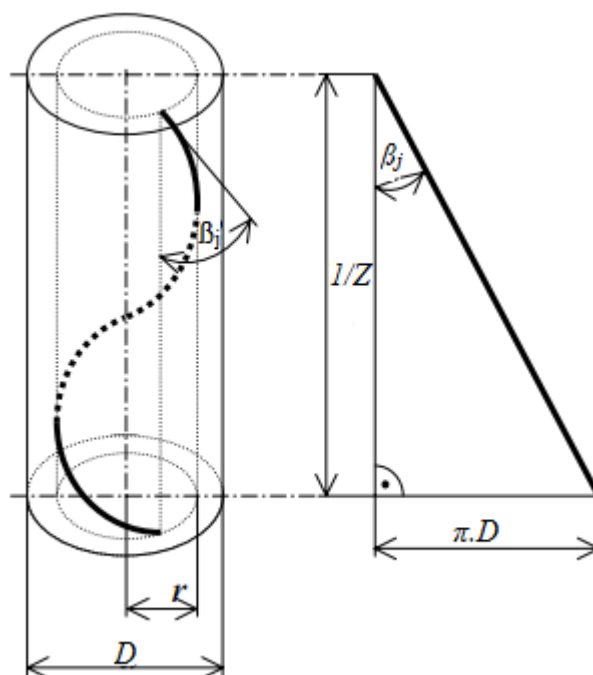


Obr. 34 Nasimulovaná situace kolíku z CTT pod makroskopem pro měření průměru zatížené příze

12.4.2.2 Určení velikosti úhlu „ β_j ”

Velikost úhlu β_j [rad], mezi osou příze a osou vlákna – viz obr. 33, kap. 12.4.2.2, byla zjištěna pomocí reálného zákrutu a průměru příze. Zákrut se vyhodnocoval na zákrutoměru – viz kap. 9, kde bylo pro každý materiál a jeho jmenovitý zákrut provedeno 20 měření a statisticky se získal průměrný reálný zákrut - viz tab. 2, kap. 12.

Průměr příze D [μm] byl naměřen z obrazů nasnímaných příčných řezů přízí – viz obr. 31 a 32, kap. 12.4.1 pomocí obrazové analýzy (interaktivní měření) – viz kap. 7. Naměřilo se 20 hodnot od každého materiálu a jeho jmenovitého zákrutu a vypočítané hodnoty jsou v tab. 7. Následná úprava goniometrické funkce dle obr. 35 přinesla finální vztah pro získání úhlu β_j – viz vzorec 17.



Obr. 35 Model jednoduché prstencové příze

Z toho vychází:

$$\operatorname{tg} \beta_j = \frac{\pi \cdot D}{1/Z} \Rightarrow \pi \cdot D \cdot Z \quad (17)$$

Kde:

Z ... reálný zákrut příze [m^{-1}]

D ... průměr příze [m]

β_j ... úhel mezi osou vlákna a osou příze [rad]

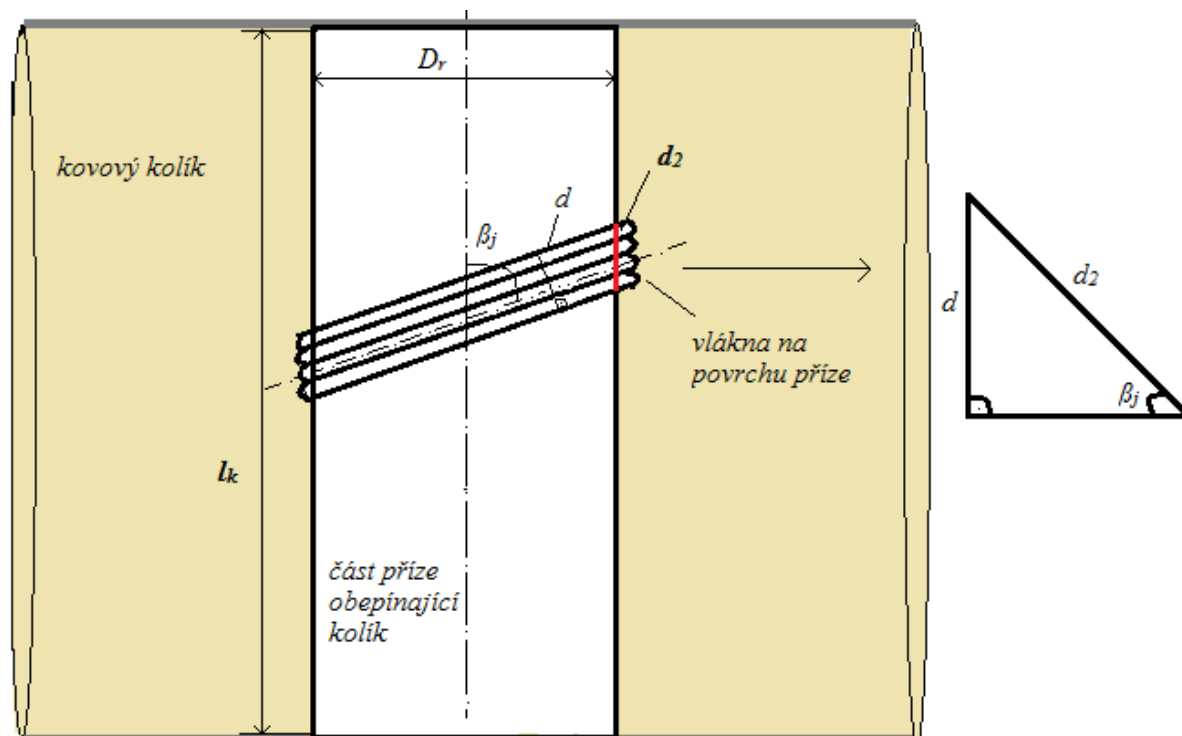
Tab. 7 obsahuje průměrné hodnoty z jednotlivých měření. Kompletní údaje z měření – viz příloha 5.

Tab. 7 Výpočet úhlu β_j a délky vlákna l

PP	Jmenov. Z [m^{-1}]	Reálný Z [m^{-1}]	D [μm]	D_r [μm]	$\pi * D[m] * Z[m^{-1}]$	B_j [rad]	B_j [°]	l [μm]
	612	599	206,34	228,49	0,388	0,370	21,22	631,239
	845	838	199,20	213,30	0,524	0,483	27,67	459,260
	1070	1079	201,13	207,03	0,682	0,598	34,26	367,513
	1220	1246	194,96	198,52	0,763	0,652	37,20	327,225
CV	Jmenov. Z [m^{-1}]	Reálný Z [m^{-1}]	D [μm]	D_r [μm]	$\pi * D[m] * Z[m^{-1}]$	B_j [rad]	B_j [°]	l [μm]
	612	606	184,98	191,08	0,352	0,339	19,40	575,247
	845	804	170,57	171,93	0,431	0,407	23,31	434,521
	1070	1033	157,60	159,93	0,511	0,473	27,09	351,223
	1220	1188	139,86	144,03	0,522	0,481	27,56	311,257

12.4.3 Výpočet počtu vláken v délce příze obepínající kolík „ N_k “

K výpočtu celkové kontaktní plochy chybí zjistit už jen poslední parametr a tím je hodnota N_k [-], neboli počet vláken v délce příze obepínající kolík. Tento počet lze zjistit opět ze dvou neznámých a to z hodnoty l_k [μm], což je délka příze na kolíku a průměru vlákna rovnoběžného s osou příze d_2 [μm] - obr. 36.



Obr. 36 Model jednoduché prstencové příze obepínající kolík

Z toho vychází:

$$N_k = \frac{l_k}{d_2} \quad (18)$$

Kde:

N_k ... počet vláken v délce příze obepínající kolík [-]

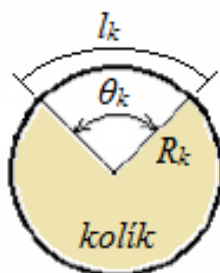
l_k délka příze na kolíku [μm]

d_2 průměr vlákna rovnoběžný s osou příze [μm]

V následujících kapitolách bude popsán postup zjišťování délky příze na kolíku l_k , ekvivalentního průměru d a průměru vlákna rovnoběžného s osou příze d_2 .

12.4.3.1 Výpočet délky příze na kolíku „ l_k “

Délka příze, která je ve styku s kolíkem se vypočítá pomocí úhlu opásání kovového kolíku θ_k [rad] a jeho poloměru R_k [μm] – viz obr. 37 a vzorec 19. Jelikož se při měření na přístroji CTT příze tře o dva kolíky pod úhlem 90° , bude celkový úhel opásání $180^\circ = \pi$ rad. Průměr kolíku, resp. jeho poloměr se proměřil na třech místech pomocí posuvného měřítka, vždy se stejným výsledkem. Výsledné hodnoty – viz tab. 8.



