TECHNICKÁ
UNIVERZITA
V
LIBERECI

FAKULTA TEXTILNÍ

Diplomová práce

2008 Bc. Radek Lehmden

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA TEXTILNÍ

KATEDRA TEXTILNÍCH TECHNOLOGIÍ

AKADEMICKÝ ROK: 2007/2008

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení:	Bc. Radek Lehmden
Studijní program:	N3106 Textilní inženýrství
Studijní obor:	Textilní a oděvní technologie

Název tématu: **Modelování vlastností bavlněných rotorových přízí**

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

1. Vypracujte rešerši na téma vlivu parametrů suroviny na vlastnosti přízí. Zaměřte se na souvislost mezi parametry suroviny, zaplněním a pevností přízí.
2. Prověřte zaplnění (stlačení vláken) v přízích shodné jemnosti a proveďte statistickou analýzu souboru dat rotorových přízí s ohledem na vliv vlastností surovin na vlastnosti příze.
3. Experimentálně prověřte zaplnění v přízích shodné jemnosti a zákrutů, které jsou vyrobeny z různých typů bavlněných surovin. Prověřte chování přízí při tahovém namáhání.
4. Použijte vybrané modely pro predikci zaplnění, průměru a pevnosti zkoumaných přízí porovnejte je, stanovte výhody, nevýhody a případné korekce.

Vedoucí práce:	Doc. Dr. Ing. Dana Křemenáková
Konzultant:	Prof. Ing. Jiří Militký, CSc., Ing. Gabriela Krupincová

Počet stran textu: 83

Počet obrázků: 51

Počet příloh: 9

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že předložená *diplomová (bakalářská)* práce je původní a zpracoval/a jsem ji samostatně. Prohlašuji, že citace použitých pramenů je úplná, že jsem v práci neporušil/a autorská práva (ve smyslu zákona č. 121/2000 Sb. O právu autorském a o právech souvisejících s právem autorským).

Souhlasím s umístěním *diplomové (bakalářské)* práce v Univerzitní knihovně TUL.

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

Beru na vědomí, že TUL má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé *diplomové* (*bakalářské*) práce a prohlašuji, že **s o u h l a s í m** s případným užitím mé *diplomové* (*bakalářské*) práce (prodej, zapůjčení apod.).

Jsem si vědom toho, že užít své *diplomové* (*bakalářské*) práce či poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem TUL, která má právo ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, vynaložených univerzitou na vytvoření díla (až do jejich skutečné výše).

V Liberci, dne 12.5. 2008 . . . . . .

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Touto cestou bych chtěl poděkovat vedoucí bakalářské práce Doc. Dr. Ing. Daně Křemenákové, konzultantům Prof. Ing. Jiřímu Militkému, CSc. a Ing. Gabriele Krupincové za odborné vedení, poskytnuté informace, čas a materiály. Poděkování také patří moji rodině a přátelům za morální a materiální pomoc nejen při této práci, ale i v celém navazujícím studiu.

Anotace

Tato diplomová práce se zabývá nastíněním vlivu parametrů bavlněné suroviny na vlastnosti přízí, především na zaplnění a pevnost. V rešerši je popsán stávající stav týkající se problematiky rotorového předení, vliv vlastností suroviny na výsledné příze a vybrané možnosti přístupů k modelování pevnosti. Experimentálním materiálem je soubor sedmnácti rotorových přízí shodné jmenovité jemnosti 16.5 tex, zákrutovým koeficientem dle Phrixe 73 $m^{-1}ktex^{2/3}$, které byly namíchány z různých typů bavlněné suroviny. Je provedeno experimentální hodnocení vybraných parametrů vláken a proměření přízí především mechanicko-fyzikálních vlastností. Užitím statistických postupů je posouzena souvislost mezi jednotlivými vlastnostmi vláken a vlastností příze. V práci jsou ověřeny vybrané vztahy pro predikci zaplnění a pevnosti příze, prověření chování přízí při tahovém namáhání a vytvoření regresního modelu pro predikci pevnosti rotorové příze.

Klíčová slova: bavlněná surovina, rotorové předení, příze, průměr, zaplnění, pevnost, tažnost, předvídání a modelování pevnosti.

Annotation

This diploma thesis deals with the outline of the influence parameters of cotton raw material on yarn characteristics; above all, on packing density and strength. In the background research the current state refering to the rotor spinning problem, the influence of raw materials quality on final yarn and chosen access possibilities to the strength modelling are described. The experimental material is a set of seventeen rotor yarns of the same explicit refinement 16.5 tex, of the same twist multiplier by Phrix 73 $m^{-1}ktex^{2/3}$, which were mixed from different types of cotton raw materials. The experimental evaluation of the chosen fibre parameters is conducted, as well as the yarns scaling of their mechanical and physical properties. By using statistical methods the connection among single yarn and fibre properties is judged. In the work, chosen terms for the prediction of yarn packing density and strength are tested. Moreover, the yarn verification relationship at such a tension and the regress model creation for the prediction of rotor yarn strength are tested as well.

Key words: cotton raw material, rotor spinning, yarn, diameter, packing density, strength, elongation, prediction and modelling of strength.

OBSAH

Prohlášení....3
Poděkování....4
Anotace....5
Obsah....6
Seznam použitých zkratek a symbolů....7
Úvod....12
1. Rešeršní část....14
1.1. Teoretické poznatky o bavlně....14
1.2. Dopřádání....15
1.3. Vznik a vývoj českého rotorového předení....17
1.3.1. Hlavní části rotorového dopřádacího stroje....21
1.4. Vznik rotorové příze....23
1.5. Struktura a ukazatele rotorové příze....24
1.6. Základní vlastnosti vláken....27
1.7. Komplexní kriterium hodnocení jakosti bavlněných vláken (suroviny)....31
1.8. Základní vlastnosti přízí....33
1.9. Vybrané metody zjišťování průměru a zaplnění jednokomponentní příze....39
1.9.1. Metoda zjištění průměru a zaplnění podle interní normy....39
1.9.2. Zjišťování průměru, zaplnění a hmotné nestejnoměrnosti na Uster tester4....42
1.10. Mechanické vlastnosti délkových textilií....45
1.11. Přetrh bavlněného vlákna....53
1.12. Faktory ovlivňující vlastnosti textilií– klimatické podmínky....54
1.13. Metody modelování predikce pevnosti....55
1.13.1. Teoretické vztahy....56
1.13.2. Regresní vztahy....62
2. Experimentální část....65
2.1. Popis experimentálního materiálu....65
2.2. Zpracování naměřených hodnot....65
2.2.1. Stanovení kriteria jakosti....66
2.2.2. Jemnost příze – Pásmová metoda....67
2.2.3. Průměr a zaplnění příze - Uster Tester 4....67
2.2.4. Průměr a zaplnění příze - Obrazová analýza....67
2.2.5. Zaplnění příze regresně definované a podle rovnic komprimační teorie....71
2.2.6. Stanovení mechanických vlastností přízí - Instron....73
2.3. Porovnání experimentálních hodnot pevností s vybranými modely....75
2.4. Regresní vztah pro výpočet relativní pevnosti bavlněných přízí....77
Závěr....80
Seznam použité literatury a použité internetové odkazy....82
Přílohy....84

Seznam použitých zkratek a symbolů

A	Deformační práce [J]
a	Phrixův zákrutový koeficient [$m^{-1}ktex^{2/3}$]
a_1	Charakteristika kontaktů mezi vlákny [-]
A_1	Empiricky určený koeficient regrese [-]
A_2	Empiricky určený koeficient regrese [-]
a_{dp}	Měrná deformační práce [$Jtex^{-1}$]
a_e	Empirická materiálová konstanta pro Solověvův vztah
A_i	Plocha styku vlákna s matricí []
a_k	Kritický Phrixův koeficient zákrutu [$m^{-1}ktex^{2/3}$]
a_{mp}	Měrný povrch vláken [m^2kg^{-1}]
apod.	A podobně
atd.	A tak dále
A_{TENSO}	Deformační práce Tensorapid [Ncm^{-1}]
B_1	Empiricky určený koeficient regrese [-]
B_2	Empiricky určený koeficient regrese [-]
C	Konstanta pro Solověvův vztah
c	Materiálová konstanta
CV	Hmotná nestejnoměrnost [%]
CV_{pr}	Hmotná nestejnoměrnost příze [%]
Cv_u	Koeficient variace hmotné nestejnoměrnosti [%]
D	Průměr příze [mm]
d_e	Ekvivalentní průměr vlákna [mm]
D_{ef}	Efektivní průměr příze [mm]
D_s	Substanční průměr příze [mm]
D_{ut4}	Průměr příze Uster Tester 4 [mm]
d_v	Průměr vlákna [mm]
EL	Tažnost podle HVI [%]
E_p	Počáteční tangentový modul [$Ntex^{-1}$]
f	Relativní pevnost [$Ntex^{-1}$]
F	Absolutní síla [N]
f	Koeficient tření []
f_l	Součinitel vlivu délky vláken [-]
f_n	Součinitel vlivu počtu vláken [-]
F_p	Průměrná poměrná pevnost [$Ntex^{-1}$]
f_{pr}	Relativní pevnost příze [$Ntex^{-1}$]
FQI	Měřítko kvality bavlněné příze
F_s	Síla k udržení vlákna v matrici []
F_t	Třecí síla [N]

F_v	Síla k přetrhu vlákna [Ntex^{-1}]
F_v*	Střední tahová síla [N]
f_α	Součinitel vlivu zákrutů [-]
h	Šířka mezikruží [mm]
H	Předepsaná hodnota užitné vlastnosti pro vyhovující bavlnu (u_i=1)
H_{pr}	Tuhost nitě [Ntex^{-1}]
h_v	Délka konců vlákna [mm]
HVI	High volumen insturments
IGa	Kriterium jakosti Korickij
I_{kv}	Index krátkých vláken [%]
I_{kv1}	Index krátký vláken (pramenu) v jednom směru [%]
I_{kv2}	Index krátký vláken (pramenu) v druhém směru [%]
K	Konstanta materiálu [mm]
k	Konstanta průměru příze [-]
k'	Konstanta pro Solověvův vztah
K_F	Koeficient zapředení vlákna [-]
k_n	Koeficient reálného počtu vláken [-]
k_s	Koeficient migrace [-]
l	Konečná délka vzorku po natažení [mm]
L	Předepsaná hodnota užitné vlastnosti pro nevyhovující bavlnu (u_i=0,01)
l_0	Upínací délka [mm]
l_c	Kritická délka vlákna [mm]
l_{pr}	Délka příze [km]
l_T	Tržná délka příze [km]
l_v	Délka vlákna [mm]
M	Konstanta materiálu a technologie [mm]
MIC	Jemnost a zralost vlákna podle HVI [mic]
ML	Průměrná hodnota délky vláken [mm]
m_{pr}	Hmotnost příze [g]
m_v	Hmotnost vlákna [g]
N	Otáčky [ot.m^{-1}]
n	Počet měření
např.	Například
n_r	Reálný počet vláken [-]
Ø	Průměrná hodnota
obr.	Obrázek
OE	Open end - předení s otevřeným koncem
OH	Senzor na Uster Tester 4
OI	Senzor na Uster Tester 4
OM	Optical multifunctional senzor

OM	Senzor na Uster Tester 4
P	Pevnost [N]
p	Počet mezikruží [-]
P_c	Celkový průtah [-]
pn	Počet nečistot [-]
P_{pr}	Poměrná pevnost příze [Ntex^{-1}]
$P_{pr5\%,50\%,95\%}$	Relativní pevnost příze podle Uster Statistics [cNtex^{-1}]
$P_{prINSTRON}$	Poměrná pevnost příze na Instronu [Ntex^{-1}]
$P_{prMULTI}$	Poměrná pevnost příze na Multimatu [Ntex^{-1}]
P_{prROT}	Relativní pevnost rotorové příze [Ntex^{-1}]
$P_{prTENSO}$	Poměrná pevnost příze na Tensorapidu [Ntex^{-1}]
P_s	Pevnost svazku vláken [Ntex^{-1}]
P_{sHVI}	Pevnost svazku vláken HVI [Ntex^{-1}]
P_v	Poměrná pevnost vlákna [Ntex^{-1}]
q	Spojité zatížení [Nm^{-1}]
q_f	Tvarový faktor průřezu vlákna [-]
r	Poloměr vlákna [mm]
R	Konstanta pro Solověvův vztah
ref	Reflektance
RH	Vlhkost ovzduší [%]
r_j	Vzdálenost j-tého těžiště vlákna od osy příze [mm]
r_k	Poloměr hranice mezikruží [mm]
s	Směrodatná odchylka
SF	Obsah krátkých vláken podle HVI [%]
S_{kv}	Obsah krátkých vláken (vážený) [%]
S_{pr}	Plocha průřezu příze [mm^2]
STR	Svazková pevnost podle HVI [cNtex^{-1}]
S_v	Plocha průřezu vlákna [mm^2]
t	Délková hmotnost vlákna [tex]
T	Délková hmotnost příze [tex]
tab.	Tabulka
T_{exp}	Experimentálně zjištěná délková hmotnost příze [tex]
T_{jm}	Jmenovitá délková hmotnost příze [tex]
t_m	Jemnost vláken [mic]
TR	Obsah nečistot podle HVI [%]
t_t	Čas [min]
T_y	Zákrutový faktor [cm^{-1}tex$^{1/2}$]
tzv.	Takzvaný
U	Kriterium jakosti Militký

UHM	Průměrná délka horní poloviny staplu [mm]
UI	Index stejnoměrnosti délky vláken [%]
u_i	Dílčí úroveň jakosti
v_0	Rychlost dodávání pramene [mmin^{-1}]
v_4	Odtahová rychlost [mmin^{-1}]
V_c	Celkový objem [m^3]
V_f	Regresně definované zaplnění [-]
vk	Variační koeficient [%]
$vk_{PprMULTI}$	Variační koeficient pevnosti příze Multimat [%]
$vk_{PprTENSO}$	Variační koeficient pevnosti příze Tensoraid [%]
v_P	Variační koeficient pevnosti [%]
V_{pr}	Objem příze [m^3]
v_T	Variační koeficient jemnosti [%]
V_v	Objem vlákna [m^3]
W	Konstanta pro Solověvův vztah
w_i	Váhy definující význam užitné vlastnosti
x	Sledovaná vlastnost
Z	Zákrut [m^{-1}]
zl	Žlutost
zr	Zralost
α_k	Koechlinův zákrutový koeficient [m^{-1}ktex$^{1/2}$]
α_{krit}	Kritický Koechlinův koeficient zákrutu [m^{-1}ktex$^{1/2}$]
α_y	Parametr měřítka Weibullova rozdělení [-]
β	Úhel stoupání šroubovice vlákna [rad]
β^*_D	Korigovaný úhel stoupání šroubovice vlákna [rad]
β_s	Úhel sklonu povrchového vlákna [°]
β_y	Parametr tvaru rozložení Weibullova rozdělení [-]
δ	Tloušťka povrchové vrstvy [m]
Δl	Protažení vlákna do přetrhu [mm]
$\delta\alpha$	Rozdíl mezi užitným a kritickým zákrutovým koeficientem [m^{-1}kte$^{1/2}$]
ε	Tažnost [%]
ε_{MULTI}	Tažnost příze Multimat [%]
ε_{pr}	Tažnost příze [%]
$\varepsilon_{prINSTRON}$	Tažnost příze Instron [%]
ε_{TENSO}	Tažnost příze Tensorapid [%]
ε_v	Tažnost vlákna [%]
η	Poissonův poměr [-]
η^*	Korigovaný Poissonův poměr [-]
η^*_β	Korigovaný faktor orientace [-]
η_t	Solověvův součinitel vlivu technologie [-]

η_β	Faktor orientace [-]
κ	Intenzita zákrutu [-]
μ	Zaplnění [-]
μ_{ef}	Efektivní zaplnění [-]
μ_{IN}	Zaplnění podle metody interní normy [-]
μ_m	Mezní zaplnění [-]
$\mu_{ŠNR}$	Zaplnění podle komprimační teorie (Neckář) [-]
μ_{UT3}	Zaplnění Uster [-]
ρ_{pr}	Hustota příze [kmm^{-3}]
ρ_v	Hustota vlákna [kgm^{-3}]
σ	Napětí [Pa]
τ	Počet vláken ve svazku [-]
φ^*_{sp}	Korigované využití pevnosti svazku vláken v přízi [-]
φ_{sp}	Využití pevnosti svazku vláken v přízi [-]
φ_{vp}	Využití pevnosti vláken v přízi [-]
ω	Smykové napětí mezi vláknem a matricí [Nm^{-1}]

Úvod

Textilie je všeobecný a široký pojem, do kterého bývají zahrnovány všechny útvary textilního oboru jako je délková textilie, plošná textilie a prostorová textilie. Pojem textil má mnoho podob, většinou bývá označen jako: materiál tvořený soustavou přírodních nebo umělých vláken nebo výrobků z nich, často označovaných jako nitě nebo příze. Textilie jsou formovány tkaním (tkanina), pletením (pletenina), háčkováním, svazováním nebo lisováním vláken dohromady. Mezi textil patří i netkané materiály jako například „plsť “, definovaná jako vrstva vyrobená z jednosměrně nebo náhodně orientovaných vláken, spojených třením, kohezí nebo adhezí [2]. Samotná výroba textilu je velmi staré řemeslo, jež bylo k nepoznání změněno technologickým pokrokem. Nicméně některé dnes používané textilní technologie se nijak dramaticky neliší od těch mnoho set let starých.

Textilní struktura má řadu výhod. Je snadno upravitelná spojováním (šitím) a rozebráním (páráním), snadno udržovatelná (např. praním), má malou hmotnost, jednoduše se formuje podle potřeb použití bez změn technologie výroby. Má také řadu nevýhod. Oproti standardním konstrukčním materiálům (např. kovy, plasty, dřevo, atd.), které mají snadno definovatelné rozměry jako je např. průměr nosníku, délka tyče, apod., je v textilním oboru řada charakteristik materiálu smluvními dohodami [3].