Obr. 37 Příčný řez kovovým kolíkem

Z toho vychází:

$$l_k = R_k \cdot \theta_k \quad (19)$$

Kde:

l_k délka příze na kolíku [μm]

R_k poloměr kolíku [μm]

θ_k úhel opásání [rad]

Tab. 8 Vypočtená hodnota délky příze na kolíku

R_k [μm]	θ_k [rad]	l_k [μm]
3250	π	10210,18

12.4.3.2 Výpočet průměru vlákna rovnoběžného s osou příze „ d_2 “

„Zkosený“ průměr vlákna, který je rovnoběžný s osou příze se dopočítá ze závislosti 20 – viz obr. 36. Úhel β_j [rad] už známe z tab. 7 a ekvivalentní průměr vlákna d [μm] byl zjištěn díky nasnímání volného svazku vlákenného materiálu pod konfokálním mikroskopem – viz obr. 24 a 25, kap. 10. Tento mikroskop snímá vzorek pomocí laserového paprsku s vysokou přesností měření a možností případného 3D zobrazení. Následně byly snímky vyhodnoceny v obrazové analýze, kde bylo pro každý materiál provedeno 25 měření, ze kterých se vypočetla průměrná hodnota. Průměr d_2 [μm] byl vyjádřen z goniometrické funkce – viz vzorec 20 a jeho konkrétní hodnoty spolu s výpočtem N_k jsou uvedeny v tab. 9. Kompletní údaje z tohoto měření – viz příloha 6.

$$\sin \beta_j = \frac{d}{d_2} \Rightarrow d_2 = \frac{d}{\sin \beta_j} \quad (20)$$

Kde:

d ekvivalentní průměr vlákna [μm]

d_2 průměr vlákna rovnoběžný s osou příze [μm]

β_j úhel mezi osou vlákna a osou příze [rad]

Tab. 9 Výpočet průměru vlákna rovnoběžného s osou příze d_2 a počtu vláken v délce příze N_k

PP	Jmenov. Z [m^{-1}]	Reálný Z [m^{-1}]	d [μm]	$IS_D(d)$ [μm]	$IS_H(d)$ [μm]	B_j [rad]	d_2 [μm]	N_k [-]
	612	599	18,42	17,88	18,96	0,370	50,89	200,63
	845	838				0,483	39,66	257,43
	1070	1079				0,598	32,70	312,24
	1220	1246				0,652	30,36	336,27
CV	Jmenov. Z [m^{-1}]	Reálný Z [m^{-1}]	d [μm]	$IS_D(d)$ [μm]	$IS_H(d)$ [μm]	B_j [rad]	d_2 [μm]	N_k [-]
	612	606	12,25	11,94	12,57	0,339	36,88	276,81
	845	804				0,407	30,96	329,74
	1070	1033				0,473	26,91	379,47
	1220	1188				0,481	26,48	385,62

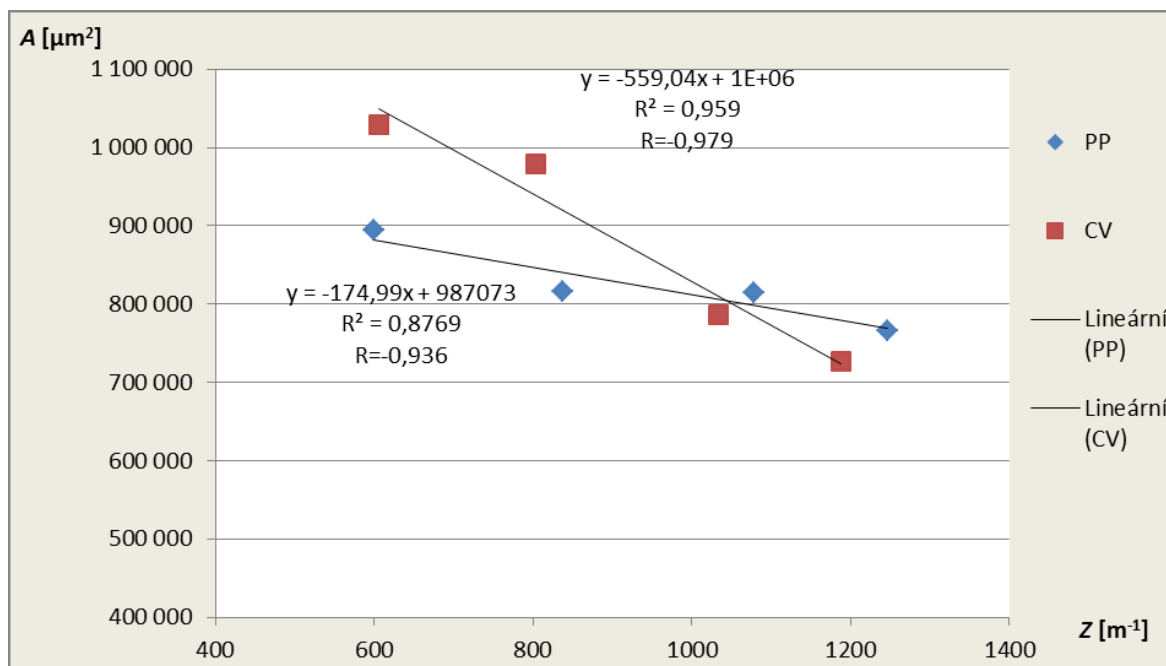
12.5 Vyhodnocení kontaktní plochy styčných povrchů

Nyní už jsou známy všechny parametry potřebné k výpočtu kontaktní plochy. Výpočet se provedl ze středních hodnot všech tří parametrů podle vzorce 15, kap. 12.4. Výsledné hodnoty pro jednotlivé materiály a jejich zákruty jsou zřetelné z tab. 10.

Tab. 10 Výsledné hodnoty kontaktní plochy styčných povrchů

PP	Jmenov. Z [m^{-1}]	Reálný Z [m^{-1}]	$IS_D(Z)$ [m^{-1}]	$IS_H(Z)$ [m^{-1}]	A [mm^2]
	612	599	590	608	0,89
	845	838	829	847	0,82
	1070	1079	1063	1095	0,81
	1220	1246	1233	1259	0,77
CV	Jmenov. Z [m^{-1}]	Reálný Z [m^{-1}]	$IS_D(Z)$ [m^{-1}]	$IS_H(Z)$ [m^{-1}]	A [mm^2]
	612	606	600	612	1,03
	845	804	794	814	0,98
	1070	1033	1017	1049	0,79
	1220	1188	1171	1205	0,73

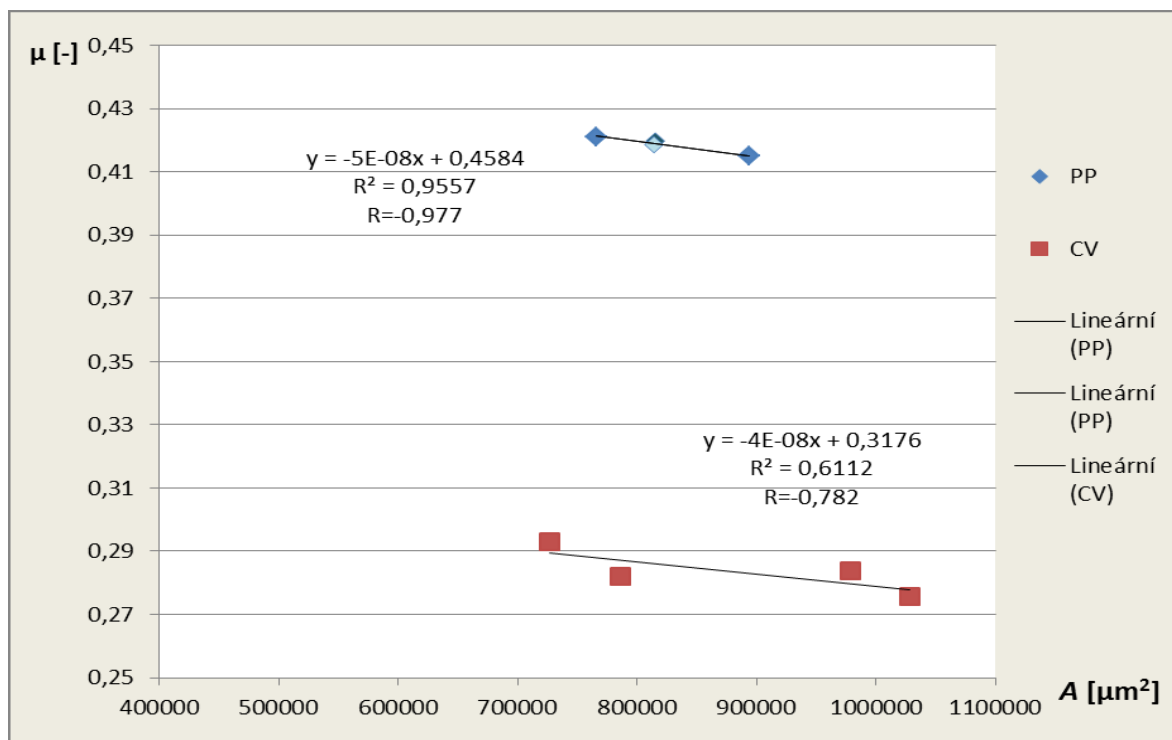
Vzájemná závislost mezi vypočítanou kontaktní plochou styčných povrchů A a hodnotami zákrutu je znázorněna na obr. 38. Jednotlivými body byla opět metodou nejmenších čtverců proložena přímka a byl stanoven koeficient korelace R - viz kap. 11. Korelační koeficient se blíží téměř -1, $R=-0,936$ (PP) a $R=-0,979$ (CV), tudíž lze konstatovat, že mezi hodnotami kontaktní plochy a zákrutu existuje silná nepřímá lineární závislost.



Obr. 38 Závislost kontaktní plochy povrchů A na zákrutu s výsledným korelačním koeficientem

Párovým porovnáním dvou výběrů – viz kap. 11, byl zjištěn nevýznamný rozdíl mezi kontaktní plochou PP příze – kolík a CV příze – kolík. Hodnoty koeficientu tření PP a CV přízi se statisticky významně liší (intervaly spolehlivosti průměrných hodnot se nepřekrývají), viz obr. 26 a tab. 3, kap. 12.2. Jejich odlišnost ale nelze vysvětlit na základě velikosti kontaktních ploch, jejichž rozdíly jsou nevýznamné – viz obr. 38. U obou typů přízi se vyskytuje zřetelný pokles kontaktní plochy se zákrutem.

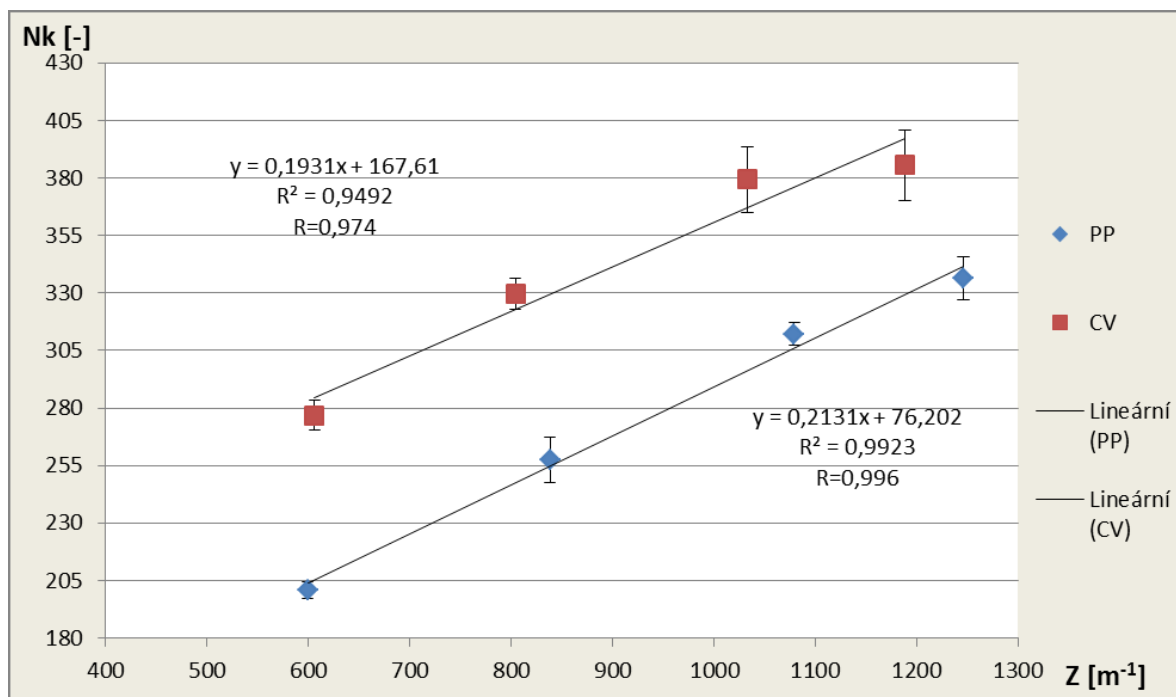
Závislost mezi naměřeným koeficientem tření a vypočítanou kontaktní plochou styčných povrchů A znázorňuje obr. 39. Korelační koeficient u PP příze se blíží téměř -1 ($R=-0,977$), tudíž lze konstatovat, že mezi hodnotou koeficientu tření a kontaktní plochou existuje silná nepřímá lineární závislost. U CV příze tato závislost není tak silná ($R=-0,782$), přesto lze konstatovat, že zde také určitá nepřímá lineární závislost je.



Obr. 39 Závislost koeficientu tření μ na velikosti kontaktní plochy povrchů A s výsledným korelačním koeficientem

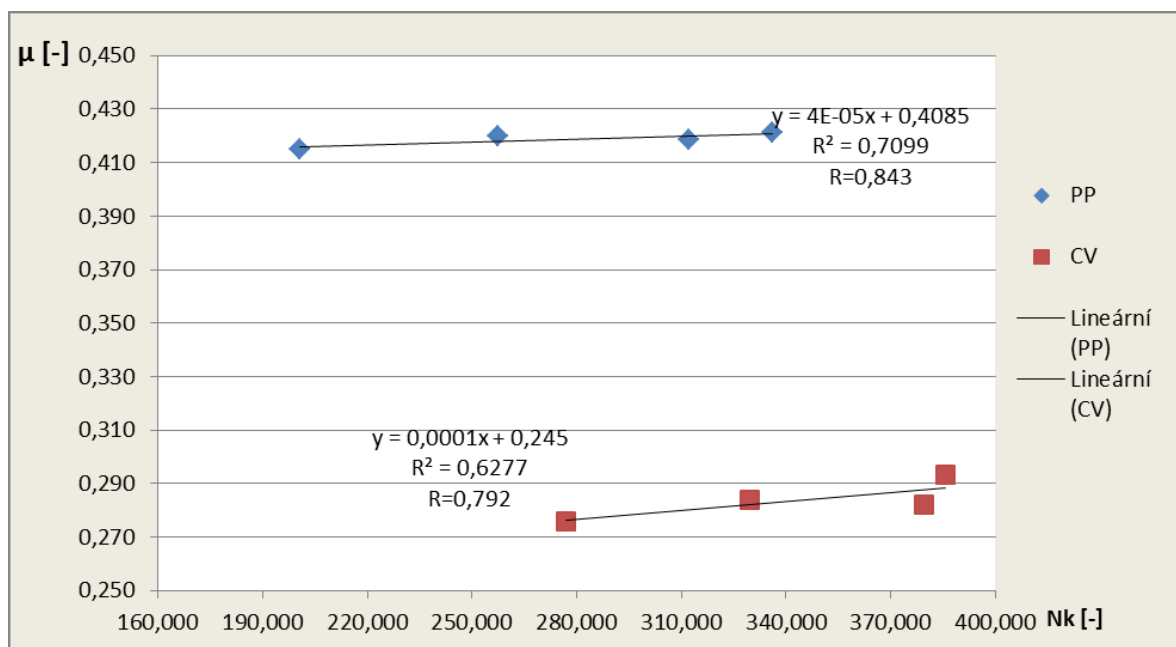
Pro jednotlivé příze platí, že se zvyšující se kontaktní plochou koeficient tření mírně klesá. Tento závěr neodpovídá předpokladům stanoveným v kap. 4.1. Hodnoty směrnic obou regresních přímek jsou velmi nízké, blíží se téměř k nule. Je tedy možné hovořit o téměř konstantní funkci.

Kontaktní plochu ovlivňuje průměr samotné příze a dále nepřímo ekvivalentní průměr jednotlivých vláken. Nejvíce je však velikost kontaktní plochy ovlivněna délkou vlákna v přízi l , která je v kontaktu s kolíkem, resp. hodnotou zatíženého průměru D_r , protože tyto parametry klesají se zvyšujícím se zákrutem stejně jako kontaktní plocha – viz tab. 7, kap. 12.4.2.2. Oproti tomu počet vláken v délce příze na kolíku N_k spolu se zákrutem roste – viz obr. 40, stejně jako tomu bylo u závislosti koeficientu tření μ – viz obr. 26, kap. 12.2.



Obr. 40 Závislost počtu vláken v délce příze na kolíku N_k na zákrutu s výsledným korelačním koeficientem

To je důvod se domnívat, že koeficient tření úzce souvisí s počtem vláken v délce příze na kolíku N_k , resp. s počtem nerovností na povrchu příze (předpoklady v kap. 4.1) – viz obr. 41.



Obr. 41 Závislost koeficientu tření μ na počtu vláken v délce příze na kolíku N_k s výsledným korelačním koeficientem

13 Závěr

Diplomová práce byla zaměřena především na tribologii, teorii tření a různé techniky zjišťování koeficientu tření u délkových textilií. Cílem práce bylo naměřit koeficient tření prstencových přízí z různého materiálu a s různým zákrutem pomocí přístroje CTT, kdy se za stejných podmínek jako na tomto přístroji teoreticko-experimentálně analyzovala velikost styčných ploch daných přízí s komponenty (kovové kolíky) přístroje CTT. Zajímala nás korelace mezi naměřeným koeficientem tření a kontaktní plochou dvojic povrchů. Dalším cílem bylo naměřit chlupatost přízí na přístroji Uster Tester IV – SX a vyhodnotit, jak tento parametr ovlivňuje koeficient tření.

Z provedených měření bylo zjištěno, že vyšší koeficient tření byl naměřen u PP přízí oproti CV přízím. Je to dáno strukturou jednotlivých materiálů. Například hustotou materiálu nebo řeznou plochou PP vláken, která je větší. Díky naměřené cirkularitě bylo také zjištěno, že vlákna PP mají členitější tvar průřezu. Velkou roli v těchto hodnotách ale určitě bude hrát matování PP, které zvýšilo abrazivitu vláken vůči kovovým kolíkům přístroje CTT.

Důležitá je též sounáležitost mezi dvěma odíranými povrchy. Hodnoty povrchové drsnosti kolíků z CTT se pohybují v pravé části grafu 10, což koresponduje se závislostí, kde s vyšším zákrutem příze roste koeficient tření mezi přízí a kolíkem. V našem případě je zde silná přímá lineární závislost, kterou lze vysvětlit počtem nerovností, v tomto případě počtem vláken, které jsou v kontaktu s kolíkem N_k , kdy oba tyto parametry se zákrutem rostou, což by potvrdovalo předpoklad v kap. 4.1.

U výpočtu kontaktní plochy byl zjištěn nevýznamný rozdíl mezi hodnotami PP příze – kolík a CV příze – kolík. Na tomto základě tudíž nelze vysvětlit odlišnost koeficientů tření. Co se týká vlivu zákrutu na velikost kontaktní plochy, tak bylo vypočteno, že se vzrůstajícím zákrutem, klesá velikost kontaktní plochy. Vlivem zákrutu dochází ke vzniku radiálních tlaků v přízi a tím ke zmenšení průměru příze a délky vláken v přízi, která je v kontaktu s kolíkem. Kontaktní plocha je ovlivňována průměrem příze dále nepřímo ekvivalentním průměrem vláken, ale nejvíce už zmiňovanou délkou vlákna v přízi na kolíku l , resp. zatíženým průměrem D_r , jelikož tyto parametry klesají se zvyšujícím se zákrutem stejně jako kontaktní plocha.

Měření také prokázala, že s rostoucím zákrutem klesá chlupatost přízí, protože odstávající vlákna jsou více stlačována do jádra příze, zaplnění roste a průměr příze se zmenšuje. Je nutné si uvědomit, že při výpočtu kontaktní plochy nebyla zahrnuta vlákna vyčnívající z těla příze, která budou jistě koeficient tření ovlivňovat. Pokud se podíváme na závěry z tohoto hlediska, pak opět odpovídají předpokladům z kap. 4.1 tedy, že se zvyšující se chlupatostí příze koeficient tření klesá – viz obr. 28, neboť při větší chlupatosti odstávající vlákna brání tření samotné příze, což snižuje koeficient tření.

Samotné tření je ovlivňováno velkým množstvím různých vlivů. Pokud jde o tření příze, jakožto velmi variabilního tělesa, jsou tyto vlivy ještě komplikovanější. Bylo by možné

provádět měření tření za různých podmínek a sledovat, jakým podílem působí dané vlastnosti na koeficient tření. Co se týká výpočtu kontaktní plochy, tak zde ještě asi nebylo dosaženo mikroskopické úrovně, neboť se nepotvrdil základní předpoklad, kdy se zvětšující se kontaktní plochou roste i koeficient tření. Stále zde tudíž platí makroskopické hledisko a to, že velikost tření je nezávislé na zjevné kontaktní ploše.