Dnes v období počítačů, moderních strojů a robotů se stává textilní obor daleko širším odvětvím průmyslu než tomu bylo dříve. Už to není obor pouze pro úzký okruh „textiláků“, kteří se touto problematikou zabývají [3]. Textilní materiál pronikl téměř do všech lidských oborů a stále nabývá na důležitosti. Do jeho vývoje se investují nemalé peněžní i myšlenkové prostředky. Textilní produkt už není masivně vyráběn bez toho, aby se s předstihem nevědělo k čemu a jak bude využit. Optimalizuje se technologie se zaměřením na vlastnosti výrobku a předpověď jakosti textilií. Cíleně se vybírají suroviny, jak přírodní tak i chemické, podmínky výroby, zušlechtění materiálu, to vše pro požadavky zákazníka. Změny se týkají všech textilních odvětví od pěstování či výroby umělých vláken, přes jejich zpracování, úpravy až k oděvní oblasti.

Výzkum nových materiálů a procesů využívá netradičních oblastí jako je například biofyzika, genetika, mechanika, makromolekulární chemie a mnoho dalších [3]. Získané poznatky vedou k rozšiřování textilního oboru, vytváření nových specialistů, ke komunikaci a spolupráci s jinými vědními obory. Úkolem je tyto nové poznatky umět rychle a účinně využít a v neposlední řadě seznamovat s výsledky veřejnost, která veškeré snažení zúročí.

Cílem diplomové práce je provést rešerši stávajícího stavu problematiky týkající se možností a přístupů k modelování pevnosti s ohledem na typ použité vlákenné suroviny a její parametry. Provést experimentální hodnocení vybraných parametrů vláken a přízí, především provést měření mechanicko-fyzikálních vlastností přízí. Experimentálním materiálem je soubor sedmnácti bavlněných rotorových přízí shodné jmenovité jemnosti 16,5 tex, zákrutovým koeficientem dle Phrixe 73 $m^{-1}tex^{2/3}$. Příze jsou namíchány z různých typů bavlněné suroviny lišících se hlavně délkou vláken, svazkovou pevností, tažností ve svazku, indexem krátkých vláken, stupněm znečištění, reflektancí, žlutostí, zralostí a cenou. Podkladem pro vypracování diplomové práce jsou dva databázové soubory, zpracované Doc. Ing. Ripkou, Csc. ve V.Ú.B. a.s. Ústí nad Orlicí. Databázi jakostních ukazatelů bavlněných surovin (pramenů) v Microsoft Excel – P2005 data surovin a parametrů HVI AFIS UT3 a databázi parametrů a jakostních ukazatelů rotorových přízí v Microsoft Excel – P2005 data přízí UTR4 UT3 Multimat (viz příloha 1). Užitím statistických postupů posoudit míru souvislostí mezi jednotlivými vlastnostmi vláken a pevností příze. Ověřit dostupné vztahy pro predikci pevnosti příze a popřípadě navrhnout úpravu použitých závislostí.

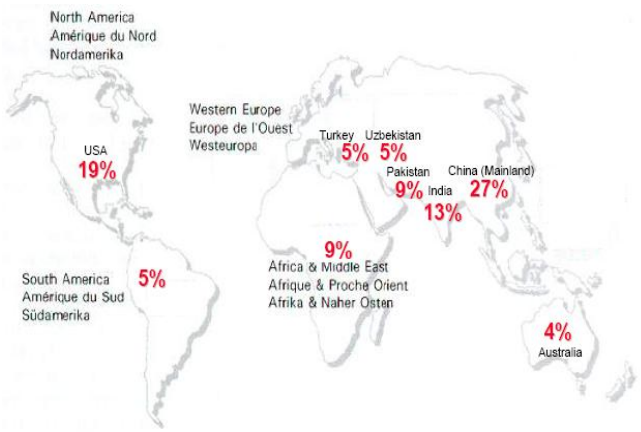
1. Rešeršní část

Literární rešerše je zaměřena na teoretické poznatky o bavlně, na historii a vývoj rotorového předení a na princip rotorového předení. Dále je v této části nastíněna struktura, ukazatele rotorové příze, vybrané vlastnosti vláken a přízí. Na závěr jsou popsány některé modely predikce pevnosti přízí.

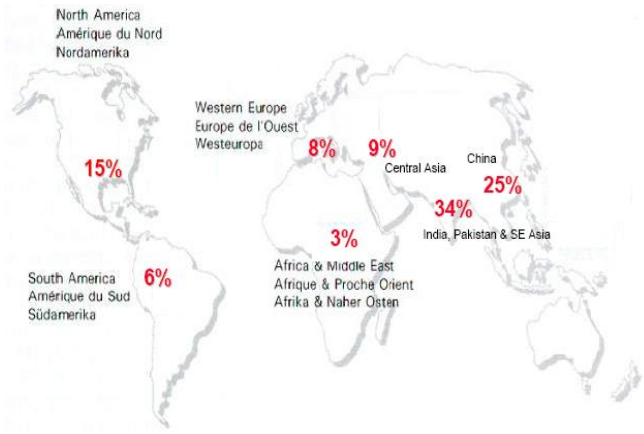
1.1. Teoretické poznatky o bavlně

Bavlna je nejdůležitější ze všech plodin pěstovaných pro výrobu textilního vlákna [1]. Jedná se o přírodní vlákno vyrůstající na povrchu semen bavlníků. Vlákno bavlny je jednobuněčný útvar, odděluje se po dozrání od pokožky semen na odzrňovacích strojích. Bavlníky jsou předmětem neustálého šlechtění a je zdrojem nejčistší celulózy. Pro rotorové předení jsou nejdůležitější vlastnosti pevnost, jemnost a délka vlákna. Pro hodnocení kvality bavlněné suroviny lze použít vztahy pro výpočet kritéria jakosti popsané v kap. 1.7. Vlákna dělíme podle zralosti na nezralé, částečně zralé a zralé. O zralosti rozhoduje velikost sekundární stěny a pravidelnost stočení vlákna. Zralá vlákna mají tlustou sekundární stěnu, lumen a pravidelné stáčení stěny. Vlákna v tobolce mají tvar duté trubičky s kruhovitým průřezem, jsou tažná, přístupná a molekuly vody zabraňují tvorbě intermolekulárních H-můstků. Po prasknutí zralých tobolek dochází k vysušení vlákna – tvorba H-můstků, které již nelze porušit. Dochází k zborcení stěny vlákna a stočení stěny vlákenné stužky v podélném směru osy vlákna, jev zvaný konvoluce. Vlákno se zakroutí o 180° a počet těchto zákrutů se pohybuje v rozmezí 4-6 na 1 mm. Tento jev je pro bavlnu charakteristický spolu s dobrou spřadatelností a vhodností k míšení s jinými vlákny. Moderním trendem je genetické šlechtění bavlny. Bavlněná vlákna jsou přítomna ve více než 50 % dnes vyráběných textilií. Podle obchodní délky vlákna se bavlna dělí na krátkovlákennou (do 22 mm), středněvlákenou (do 38 mm) a dlouhovlákenou (od 38 mm výše).

V dnešní době si bavlna sice uchovává svoje postavení jako nejvýznamnější zdroj přírodního vlákna, ale její význam byl do značné míry oslaben vlákny syntetickými. Na dnešní produkci textilií se bavlna podílí zhruba 40 %. Na obrázkách 1.1.1. a 1.1.2. je celosvětová mapa s procentuálním vyznačením produkce a spotřeby bavlněných vláken [4].

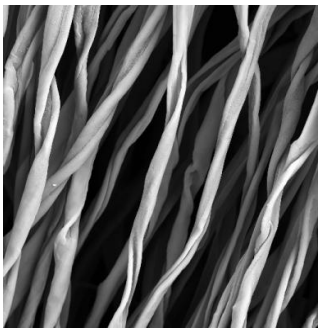


Obr.1.1.1. – celosvětová produkce CO vláken



Obr.1.1.2. – celosvětová spotřeba CO vláken

Hlavním stavebním prvkem tvořícím cca 90% bavlněného vlákna je celulóza. V menší míře obsahuje bavlněné vlákno pektiny, bílkoviny, vosky, organické kyseliny, minerální soli a cukry. Její barva je bílá, krémová až hnědá. Mezi mechanické vlastnosti bavlny patří pevnost, která za sucha dosahuje 2,7 – 4,3 cN/dtex a za mokra 100 – 110 % pevnosti za sucha. Tažnost vlákna je za sucha 3 – 10 % a za mokra se zvyšuje na 100 – 112 % tažnosti za sucha. Mechanické vlastnosti ovlivňuje nejvíce změna vlhkosti [5].

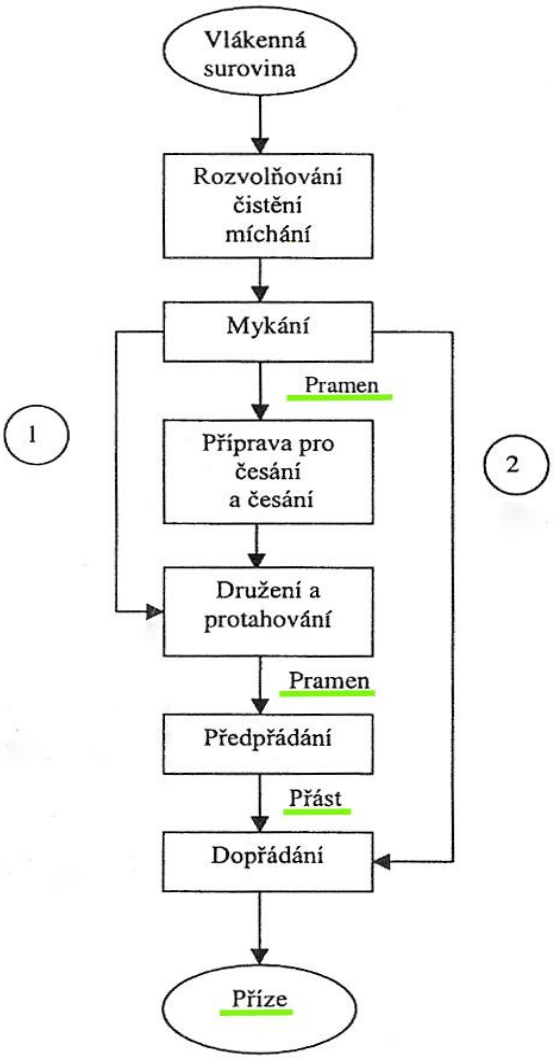


Obr. 1.1.3. – bavlněná vlákna [1].

1.2. Dopřádání

Výsledkem přádelnické výroby je příze. Podstata výroby spočívá v postupném rozvolňování vlákenného materiálu, jeho čištění, míchání a vytváření souvislé délkové formy vlákenného produktu (pramene). Dále pak probíhá jeho postupné ztenčování a zpevňování přes přást až ke konečnému produktu přízi. Spřádací technologie se vytvoří technologickou kombinací spřádacích systémů s ohledem na příslušný zpracovávaný materiál přičemž dopřádání je závěrečným stupněm výroby jednoduché příze. Podle typu dopřádání je možné rozdělit výrobu příze na klasický (prstencový) způsob a nekonvenční. Postup při použití **prstencového dopřádání** je schematicky znázorněno na obr. 1.2.1. Jeho úkolem je zjemnění

předkládaného přástu navinutého na potáči průtahem, zpevnění protaženého vlákenného produktu zakrucováním a tvorba návinu. K zakrucování dochází pomocí **„vřeteno – prstenec – běžec“**[26]. Příze je navlečena do běžce a navíjena na dutinku, která je nasazena na vřetenu. Okolo vřetene je prstenec, na kterém je nasazený běžec (prstenec tvoří dráhu pro běžec). Aby docházelo k navíjení, musí být příze brzděna. K tomu slouží běžec, který si příze táhne za sebou a tím mu uděluje pohyb. Podmínka navíjení je, že otáčky vřetene se nerovnají otáčkám běžce. Otáčky běžce jsou proměnlivé, podle zvětšujícího se průměru potáče se otáčky zmenšují. Prstencové předení je postupně nahrazováno nekonvenčními způsoby předení pro jeho omezenou výkonnost systému „vřeteno-prstenec-běžec“, nutností zvýšení produktivity v časově náročném stupni dopřádání a díky vysokým nákladům, které tvoří až 70% všech výrobních nákladů. Nekonvenční metody mají oproti prstencovému předení lepší možnosti kontroly příze, možnost automatizace čím je zajištěna kontinuální výroba příze.

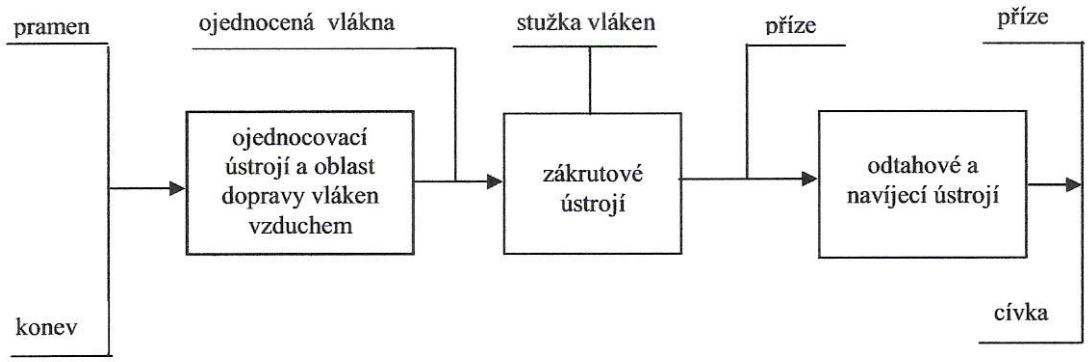


Obr. 1.2.1. – obecné schéma technologického postupu předení

Na obr. 1.2.1. je schematicky znázorněný postup předení, kdy ve svislé linii je znázorněn postup při výrobě klasické prstencové bavlnářské technologii česané příze. Variantou (1) je naznačena výroba klasické prstencové technologie bavlnářské mykané příze a variantou (2) je zkrácená výroba bavlnářské rotorové technologie mykané příze (*OE*).

Mezi nekonvenční dopřádací systémy patří **bezvřetenový rotorový dopřádací systém**. Základní charakteristikou tohoto systému je předloha, kterou v tomto případě je pramen (odpadají operace družení, protahování a předpřádání) a odlišný způsob tvorby zákrutů u vyráběné příze. Typické pro danou skupinu je oddělení procesu zakrucování a navíjení a zajištění rotace volného konce příze. U rotorových spřádacích systémů nerotuje

přiváděcí a odváděcí (navíjecí) ústrojí kolem osy vlákenného produktu, ale rotuje vlákenný materiál. Mezi podávacím a krutným ústrojím se realizuje ojednocení vláken podávaného vlákenného produktu. Důležitou podmínkou je úplné ojednocení vláken, aby mohlo dojít k uskutečnění zakružovacího procesu. Blokové schéma stroje je na obrázku 1.2.2. použité z literatury [8].



Obr. 1.2.2. – blokové schéma bezvřetenového rotorového spřádacího stroje.

1.3. Vznik a vývoj českého rotorového předení

První rotorový stroj BD 200 z Československa se týkal aplikace vědy a strojírenství pro komerční potřebu užitečného stroje [6]. Projekt, který začal potřebou trhu nové průmyslové výroby dramaticky zlepšil textilní proces ,kdy jeden stroj zrevolucionizoval textilní průmysl ve světovém měřítku.

Od první myšlenky na téma předení s otevřeným koncem uplynulo více než 100 let, když se objevil vynález Berthelsena, jehož vývoji zřejmě zabránila 2.světová válka a kdy konečně téměř po 150 letech byl na výstavě ITMA 1955 vystaven první dvoumístný model OE spřádacího stroje Meimberga.

Přes vysoké nárůsty u chemického hedvábí a tvarovaného hedvábí, jakož i u textilií bez podílu přízí bylo nutno počítat s růstem spotřeby příze. Přeměna vláken do příze má z důvodu potřeby zpracování přírodních vláken a požadovaných specifických vlastností zvláště pro oděvní textilie velký význam v textilním zpracovatelském řetězci. Z toho vyplynula potřeba zvýšení produktivity v nákladově a časově náročném stupni dopřádání. Z tohoto důvodu a též kvůli výkonnostním mezím systému „vřeteno-prstenec-běžec“ byla hledána řešení, jak vyrobit příze nebo jim podobné útvary pomocí nových principů. U rotorového předení byl oproti všem ostatním řešením nalezen nejlepší kompromis mezi vzrůstem výkonu a jakostí příze.

V roce 1959 VÚB Ústí nad Orlicí se orientoval definitivně na rotorové předení s podtlakovým rotorem pro spřádání bavlnářských vláken. Byl vyroben a uveden do provozu základní model rotorového spřádacího místa s podáváním pramene, dvou-řemínkovým průtahovým ústrojím pro vysoký průtah, tangenciálním přívodem ojednocených vláken ke sběrnému povrchu kuželového spřádacího rotoru napojeného na podtlak a soukacím zařízením pro hotovou přízi. Příze vykazovala výrazné zlepšení. Na rotorovém stroji byly postupně zdokonalovány spřádací jednotky zlepšenou koncepcí. Lze tak hovořit o třech a více generacích strojů lišících se v otáčkách rotorů a jejich průměrech, odtahových rychlostech příze, vylučováním nečistot, počtem přádních jednotek, velikosti předkládaných pramenových konví a velikostech i formátech návinu.

Na výstavě ATME 1973 čeští tvůrci rotorového předení vystavili systém s předpokladem pro přechod od mechanizace k automatizaci výroby staplové příze. Tím se přenášejí regulační a řídící funkce z člověka na stroj.