14 Literatura

- [1] Morton, W. E., Hearle, J. W. S.: Physical properties of textile fibres, Textile Institute, UK, 1997
- [2] Lawson-Hemphill: CTT Constant tension transport, User manual, Swansea, USA.
- [3] Howell, H. G., Mieszkis, K. W., Tabor, D.: Friction in Textiles, Butterworths Publication Limited, London, 1959
- [4] Ruffer L.: Metody měření koeficientu tření plošných textilií v textilním průmyslu [Bakalářská práce], TU Liberec, fakulta textilní, 2006
- [5] Polyak Y.: Třecí vlastnosti délkových textilií [Bakalářská práce], TU Liberec, fakulta textilní, 2007
- [6] Farska L.: Zařízení pro měření koeficientu tření u textilií [Diplomová práce], TU Liberec, fakulta textilní, 2004
- [7] Kalyanaraman, A. R. (1988) 'Yarn-friction Studies with the SITRA Friction-measuring Device', Journal of the Textile Institute, 79: 1, 147 — 151
- [8] Turcovská Š.: Eulerov vzt'ah při trení dl'žkových a plošných textilií [Diplomová práce], TU Liberec, fakulta textilní, 2008
- [9] Kussová V.: Frikční vlastnosti textilií [Diplomová práce], TU Liberec, fakulta textilní, 2009
- [10] Kohout L.: Porovnání koeficientu tření zjišťovaného při tribologickém testu za různých podmínek regulací tlaku [Diplomová práce], TU Liberec, fakulta strojní, 2007
- [11] Horák Z., Krupka F., Šindelář V. :Technická fyzika, Praha, 1960
- [12] Meloun, M., Militký, J.: Statistické zpracování experimentálních dat, PULS, Praha 1994
- [13] Obrazová analýza, Ústav biologie lékařské fakulty UP [online]. Dostupné z: <http://biologie.upol.cz/mikroskopie/obrazova%20analyza.htm> [citováno 5. 4. 2016]
- [14] Application Handbook of Uster Tester IV, Zellweger Uster, 2002
- [15] Interní norma KTT, FT TUL [IN 46-108-01/01], Doporučený postup tvorby příčných řezů. Měkké a tvrdé řezy, Liberec, 2002
- [16] Zákrutoměr, Polymertest [online]. Dostupné z: http://www.polymertest.cz/data/file/Zákrutoměr%20Technické_podmínky_návod.pdf [citováno 3. 2. 2016]
- [17] Wikipedie [online]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Viskózová_vlákna [citováno 5. 4. 2016]
- [18] Wikipedie [online]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Polypropylenová_vlákna [citováno 5. 4. 2016]
- [19] Komínková V.: Tření nití zpracovávaných pletářskou technologií [Diplomová práce], TU Liberec, 2003

[20] Militký J., Vaníček J.: Vlastnosti vláken, TU Liberec, 2008 [online]. Dostupné z: http://www.kmi.tul.cz/studijni_materialy/data/2013-04-17/08-29-12.pdf [citováno 3. 2. 2016]

[21] E-konstrukter, Drsnost povrchu – převodní tabulka, 2014 [online]. Dostupné z: <http://e-konstrukter.cz/prakticka-informace/drsnost-povrchu-prevodni-tabulka> [citováno 15. 1. 2016]

PŘÍLOHY

Seznam příloh

Příloha I – převodní tabulka drsnosti povrchů [21]

Příloha II – tabulka jemností a zákrutů přízí

Příloha III – sled příkazů v makru obrazové analýzy

Příloha IV – tabulka s výpočtem hodnoty „ n “

Příloha V – tabulky s výpočtem hodnot „ D “, „ D_r “, „ β_j “ a „ l “

Příloha VI – tabulky s výpočtem hodnot „ N_k “, „ d “, „ d_2 “

Příloha VII – tabulka s naměřenou cirkularitou vláken

Příloha I:

Převodní tabulka drsnosti povrchů [21]

DRSNOST POVRCHU - PŘEVODNÍ TABULKA

←—————→ Převodní tabulka drsnosti povrchu - Sa, RSM, CLA, Rt, N

Sa	Sa	RMS	CLA	Rt	N	Min. požadovaná délka vzorku	
[μm]	[mikropalec]	[nm]	[mikropalec]			[palec]	[mm]
0,025	1	1,1	1	0,3	1	0,003	0,08
0,05	2	2,2	2	0,5	2	0,01	0,25
0,1	4	4,4	4	0,8	3	0,01	0,25
0,2	8	8,8	8	1,2	4	0,01	0,25
0,4	16	17,6	16	2	5	0,01	0,25
0,8	32	32,5	32	4	6	0,03	0,8
1,6	63	64,3	63	8	7	0,03	0,8
3,2	125	137,5	125	13	8	0,1	2,5
6,3	250	275	250	25	9	0,1	2,5
12,5	500	550	500	50	10	0,1	2,5
25	1000	1100	1000	100	11	0,3	8
50	2000	2200	2000	200	12	0,3	8

Legenda

Sa	střední aritmetická odchylka v μm a v mikropalcích
RMS	střední kvadratická hodnota drsnosti - jednotka nanometr
CLA	
Rt	celková drsnost
N	nová ISO stupnice drsnosti

Příloha II:**Tabulka jemností a zákrutů přízí**

Materiál	Jemnost							
	CV				PP			
	Jmenovitý Zákrut [1/m]	612	845	1070	1220	612	845	1070
1.	16,22	16,35	16,02	16,10	16,36	16,29	16,67	16,65
2.	16,35	16,21	16,25	15,96	16,36	16,49	16,75	16,49
3.	16,45	16,55	16,15	15,93	16,20	16,44	16,80	16,20
4.	16,18	16,34	16,04	15,98	16,53	16,28	16,64	16,45
5.	16,23	16,02	16,43	15,89	16,44	16,19	16,60	16,23
6.	16,67	16,40	15,98	15,97	16,38	16,40	16,56	16,51
7.	16,16	16,17	16,30	15,94	16,15	16,29	16,67	16,51
8.	16,54	16,34	16,13	15,93	16,32	16,30	16,68	16,42
9.	16,51	16,22	16,24	15,96	16,57	16,41	16,84	16,48
10.	16,34	16,15	16,34	15,91	16,48	16,46	16,72	16,60
Průměr	16,37	16,28	16,19	15,96	16,38	16,36	16,69	16,45
Směr. Odch.	0,17	0,15	0,15	0,06	0,13	0,10	0,09	0,14
Rozptyl	0,03	0,02	0,02	0,00	0,02	0,01	0,01	0,02
Var.koef	1,05	0,93	0,92	0,36	0,82	0,60	0,52	0,87
IS	0,11	0,09	0,09	0,04	0,08	0,06	0,05	0,09
ISd	16,26	16,18	16,10	15,92	16,30	16,29	16,64	16,37
ISh	16,47	16,37	16,28	15,99	16,46	16,42	16,75	16,54

Zákrut (předpětí na zákrutoměru 8 cN)									
Materiál	CV				PP				
	Jmenovitý Zákrut [1/m]	612	845	1070	1220	612	845	1070	1220
	1.	600	785	1014	1231	588	869	1036	1251
2.	590	780	1104	1142	626	833	1111	1210	
3.	606	766	1026	1116	628	836	1017	1240	
4.	637	811	1080	1231	612	847	1063	1245	
5.	610	802	1012	1151	586	815	1116	1192	
6.	612	815	1047	1201	580	838	1068	1222	
7.	626	778	1017	1167	577	807	1085	1275	
8.	616	853	974	1161	556	825	1039	1234	
9.	608	777	1021	1165	572	868	1008	1209	
10.	596	772	1062	1163	607	803	1098	1246	
11.	601	819	1070	1196	597	829	1082	1277	
12.	582	809	972	1205	587	817	1129	1237	
13.	594	817	1081	1158	586	844	1069	1241	
14.	608	811	1068	1131	582	849	1085	1268	
15.	607	826	1024	1200	602	847	1101	1231	
16.	630	829	1002	1252	604	844	1125	1248	
17.	592	815	984	1201	619	848	1068	1304	
18.	607	790	1012	1189	623	882	1149	1257	
19.	619	811	1030	1247	609	852	1045	1304	
20.	586	813	1051	1243	631	815	1083	1226	
Průměr	606,35	803,95	1032,55	1187,50	598,60	838,40	1078,85	1245,85	
Směr. Odch.	14,51	22,25	36,89	39,92	20,84	21,04	37,65	29,23	
Rozptyl	210,45	495,21	1360,58	1593,32	434,36	442,57	1417,82	854,34	
Var.koef	2,39	2,77	3,57	3,36	3,48	2,51	3,49	2,35	
IS	6,36	9,75	16,17	17,49	9,13	9,22	16,50	12,81	
ISd	599,99	794,20	1016,38	1170,01	589,47	829,18	1062,35	1233,04	
ISh	612,71	813,70	1048,72	1204,99	607,73	847,62	1095,35	1258,66	

Příloha III:

Sled příkazů v makru obrazové analýzy

```
//MAKRO PRO SLEDOVANI DELKY KONTAKTU VLAKNA V REZU S PRIMKOU
=====
CloseAllDocuments (2) ;
ResetObjectFeatures ();
SelectObjectFeature ("length");
//Restrictions ("Délka",1,1,0.50,100000);

Int_CreateTextWindow (0,RGB (255,0,0),RGB (0,0,0),250);
_ImageOpen ();
Int_CloseTextWindow ();

Int_CreateTextWindow ("Označit konturu řezu pomocí Bezierovy křivky, pak Exit
editor...",0,RGB (255,0,0),RGB (0,0,0),250);
ImageEdit ();
Int_CloseTextWindow ();

OverlayTransparency (80);

Contour ();
BinaryToReference ();
InsertLines (2,0,8,1,0);
ResetObjectFeatures ();
SelectObjectFeature ("Length");
ScanObjects ();
Export ("AutoMeasResults",1);

BinaryFromReference ();
InsertLines (2,45,8,1,0);
ScanObjects ();
Export ("AutoMeasResults",1);

BinaryFromReference ();
InsertLines (2,90,8,1,0);
ScanObjects ();
Export ("AutoMeasResults",1);

BinaryFromReference ();
InsertLines (2,135,8,1,0);
ScanObjects ();
Export ("AutoMeasResults",1);
CloseAllDocuments (1);
```