Vývojem a výrobou *OE* dopřádacích strojů se zabývá Rieter CZ, a.s. Ústí nad Orlicí. Společnost vyvinula několik typů rotorových dopřádacích strojů, viz obr. 1.3.1. Jedním z posledních je typ **BT 903**, který byl koncipován s ohledem na nízké investiční náklady. U tohoto typu bylo zapřádání poloautomatizováno systémem AMIspin. S ním se provádí zapřádání také při vysokých otáčkách rotoru s konstantní a vysokou kvalitou, zvláště při doplnění systémem Qtop. V nabídce ke stroji BT 903 je rovněž čistič příze IQclean pro čištění příze. Automatický BT 905 a poloautomatický BT 903. BT 903 nabízí několik výhod: plně kontrolovaná příze a zapřádání daleko přesahující kvalitu příze dosahovanou na ručně obsluhovaných strojích, nižší investiční náklady v porovnání s plně automatickými stroji, nižší požadavky na kvalifikaci obsluhy a personálu.

Automatizace BD strojů

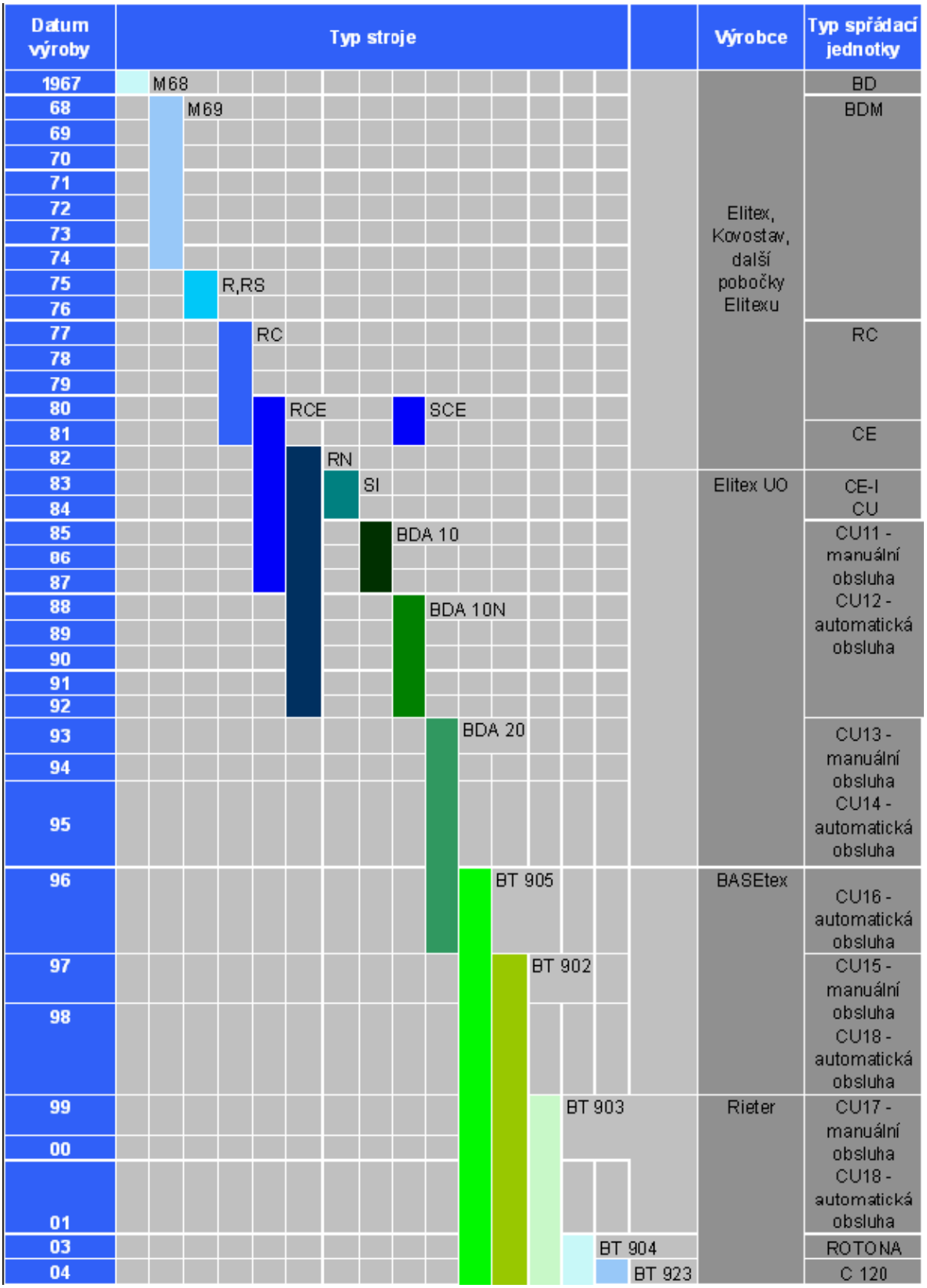
U rotorového stroje je tvorba příze kontinuální (bez zásahu obsluhy), avšak dojde-li k jejímu přerušení z libovolné příčiny, vyžaduje vykonání činností potřebných k jejímu obnovení. To je úkol automatizace. Jedná se o proces náročný na četnost, rychlost a přesnost provedení. Dalším předmětem je zajištění plynulé vazby stroje na předchozí a následné výrobní stupně, tj. zásobování pramenem a odsun hotových cívek. Čidlo přetrhu se spojkou podávání provádí samočinné přerušení dodávky vlákenného pramene, když dojde k přerušení předení (přetrhu). Postupně byla na strojích instalována další přídavná zařízení, která obsluze umožňovala zvládnout i náročnější úkony se stoupajícími produkčními parametry.

Na stroji BD 200S bylo realizováno zařízení pro výměnu cívek. Toto smekací zařízení obsluhovalo současně obě strany a pro své pojíždění a pohyb mechanizmů odebíralo třecími koly energii z pásu dopravníku. Zapřádání automatem za provozu stroje má za úkol nejprve zapředení míst neúspěšných při hromadném zapřádání, odstranění náhodně vzniklých přetrhů nebo přetrhů vlivem vyčerpání dodávky pramene nebo závadou v navíjení, vlivem mechanické závady na spřádacím místě a záměrných přerušení např. dovršením předvolené délky na cívce.

Na strojích BDA 10N se zajišťují následující funkce - řízení spouštění a zastavení stroje, nastavování, kontrola a identifikace provozních stavech jednotlivých spřádacích míst, vyhodnocení délky návinu na každém místě a po dosažení centrálně předvolené délky přerušení podávání a vysílání signálu pro obslužné automaty, preventivní čištění spřádacích rotorů, vyhodnocení užitkového výkonu stroje, výpočet produkce, indikace údajů o každém místě na displeji, tisk úzkořádkovou tiskárnou, případné připojení na nadřízený řídící a monitorovací systémy přádelny. Všechny funkce jsou ovládány z centrálního panelu elektroniky s jednořádkovým displejem, tlačítkovou soupravou, tiskárnou a nastavovacími prvky.

RIETER CZ a. s. patřící pod švýcarský koncern RIETER, který vyvíjí textilní stroje od roku 1967 (dříve Elitex) a patří mezi největší výrobce *OE* strojů na světě. Příze vypředené na *OE* strojích mají mnohé specifické vlastnosti a jsou dobře zpracovatelné v masově vyráběném zboží. Zavedení rotorového předení do přádelen zvýšilo produktivitu práce. V poslední době firma usiluje o zavedení sériové výroby nového dopřádacího stroje pro tryskové předení J 10.

Na dopřádacím rotorovém stroji od této firmy, označeným BD D30 při otáčkách rotoru 100 tisíc za minutu, byly také vypředeny námi zkoumané experimentální příze.



Obr. 1.3.1. - přehled historie rotorových textilních strojů BT firmy Rieter a.s. od roku 1967 – 2004 [6].

1.3.1. Hlavní části rotorového dopřádacího stroje

Bezvřetenový rotorový dopřádací systém lze členit na tři hlavní části [8]:

- spřádací jednotku
- odtahové ústrojí
- navíjecí ústrojí

Spřádací jednotka

Spřádací jednotka tvoří samostatný montážní celek. Je v ní umístěna elektromagnetická spojka podávání, která slouží k přerušení dodávky pramene, a podávací ústrojí pramene. Spřádací jednotka je výklopná a umožňuje přístup ke spřádacímu rotoru. Řez spřádací jednotkou stroje BD 200 je na obrázku 1.3.1.1.

Spřádací jednotka má dvě hlavní části. První je **ojednocovací ústrojí,** jehož úkolem je zpracovat podávaný pramen tak, aby došlo k rozdělení až na jednotlivá vlákna. Operace uvolňování vláken z pramene musí proběhnout tak, aby nedocházelo k narušení vláken. Ojednocovací ústrojí má oblast podávání, kde se pramen odtáhne z předlohy a předkládá se konstantní rychlostí k vyčesávání. Pramen prochází zhušťovačem, který usměrňuje jeho cestu do podávacího válečku a omezuje šířku pramene. Ve druhé fázi se pramen stlačuje mezi podávacím válečkem a přítlačným stolečkem, a dochází tak k dalšímu zhuštění vláken v průřezu. Po uvolnění pramene ze stisku se jeho objem opět zvětšuje a snižuje se jeho soudržnost. Do uvolněného pramene zasahuje potah vyčesávacího válečku, který odebírá vlákna přesahující okraj přítlačného stolečku.

Odtahové ústrojí

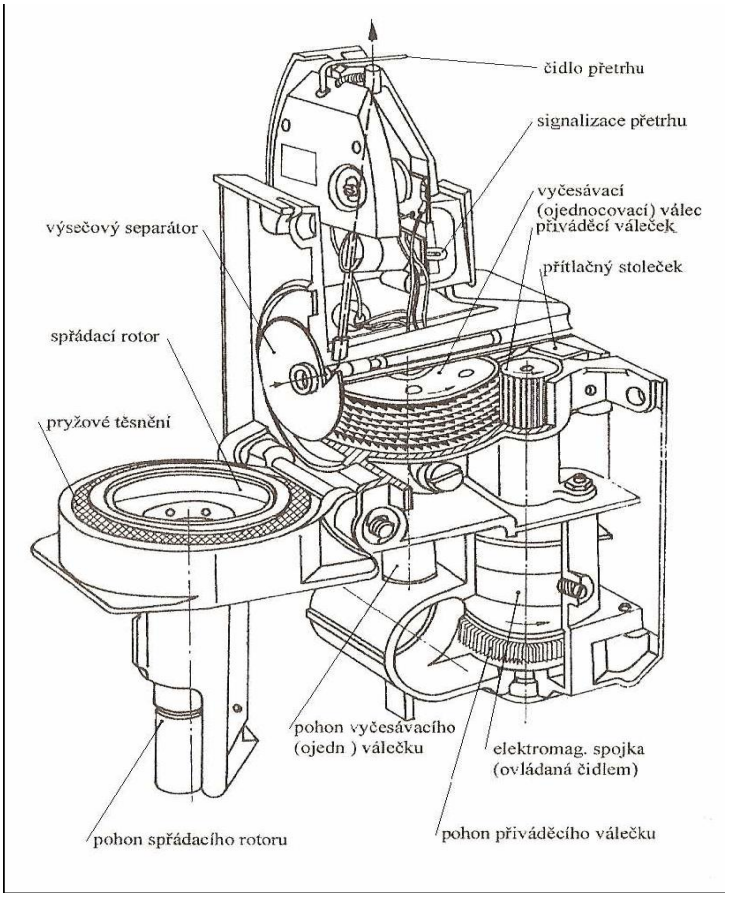
Odtah příze ze spřádacího ústrojí je zajištěn **odtahovými válci** umístěnými nad spřádací jednotkou [9]. Přítlačný váleček dosedá svým pružným potahem na odtahové válce a zajišťuje tak odtah příze konstantní rychlostí. Přítlak válečku je zajištěn pružinou. Příze je pod přítlačným válečkem rozváděna do stran, aby se zamezilo opotřebení pružného potahu válečku.

Navíjecí ústrojí

Vlastní navinovací ústrojí je tvořeno třemi hlavními částmi: **ocelový navíjecí válec, rozvaděč příze a navíjecí rameno** pro konstantní přítlak křížové cívky k navíjecím válcům. Navíjecí

ramena dovolují výměnu cívek i za chodu stroje. Pružina zajišťuje ramena i v odklopené poloze při výměně cívek, odstraňování přetrhu, nebo jiné manipulaci. V pracovní poloze zajišťuje tato pružina konstantní přítlak k navíjecímu válci. Příze je rozváděna pomocí vodičů, poháněných z rozváděcích skříní [10].

V dnešní době je výměna plných cívek plně automatizována [6]. Používá se smekací zařízení. Při smekání smekací zařízení odebírá dutinky z vodorovného zásobníku dutinek, do kterého jsou dutinky podávány speciálním zakladačem pomocí podávacího zařízení. Cyklus začíná tlumeným dojezdem ke spřádacímu místu. Sací hubice a páka zdvihu ramen jdou do pracovní polohy. Ramena se rozevřou a jsou zdvižena do horní úvrati. Dutinka se zanese do navíjecích ramen ramenem výměny a upne se. Další dutinka je vysunuta z dutinkové dráhy vysouvačem a uložena do technologického zásobníku. Sací hubice se vrátí do výchozí polohy s odsávanou přízí. Sací trubice vytvoří zálohu a vrátí se do výchozí polohy, podobně páka zdvihu ramen. Následuje přejezd k další smekané cívce.



Obr. 1.3.1.1. - řez spřádací jednotkou stroje BD 200 [8].

1.4. Vznik rotorové příze

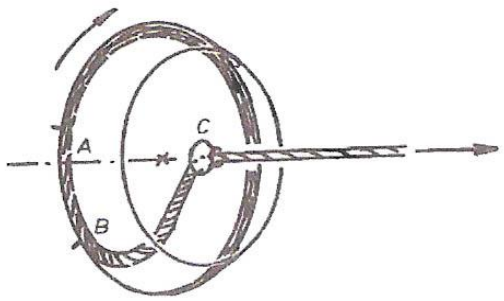
Vlákna přinášená proudem vzduchu od vyčesávacího válečku se odstředivými silami ukládají do drážky spřádacího rotoru, kde postupně vytvářejí společně s rotorem se otáčející stužku vláken – pramínek [11]. Ta je přes osově umístěnou nálevku odtahována a současně zakrucována otáčejícím se rotorem viz obrázek 1.4.1. Odtahová rychlost a otáčky rotoru určují zákrut, vkládaný zařízením do příze:

$$Z = \frac{N}{v_4}. \qquad (1.4.1.)$$

Od vstupu do ojednocovacího ústrojí až po sběrný povrch dochází k velmi vysokému průtahu a naopak v další fázi od sběrného povrchu k odtahovým válcům dochází ke zhušťování. Celkový průtah, lze vyjádřit pomocí odtahové rychlost a rychlosti podávání pramene:

$$P_c = \frac{v_4}{v_0}. \qquad (1.4.2.)$$

Stužka vláken vstupuje do zakrucování spojitě, jedná se tedy o tradiční zakrucování spojitě přiváděné soustavy vláken [11]. Oblast otevřeného konce je před přízí, v místech vytváření výchozí stužky vláken.



A-B – pramínek na povrchu rotoru

B-C – volná část tvořené příze

Obr. 1.4.1. - vznik rotorové příze [11].

1.5. Struktura a ukazatele rotorové příze

Struktura obecně zahrnuje geometrické vlastnosti a jiné údaje - zejména fyzikální povahy, vyjadřuje geometrické uspořádání i vzájemné spolupůsobení vláken v přízi. Struktura příze popisuje konečný stav, dosažený procesem tvorby.

Novým neortodoxním technologickým OE systémem přišla na trh příze, která měla odlišné vlastnosti než příze vzniklá na klasických prstencových strojí a vznikl požadavek nejprve tyto vlastnosti definovat a pak se je snažit objasnit [10]. Vysvětlení anomálií ve vlastnostech přízí vyrobených pomocí rotoru a nalezení jejich příčin může dát jen studium vnitřního uspořádání jednotlivých vláken uvnitř jádra příze.

Vnitřní struktura rotorové příze

Fyzikální vlastnosti textilií jsou dány jejich chemickým složením a vnitřním uspořádáním, tj. tyto vlastnosti jsou funkcí mnoha činitelů a mezi ty nejdůležitější patří vlastnosti vláken, distribuce vláken a vzájemné vztahy mezi elementy. Uvedené tvrzení lze použít i na textilní výrobky i když zde ještě není objeveno tolik zákonitostí, jako např. u strojnických materiálů [5].

V případě rotorových přízí se jedná o rozložení jednotlivých vláken po délce příze. Na pevnosti příze se neuplatní celá délka vlákna, ale pouze zapředená část vlákna, která bude mít významný vliv na fyzikální vlastnosti takto vyrobené příze. Literatura [10] se dále zabývá pravděpodobností zapředení vlákna a byl zde odvozen i koeficient zapředení vlákna K_F, který představuje vedle střední délky vlákna jednu z důležitých charakteristik vnitřní struktury příze.