Příloha IV:**Tabulka s výpočtem hodnoty „n“**

<i>n</i> [μm]	<i>PP</i>				<i>CV</i>			
Zákrut [1/m]	612	845	1070	1220	612	845	1070	1220
1.	9,72	6,5	8,17	7,42	3,34	6,04	5,42	4,54
2.	6,96	6,35	5,41	7,99	5,41	8,04	4,37	6,44
3.	9,37	6,19	6,19	8,81	7,65	5,75	7,88	4,89
4.	5,58	5,41	5,58	8,34	6,1	5,23	4,89	5,58
5.	5,42	8,65	10,81	6,96	7,82	5,41	9,2	4,54
6.	7,73	5,92	13,27	5,75	5,41	3,85	6,04	8,68
7.	8,04	7,73	7,73	5,06	7,27	11,58	6,61	8,04
8.	5,73	6,79	5,73	6,35	5,23	5,23	7,58	6,96
9.	7,48	6,5	5,12	6,19	5,27	6,19	5,06	6,44
10.	9,03	5,27	8,96	7,3	7,12	4,37	5,41	8,4
11.	8,34	9,42	4,81	5,92	5,89	10,65	4,81	5,06
12.	6,35	6,79	6,96	7,13	5,06	4,35	8,65	7,58
13.	5,89	7,3	9,12	7,82	6,61	4,72	6,79	4,5
14.	5,92	8,96	5,23	5,23	9,89	6,65	6,61	5,06
15.	5,42	7,27	11,58	8,96	8,04	6,81	6,44	4,19
16.	6,79	7,12	3,85	5,42	5,75	5,58	4,89	
17.	7,48	8,51	6,44	9,42	5,58	11,42	5,58	
18.	6,19	8,51	7,13	8,35	5,58	11,58	6,19	
19.	9,89	7,27	5,92	6,5	9,72	4,72	5,41	
20.	7,73	7,3	4,54	5,58		4,19	4,03	
21.	4,65	7,13		7,48		5,41	4,5	
22.	5,58	6,44		4,5		8,81	5,41	
23.		5,73		6,81		6,96	5,92	
24.		5,06		9,58		8,65	5,06	
25.		7,13		5,27		7,73	4,89	
26.		4,37				7,65	5,75	
27.		6,19						
28.		7,27						
Průměr [μm]	7,06	6,90	7,10	6,97	6,46	6,83	5,90	6,06
ISd	6,42	6,43	5,84	6,40	5,66	5,92	5,38	4,85
ISh	7,70	7,36	8,35	7,53	7,26	7,74	6,42	7,27
Směr. odch. [μm]	1,54	1,21	3,73	1,45	2,38	2,37	1,29	3,04
Var.koef. [%]	21,75	20,62	35,33	20,75	26,90	34,76	33,89	31,26

Příloha V:**Tabulky s výpočtem hodnot „ D “, „ D_r “, „ β_j “ a „ l “**

Výpočet úhlu β_j a délky vlákna l		Jmenovitý zákrut	Průměr příze	Zatížený průměr příze				
PP	číslo měření	612	D [μm]	D_r [μm]	$\pi \cdot D$ [m]* Z [1/m]	B_j [rad]	B_j [°]	l [μm]
Reálný zákrut [1/m]	1.	599	215,45	207,45	0,41	0,39	22,07	552,13
	2.		208,39	200,35	0,39	0,37	21,41	548,78
	3.		207,72	202,13	0,39	0,37	21,35	555,20
	4.		203,49	216,31	0,38	0,37	20,95	604,88
$\text{tg } B_j = \pi \cdot D \cdot Z$	5.		212,32	219,86	0,40	0,38	21,78	592,57
	6.		206,31	219,86	0,39	0,37	21,22	607,49
$l = D_r / \sin B_j$	7.		187,67	219,86	0,35	0,34	19,45	660,23
	8.		206,32	223,40	0,39	0,37	21,22	617,24
	9.		217,62	216,31	0,41	0,39	22,27	570,78
	10.		219,36	219,86	0,41	0,39	22,43	576,21
	11.		195,44	241,13	0,37	0,35	20,19	698,57
	12.		188,68	241,13	0,36	0,34	19,55	720,66
	13.		206,75	230,50	0,39	0,37	21,26	635,71
	14.		198,12	221,63	0,37	0,36	20,45	634,43
	15.		188,69	234,04	0,36	0,34	19,55	699,44
	16.		201,01	235,82	0,38	0,36	20,72	666,54
	17.		208,74	242,91	0,39	0,37	21,45	664,39
	18.		190,65	223,40	0,36	0,34	19,74	661,55
	19.		219,64	248,23	0,41	0,39	22,46	649,85
	20.		177,52	258,87	0,33	0,32	18,47	817,02
	21.		206,93	253,55	0,39	0,37	21,28	698,75
	22.		237,44	251,77	0,45	0,42	24,08	617,16
	23.		203,38	262,41	0,38	0,37	20,94	734,14
	24.		208,47	262,41	0,39	0,37	21,42	718,53
	25.		215,88	212,77	0,41	0,39	22,11	565,32
	26.		199,33	209,22	0,38	0,36	20,56	595,72
	27.		212,60	210,99	0,40	0,38	21,81	568,02
	28.		221,09	221,63	0,42	0,39	22,59	576,97
	29.		209,66	242,91	0,39	0,38	21,53	661,86
	30.		215,66	203,90	0,41	0,39	22,09	542,22
	Průměr		206,34	228,49	0,39	0,37	21,22	631,24
	Směr. Odch.		12,25	18,39	0,0231	0,0200	1,15	66,65
	Rozptyl		150,06	338,17	0,0005	0,0004	1,32	4442,64
	Var.koef		5,94	8,05	5,9366	5,4118	5,41	10,56
	IS		4,38	6,58	0,0082	0,0072	0,41	23,85
	ISd		201,96	221,91	0,3801	0,3632	20,81	607,39
	ISh		210,73	235,07	0,3966	0,3776	21,63	655,09

číslo měření	845	D [μm]	D_r [μm]	$\pi \cdot D$ [m] * Z [1/m]	B_j [rad]	B_j [°]	l [μm]
1.	838	218,53	226,95	0,58	0,52	29,91	455,11
2.		249,71	242,91	0,66	0,58	33,32	442,19
3.		259,92	228,72	0,68	0,60	34,38	405,01
4.		182,78	196,81	0,48	0,45	25,70	453,89
5.		188,24	228,72	0,50	0,46	26,36	515,09
6.		175,42	230,50	0,46	0,43	24,79	549,77
7.		177,92	216,31	0,47	0,44	25,10	509,95
8.		170,26	223,40	0,45	0,42	24,14	546,18
9.		186,93	207,45	0,49	0,46	26,20	469,82
10.		168,81	203,90	0,44	0,42	23,96	502,07
11.		171,89	205,67	0,45	0,42	24,35	498,86
12.		158,63	171,99	0,42	0,40	22,67	446,31
13.		169,91	228,72	0,45	0,42	24,10	560,14
14.		171,78	203,90	0,45	0,42	24,33	494,83
15.		164,15	207,45	0,43	0,41	23,37	522,95
16.		170,93	232,27	0,45	0,42	24,23	566,01
17.		169,06	242,91	0,45	0,42	23,99	597,39
18.		226,32	251,77	0,60	0,54	30,79	491,88
19.		233,43	180,85	0,61	0,55	31,57	345,41
20.		221,12	214,54	0,58	0,53	30,21	426,44
21.		230,27	180,85	0,61	0,54	31,23	348,86
22.		224,53	216,31	0,59	0,53	30,59	425,09
23.		223,82	214,54	0,59	0,53	30,51	422,60
24.		218,01	182,62	0,57	0,52	29,85	366,87
25.		212,66	200,35	0,56	0,51	29,24	410,12
26.		209,00	191,49	0,55	0,50	28,82	397,22
27.		191,55	196,81	0,50	0,47	26,76	437,09
28.		215,98	235,82	0,57	0,52	29,62	477,09
29.		208,10	218,09	0,55	0,50	28,72	453,91
30.		206,47	216,31	0,54	0,50	28,53	452,94
Průměr		199,20	213,30	0,52	0,48	27,67	459,26
Směr. Odch.		27,90	20,08	0,0734	0,0571	3,27	63,88
Rozptyl		778,38	403,29	0,0054	0,0033	10,69	4080,32
Var.koef		14,01	9,41	14,0055	11,8152	11,82	13,91
IS		9,98	7,19	0,0263	0,0204	1,17	22,86
ISd		189,22	206,11	0,4982	0,4626	26,50	436,40
ISh		209,19	220,49	0,5507	0,5034	28,84	482,12

číslo měření	1070	D [μm]	D_r [μm]	$\pi \cdot D$ [m]*Z[l/m]	B_j [rad]	B_j [°]	l [μm]
1.	1079	178,59	223,40	0,61	0,54	31,19	431,38
2.		208,65	226,95	0,71	0,62	35,27	393,03
3.		197,78	214,54	0,67	0,59	33,84	385,27
4.		171,14	203,90	0,58	0,53	30,12	406,34
5.		197,91	219,86	0,67	0,59	33,86	394,64
6.		217,42	207,45	0,74	0,64	36,39	349,66
7.		201,12	205,67	0,68	0,60	34,28	365,12
8.		224,90	207,45	0,76	0,65	37,32	342,17
9.		226,06	210,99	0,77	0,65	37,46	346,88
10.		195,59	223,40	0,66	0,59	33,54	404,28
11.		218,99	242,91	0,74	0,64	36,59	407,53
12.		192,58	216,31	0,65	0,58	33,14	395,71
13.		208,55	191,49	0,71	0,62	35,26	331,72
14.		200,64	205,67	0,68	0,60	34,22	365,71
15.		194,48	195,04	0,66	0,58	33,39	354,36
16.		201,26	191,49	0,68	0,60	34,30	339,78
17.		193,35	210,99	0,66	0,58	33,24	384,90
18.		198,58	187,94	0,67	0,59	33,95	336,56
19.		199,07	195,04	0,67	0,59	34,01	348,68
20.		219,13	228,72	0,74	0,64	36,61	383,57
21.		195,62	207,45	0,66	0,59	33,55	375,38
22.		205,33	171,99	0,70	0,61	34,84	301,07
23.		187,70	164,89	0,64	0,57	32,47	307,16
24.		193,71	173,76	0,66	0,58	33,29	316,57
25.		199,05	216,31	0,67	0,59	34,01	386,74
26.		210,36	216,31	0,71	0,62	35,49	372,57
27.		201,80	209,22	0,68	0,60	34,37	370,56
28.		206,99	212,77	0,70	0,61	35,06	370,44
29.		200,46	221,63	0,68	0,60	34,20	394,33
30.		187,22	207,45	0,63	0,57	32,40	387,15
Průměr		201,13	207,03	0,68	0,60	34,26	367,51
Směr. Odch.		12,40	17,33	0,0420	0,0287	1,64	31,48
Rozptyl		153,68	300,41	0,0018	0,0008	2,70	991,05
Var.koef		6,16	8,37	6,1634	4,7961	4,80	8,57
IS		4,44	6,20	0,0150	0,0103	0,59	11,27
ISd		196,70	200,83	0,6668	0,5881	33,67	356,25
ISh		205,57	213,23	0,6968	0,6087	34,84	378,78

číslo měření	1220	D [μm]	D_r [μm]	$\pi \cdot D$ [m]*Z[l/m]	B_j [rad]	B_j [°]	l [μm]
1.	1246	203,26	164,89	0,80	0,67	38,51	264,83
2.		220,24	168,44	0,86	0,71	40,77	257,96
3.		199,32	184,40	0,78	0,66	37,96	299,77
4.		217,77	216,31	0,85	0,71	40,45	333,44
5.		217,11	196,81	0,85	0,70	40,36	303,91
6.		171,17	214,54	0,67	0,59	33,82	385,42
7.		209,73	207,45	0,82	0,69	39,39	326,94
8.		190,60	203,90	0,75	0,64	36,73	340,97
9.		228,13	203,90	0,89	0,73	41,76	306,12
10.		200,04	203,90	0,78	0,66	38,06	330,73
11.		216,23	203,90	0,85	0,70	40,25	315,61
12.		219,86	198,58	0,86	0,71	40,72	304,43
13.		251,02	216,31	0,98	0,78	44,50	308,63
14.		183,49	193,26	0,72	0,62	35,69	331,28
15.		231,35	203,90	0,91	0,74	42,16	303,76
16.		185,39	171,99	0,73	0,63	35,97	292,83
17.		161,19	189,72	0,63	0,56	32,25	355,53
18.		169,70	186,17	0,66	0,59	33,60	336,46
19.		174,00	212,77	0,68	0,60	34,26	377,96
20.		170,47	205,67	0,67	0,59	33,71	370,54
21.		164,36	205,67	0,64	0,57	32,76	380,12
22.		167,35	182,62	0,66	0,58	33,23	333,27
23.		154,02	189,72	0,60	0,54	31,09	367,45
24.		172,41	175,53	0,67	0,59	34,01	313,78
25.		188,39	203,90	0,74	0,64	36,41	343,55
26.		191,02	202,13	0,75	0,64	36,79	337,54
27.		186,31	182,62	0,73	0,63	36,10	309,92
28.		220,78	210,99	0,86	0,71	40,83	322,68
29.		204,87	230,50	0,80	0,68	38,73	368,43
30.		179,30	225,18	0,70	0,61	35,06	391,97
Průměr		194,96	198,52	0,76	0,65	37,20	327,22
Směr. Odch.		24,41	16,25	0,0955	0,0598	3,43	33,75
Rozptyl		595,66	264,19	0,0091	0,0036	11,73	1139,16
Var.koef		12,52	8,19	12,5183	9,1714	9,21	10,31
IS		8,73	5,82	0,0342	0,0214	1,23	12,08
ISd		186,23	192,70	0,7290	0,6305	35,97	315,15
ISh		203,70	204,34	0,7974	0,6733	38,42	339,30

CV	číslo měření	612	D [μm]	D_r [μm]	$\pi * D$ [m]*Z [l/m]	B_j [rad]	B_j [°]	l [μm]
Reálný zákrut [l/m]	1.	606	176,62	189,72	0,34	0,32	18,59	595,27
	2.		170,19	198,58	0,32	0,31	17,95	644,25
	3.		164,56	166,67	0,31	0,30	17,40	557,50
	4.		173,83	189,72	0,33	0,32	18,31	603,86
$\text{tg } B_j = \pi * D * Z$	5.		184,67	173,76	0,35	0,34	19,37	523,89
	6.		176,62	171,99	0,34	0,32	18,59	539,64
	7.		168,99	184,40	0,32	0,31	17,83	602,09
$l = D_r / \sin B_j$	8.		152,76	191,49	0,29	0,28	16,22	685,72
	9.		179,77	195,04	0,34	0,33	18,89	602,33
	10.		201,31	202,13	0,38	0,37	20,97	564,81
	11.		179,20	202,13	0,34	0,33	18,84	626,01
	12.		184,98	189,72	0,35	0,34	19,40	571,15
	13.		197,10	187,94	0,38	0,36	20,57	534,95
	14.		198,89	187,94	0,38	0,36	20,74	530,74
	15.		199,79	207,45	0,38	0,36	20,82	583,52
	16.		202,57	193,26	0,39	0,37	21,09	537,10
	17.		188,03	193,26	0,36	0,34	19,70	573,42
	18.		194,88	205,67	0,37	0,36	20,36	591,27
	19.		200,22	173,76	0,38	0,36	20,87	487,84
	20.		205,03	196,81	0,39	0,37	21,32	541,26
	21.		188,63	182,62	0,36	0,34	19,75	540,32
	22.		190,71	210,99	0,36	0,35	19,95	618,24
	23.		164,07	186,17	0,31	0,30	17,35	624,42
	24.		170,46	173,76	0,32	0,31	17,98	562,92
	25.		186,08	193,26	0,35	0,34	19,51	578,75
	26.		175,50	177,30	0,33	0,32	18,48	559,49
	27.		190,39	195,04	0,36	0,35	19,92	572,35
	28.		195,16	207,45	0,37	0,36	20,38	595,64
	29.		197,28	202,13	0,38	0,36	20,59	574,88
	30.		191,12	202,13	0,36	0,35	19,99	591,15
	Průměr		184,98	191,08	0,35	0,34	19,40	575,25
	Směr. Odch.		13,44	11,72	0,0256	0,0228	1,31	40,35
	Rozptyl		180,65	137,39	0,0007	0,0005	1,71	1627,98
	Var.koef		7,27	6,13	7,2660	6,7458	6,75	7,01
	IS		4,81	4,19	0,0092	0,0082	0,47	14,44
	ISd		180,17	186,89	0,3430	0,3304	18,93	560,81
	ISh		189,79	195,27	0,3613	0,3468	19,87	589,69

číslo měření	845	D [μm]	Dr [μm]	$\pi \cdot D$ [m]*Z[l/m]	Bj [rad]	Bj [°]	l [μm]
1.	804	160,75	179,08	0,41	0,39	22,10	476,02
2.		171,24	170,21	0,43	0,41	23,39	428,76
3.		185,98	170,21	0,47	0,44	25,16	400,32
4.		157,07	179,08	0,40	0,38	21,64	485,61
5.		169,17	163,12	0,43	0,40	23,14	415,14
6.		161,87	171,99	0,41	0,39	22,24	454,46
7.		160,49	154,26	0,41	0,39	22,07	410,62
8.		180,70	159,57	0,46	0,43	24,53	384,31
9.		174,48	157,80	0,44	0,42	23,78	391,29
10.		177,18	177,30	0,45	0,42	24,11	434,04
11.		180,44	173,76	0,46	0,43	24,50	418,98
12.		177,12	166,67	0,45	0,42	24,10	408,13
13.		179,36	168,44	0,45	0,43	24,37	408,18
14.		176,75	170,21	0,45	0,42	24,06	417,53
15.		154,35	173,76	0,39	0,37	21,30	478,37
16.		162,57	145,39	0,41	0,39	22,32	382,76
17.		169,36	168,44	0,43	0,40	23,16	428,27
18.		162,79	161,35	0,41	0,39	22,35	424,28
19.		163,36	198,58	0,41	0,39	22,42	520,62
20.		155,36	161,35	0,39	0,37	21,43	441,70
21.		160,39	180,85	0,41	0,38	22,05	481,65
22.		191,87	168,44	0,48	0,45	25,86	386,23
23.		196,38	161,35	0,50	0,46	26,38	363,10
24.		181,81	168,44	0,46	0,43	24,67	403,62
25.		183,83	161,35	0,46	0,43	24,91	383,13
26.		181,98	200,35	0,46	0,43	24,69	479,71
27.		149,88	203,90	0,38	0,36	20,74	575,91
28.		167,09	196,81	0,42	0,40	22,88	506,16
29.		159,33	163,12	0,40	0,38	21,92	436,92
30.		164,21	182,62	0,41	0,39	22,53	476,66
Průměr		170,57	171,93	0,43	0,41	23,31	434,52
Směr. Odch.		11,82	13,83	0,0298	0,0251	1,44	48,23
Rozptyl		139,60	191,31	0,0009	0,0006	2,07	2325,83
Var.koef		6,93	8,04	6,9269	6,1680	6,17	11,10
IS		4,23	4,95	0,0107	0,0090	0,51	17,26
ISd		166,34	166,98	0,4202	0,3978	22,79	417,26
ISh		174,80	176,88	0,4415	0,4158	23,82	451,78