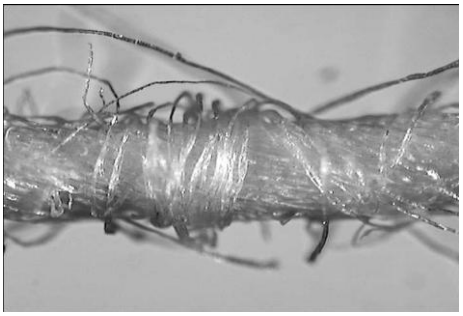
V jádru rotorové příze existuje struktura tzv. „kyselého zelí“ zapříčiněnou přikrucováním vláken na volný konec příze. U prstencového způsobu předení jsou vlákna uložena přibližně ve šroubovicích [26]. Na tomto jádru leží vrstva vláken, v níž zákrut poklesne na minimální hodnotu. U takového pláště vzniklého ovinutím se dají rozlišit tři vrstvy se speciální zákrutovou charakteristikou. Od jádra směrem ven to jsou: opačný zákrut vzhledem k zákrutu příze, vlastní ovinky a zpětně navinuté konce vláken se stejným směrem zákrutu jako příze. Přitom jen místy vystupují ovinky podél osy příze v odstupech několika milimetrů. Podíl takto ovinutých vláken na celkovém množství vláken obnáší odhadem 1 – 3%

Pojem struktura příze je chápán v literatuře z různých hledisek [11]. Je funkcí mnoha činitelů, z nichž lze vyčlenit jako hlavní:

- vlastnosti vláken jako elementů struktury, a to jak geometrický tvar (délka, jemnost, tvar průřezu a objemové vlastnosti), tak i fyzikální vlastnosti (pevnost, tažnost, ohebnost, pružnost aj.)
- distribucí vláken, tj. množství a rozložení vláken v příčném průřezu příze, nestejnoměrnost jejich rozmístění po délce, a to jak v množství, tak i v kvalitě, a konečně v distribuci tvarů a délek jednotlivých vláken zapředených uvnitř příze
- vzájemné vztahy mezi elementy struktury, tj. vztahy mezi vlákny (tření a kvalita povrchových ploch a množství kontaktů), dané způsobem zapředení, stupněm zakroucení a případnou další chemickou nebo mechanickou úpravou

Povrchová struktura rotorové příze

Povrchová struktura rotorové příze se liší od ostatních přízí především vyšší objemností, krycí schopností, lepší stejnoměrností vzhledu, nižší chlupatostí a obsahem nečistot [7]. K typickým jevům rotorových přízí patří výskyty jednotlivých vláken, která omotávají a stahují povrch příze, tzv. ovinků (obr. 1.5.1.), které lze definován jako jedno nebo více vláken, které ovíjí přízi kolmo nebo téměř kolmo k ose příze. Jednotlivá vlákna ovinku leží těsně vedle sebe a částečně přízi stahují. Ovinky mají různou velikost, tvar i charakter, a způsobují problémy během zpracování příze. Vznikají v rotoru v úseku AB viz obrázku 1.4.1.



Obr. 1.5.1. – příklad ovinku na BD přízi [7].

Lawrence a Finikopulos [20] uvádějí, že povrchová struktura rotorové příze může být rozdělena do šesti skupin.: uspořádaná vlákna, volně ovinutá vlákna, chlupy, mnohonásobné ovinutí, jednoduché ovinutí a ovinky. Dále uvádějí, že se na přízi nejvíce objevují první tři skupiny.

Problém vzniká i u zjišťování zákrutu metodami pro prstencové příze [10]. Vlivem povrchových vláken, která mají jiný charakter, a zejména jiný zákrut než vlákna v jádru příze, není proces rozkrucování vratný v plném rozsahu. Uvolňování zakrouceného přástku vláken je nerovnoměrné a většinou nelze dosáhnout paralelního uložení všech vláken.

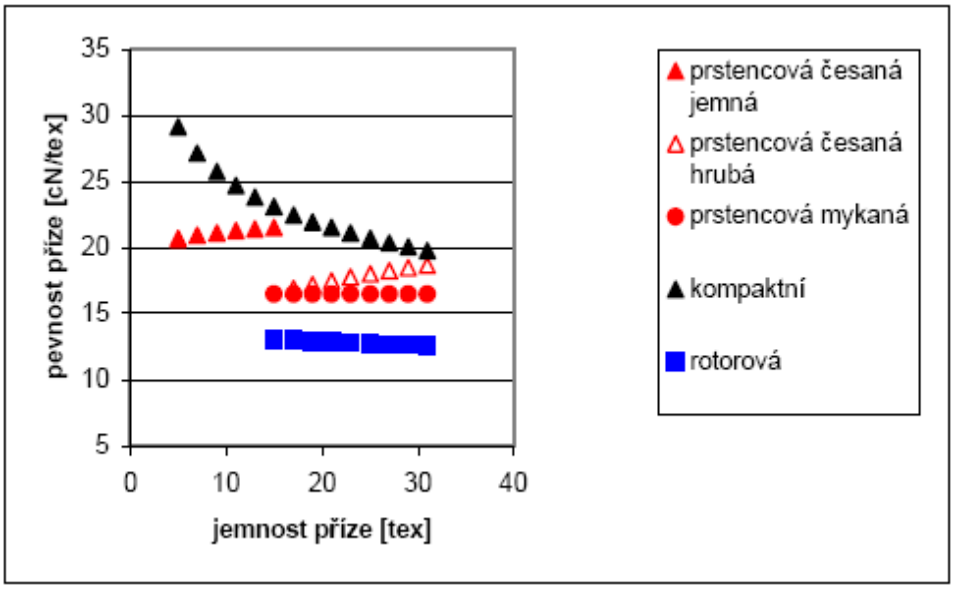
Odlišný systém tvorby rotorové příze v porovnání s prstencovým dopřádáním vede k odlišné struktuře u rotorové příze a tím i samozřejmě k odlišným vlastnostem. Při posuzování rotorových přízí se sledují zejména následující vlastnosti resp. jejich ukazatele:

- průměrná poměrná pevnost P_p
- variační koeficient pevnosti v_P
- variační koeficient jemnosti v_T
- vzhled příze
- chlupatost příze
- hmotná nestejnoměrnost CV
- slabá a silná místa v přízi
- nopky

U rotorové příze jsou hodnoty poměrné pevnosti nižší než u klasického prstencového předení a kompaktního [12]. Závislost poměrné pevnosti na jemností příze dle 50% kvalitativní hladiny statistiky Uster je uvedena na obr. 1.5.2. převzatého z [3]. Nejvyšší poměrné pevnosti dosahuje příze vyrobená kompaktním způsobem, která s přirůstající jemností klesá. Tento trend lze vidět i u rotorových přízí i když s ne tak výrazný. Prstencové druhy příze se pevností pohybují přibližně mezi hodnotami kompaktní a rotorové příze a jejich trend je opačný nebo vyrovnaný. Variační koeficienty poměrné pevnosti a vzhled rotorové příze je lepší v porovnání s odpovídající klasickou přízí. Nižší pevnost rotorové příze, lze vysvětlit nižší úrovní průměrného koeficientu napřímení a zapředení vláken, neboli nižším využitím délky vláken ve struktuře příze. Podle [10] snížení pevnosti nemá vliv na zvýšení počtu přetrhů v jednotlivých fázích následné výroby (např. při tkaní), naopak vyšší stejnoměrnost v pevnosti příze napomáhá při její zpracování k zvyšování technické produktivity. Rotorové příze jsou obvykle více krouceny než příze prstencové o srovnatelné jemnosti. Může také nastat případ, že více kroucené rotorové příze vykazují srovnatelné hodnoty poměrných pevností s přízemi prstencovými, ale variační koeficienty poměrných pevností rotorových přízí jsou nižší. Použití vyššího zákrutového koeficientu vede k vyšší tvrdosti přízí, snížení produkce a vyšším nákladům na výrobu. Zákrutový koeficient je možné zvýšit pouze do určité meze, než se příze začne překrucovat, začnou tvořit zákruty druhého druhu a dojde k překročení hranice kritického zákrutového koeficientu.

V literatuře [10] se také uvádí že vlivem cyklického družení je hodnota hmotné nestejnoměrnosti rotorových přízí nižší než u odpovídající klasické přízi.

Dále se rotorová příze vyznačuje vyšší hodnotou odolnosti proti oděru, vlivem kompaktnějšího zachycení konečků vláken v přízi. Lépe se zpracovává a má větší možnost návinu na cívce. Příze má poměrně vysokou afinitu k barvivu. Chlupatost rotorových přízí je nižší než u přízí prstencových. Slabá, silná místa a nopky se v rotorové přízi nachází v menší míře. Příze má také lepší tepelně izolační vlastnosti.



Obr. 1.5.2. – závislost pevnosti bavlněných přízí na jemnosti (statistiky Uster 50%) [3].

1.6. Základní vlastnosti vláken

Vlastnosti vláken se projevují ve vlastnostech textilií buď přímo nebo nepřímo. Typické vlastnosti související s použitím se dělí do několika skupin na geometrické vlastnosti (délka, jemnost a tvar příčného řezu), mechanické vlastnosti (pevnost, tažnost, modul, tuhost, zotavení atd.), termické a termomechanické vlastnosti (bod tání, zeskelnění, přechodové teploty, ztrátový úhel, ztrátový modul, atd.), elektrické vlastnosti (statický náboj, isolační schopnosti, dielektrické chování), povrchové vlastnosti (adheze, transportní chování), oděr a stárnutí a chemická odolnost. Vlastnosti vláken můžeme určovat přímo nebo nepřímo (výpočtem).

Samotný pojem vlákno se dá definovat jako délková textilie, látkově homogenní. Může být spřadatelné, nekonečné (viz hedvábí) nebo nespřadatelné (vlákna kratší než 10 mm) [13]. Vlákna jsou základní stavební jednotkou všech textilií a jsou podstatou vzniku příze. Proto budeme uvažovat, že vlastnosti a technologie zpracování vláken, mají vliv na vlastnosti a technologii výroby příze a její chování bude ovlivňovat postup výroby tkaniny a finální

vlastnosti tkaniny. Vlákna je možné třídit z mnoha hledisek. Nejstarším způsobem třídění je hledisko původu, složení a výskytu. V přádelnické terminologii má značný význam také hledisko geometrické a to je zejména délka a podélná geometrie vlákna, jemnost a tvar jeho příčného řezu, příp. jeho měrná hmotnost.

Délka vlákna je důležitým parametrem při nastavení technologických prvků. Délka vláken rozhoduje o zpracovatelnosti a využití pevnosti vláken v pevnosti příze [5]. Délku vlákna můžeme definovat jako vzdálenost konců vlákna napřímeného bez obloučků a bez napětí. Délka vlákna je vlastnost, která je zatížena vysokou nehomogenitou (nestejnoměrností). Proto jsou pro její stanovení důležité charakteristiky rozptylu a zejména grafické znázornění statistického rozdělení délek vláken v surovině.

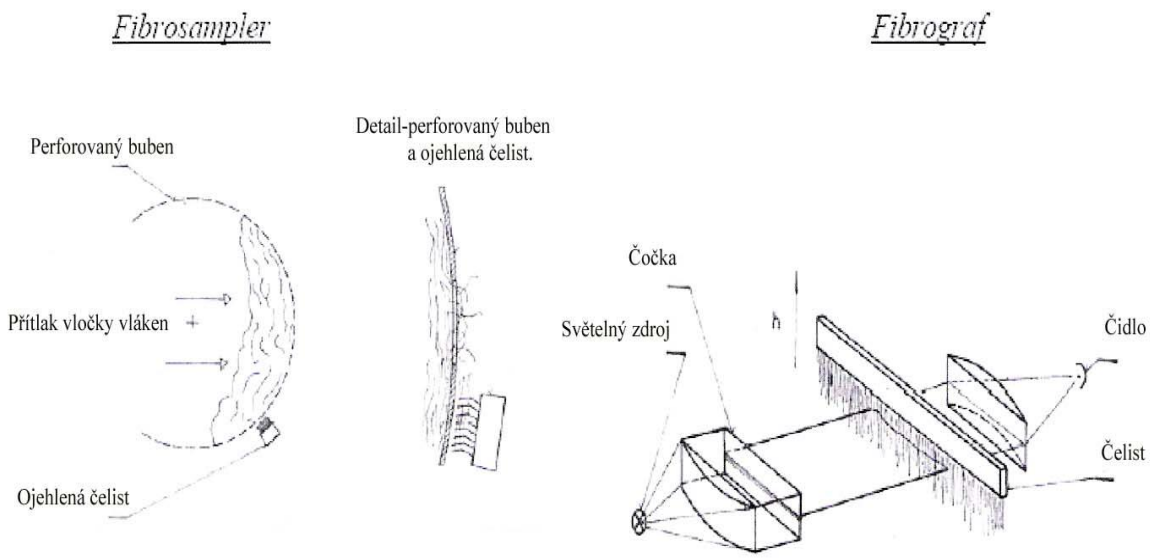
Nejstarším a dodnes používaným znázorněním statistického rozdělení délek vláken je staplový diagram. Podle toho jsou také přírodní vlákna, jako bavlna, vlna, len, ale také vlákna chemická vyráběná pro směsování s přírodními vlákny nazývána vlákny staplovými. Staplová křivka je nenormovaná křivka statistického rozdělení délek vláken. Kde je staplová délka nenormované označení délky vláken ve staplu, střední délka je aritmetický průměr délek vláken zastoupených ve vločce a vločka je definovaná jako chomáč vláken získaný z výběru I. a II. stupně, v němž jsou statisticky zastoupeny všechny délky vláken v surovině.

Při použití vláken v kompozitních strukturách se definuje tzv. kritická délka jako délka vlákna v matrici, kdy je v rovnováze síla potřebná k udržení vlákna v matrici $F_s = A_l \omega$ se silou potřebnou k přetrhu vlákna $F_v = S_v P_v$. Při kritické délce vlákna je stejná pravděpodobnost přetrhu vlákna jako jeho vytažení z matrice. Pro kruhová vlákna o poloměru *r* je kritická délka rovna:

$$l_c = \frac{rP_v}{2\tau}. \qquad (1.6.1.)$$

Jestliže by byla tato teorie aplikována na využití pevnosti vláken v přízi vzhledem k délce, lze předpokládat, že pro vlákna delší než je kritická délka dojde spíše k jejich přetrhu a je tedy optimálně využita jejich pevnost. Krátká vlákna v přízi tedy budou spíše prokluzovat a nepřenášet napětí, což povede ke snížení pevnosti příze. S ohledem na spřadatelnost a využití pevnosti vláken je kritická délka kolem 10 mm.

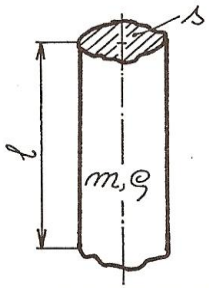
Metody stanovení délky vláken se dělí na přímé metody, kde se měří délky jednotlivých vláken četnostním způsobem (třídící metoda, histogram, součtová křivka a staplová křivka) a metody nepřímé, kde se měří délka ze souboru vláken prostřednictvím hmotnosti ve třídách, prosvěcováním třásně, ohmatáváním třásně, atd. (HVI, fibrograph, fibrogram). Metoda nepřímého měření délky vláken v třásni spočívá ve vytvoření třásně pomocí Fibrosampleru podle obr. 1.6.1. (vlevo). Kdy čelist vlákna vyčeše, vloží mezi přítlačné hřebeny a dále pročesává na ojehleném segmentu a mezi kartáči. Vlákna jsou v hřebenech urovnána do rovnoběžné polohy. Následuje měření ve světelném poli obr.1.6.1. (vpravo). Světelný paprsek prosvěcuje třáseň a úroveň jasu je zaznamenávána. Množství světla prošlého světla třásní je ukazatelem relativní četnosti. Třáseň se ve světelném poli pohybuje v e směru délky třásně a tyto relativní četnosti jsou plynule načítány a výsledkem je graf, zvaný Fibrogram. Z fibrogramu lze stanovit charakteristiky délek suroviny (dodržení anglického značení) jako je (*UR*-uniformity ration) stejnoměrnost staplu, (*ML*-mean lenght) průměrná hodnota délky vláken, (*UHM*- upper half mean lenfth) průměrnou délku horní půle staplu a dopočítat hodnotu (*UI*-uniformity index) indexu nestejnoměrnosti.



Obr. 1.6.1. – princip nepřímého měřené délky vláken v třásni [15].

Jemnost vlákna geometrická vlastnost vyjadřující poměr mezi hmotností a délkou vlákna [11]. Hmotnost vlákna je závislá na ploše příčného řezu vlákna, délce vlákna a materiálové složení vlákna, která se projeví na měrné hmotnosti vlákna podle obr. 1.6.2. Jemnost vlákna vyjádříme následovně:

$$t = \frac{m}{l} = \frac{S\rho}{l} = S\rho. \qquad (1.6.2.)$$



Obr. 1.6.2. – textilní vlákno [18].

Jemnost (délkovou hmotnost) vláken lze stanovit několika metodami [15]. Mezi přímé metody, kdy měříme jemnost jednotlivých vláken patří rezonanční metoda na Vibroskopu, použitím linky HVI (micronaire), Afis.nebo pomocí gravimetrické metody dle ČSN EN ISO 1973 (80 0269) [6] Nepřímo se jemnost vláken získává např. výpočtem z průměru (tloušťky) vlákna u vláken kruhového průřezu (Lanametr) nebo výpočtem z plochy průřezu obrazovou analýzou podle IN 46-108-01/01 [11]. V literatuře [3] jsou uvedeny vztahy, pomocí kterých lze přepočítat hodnoty mezi některými metodami.

Pro <u>měrnou hmotnost vláken</u> je známé, že pro vlákna s vyšší hustotou vyjde při stejné relativní síle napětí větší. Naopak při stejném napětí vyjde pro vlákna s vyšší hustotou relativní síla menší. [27]. Proto při porovnávání vláken pro technické použití je tedy třeba posuzovat údaje o pevnosti s ohledem na jejich hustotu. Měrná hmotnost bavlněných vláken je 1520 kgm^{-3}.

Důležitou charakteristikou vlákna je <u>ekvivalentní průměr</u> vlákna vyjadřuje průměr vlákna podle vztahu:

$$d_e = \sqrt{\frac{4S}{\pi}} = \sqrt{\frac{4}{\pi\rho}}. \qquad (1.6.3.)$$

Tvar příčného řezu vlákna- respektive míru jeho odchýlení od kruhového průřezu, definovala K.Malinowská tvarovým faktorem průřezu vlákna, popsaný vztahem (1.6.4.). Je-li průřez kruhový, pak se tvarový faktor = *0*. S rostoucí hodnotou se průřez vlákna vzdaluje kruhovému tvaru. Pro bavlněná vlákna (elipsovitý průřez) je hodnota stanovena na 0,45 – 5.

$$q_f = \frac{p_v}{\pi d_v} - 1. \qquad (1.6.4.)$$

Pomocí hodnoty tvarového faktoru je možné vyjádřit měrný povrch vláken, tj. plochu povrchu vláken ve hmotnostní jednotce:

$$q_{mp} = 2\sqrt{\pi}\frac{1+q_f}{\sqrt{\rho t}}. \qquad (1.6.5.)$$

Pro komplexní hodnocení kvality vlákenné suroviny se nejvíce používají linky HVI. Jedná se o linky, které byli sestaveny na základě požadavku rychlého stanovení vlastností bavlny. Zahrnují vysoko objemové testování délky vláken (přístroj Fibrograf), jemnosti vláken (přístroj Micronaire), pevnosti vláken (přístroj Pessley Tester), čistoty suroviny (přístroj Trash Tester) a barvy suroviny (CCD kamera).