číslo měření	1070	D [μm]	D_r [μm]	$\pi * D$ [m]*Z[l/m]	B_j [rad]	B_j [°]	l [μm]
1.	1033	194,67	140,07	0,63	0,56	32,28	262,25
2.		121,90	150,71	0,40	0,38	21,58	409,69
3.		135,59	156,03	0,44	0,41	23,75	387,40
4.		147,58	161,35	0,48	0,45	25,59	373,54
5.		137,42	147,16	0,45	0,42	24,04	361,31
6.		156,91	141,84	0,51	0,47	26,99	312,58
7.		119,78	147,16	0,39	0,37	21,24	406,17
8.		147,65	131,21	0,48	0,45	25,60	303,64
9.		139,37	132,98	0,45	0,42	24,34	322,69
10.		132,21	157,80	0,43	0,41	23,22	400,21
11.		168,99	152,48	0,55	0,50	28,74	317,10
12.		185,61	168,44	0,60	0,54	31,06	326,45
13.		140,93	166,67	0,46	0,43	24,58	400,73
14.		189,35	164,89	0,61	0,55	31,57	314,95
15.		183,12	154,26	0,59	0,54	30,72	301,95
16.		175,98	166,67	0,57	0,52	29,73	336,08
17.		170,59	166,67	0,55	0,51	28,97	344,12
18.		146,09	164,89	0,47	0,44	25,37	384,90
19.		164,43	175,53	0,53	0,49	28,09	372,85
20.		151,04	179,08	0,49	0,46	26,11	406,88
21.		154,25	193,26	0,50	0,46	26,59	431,74
22.		156,38	159,57	0,51	0,47	26,91	352,60
23.		181,85	156,03	0,59	0,53	30,55	307,00
24.		177,60	136,52	0,58	0,52	29,96	273,39
25.		163,73	170,21	0,53	0,49	27,98	362,75
26.		176,35	157,80	0,57	0,52	29,78	317,69
27.		184,25	164,89	0,60	0,54	30,88	321,30
28.		135,33	177,30	0,44	0,41	23,71	440,92
29.		141,04	179,08	0,46	0,43	24,59	430,29
30.		147,99	177,30	0,48	0,45	25,65	409,54
Průměr		157,60	159,93	0,51	0,47	27,09	351,22
Směr. Odch.		20,92	14,90	0,0679	0,0537	3,08	49,03
Rozptyl		437,60	222,09	0,0046	0,0029	9,48	2404,19
Var.koef		13,27	9,32	13,2735	11,3650	11,37	13,96
IS		7,49	5,33	0,0243	0,0192	1,10	17,55
ISd		150,11	154,60	0,4872	0,4535	25,99	333,68
ISh		165,08	165,26	0,5357	0,4920	28,19	368,77

číslo měření	1220	D [μm]	D_r [μm]	$\pi * D$ [m]*Z[1/m]	B_j [rad]	B_j [°]	l [μm]
1.	1188	147,70	143,62	0,55	0,50	28,87	297,50
2.		155,54	141,84	0,58	0,53	30,14	282,52
3.		130,40	136,52	0,49	0,45	25,95	311,97
4.		126,74	129,43	0,47	0,44	25,32	302,69
5.		164,36	127,66	0,61	0,55	31,53	244,14
6.		145,39	136,52	0,54	0,50	28,49	286,24
7.		179,54	141,84	0,67	0,59	33,83	254,80
8.		127,55	157,80	0,48	0,44	25,46	367,13
9.		126,48	141,84	0,47	0,44	25,27	332,27
10.		149,06	132,98	0,56	0,51	29,09	273,53
11.		151,95	134,75	0,57	0,52	29,56	273,16
12.		166,88	131,21	0,62	0,56	31,92	248,19
13.		160,44	159,57	0,60	0,54	30,91	310,61
14.		171,79	145,39	0,64	0,57	32,67	269,37
15.		174,47	140,07	0,65	0,58	33,07	256,69
16.		120,36	170,21	0,45	0,42	24,19	415,38
17.		141,09	159,57	0,53	0,48	27,77	342,48
18.		112,63	150,71	0,42	0,40	22,80	388,92
19.		120,70	147,16	0,45	0,42	24,25	358,29
20.		154,71	152,48	0,58	0,52	30,00	304,94
21.		144,04	157,80	0,54	0,49	28,26	333,26
22.		110,37	154,26	0,41	0,39	22,39	405,01
23.		139,28	132,98	0,52	0,48	27,47	288,32
24.		116,61	147,16	0,44	0,41	23,52	368,77
25.		137,29	164,89	0,51	0,47	27,13	361,59
26.		117,60	159,57	0,44	0,41	23,70	397,04
27.		135,03	145,39	0,50	0,47	26,75	323,06
28.		109,92	124,11	0,41	0,39	22,31	326,99
29.		127,66	131,21	0,48	0,44	25,48	305,05
30.		130,20	122,34	0,49	0,45	25,92	279,91
Průměr		139,86	144,03	0,52	0,48	27,56	311,26
Směr. Odch.		19,92	12,62	0,0744	0,0579	3,32	48,45
Rozptyl		396,88	159,26	0,0055	0,0034	11,01	2347,37
Var.koef		14,24	8,76	14,2442	12,0357	12,04	15,57
IS		7,13	4,52	0,0266	0,0207	1,19	17,34
ISd		132,73	139,51	0,4954	0,4604	26,38	293,92
ISh		146,99	148,55	0,5486	0,5018	28,75	328,59

Příloha VI:Tabulky s výpočtem hodnot „ N_k “, „ d “, „ d_2 “

<i>PP</i>		612			
číslo měření	d [μm]	B_j [rad]	$\sin B_j$ [rad]	d_2 [μm]	N_k [pocet]
1	18,39	0,385	0,376	49,03	208,26
2	19,44	0,374	0,365	50,46	202,36
3	18,69	0,373	0,364	50,60	201,79
4	18,54	0,366	0,358	51,51	198,21
5	19,25	0,380	0,371	49,65	205,65
6	18,35	0,370	0,362	50,90	200,60
7	18,19	0,339	0,333	55,32	184,58
8	20,68	0,370	0,362	50,90	200,61
9	16,68	0,389	0,379	48,61	210,06
10	18,83	0,391	0,382	48,28	211,49
11	16,24	0,352	0,345	53,37	191,32
12	20,29	0,341	0,335	55,05	185,46
13	16,62	0,371	0,363	50,80	200,97
14	19,24	0,357	0,349	52,73	193,63
15	16,66	0,341	0,335	55,05	185,47
16	15,84	0,362	0,354	52,07	196,10
17	17,45	0,374	0,366	50,38	202,65
18	18,07	0,344	0,338	54,55	187,17
19	18,83	0,392	0,382	48,22	211,72
20	18,66	0,322	0,317	58,14	175,62
21	17,38	0,371	0,363	50,77	201,13
22	18,53	0,420	0,408	45,15	226,11
23	18,43	0,366	0,357	51,54	198,12
24	21,33	0,374	0,365	50,44	202,42
25	19,91	0,386	0,376	48,94	208,61
26		0,359	0,351	52,45	194,67
27		0,381	0,371	49,59	205,88
28		0,394	0,384	47,95	212,91
29		0,376	0,367	50,19	203,42
30		0,386	0,376	48,99	208,43
Průměr	18,42	0,370	0,362	50,89	200,63
Směr. Odch.	1,37	0,02	0,02	2,69	10,36
Rozptyl	1,88	0,0004	0,0003	7,22	107,36
Var.koef	7,45	5,41	5,16	5,28	5,16
IS	0,538	0,007	0,007	0,962	3,708
ISd	17,88	0,36	0,36	49,93	196,92
ISh	18,96	0,38	0,37	51,85	204,34

845				
číslo měření	B_j [rad]	$\sin B_j$ [rad]	d_2 [μm]	N_k [pocet]
1	0,522	0,499	36,94	276,40
2	0,582	0,549	33,53	304,48
3	0,600	0,565	32,62	313,01
4	0,448	0,434	42,48	240,34
5	0,460	0,444	41,48	246,12
6	0,433	0,419	43,94	232,39
7	0,438	0,424	43,43	235,11
8	0,421	0,409	45,04	226,71
9	0,457	0,442	41,72	244,74
10	0,418	0,406	45,36	225,10
11	0,425	0,412	44,68	228,52
12	0,396	0,385	47,80	213,60
13	0,421	0,408	45,11	226,32
14	0,425	0,412	44,70	228,39
15	0,408	0,397	46,44	219,88
16	0,423	0,410	44,89	227,45
17	0,419	0,407	45,30	225,38
18	0,537	0,512	35,99	283,71
19	0,551	0,524	35,18	290,20
20	0,527	0,503	36,61	278,85
21	0,545	0,518	35,53	287,34
22	0,534	0,509	36,20	282,05
23	0,532	0,508	36,29	281,38
24	0,521	0,498	37,01	275,91
25	0,510	0,489	37,71	270,77
26	0,503	0,482	38,21	267,20
27	0,467	0,450	40,91	249,57
28	0,517	0,494	37,27	273,97
29	0,501	0,480	38,34	266,31
30	0,498	0,478	38,57	264,71
Průměr	0,483	0,464	39,66	257,43
Směr. Odch.	0,06	0,05	4,35	27,91
Rozptyl	0,0033	0,0025	18,94	779,18
Var.koef	11,82	10,84	10,97	10,84
IS	0,020	0,018	1,557	9,989
ISd	0,46	0,45	38,10	247,44
ISh	0,50	0,48	41,22	267,42

1070				
číslo měření	B_j [rad]	$\sin B_j$ [rad]	d_2 [μm]	N_k [pocet]
1	0,544	0,518	35,57	287,05
2	0,616	0,577	31,90	320,06
3	0,591	0,557	33,08	308,65
4	0,526	0,502	36,71	278,13
5	0,591	0,557	33,06	308,79
6	0,635	0,593	31,05	328,84
7	0,598	0,563	32,70	312,22
8	0,651	0,606	30,38	336,04
9	0,654	0,608	30,29	337,13
10	0,585	0,553	33,34	306,28
11	0,639	0,596	30,90	330,38
12	0,578	0,547	33,70	302,99
13	0,615	0,577	31,91	319,96
14	0,597	0,562	32,76	311,71
15	0,583	0,550	33,47	305,07
16	0,599	0,564	32,69	312,37
17	0,580	0,548	33,60	303,84
18	0,592	0,558	32,99	309,51
19	0,594	0,559	32,93	310,04
20	0,639	0,596	30,89	330,51
21	0,586	0,553	33,33	306,32
22	0,608	0,571	32,25	316,64
23	0,567	0,537	34,32	297,54
24	0,581	0,549	33,56	304,23
25	0,594	0,559	32,93	310,02
26	0,619	0,581	31,73	321,80
27	0,600	0,565	32,63	312,94
28	0,612	0,574	32,07	318,36
29	0,597	0,562	32,78	311,52
30	0,565	0,536	34,38	297,00
Průměr	0,598	0,563	32,70	312,24
Směr. Odch.	0,03	0,02	1,40	13,16
Rozptyl	0,0008	0,0006	1,97	173,14
Var.koef	4,80	4,21	4,29	4,21
IS	0,010	0,008	0,502	4,709
ISd	0,59	0,55	32,20	307,53
ISh	0,61	0,57	33,20	316,95