Další vlastnosti vláken jsou popsány v [5,11,23,24].

1.7. Komplexní kriterium hodnocení jakosti bavlněných vláken (suroviny)

Podle obecné definice kvality, je kvalita charakterizovaná několika vlastnostmi, které vyjadřují schopnost výrobku splnit účel, pro který byl vyroben [19]. Znaky jakosti se dají jednoduše změřit (např. pevnost, tažnost, navlhavost) nebo jsou přímo neměřitelné (např. omak, komfort při použití,vzhled). Stupeň kvality (komplexní měřítko) se často udává jako hodnota užitečnosti (kriterium jakosti) *U*. Existují takové vlastnosti, které umožňují, aby výrobek dosáhl svého účelu a hodnota užitečnosti pak určitým způsobem shrnuje určité dílčí vlastnosti kvality. U přírodních vláken je velice obtížná kontrola změny vlastností (výběr, pěstování, genová manipulace atd.) a proto se kvalita především zaměřuje na schopnost zpracování, vlastnosti příze (obzvláště pevnost) a možnosti mísení.

Jeden z prvních pokusů vytvořit souhrnné měřítko kvality bavlnění příze byl *FQI* index vyjádřen vztahem:

$$FQI = \frac{U}{\sigma_U + \sigma_H}. \qquad (1.7.1.)$$

Korickij uvedl tzv. index geometrických vlastností *IGa* definován pro vlastnosti naměřené na lince *HVI*:

$$IGa = \frac{U_{HVI}}{N_{HVI}} \qquad (1.7.2.)$$

Na základě přímých a nepřímých měření lze stanovit ukazatele jakosti (průměr, rozptyl, kvantity atd.) x_1, ….., x_k, které vhodným způsobem charakterizují užitné vlastnosti. Funkční transformace definuje dílčí úroveň jakosti danou vztahem [29]:

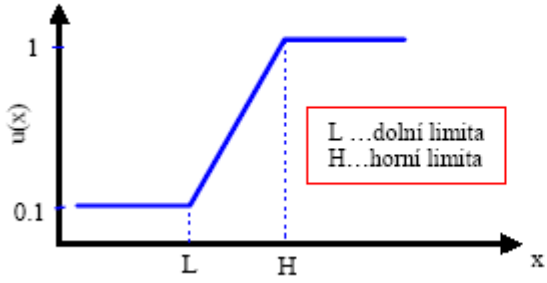
$$u_i = f(x_i, L, H), \qquad (1.7.3.)$$

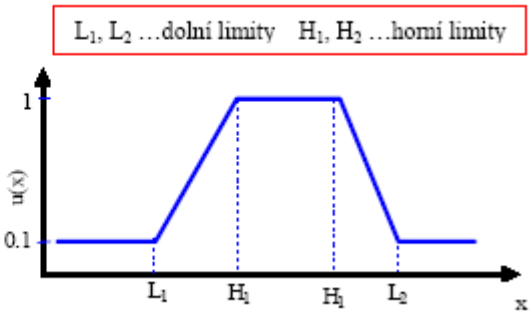
kde L je předepsaná hodnota užitné vlastnosti pro právě nevyhovující bavlnu $(u_i = 0)$ a H pro právě vyhovující bavlnu $(u_i = 1)$. Je třeba rozlišovat, zda se jedná o jednostranně ohraničené vlastnosti obr.1.7.1., u kterých platí „vyšší je lepší“ (kam patří délka, index stejnoměrnosti, pevnost a tažnost), nebo „nižší je lepší“ (obsah nečistot a množství krátkých vláken), nebo o oboustranně ohraničenou vlastnost obr.1.7.2. využívanou při hodnocení jemnosti. Vyjde – li výsledná sledovaná vlastnost x mezi dolní a horní limitou, vypočítá se její transformace následujícím způsobem [29]:

$$u(x) = \frac{0{,}9}{H - L}(x - H) + 1. \qquad (1.7.4)$$

Celková úroveň jakosti označovaná jako <u>užitná hodnota</u> produktu, je vyjádřená hodným váženým obecným průměrem dílčích úrovní:

$$u = ave(u_i, w_i). \qquad (1.7.5.)$$





Obr.1.7.1 Obr.1.7.2.

Obr.1.7.1. – stupeň jakosti vlastnosti monotónně stoupající.

Obr.1.7.2. – stupeň jakosti vlastnosti oboustranně ohraničená.

Protože pro nulové u_i vychází $u = 0$, je výsledný index jakosti U (s ohledem na pevnost příze) vyjádřen váženým geometrickým průměrem u_i s váhami w_i definující význam dané užitné vlastnosti a zároveň související s účelem použití výrobku [29]:

$$U = \exp\left(\sum_{i=1}^{m} w_i \ln(u_i)\right). \qquad (1.7.6.)$$

V tabulce 1.7.1. jsou uvedeny váhy a meze u vybraných vlastností pro rotorově předenou přízi (převzato z [28]). Důležitost těchto vlastností jsou zpravidla závislé na technologii předení.

Tab.1.7.1.

	w_i	L	H
UI [%]	0,2	82	86
MIC [-]	0,16	0,150/0,172	0,155/0,180
UHM [mm]	0,14	29	31
STR [gtex]	0,28	29	33
EL [%]	0,09	8	10
SF [%]	0,06	6	9,6
TR [%]	0,07	27	15

1.8. Základní vlastnosti přízí

Příze je délková textilie ze spřadatelných vláken zpevněná zákrutem nebo pojením tak, že při přetrhu příze dochází i k přetrhu jednotlivých vláken [11]. Příze vypředená na dopřádacích strojích je jednoduchá (lze rozkroutit na jednotlivá vlákna). Je to jednoduchý textilní útvar, který je východiskem pro složený útvar – tkaninu.

K veličinám popisující přízi patří jemnost příze, zákrut a protože příze svým tvarem poněkud připomíná válec (idealizované nahrazení), také průměr příze [11].

Jemnost příze vyjadřuje poměr mezi hmotností a délkou příze. Hmotnost příze je závislá na objemu a měrné hmotnosti příze, kde objem můžeme vyjádřit jako součin plochy příčného řezu příze délky příze a následně upravit do konečného tvaru podle:

$$T = \frac{m_p}{l_p} = \frac{V_p \rho_p}{l_p} = \frac{\pi D_s^2}{4}, \qquad (1.8.1.)$$

Podle jemnosti se barvářské příze rozdělují na hrubé příze (100 – 42 tex), příze se střední jemností (40-20 tex), příze s vyššími jemnostmi (18-12 tex) a jemné příze (11-4,2 tex). Jemnost příze může být vyjádřena také ve vztahu k jemnosti užitných vláken. Vyjadřuje vztah mezi jemností vláken a jemností příze. Po kratším odvozovaní dostaneme poměr substančního průměru příze a efektivního průměru vlákna [11]:

$$\tau = \frac{T}{t_v} = \frac{S_p \rho_v}{S_v \rho_v} = \frac{\frac{\pi D_s^2}{4}}{\frac{\pi d_e^2}{4}} = \left(\frac{D_s}{d_e}\right)^2, \qquad (1.8.2.)$$

Tento poměr vyjadřuje počet vláken a však opravdovým počtem jenom ve zvláštním případě svazku rovnoběžných vláken. Proto je vhodnější tento poměr nazývat jako poměrnou jemností příze.

Měření jemnosti příze se provádí pásmovou metodou dle ČSN EN ISO 2060 (80 0702) [2], kdy se délková hmotnost vypočítá z délky a hmotnosti příslušných vzorků podle (1.8.1.). Příze je navíjená na viják jehož obvod je takový, aby délka byla dána celým počtem otáček (doporučený obvod je 1000±2,5 mm), přičemž pro přízi v rozmezí jemnosti 12,5 do 100 tex je délka jednoho pásma stanovena na 100m. Pro měření hmotnosti jsou použity váhy s požadovanou přesností 1 díl na 1000 dílů hmotnosti pásma, která se mají vážit. Měření probíhá při stanovených podmínkách ovzduší (65±2% a 20±2ºC). Počet zkušebních vzorku je stanoven specifikací pro daný materiál, jinak se ke zkoušce použije jeden zkušební vzorek z každého laboratorního vzorku.

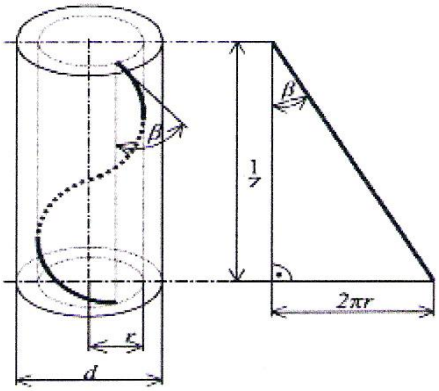
Další ze základních veličin popisující přízi je zákrut příze. Zákrut vyjadřuje zakroucení vláken v směru šroubovice okolo osy příze, vyjádřené počtem otáček na jednotku délky. Je možné ho vypočítat podle (1.4.1.) a nebo jiným způsobem pomocí zákrutových koeficientů ve vzorcích (1.8.4.) a (1.8.5.). Z literatury [12] se podle směru zakroucení označujeme zákrut jako pravý *Z* a nebo levý *S*.

Šroubovicový model příze na obr. 1.8.1. a vychází z následujících předpokladů:

- příze tvoří válec o průměru *D*,
- osy vláken tvoří soustavu souosých šroubovic na obecných poloměrech $r \varepsilon (0 ; D/2 \rangle$
- vlákna jsou válcová a jejich průřezem je kruh o poloměru d_e a průřezu S_v
- výška stoupání šroubovice je *1/Z*

Pro intenzitu zákrutu příze platí:

$$tg\beta_s = 2DZ_k. \qquad (1.8.3.)$$



Obr.1.8.1. – šroubovicový model

Zákrut podle Koechlina se používá pro hrubé příze a předpříze :

$$\alpha_k = ZT^{1/2}. \qquad (1.8.4.)$$

Zákrut podle Phrixe se používá pro jemnější příze:

$$a = ZT^{2/3}. \qquad (1.8.5.)$$

Jak vyplývá ze šroubovicového modelu, vlákna v přízi nejsou uložena přesně rovnoběžně, ale jsou zešikmena. Míru zešikmení vláken v přízi udává koeficient migrace. Lze tedy říci, že koeficient migrace udává, do jaké míry odpovídá reálná příze šroubovicovému modelu.

$$k_s = \frac{\sum_{i=1}^{n} S_v}{D_s}. \qquad k_s \leq 1 \qquad (1.8.6.)$$

Také reálný počet vláken je odlišný od hodnoty poměrné jemnosti vypočtené za předpokladu paralelního uložení vláken:

$$n_r = \tau k_n. \qquad (1.8.7.)$$

Vlastnost příze nazývaná <u>ekvivalentní průměr příze</u> se většinou volí jako průměr kruhu s plochou jako průřez vlákna. Obvykle se vychází z průměru nejmenšího myšleného válce v němž je soustředěna buď veškerá hmota příze nebo její podstatná část. Problém pak vzniká s určením průměru příze [3], který závisí na typu příze – výrobní technologii. Jádro příze je nositelem mechanických vlastností a je tvořeno z hustěji uspořádaných vláken. Obal příze má řídké uspořádání (chlupy) a je nositelem fyziologických vlastností a omaku. Rozhraní mezi nimi je označeno jako průměr příze a nelze jej však jednoznačně určit.

Jedním ze způsobů určení je tzv. idealizovaný způsob, kdy je představa příze jako homogenního válce tvořeného bez vzduchových mezer = substančního průměru. <u>Substanční průměr</u> je součet všech ploch příčných řezů vláken, které se nachází v řezu příze. Plocha jednoho řezu vlákna viz obr. 1.8.2. [11].

$$D_s = \sum_{i=1}^{n} S_v. \qquad (1.8.8.)$$

Předpokládáme-li, že součet ploch vláken tvoří kruh, který po vytlačení vzduchu tvoří průměr, který se nazývá substanční pak je to nejmenší možný průměr, který vyjádříme podle vzorce (1.8.9.)[11]:

$$D_s = \sqrt{\frac{4S}{\pi}} = \sqrt{\frac{4T}{\pi\mu_f}}. \qquad (1.8.9.)$$

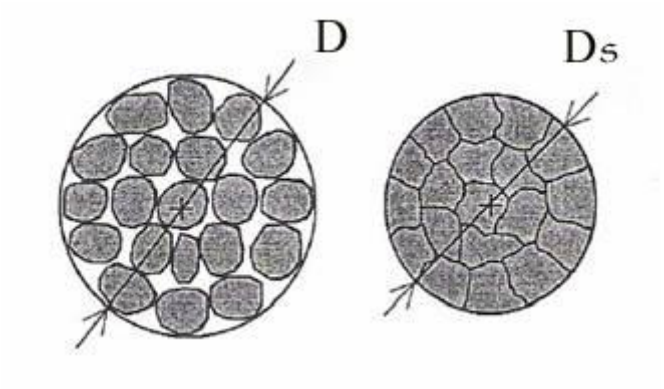
V reálné přízi jsou však ve skutečnosti vzduchové prostory (póry) a průměr příze je větší než substanční:

$$D = \sqrt{\frac{4T}{\pi\mu\rho}} = k\sqrt{T}. \qquad (1.8.10.)$$

Pro konstantu *k* platí:

$$k = \sqrt{4/\pi\mu_f\rho}. \qquad (1.8.11.)$$

Vzorec pro výpočet substančního průměru a průměru příze se od sebe liší o veličinu zaplnění.



Obr.1.8.2. – průřez D a substanční průřez D_s příze [22].

<u>Zaplnění</u> závisí na vlastnostech suroviny, technologií výroby, funkcí hustoty, jemnosti vláken, jemnosti příze, zákrutu a konstant závislých na materiálu a technologii. K tomu je také nutné definovat mezní zaplnění, které nastane maximálním stlačením vláken v přízi v důsledku zákrutu. Na základě zaplnění lze předikovat průměr, porozitu, transportní vlastnosti, pevnost a tvrdost příze. Na základě těchto vlastností přízí lze spolu s vlastnostmi technologie stanovit i vlastnosti textilie či pleteniny [3].

U vzorce (1.8.9.) je hodnota zaplnění 1 což je nereálné, protože výskyt pórů nelze zanedbat. Maximální reálná hodnota je 0,8. Proto je substanční průměr menší než průměr, kde je zahrnuto zaplnění, které se pohybuje v intervalu < 0;1>.

$$\rho_{vl} = \frac{M_{vl} S_{vl} \pi d_{vl}^2}{\rho_{vl} \pi d_{vl}^2 L} = \frac{M_{vl} S_{vl} 4}{\rho_{vl} d_{vl} L}. \qquad (1.8.12.)$$

Mezi jemností, zákrutem a průměrem příze existuje vzájemné přiřazení, které bylo mnohokrát experimentálně prokázáno [11]. Je zřejmé, že příze hrubší, obsahující větší množství vláken v příčném řezu, budou mít větší průměr než příze jemnější. Se zvyšujícím zákrutem jsou vlákna více stlačována, a tím se průměr zmenšuje. Problém přiřazení jemnosti, zákrutu a průměru je problém stlačování vlákenného materiálu, problém vnitřní mechaniky příze. Komprimační teorie v práci [11] je založena na definici dostředných mezi vlákenných tlaků způsobených zákrutem.Vychází z těchto předpokladů:

- vlákna jsou v přízi stlačována jako důsledek zákrutu
- stlačování vyvozují vnější vrstvy vláken, tloušťka stlačované vrstvy je konstantní
- uspořádání vláken v přízi lze popsat šroubovicovým modelem.

Jemnější příze s vyšším počtem zákrutů mají vyšší hodnoty zaplnění. Zaplnění je ve skutečnosti výsledkem interakce sil od zakrucování a materiálového odporu proti tomuto stlačování. Literatura [24] popisuje vztah mezi jemností příze, zákrutem a průměrem příze vztahem:

$$\frac{\left(\frac{\mu_l}{\mu_h}\right)^{5/2}}{\left[1-\left(\frac{\mu_l}{\mu_h}\right)^{q+2/2}\right]^2} = \frac{M_{vl}\sqrt{L\tau}}{200\,\mu_h^{5/2}\,Q\sqrt{\rho}\,(Z_T)^2}. \qquad (1.8.13.)$$

$$\frac{\left(\frac{\mu_l}{\mu_h}\right)^{5/2}}{\left[1-\left(\frac{\mu_l}{\mu_h}\right)^{q+2/2}\right]^2} = \frac{K}{\sqrt[8]{\frac{\pi d_h^3}{\rho}}\sqrt{T}\left(1-\sqrt{\frac{t}{T}}\right)^2}. \qquad (1.8.14.)$$

Pro hodnotu charakteristiky kontaktů lze obvykle užít hodnotu *(α_1=1)*. Hodnota mezního zaplnění s ohledem na vliv povrchových vrstev u příze je stanovena přibližně na (μ_m=0,8). Hodnota konstanty *M* pro bavlnářskou rotorovou přízi je *M* = 0,00027 mm a hodnota konstanty *K* = 0,78 mm (pro bavlnu dlouhovlákennou). Tyto hodnoty jsou ovlivněny použitou technologií i vlákenným materiálem. Více vysvětleno v literatuře [3,10,11].