1220				
číslo měření	B_j [rad]	$\sin B_j$ [rad]	d_2 [μm]	N_k [pocet]
1	0,672	0,623	29,59	345,10
2	0,711	0,653	28,21	361,92
3	0,663	0,615	29,95	340,96
4	0,706	0,649	28,40	359,57
5	0,704	0,648	28,45	358,94
6	0,590	0,557	33,09	308,53
7	0,687	0,635	29,03	351,70
8	0,641	0,598	30,80	331,45
9	0,729	0,666	27,66	369,19
10	0,664	0,617	29,88	341,72
11	0,702	0,646	28,51	358,09
12	0,711	0,652	28,24	361,56
13	0,777	0,701	26,28	388,48
14	0,623	0,583	31,58	323,35
15	0,736	0,671	27,44	372,06
16	0,628	0,587	31,36	325,55
17	0,563	0,534	34,52	295,77
18	0,586	0,553	33,29	306,69
19	0,598	0,563	32,72	312,02
20	0,588	0,555	33,19	307,66
21	0,572	0,541	34,05	299,90
22	0,580	0,548	33,62	303,73
23	0,543	0,516	35,68	286,18
24	0,594	0,559	32,93	310,07
25	0,635	0,594	31,04	328,97
26	0,642	0,599	30,76	331,92
27	0,630	0,589	31,26	326,60
28	0,713	0,654	28,17	362,43
29	0,676	0,626	29,44	346,77
30	0,612	0,574	32,07	318,42
Průměr	0,652	0,607	30,36	336,27
Směr. Odch.	0,06	0,05	2,42	26,29
Rozptyl	0,0036	0,0023	5,87	691,31
Var.koef	9,17	7,82	7,98	7,82
IS	0,021	0,017	0,867	9,409
ISd	0,63	0,59	29,50	326,86
ISh	0,67	0,62	31,23	345,67

<i>CV</i>		612			
číslo měření	<i>d</i> [μm]	<i>B_j</i> [rad]	<i>sin B_j</i> [rad]	<i>d₂</i> [μm]	<i>N_k</i> [pocet]
1	12,42	0,324	0,319	38,44	265,60
2	12,17	0,313	0,308	39,75	256,87
3	13,39	0,304	0,299	40,98	249,14
4	11,46	0,320	0,314	39,00	261,82
5	12,2	0,338	0,332	36,94	276,40
6	13,06	0,324	0,319	38,44	265,60
7	13,13	0,311	0,306	40,00	255,22
8	13,99	0,283	0,279	43,87	232,72
9	12,11	0,330	0,324	37,84	269,84
10	13,19	0,366	0,358	34,24	298,23
11	11,89	0,329	0,323	37,95	269,08
12	11,5	0,339	0,332	36,88	276,81
13	11,77	0,359	0,351	34,87	292,77
14	11,4	0,362	0,354	34,60	295,10
15	12,19	0,363	0,356	34,46	296,27
16	11,14	0,368	0,360	34,05	299,86
17	11,46	0,344	0,337	36,35	280,86
18	10,88	0,355	0,348	35,22	289,88
19	11,95	0,364	0,356	34,40	296,82
20	12,09	0,372	0,364	33,69	303,02
21	13,52	0,345	0,338	36,25	281,66
22	12,89	0,348	0,341	35,90	284,40
23	11,59	0,303	0,298	41,09	248,46
24	12,62	0,314	0,309	39,69	257,23
25	12,29	0,340	0,334	36,69	278,28
26		0,322	0,317	38,66	264,09
27		0,348	0,341	35,95	283,98
28		0,356	0,348	35,18	290,24
29		0,359	0,352	34,85	293,01
30		0,349	0,342	35,83	284,94
Průměr	12,25	0,339	0,332	36,88	276,81
Směr. Odch.	0,80	0,02	0,02	2,51	17,99
Rozptyl	0,64	0,0005	0,0005	6,30	323,50
Var.koef	6,54	6,75	6,50	6,80	6,50
IS	0,314	0,008	0,008	0,898	6,436
ISd	11,94	0,33	0,32	35,99	270,38
ISh	12,57	0,35	0,34	37,78	283,25

845				
číslo měření	B_j [rad]	$\sin B_j$ [rad]	d_2 [μm]	N_k [pocet]
1	0,386	0,376	32,57	313,51
2	0,408	0,397	30,86	330,82
3	0,439	0,425	28,82	354,32
4	0,378	0,369	33,22	307,32
5	0,404	0,393	31,18	327,45
6	0,388	0,378	32,37	315,38
7	0,385	0,376	32,61	313,07
8	0,428	0,415	29,51	346,02
9	0,415	0,403	30,38	336,07
10	0,421	0,408	29,99	340,41
11	0,428	0,415	29,54	345,61
12	0,421	0,408	30,00	340,32
13	0,425	0,413	29,69	343,89
14	0,420	0,408	30,05	339,72
15	0,372	0,363	33,73	302,70
16	0,390	0,380	32,25	316,55
17	0,404	0,393	31,15	327,76
18	0,390	0,380	32,22	316,91
19	0,391	0,381	32,12	317,86
20	0,374	0,365	33,54	304,42
21	0,385	0,375	32,63	312,90
22	0,451	0,436	28,09	363,44
23	0,460	0,444	27,57	370,31
24	0,430	0,417	29,36	347,77
25	0,435	0,421	29,09	350,96
26	0,431	0,418	29,34	348,04
27	0,362	0,354	34,61	295,05
28	0,399	0,389	31,51	324,03
29	0,383	0,373	32,82	311,12
30	0,393	0,383	31,98	319,27
Průměr	0,407	0,396	30,96	329,74
Směr. Odch.	0,03	0,02	1,80	19,18
Rozptyl	0,0006	0,0005	3,22	367,74
Var.koef	6,17	5,82	5,80	5,82
IS	0,009	0,008	0,643	6,862
ISd	0,40	0,39	30,32	322,87
ISh	0,42	0,40	31,61	336,60

1070				
číslo měření	B_j [rad]	$\sin B_j$ [rad]	d_2 [μm]	N_k [pocet]
1	0,563	0,534	22,94	445,09
2	0,377	0,368	33,31	306,55
3	0,415	0,403	30,42	335,64
4	0,447	0,432	28,36	359,97
5	0,419	0,407	30,08	339,42
6	0,471	0,454	27,00	378,15
7	0,371	0,362	33,82	301,93
8	0,447	0,432	28,35	360,10
9	0,425	0,412	29,73	343,42
10	0,405	0,394	31,07	328,59
11	0,502	0,481	25,48	400,72
12	0,542	0,516	23,75	429,99
13	0,429	0,416	29,46	346,61
14	0,551	0,524	23,40	436,30
15	0,536	0,511	23,98	425,73
16	0,519	0,496	24,71	413,28
17	0,506	0,484	25,30	403,62
18	0,443	0,428	28,60	357,00
19	0,490	0,471	26,02	392,33
20	0,456	0,440	27,84	366,79
21	0,464	0,448	27,37	373,03
22	0,470	0,453	27,07	377,13
23	0,533	0,508	24,11	423,55
24	0,523	0,499	24,54	416,14
25	0,488	0,469	26,11	391,03
26	0,520	0,497	24,67	413,93
27	0,539	0,513	23,87	427,67
28	0,414	0,402	30,47	335,10
29	0,429	0,416	29,44	346,83
30	0,448	0,433	28,30	360,78
Průměr	0,473	0,455	26,91	379,47
Směr. Odch.	0,05	0,05	2,95	39,87
Rozptyl	0,0029	0,0023	8,70	1589,77
Var.koef	11,37	10,51	10,96	10,51
IS	0,019	0,017	1,055	14,268
ISd	0,45	0,44	25,85	365,20
ISh	0,49	0,47	27,96	393,73

1220				
číslo měření	B_j [rad]	$\sin B_j$ [rad]	d_2 [μm]	N_k [pocet]
1	0,504	0,483	25,38	402,30
2	0,526	0,502	24,40	418,38
3	0,453	0,438	28,00	364,68
4	0,442	0,428	28,65	356,34
5	0,550	0,523	23,43	435,75
6	0,497	0,477	25,69	397,45
7	0,590	0,557	22,01	463,89
8	0,444	0,430	28,50	358,19
9	0,441	0,427	28,70	355,74
10	0,508	0,486	25,20	405,14
11	0,516	0,493	24,84	411,09
12	0,557	0,529	23,17	440,57
13	0,540	0,514	23,85	428,12
14	0,570	0,540	22,70	449,79
15	0,577	0,546	22,45	454,73
16	0,422	0,410	29,90	341,48
17	0,485	0,466	26,30	388,28
18	0,398	0,388	31,62	322,93
19	0,423	0,411	29,83	342,28
20	0,524	0,500	24,50	416,71
21	0,493	0,474	25,88	394,59
22	0,391	0,381	32,17	317,40
23	0,479	0,461	26,56	384,36
24	0,410	0,399	30,70	332,55
25	0,474	0,456	26,87	380,02
26	0,414	0,402	30,49	334,92
27	0,467	0,450	27,22	375,04
28	0,389	0,380	32,28	316,29
29	0,445	0,430	28,48	358,45
30	0,452	0,437	28,03	364,23
Průměr	0,481	0,463	26,48	385,62
Směr. Odch.	0,06	0,05	2,99	42,63
Rozptyl	0,0034	0,0026	8,92	1817,67
Var.koef	12,04	11,06	11,28	11,06
IS	0,021	0,018	1,069	15,256
ISd	0,46	0,44	25,41	370,36
ISh	0,50	0,48	27,55	400,88

Příloha VII:**Tabulka s naměřenou cirkularitou vláken**

Cirkularita C [-]		
Číslo měření	PP	CV
1	0,937	0,948
2	0,903	0,984
3	0,873	0,948
4	0,875	0,976
5	0,884	0,936
6	0,868	0,917
7	0,88	0,95
8	0,908	0,963
9	0,82	0,951
10	0,906	0,92
11	0,857	0,925
12	0,92	0,958
13	0,856	0,956
14	0,865	0,923
15	0,9	0,98
16	0,859	0,922
17	0,851	0,967
18	0,885	0,976
19	0,877	0,96
20	0,809	0,926
Arit. průměr [-]	0,877	0,949
Směr.odchylka [-]	0,03	0,02
Var. koef. [%]	3,56	2,29
IS_D	0,85	0,93
IS_H	0,91	0,97
Když $C = 1 \rightarrow$ vlákno dokonale kruhové		