Kromě stanovení průměru je také důležité sledovat kolísání průměru po délce příze. Toto kolísání hmoty v průměru se nazývá hmotná nestejnoměrnost a vyplívá z nerovnoměrnosti vlastností suroviny a úrovně technologického procesu. Hmotná nestejnoměrnost je důležitým kvalitativním znakem, který ovlivňuje i vzhled výsledného zboží a také nepřímo signalizuje jiné negativní vlastnosti přízí [12]. Je to mimořádně významná vlastnost a souvisí i s variabilitou některých dalších vlastností (např. pevnost). Je brána jako negativní vlastnost, která dále ovlivňuje další použití příze při dalším zpracování i v konečném textilním výrobku. V tkanině může vytvářet nežádoucí jevy jako například mrakovitost, „moaré“ efekt nebo pruhovitost. Cílem mnoha výzkumných pracovníku je objasnit příčiny vzniku hmotové nestejnoměrnosti a způsoby zajištění co nejnižší hmotné stejnoměrnosti u vlákenných mezi produktů a zejména výsledné příze.

1.9. Vybrané metody zjišťování průměru a zaplnění jednokomponentní příze

Průměr a zaplnění příze je možné hodnotit s využitím interní normy IN 22-103-01/01[11] prostřednictvím analýzy příčných řezů přízí a nebo užitím přístroje Uster Tester 4.

1.9.1. Metoda zjištění průměru a zaplnění podle interní normy

Metodika dle interní normy je založena na zpracování příčných řezů příze. Přízi je výhodné zkoumat pomocí obrazové analýzy radiálních řezů, protože v příčném řezu je možné určit na základě znalostí vlastností použitého materiálu její efektivní zaplnění, radiální zaplnění a průměr.

Nejprve je třeba vytvořit mikroskopické preparáty příčných řezů přízí (např. zalít přízi do adheziva typu „disperzního lepidla“, poté do směsi vosku a parafínu a preparáty nařezat kvalitním nožem). V IN 46-108-01/01[10] se uvádí i další možné způsoby přípravy preparátů. Poté se preparáty pomocí mikroskopické techniky zvětší, zaostří a grafické soubory formátu *lim* (kontury vláken) se přenesou do počítače. (PC musí být vybaven vhodným softwarem

Lucia), který umožní zpracování grafických souborů. Řezy se vybírají subjektivně dle kvality a ostrosti. U každého vlákna v příčném řezu se sejme poloha jeho těžiště a uloží se do paměti počítače ve formě datového souboru formátu *i.txt*, kde $i=1, 2, 3,\ldots,m$, a m je počet příčných řezů příze ve výběru. Poloha těžiště j-tého vlákenného řezu je označena souřadnicemi (Xj,Yj) kde $j=1, 2, 3,\ldots,n$, a n je počet vláken v i-tém příčném řezu příze. Poloha osy příze je určena jako těžiště těžišť vlákenných řezů daného příčného řezu příze a popsána souřadnicemi (X0,Y0). I-tý příčný řez příze je poté rozdělen soustavou radiálních mezikruží poloměru r_k, $(k=1, 2,\ldots,p)$, se středem odpovídajícím ose příze a konstantním přírůstku šířky mezikruží.

Šířka mezikruží se volí podle potřeby, ale vždy musí platit:

$$h<d_e. \qquad (1.9.1.1.)$$

Aby bylo možné (v grafickém, resp. textovém formátu) vstupní data softwarově zpracovat, je třeba u zkoumaných přízí znát:

- jemnost vláken-ČSN 80 0203 [4], ČSN EN ISO 1973 (80 0269) [6], IN 21-108-10/01 [12] nebo ČSN 820 0238 [5] za použití přepočtu dle vztahu (1.9.1.2.):

$$t=\frac{t_m}{2{,}54}, \qquad (1.9.1.2.)$$

- měrnou hmotnost vláken,
- jemnost příze- ČSN EN ISO 2060 (80 0702) [2],
- zákrut příze- ČSN 80 0701 [7] nebo využitím vztahů pro výpočet jemnosti (1.8.1.) a výpočet Phrixova zákrutového koeficientu (1.8.5.) (pouze u metody Secant).

Metoda Secant

Textové soubory těžišť vláken *txt* jsou zpracovávány metodou Secant pomocí PC vybaveným programovacím jazykem umožňujícím zpracování těchto dat.

<u>Princip metody Secant:</u>

1) Určení osy příze v příčném řezu

2) Určení počtu vláken v příčném řezu příze

3) Rekonstrukce vlákenných ploch a jejich začlenění do soustavy radiálních mezikruží v příčném řezu příze

4) Korekce vlivu sklonu vlákna způsobeného zákrutem příze,

5) Výpočet radiálního zaplnění v řezu příze

6) Statistické zpracování souboru řezů

7) Korekce zaplnění dle sklonu vláken způsobených migračními jevy

8) Určení efektivního průměru a efektivního zaplnění příze

Vzdálenost j-tého těžiště vlákna od osy příze se určí podle vztahu:

$$r_j = \sqrt{(x_j - x_0)^2 + (y_j - y_0)^2}. \qquad j = 1, 2, \ldots, n, \qquad (1.9.1.3.)$$

Kolem těžišť vlákenných řezů rekonstruují plochy příčných řezů vláken. Nejprve se uvažují ideální vlákna s kruhovým průřezem uložená rovnoběžně s osou příze. Jejich ekvivalentní průměr se určí dle vztahu (1.6.3.).

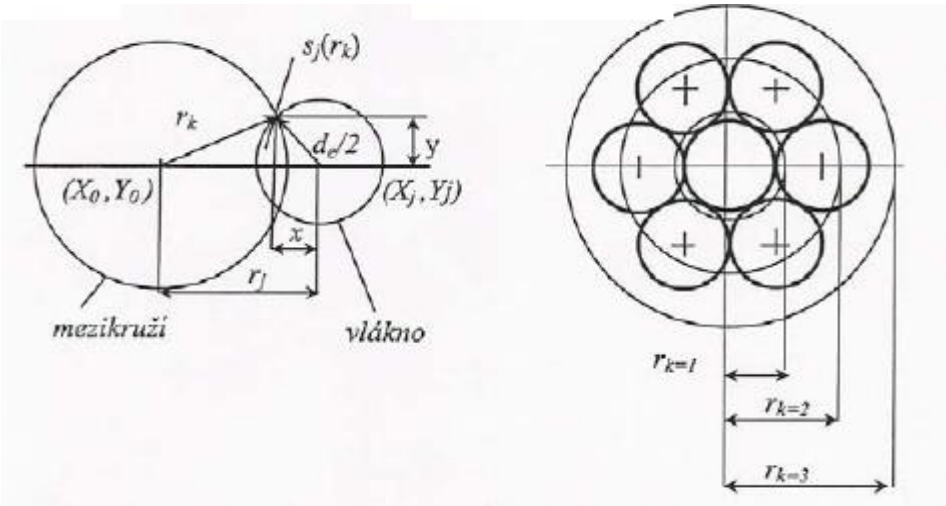
Plocha značená podle obr. 1.9.1.1. $s_j(r_k)$, kterou vytíná v řezu j-tým vláknem kruhová hranice mezikruží na poloměru se určí podle vztahu:

$$s_j(r_k) = \left(\frac{d_e}{2}\right)^2 \arccos\frac{x_j^2 + r_k^2 - \left(\frac{d_e}{2}\right)^2}{2 r_k r_j}. \qquad (1.9.1.4.)$$

Hodnoty za x a y se vypočítají podle:

$$x = \frac{\left(\frac{d_e}{2}\right)^2 - r_k^2 + r_j^2}{2 r_j}. \qquad (1.9.1.5.) \qquad y = \sqrt{\left(\frac{d_e}{2}\right)^2 - x^2}. \qquad (1.9.1.6.)$$

Při začleňování vlákenných ploch do mezikruží je třeba postupně odečítat plochy $s_j(r_k)$ od plochy kruhu $\pi d_e^2 / 4$.



Obr. 1.9.1.1. Obr.1.8.1.2.

Obr. 1.9.1.1. – začlenění ploch do mezikruží – výpočet plochy vlákna v mezikruží [22].

Obr. 1.9.1.2. – začlenění ploch do mezikruží – soustava mezikruží na modelové válcové struktuře [22].

Efektivní průměr příze D_{ef} odpovídá hodnotě radiálního zaplnění 0,15 IN 22-103-01/01[11].

Efektivní zaplnění příze μ_{ef} je dáno vztahem(1.8.12.).

Kolem osy příze, která je těžištěm vlákenných řezů se zavede systém radiálních mezikruží (používá se konstantní přírůstek poloměru). V mezikružích se hodnotí zaplnění jako podíl plochy vláken ku ploše mezikruží. Zaplnění v závislosti na obecném poloměru se nazývá radiální zaplnění a poloměr příze se smluvně odečítá jako vzdálenost od osy příze, která odpovídá hodnotě radiálního zaplnění 0,15. Variační koeficient průměru v tomto případě činí 11-25%. Hodnotí se také celkové zaplnění pro danou přízi, jako plocha vláken v kruhu, který je průměrem příze, ku ploše tohoto kruhu.

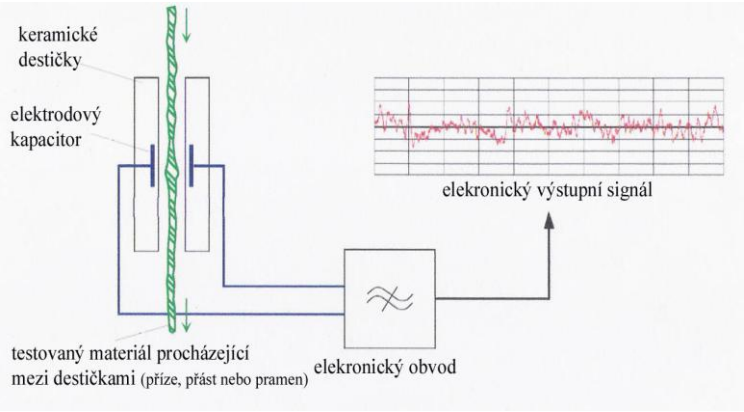
Lze nalézt charakteristické průběhy průměrného zaplnění v závislosti na vzdálenosti od osy příze a současně na jemnosti, zákrutu a technologii výroby příze.

Podle IN 22-103-01/01[11] se dá pro zjištění průměru a zaplnění použít i metoda přímá.

1.9.2. Zjišťování průměru, zaplnění a hmotné nestejnoměrnosti na Uster tester4

Testovacích systém Uster tester 4, sloužící ke zjišťování hmotné nestejnoměrnosti poloproduktů a přízí (i při různých střižních délkách) ke zjišťování "IPI" vad, tzn. tlustých a tenkých míst a nopků s možností nastavení různé citlivosti a dále je schopen měřit chlupatost.

To vše ve velmi velké rychlosti pohybující se v rozmezí 400-800 mmin^{-1}[23]. Nejznámější a v současnosti nejčastěji využívanou metodou je metoda pracující na principu změny kapacity kondenzátoru. Zjištěním přesné hodnoty umožňuje za pomocí kvalitativních znaků, rychle určit způsobený defekt příze. Kombinací několika optických senzorů (*OH, OM, OI*) je přístroj plně efektivní a účinný měřící přístroj monitorující kvalitu. Přístroj také umí odhalit chyby vzniklé na stroji jehož produkt se testuje. Jedná se o tzv.*KBS* (Knowledge Based Systém) = strojové vady.



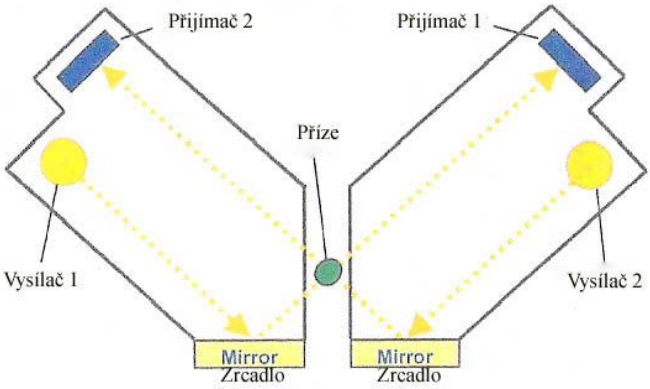
Obr. 1.9.2.1. Obr. 1.9.2.2.

Obr. 1.9.2.1. – technologický senzor na Uster Teste 5 [23].

Obr. 1.9.2.2. – schematický princip měření na přístroji UT4 [23].

Závady u přádelnických strojů, které se projevují ve zvýšené nestejnoměrnosti přádelnických produktu jsou v podstatě dvojího druhu [12]. Závady mechanického charakteru (např. poškození ozubeného kola) označené jako charakteristická spektra periodicky se opakující a závady vzniklé následkem nesprávné kontroly vláken v průtahovém poli, které se projeví jako kupovité spektrum ve spektrogramu. Spektrogram je amplitudový záznam jednotlivých harmonických složek kolísání hmoty v přádelnickém produktu v závislosti na dekadickém logaritmu vlnové délky periodické nestejnoměrnosti.

Pomocí senzorů se zjišťuje hmotná nestejnoměrnost, tenká, tlustá místa a nopky, chlupatost, směrodatná odchylka chlupatosti, odchylku průměru, nestejnoměrnost jemnosti, tvar příčného řezu a hustotu testované příze [23].



Obr. 1.9.2.3. – příze procházející ve středu optického víceúčelového *OM* senzoru [23].

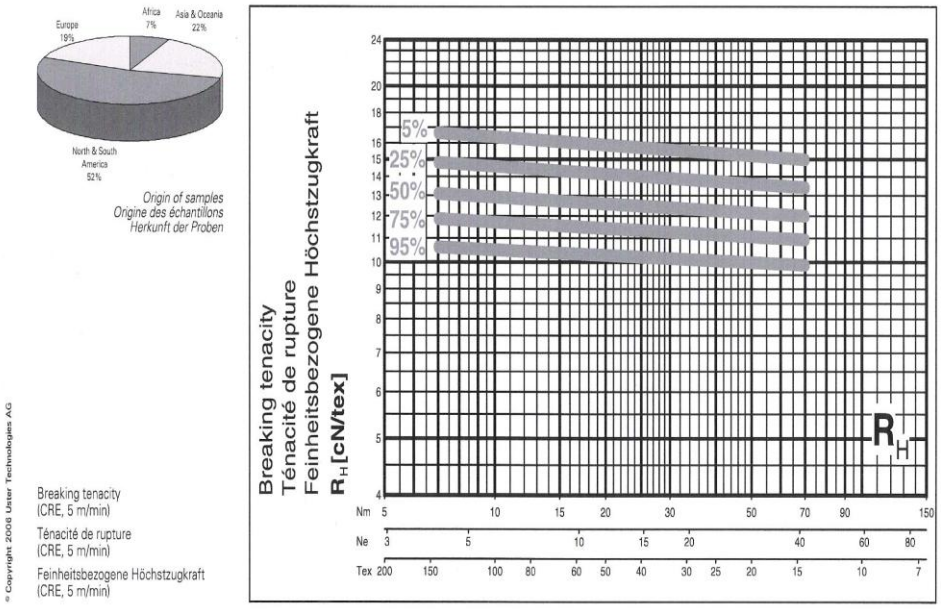
OM senzor je jedním z několika senzorů na přístroji Uster, který na základě dvojrozměrného (*2D)* optického měření stanovuje průměr příze bez ohledu na rychlost měření a chlupatost příze. Mimo jiné *OM* senzor není citlivý ani na barvu a jas testované příze. Obrázek senzoru je na obr. 1.9.2.3. Čidlo měří průměr ze dvou poloh tj.vzájemným překřížením optických vysílačů, zrcadel a přijímačů. Měření příze je založeno na kombinované digitálně analogové technologii, která obsahuje vysoce rozlišující snímací kameru a integrovaný analogový senzor, přičemž obě technologie pracují zároveň. Infračervený vysílač *OM* senzoru poskytuje téměř paralelní světelný paprsek. Ostrý obraz příze na každém optickém přijímači je vytvořen integrovanou optikou. Signál řídící proces vyhodnocuje přesný průměr příze v každém intervalu snímaní (0.3mm). Překřížené uspořádání senzorů v nulovém a devadesáti stupňovém úhlu poskytuje informace průběžně. Výstupní data *OM* modulu se dále zpracovávají počítačem Uster Tester 4.

Další vlastností *OM* senzoru je také to, že dokáže měřit i obsah elektricky vodivých materiálů jako je ocel, karbonová vlákna atd. Na přístroji je také nezávislé čištění a kontrola mechanizmů, které chrání přístroj proti zanesení..

Nepřímo lze dopočítat také zaplnění. Na základě zadané jemnosti a zjištěného průměru, Uster Tester 4 dopočítá měrnou hmotnost příze (Density). Zaplnění pak lze dopočítat přepočtem z (1.8.1.).

Společně s Uster Statistics je mezinárodně uznávaným testem na kvalitu. Firma shromažďuje údaje ze svých přístrojů a na jejich základě vydává statistiky, které jednou za 2-3 roky obnovuje a doplňuje o diagramy, vztahující se k novým technologiím. Tyto statistiky poskytují přehled o vlastnostech přízí ve světové produkci tudíž i možnost porovnání zjištěných hodnot podle určitých norem – standardů. Každý výrobce se může snadno dovědět, zda vyrábí příze se špatnou, průměrnou nebo velmi dobrou stejnoměrností. Jedná se

v podstatě o roztřídění nestejnoměrnosti do více tříd. Jednotlivé třídy jsou vymezeny mírami, které uvádějí kumulativní četnost v [%] výskytu přízí s nestejnoměrností nejvýše rovné hodnotě z diagramu. Diagram obsahuje linie: 5%, 25%, 50%, 75% a 95% viz obrázek 1.9.2.4.



Obr. 1.9.2.4. – graf Uster Statistics 2007 – poměrné pevnosti 100% bavlněné rotorové příze zpracovaná podle dat z Uster Tensorapid [23].

Křivka 50% odpovídá statistické regresní křivce všech naměřených hodnot a představuje jejich střední hodnotu. Diagramy standardních hodnot vlastně umožňují třídění nestejnoměrností dané příze v poměru k většině na trhu se vyskytujících přízí stejného typu a jemnosti. Jsou zpracovávány pouze pro příze. Pro prameny a přásty je nutno používat hodnoty uspořádané tabelárně (Uster Statistics). Dle statistiky Uster je variační koeficient průměru bavlnářských přízí 10-20%.

1.10. Mechanické vlastnosti délkových textilií

Mechanické vlastnosti se projevují jako odezva na mechanické namáhání textilie prostřednictvím vnějších sil. Podle působení vnějších sil lze hovořit o namáhání jednoosé (tah a tlak) a víceosé (ohyb a krut). Tyto druhy namáhání se většinou vyskytují v kombinaci. Laboratorně se tato namáhání zkoumají odděleně od sebe, přičemž normovány jsou pouze zkoušky pevnosti v tahu. Během mechanického namáhání dochází v textilii ke změně tvaru – k deformaci, která je závislá na velikosti zatížení, rychlosti namáhání a době trvání. Podle rychlosti, s níž vnější síla působí, můžeme namáhání posuzovat jako statické, kde síla působí

pomalu, dynamické, kde síla působí rychle, jednorázové (do přetrhu) a cyklické (bez přetrhu nebo porušení). Dalšími vlivy jsou strukturální vlivy příze, zejména sklon vláken, vliv navlnění vláken, vliv prokluzu a migrace. Mechanické vlastnosti jsou popisovány tzv. ultimativními charakteristikami, které lze vyjádřit též jako mezní či okrajové:

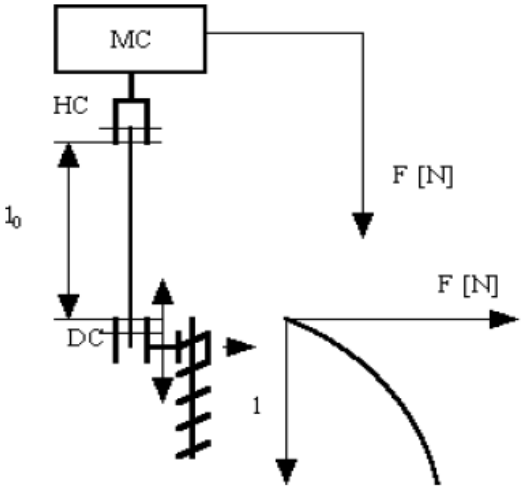
- pevnost (síla do přetrhu)
- napětí do přetrhu
- protažení do přetrhu
- tažnost (deformace do přetrhu)
- relativní pevnost
- tržná délka – délka, při níž by se textilie zavěšená na jednom konci přetrhla vlastní tíhou.

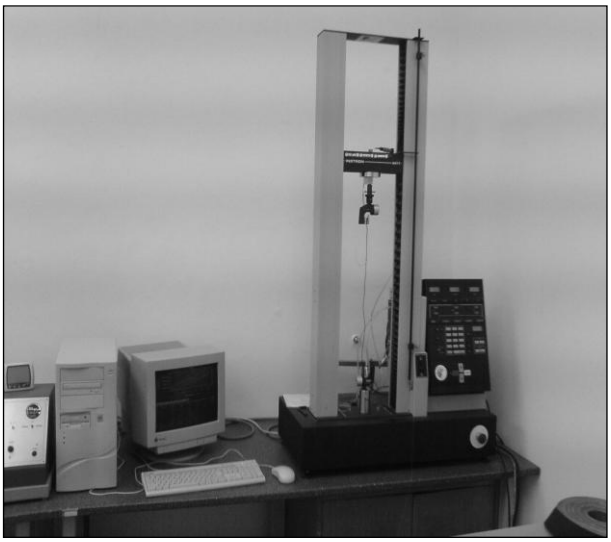
Měření pevnosti svazku bavlněných vláken se provádí např. pomocí Pressley testu, na HVI linkách nebo na Stelometru. Měření může probíhat i na jednotlivých vláknech a to např. na Vibrodynu, Matisu a na běžných dynamometrech s čelistmi upravenými pro vlákna. V literatuře [3] jsou uvedeny základní regresní vztahy, které je možné použít pro přepočet pevnostních charakteristik zjištěných pomocí některých přístrojů.

V současné době jsou konstruovány trhací stroje pro vlákna tak, aby mohla být rychle získána informace o pevnosti a jemnosti a pevnost je pak automaticky přepočítána na poměrnou pevnost. Příkladem tohoto způsobu práce je soustava strojů Vibroskop a Vibrodyn (firma Lenzing Instruments) nebo podobné soustrojí firmy Textechno. Pro měření jemnosti na Vibroskopu se vlákna se urovnají na sametové podložce a podle předpokládané jemnosti se zvolí předpětí. Vlákno se zavěšeným předpětím se vloží do čelisti Vibroskopu a změří se jemnost. Měření probíhá dle principu vlastních kmitů pružné struny s kruhovitým průřezem na vláknech konstantní délky vystavených vibracím při rezonanční frekvenci. Metodika proto není příliš vhodná pro testování jemnosti bavlněných vláken, protože jejich průřez se po délce mění, vlákna obsahují lumen a jsou vlivem konvoluce stočena do stužky. Norma ČSN EN ISO 1973 (80 0269) [6], doporučuje použít tuto metodiku pro stanovení jemnosti bavlněných vláken pouze v případě, že rozdíl mezi hodnotami zjištěnými gravimetricky a pomocí Vibroskopu jsou v povoleném tolerančním rozmezí ± 3%. Hodnota délkové hmotnosti se pak odečítá ze stupnice přístroje.

Po vyjmutí z Vibroskopu se vlákno vloží mezi čelisti Vibrodynu s předpětím (1,0±0,1%) a po zavření čelistí přístroj pracuje na principu konstantního přírůstku deformace do přetrhu vzorku. Upínací délka je 10 mm. Měření probíhá dle ČSN EN ISO 5079 (80 0200) [8]. Na monitoru řídicího počítače se vykreslí křivka pevnosti a tažnosti. Po provedení předepsaného počtu měření se může vytisknout protokol o zkoušce, kde jsou výsledky měření přepočítané na poměrnou pevnost. Data výsledků lze získat ve formátu ASCII a pracovat s nimi dále při modelování závislostí, atd. Pevnost příze se provádí na dynamometrech.

Při namáhání v tahu nazýváme odezvu materiálu pevností v tahu. Zkouška se provádí na dynamometru. Schéma a uspořádání takového přístroje je na obr. 1.10.1. [15]. Kde je vzorek upnut do horní čelisti HC a spodní čelisti DC. Dolní čelist je spojena s pohybovým šroubem, který ji svým otáčením stahuje dolů (napíná vzorek) nebo zdvíhá (uvolňuje vzorek). Napětí, resp. síla, která je natahováním ve vzorku vyvíjena, je měřena měřícím členem MC. Natažení a jemu odpovídající síla je vykreslována do grafu závislosti pevnost – tažnost, který je též nazýván tahovou nebo též pracovní křivkou. To proto, že je obrazem práce, která se musela vynaložit na napětí ve vzorku.





Obr.1.10.1. Obr.1.10.2.

Obr. 1.10.1. – schéma a uspořádání dynamometru (s konstantním přírůstkem deformace) [15].

Obr. 1.10.2. – dynamometr Instoron 4411.

U většiny těchto přístrojů je rychlost zatěžování taková, aby k přetrhu došlo za stanovenou dobu. Užívají se takové, které pracují na principu, kdy dochází ke konstantnímu přírůstku síly nebo ke konstantnímu přírůstku deformace.

Přístroje s konstantním přírůstkem síly pracují na principu, který lze popsat rovnicí:

$$\frac{dF}{dt} = kons \qquad (1.10.1.)$$

Toho se dá v praxi dosáhnout např. pákovým mechanismem.

Přístroje s konstantním přírůstkem deformace vyvozují napětí ve vzorku posuvem spodní čelisti, která se pohybuje s konstantní rychlostí:

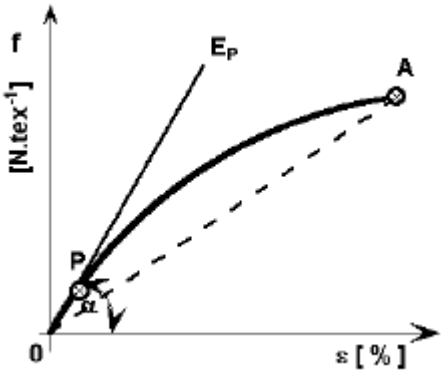
$$\frac{d\varepsilon}{dt} = kons \qquad (1.10.2.)$$

Tento princip je v současné době uplatňován u všech moderních dynamometrů. Důvodem je konstrukce měřicích členů síly a deformace, které mohou pracovat na kapacitním nebo indukčním principu, možnost převodu elektrického analogového signálu na číslicový (digitální) a tím spojení přístroje s výpočetní technikou. Počítač tak slouží jednak jako řídicí člen, jednak jako poloautomatický nebo zcela automatizovaný člen vyhodnocovací. Uživatel tak zadává vstupní údaje a počítač po provedených zkouškách vytiskne protokol s naměřenými daty a statistickými výpočty. Vstupními daty je upínací délka, rychlost zatěžování, jemnost pro výpočet poměrné jemnosti a údaj o ukončení zkoušky případě když poklesne síla ve vzorku o zadané procento nebo protažení vzorku.

Na principu konstantního přírůstku síly pracují např. dnes již historické přístroje Schopper, které využívají kyvadla. Příkladem dynamometru, který pracuje jednorázově, staticky na principu konstantního přírůstku deformace je např. Instron 4411 a Multimat. Přístrojem typu kdy dochází k jednorázovému, dynamickému namáhání na principu konstantní přírůstku deformace je Tessorapid.

Postup práce na dynamometru typu Instron, spočívá v nastavení stroje pro měření příze (vlákna) a ručním upínáním jednotlivých délkových textilií přímo do čelistí dynamometru. Čelisti mohou být mechanické nebo pneumatické a slouží k upevnění vzorku. Ovládání je zajištěno nohovým ovladačem dvojitým pokynem, přičemž první pokyn uzavírá horní a druhý uzavírá spodní čelist. Přístroj je vybaven počítačem, do kterého se na pevný disk zaznamenávají naměřené hodnoty a také zařízení pro grafický záznam zkoušky. Hodnoty

se zaznamenávají do souborů s příponami .rep, .asc a .mrd. Soubor s příponou .mad se vytvářejí po ukončení měření.



Obr. 1.10.3. – tahová křivka [15].

Napětí je pojem, který vyjadřuje absolutní sílu přepočítanou buď na plochu průřezu textilie nebo na její jemnost. Poměr mezi silou do přetrhu a jemností příze můžeme nazývat poměrnou pevností u vláken i přízí (f na obr.1.10.3.). Napětí, resp. poměrná pevnost do přetrhu vzorku je nazýváno pevností v tahu

$$P_v = \frac{F}{t}. \qquad (1.10.3.)$$

$$P_{pr} = \frac{F}{T}. \qquad (1.10.4.)$$

Při natahování vzorku dochází k jeho prodloužení, čili deformování. Absolutní deformaci vyjadřujeme v absolutních jednotkách. Pokud chceme, aby deformace různých materiálů mohla být srovnávána, je jí nutno přepočítat na relativní jednotky, nejčastěji na procenta, pokud ne bude vyjádřená jako bezrozměrné číslo. Pro přepočet deformace se používá vztah:

$$\Delta l = l - l_0. \qquad (1.10.5.)$$

Počáteční délka vzorku je tzv. upínací délka. Ta je významným faktorem, který ovlivňuje pevnost příze. Běžně se vychází z experimentálně ověřené hypotézy, že s růstem upínací délky roste pravděpodobnost výskytu extrémně málo pevného místa (tvarový efekt), tudíž zjištěná průměrná pevnost u zkoumaných vzorků klesá. Přičemž rozmístění slabých

(nepevných) míst je náhodné. Různé přístroje, ačkoli jsou cejchované, poskytují různé výsledky, protože pracují na různém principu a za jiných podmínek měření. Přístroj Pressley měří pevnost vláken při nulové upínací délce a délce 3,2 mm (tj.1/8 inch). Přístroje HVI a Stelometer měří pevnost vláken při upínací délce 3,2 mm, Vibrodyn při upínací délce vzorků vláken cca 5-20 mm. U přízí a nití je upínací délka většinou stanovena na *500 mm* dle normy ČSN EN ISO 2062 (80 0703) [3]. Vliv upínací délky je více popsán v práci [30].

Rychlost zatěžování má rovněž na výsledky měření pevnosti v tahu a tažnosti zásadní vliv. Čím rychleji budeme textilii zatěžovat, tím méně času bude mít na přeskupení vnitřních sil v materiálu. S rostoucí rychlostí zatěžování roste úroveň pevnosti a klesá tažnost [30].

Relativní deformace neboli tažnost vzorku lze vyjádřit jako:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \cdot 10^2 . \qquad (1.10.6.)$$

Deformaci popisujeme jako vratnou – elastickou a nevratnou – plastickou. Přičemž vratné deformace lze očekávat pouze v oblasti malých sil a deformací, kde průběh $F = f(\Delta l)$ je lineární.

Při zkoušení mechanických vlastností jde o zjištění meze pevnosti. Příze je v těchto zkouškách zatěžována až do destrukce – přetrhu vzorku. Výsledkem jsou ukazatele ultimativní síly, což je síla potřebná k přetržení; ultimativní deformace, která je protažením a to odpovídá síle v okamžiku přetrhu; ultimativní napětí (relativní síly) tj. síla potřebná k přetržení vzorku přepočtená na plochu průřezu nitě. Plocha je v tomto případě obtížně stanovitelná a proto se ultimativní síla přepočítává na jemnost, ultimativní práce – mezní práce do přetrhu což je tedy energie, kterou je třeba vynaložit aby došlo k přetrhu. Na závěr grafické znázornění průběhu závislostí síly na deformaci, tj. funkce $F = f(\Delta l)$.

U přízí se stejně jako u vláken používá místo pojmu Youngův modul pružnosti pojem počáteční modul. Bod *P* v obrázku 1.10.3., kde tečna v počátku opouští tahovou křivku pak definujeme jako mez pružnosti. Modul pružnosti lze definovat tangentovým modulem pružnosti.

$$E_p = \frac{f_{pr}}{\varepsilon_{pr}} . \qquad (1.10.7.)$$

Na tahové křivce se může definovat tzv. sekantový modul, což je spojnice dvou bodů na křivce. Pokud takto spojíme počátek a konec křivky dostáváme tzv. tuhost textilie:

$$H_{pr} = \frac{F(A)}{\varepsilon(A)}. \qquad (1.10.8.)$$

Plocha pod křivkou je definovaná jako deformační práce:

$$A = \int_0^1 F(l)\,dl, \qquad (1.10.9.)$$

kterou lze přepočítat na měrnou deformační práci:

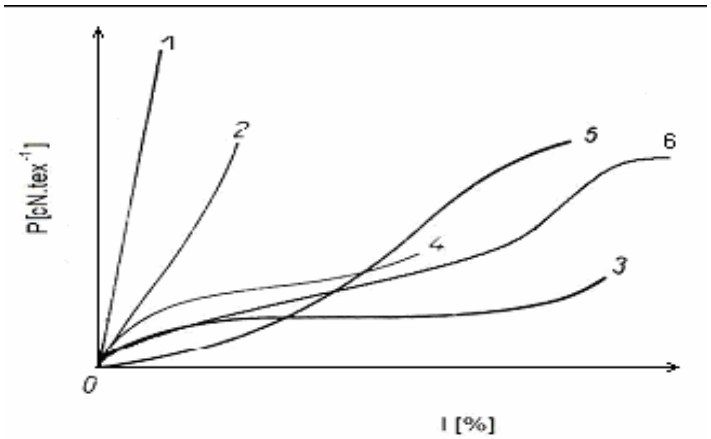
$$a_{dp} = \frac{A}{T}. \qquad (1.10.10.)$$

Tahová (pracovní) křivka textilií se odlišuje od tahových křivek kovů tím, že v počátku nevzrůstá síla resp. napětí lineárně s deformací. Projevuje se zde zakřivení způsobené tím, že se uvnitř textilie vyrovnávají vnitřní síly. Abychom mohli přesně stanovit deformaci nitě, která je závislá na změně délky a abychom mohli také přesněji odečítat počáteční tangentový modul, vkládáme před měřením pevnosti na textilii předběžnou sílu, kterou nazýváme předpětí. Přístroj nejprve materiál zatíží na určenou hodnotu a teprve pak začne měřit. Předpětí je stanoveno normou ČSN EN ISO 2062 (80 0703) [3].

Pevnost příze je určena jednak délkou, jemností a pevností samotného vlákenného materiálu a jednak strukturálními faktory – zejména zákrutem, tažností ale i stupněm napřímení vláken, migrací vláken a dalšími vlivy.

Za sucha má bavlna tažnost 6-10%, za mokra 100-110% tažnosti suché. Mercerací se pevnot zvyšuje >7 $cNtex^{-1}$. Elastické zotavení při 2%ním protažení je 74% a při 5%ním protažení je 45%. Pevnost u bavlny za sucha je 2-5 $cNtex^{-1}$, za mokra 100-120% pevnosti za sucha. Pracovní křivka je přibližně lineární.

Na obrázku 1.10.4. jsou tahové (pracovní) křivky některých typů vláken.

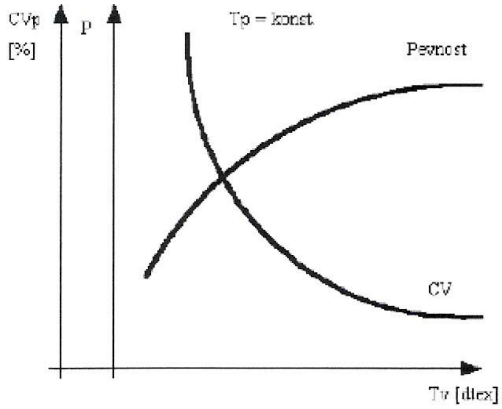


Obr. 1.10.4. – pracovní křivky některých vláken (1 len, 2 bavlna, 3 vlna, 4 viskózové hedvábí, 5 polyamid a 6 polyester) [27].

Model pevnosti příze v závislosti na jemnosti vláken při konstantní jemnosti příze je na obr. 1.10.5. Je zřejmé, že při konstantní jemnosti příze je u jemnějších vláken více mezivlákenných kontaktů a tím také větší množství vláken v průřezu příze. Tím se zvyšuje pevnost vláken. Autoři Švehla a Kašparová (SVÚT Liberec, 1980) našli pro průběh křivek tyto modely:

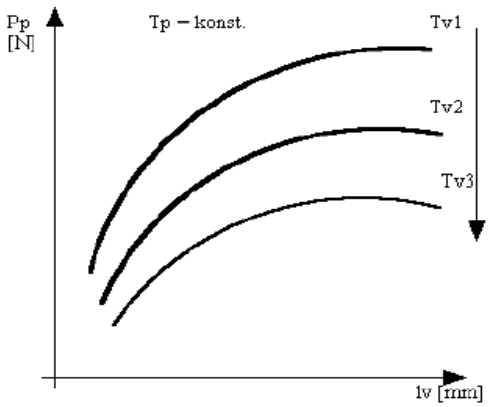
$$P_{pr} = A_1 - B_1\sqrt{t}. \qquad (1.10.11.)$$

$$CV_{pr} = A_2 + B_2\sqrt{t}. \qquad (1.10.12.)$$



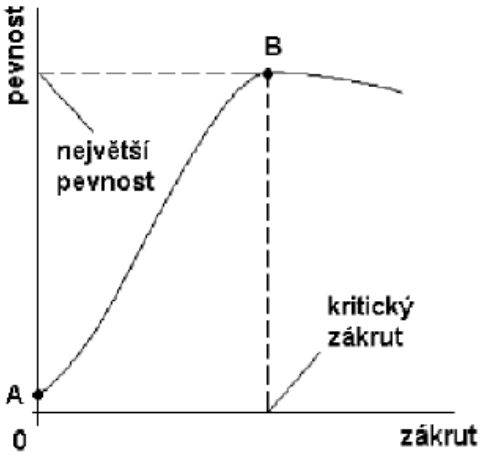
Obr.1.10.5. – model pevnosti příze [16].

Na obr. 1.10.6. ke model pevnosti příze v závislosti na délce vláken při konstantní jemnosti příze. Je patrné, že při neměnné jemnosti příze je větší pevnost příze při použití delších vláken. To platí jen do určité tzv. kritické délky vláken, kterou lze vypočítat podle vzorce (1.6.1.). Po překroční této hranice pevnost nadále klesá.



Obr. 1.10.6. – vliv délky vláken na pevnost příze [16]

Pevnost příze také závisí na zákrutu a platí, že s přirůstajícím zákrutem se pevnost příze zvětšuje. Minimální hodnota pevnosti při nulovém zákrutu je výsledkem přirozené soudržnosti vlákenného materiálu (bod A obr.1.10.7.). Při nízkých hodnotách zákrutu mohou vlákna prokluzovat. Rostoucí zákrut způsobuje stlačení a lepší sevření vláken, což možnosti prokluzu omezuje. S rostoucími zákruty se pevnost příze zvětšuje. Bod B je maximem, což charakterizuje největší dosažitelnou pevnost příze. Odpovídající hodnota na ose *x* je kritickým zákrutem příze. U vyšších zákrutů než je kritický zákrut příze křivka nadále klesá [11].

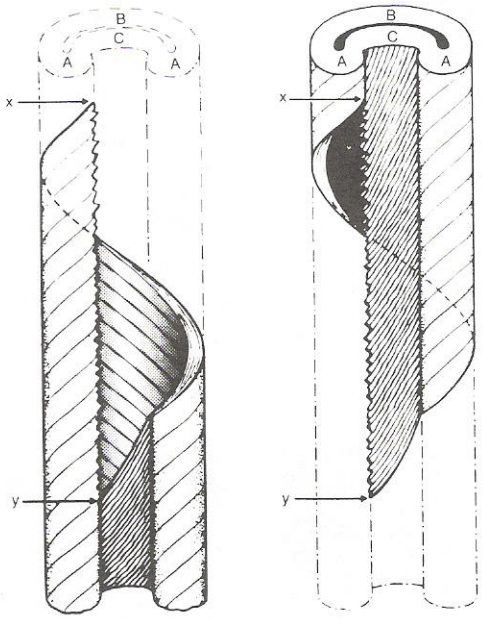


Obr. 1.10.7. – vztah mezi pevností a zákrutem příze [11].

1.11. Přetrh bavlněného vlákna

Podle [21] existuje několik druhů přetrhů bavlněných vláken, které závisí na prostředí, ve kterém se vlákna vyskytují a na chemické úpravě. Přetrh bavlny při 65% relativní vlhkosti je znázorněn na obr. 1.11.1. Zde dochází k přetrhu ve směru osy vlákna. Porušení vlákna začíná v bodě *x* a pokračuje podél úhlu stoupání šroubovice skrz zóny *A-B-A-C* do bodu *y* kde

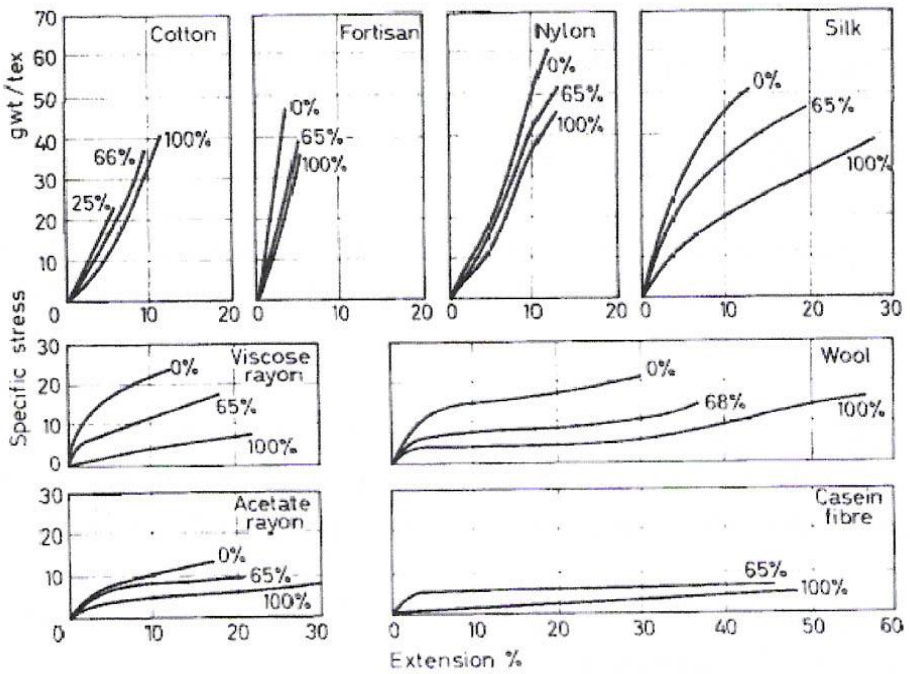
nastává přetrh. Po vysušení se vlákno zhroutí a má ledvinový tvar. Oblast *A* je málo přístupná s velkou hustotou fibril. Oblast *C* je nejméně organizovaná a nejvíce narušovaná. Vlákno se nejsnadněji naruší mezi oblastí *A* a *C*.



Obr.1.11.1. – přetrh bavlněného vlákna [21].

1.12. Faktory ovlivňující vlastnosti textilií– klimatické podmínky

Klimatické podmínky ovlivňují výsledky měření mechanických vlastností zásadním způsobem. Vlhkost ovlivňuje pevnost řádově o jednotky až desítky procent [15]. Ve vlákně způsobí porušení vodíkových můstků a následně relaxaci napětí (vysoká deformabilita, snadná deformatelnost) [5]. U přírodních vláken jsou ultimativní vlastnosti ovlivněny relativní vlhkostí, při které se měření provádí. To je patrné z obrázku (1.12.1.). Proto se měření provádí za definovaných klimatických podmínek dle ČSN EN ISO 2062 (80 703) [3] (teplota 20±2°C a vlhkost ovzduší 65±2%). Navlhavost bavlny ve standardních podmínkách (65%*RH*) je 7,5%. Navlhavost ve vlhké atmosféře (95%*RH*) je 24-27%. S růstem vlhkosti dochází u bavlny k růstu pevnosti (100-110%), také tažnosti vláken (3,6-12%) a jejich elektrické a tepelné vodivosti. Dochází ke snížení tření vláken.

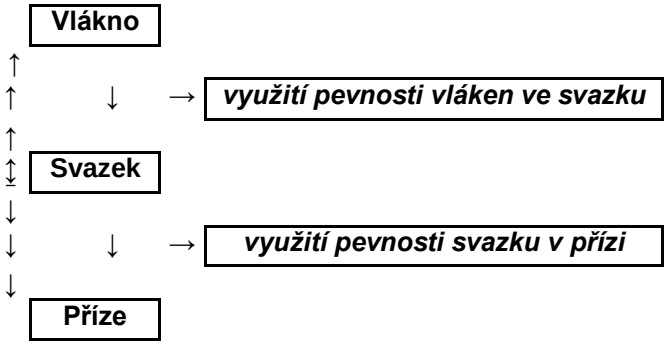


Obr. 1.12.1. - pracovní křivka při různé vlhkosti u různých vláken [27].

1.13. Metody modelování predikce pevnosti

V této kapitole budou nastíněny vybrané modely, které poslouží ke stanovení a porovnání pevnosti zkoumaných přízí.

Nejdříve však vysvětlení pojmu pevnost svazku zakroucených vláken. Schéma na obrázku 1.13.1. vyjadřuje, že největší pevnost má vlákno, menší pevnost vykazuje svazek vláken. Toto úzce souvisí s variačním koeficientem tažnosti vláken, kdy s růstem variačního koeficientu tažnosti vláken využití pevnosti vláken i tažnost svazku klesají [18] a variačním koeficientem pevnosti vláken [14]. Nejnižší pevnosti dosahuje příze (tření mezi vlákny, prokluzy vláken a sklon vláken). V důsledku tahového namáhání se sklon vláken k ose nitě mění a mění se také poloha vláken v přízi. Jednotlivé hodnoty využití pevnosti jsou menší než 1.



Obr. 1.13.1. – schéma vztahu vlákno-svazek-příze.

Pro stanovení pevnosti bavlněné příze existuje mnoho empiricko-teoretických vztahů. Ty vychází z teoretického popisu dějů, které probíhají při destrukci příze. Problematikou modelování pevnosti se věnovala celá řada autorů. Vztahy mohou sledovat využití pevnosti vláken v přízi, nebo využít svazku vláken v přízi [14].

Vztahy se dají rozdělit na teoretické vztahy zpracovávané například Solověvem, Neckářem, Panem, Žurkem, Frydrichem, Shustovem a regresní, které se dále dělí na lineární a nelineární. Mezi autory těchto vztahů patří např. Ripka (BD), Militký, Moghazhy atd. Pro regresní modelování pevnosti lze také použít vztahy podle Uster Statistic.

1.13.1. Teoretické vztahy

Pevnost predikovaná podle A.N.Solověva

Tato metoda je založena na součinovém vztahu poměrné pevnosti vláken (měřeného na vibroskopu) a čtyř dalších součinitelů. Vzorec pro využití pevnosti vláken v přízi je [11]:

$$\varphi_{vp} = f_n f_l f_\alpha n. \qquad (1.13.1.1.)$$

$$P_p = P_v \varphi_{vp}. \qquad (1.13.1.2.)$$

Součinitelé nabývající maximálně hodnoty 1 a zmenšují tak o příslušné vlivy poměrnou pevnost vláken. Tyto vztahy jsou doplněny empirickými koeficienty.

Vyjádření pro koeficient f_n :

$$f_n = 1 - C/W\sqrt{n}. \qquad (1.13.1.3.)$$

$$f_n = 1 - 3{,}75/W\sqrt{n}. \text{ (pro bavlněné příze)} \qquad (1.13.1.4.)$$

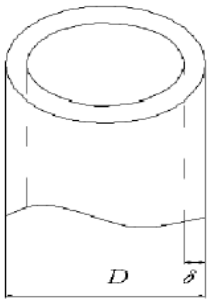
Konstanta W je 4,5 až 5 pro příze mykané. Počet vláken je aproximován poměrem délkové hmotnosti příze a délkové hmotnosti vlákna podle vzorce (1.8.2.). Toto platí pro svazek paralelních vláken. Ve skutečnosti v důsledku sklonu, vytínají vlákna v řezu příze větší plochy, a proto jich tam je méně než *T/t*.

Odvození koeficientu f_n:

$$f_n = 1 - k/\sqrt{\tau}. \qquad (1.13.1.5.)$$

Vztah (1.13.1.5.) byl odvozen na základě zjednodušující představy, že zaplnění příze je konstantní. Pevnost přenáší pouze jádro. V povrchové vrstvě vlákna dochází k prokluzu vláken, proto tato vrstva tahovou sílu nepřenáší [18].

Na obrázku 1.13.1.1. je znázorněn řez příze s průměrem D a tloušťkou povrchové vrstvy δ.



Obr. 1.13.1.1. – řez příze

Koeficient f_n vyjadřuje poměr plochy řezu příze o průměru S_{pr} (D na obr.1.13.1.1.) ku vnitřní ploše řezu příze bez povrchové stěny o tloušťce δ.

$$f_n = \frac{\frac{\pi(D-2\delta)^2}{4}}{\frac{\pi D^2}{4}} \approx \left(1 - \frac{2\delta}{D}\right)^2. \qquad (1.13.1.6.)$$

Jestliže velikost povrchové vrstvy δ je úměrná velikosti ekvivalentního průměru vlákna d_e, potom ze vztahu (1.8.10.) plyne:

$$\delta \approx c_\delta d_e \sqrt{4/\tau}. \qquad (1.13.1.7.)$$

Dále platí vztah (1.13.1.8.) pro výpočet průměru příze, kde je uplatněna Koechlinova teorie za předpokladů, že příze jsou vyrobené stejnou technologií, pro stejný účel použití, ze stejného materiálu, ale různě jemné [25], podle vzorce (1.7.10.).

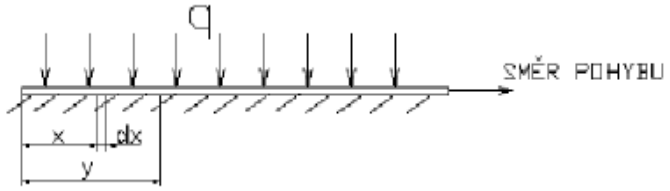
Výsledkem dosazení do vztahu (1.8.10.) a (1.13.1.7.) do (1.13.1.6.) je vztah:

$$f_n = 1 - \frac{c_\delta d_e \sqrt{4/\tau}}{D}. \qquad (1.13.1.8.)$$

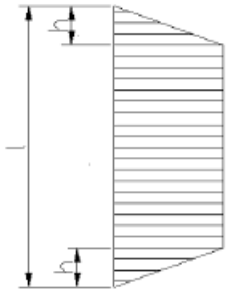
Odvození koeficientu f_l:

Toto odvození je provedeno na základě představy, že vlákno v přízi je zatíženo spojitým zatížením, které pochází od okolních vláken. Je definována třecí síla vyvozená třením konce vlákna délky l_v [18].

$$F_t = q l_v f \,. \qquad (1.13.1.9.)$$



Obr. 1.13.1.2.



Obr. 1.13.1.3.

Obr. 1.13.1.2. – spojité zatížení vlákna [18].

Obr. 1.13.1.3. – spojité zatížení vlákna s prokluzujícími konci [18].

Předpoklad teorie je takový, že v důsledku napínání staplové příze dochází k prokluzu konců vláken, a proto síla, kterou přenáší vlákno na koncích klesá. Délka konců je označena h_v a uvažovaná závislost je lineární obr. 1.13.1.3.

Koeficient vlivu délky vláken f_l je vyčíslen jako poměr pevnosti vlákna P_v a střední tahové síly F_v*, kterou přenáší napjaté vlákno.

$$f_l = \frac{F_v^*}{P_v} = \frac{\frac{P_v}{2}}{P_v} = \frac{\frac{q l_v}{2}}{P_v} = \frac{\frac{f l_v}{2}}{P_v} = \frac{l_v}{2 l_c} \qquad (1.13.1.10.)$$

Veličinu f_l lze vyjádřit dvěma vztahy z nichž jednodušší, pro výpočty pevnosti je výraz:

$$f_l = 1 - a_e / l_v. \qquad (1.13.1.11.)$$

$$f_l = 1 - 5 / l_v \text{(pro bavlněné příze).} \qquad (1.13.1.12.)$$

Nutno poukázat, že v rámci jednoho vlákenného materiálu (bavlny), technologie a různé délkové hmotnosti se tato veličina nemění, zůstává konstantní [11]. S růstem upínací délky roste pravděpodobnost výskytu extrémně málo pevného místa.

Pro vyjádření *fα* existuje výraz:

$$f_\alpha = \left[\left(\frac{\alpha}{\alpha_{kri}} \right)^2 - 1 \right] \qquad .(1.13.1.13.)$$

$$\delta_\alpha = \alpha - \alpha_{kri}. \qquad (1.13.1.14.)$$

$$\alpha = a\sqrt{10T^{1/6}}. \qquad (1.13.1.15.)$$

$$a = Z T^{2/3} / 10. \qquad (1.13.1.16.)$$

$$\alpha_k = a_k \sqrt{10T^{1/6}}. \qquad (1.13.1.17.)$$

$$a_k = 5T^{0,090} \text{.(pro mykané příze)[11]} \qquad (1.13.1.18.)$$

Solověv zkonstruoval empirickou tabulku z experimentálních údajů, která určuje f_a v závislosti na rozdílu užitého Koechlinova zákrutového koeficientu a kritického koeficientu. (Koechlinův kritický zákrutový koeficient je pro bavlněné příze cca 130-140 $m^{-1}ktex^{1/2}$). Z tabulky Solověva pak vytvořil později Neckář vztah (1.13.1.13.). Zákrutový koeficient závisí na jemnosti vláken, délce a pevnosti vláken, typu suroviny, použité technologii (prstencové, rotorové) a účelu použití (osnovní, pletařské příze).

Typ stroje užitého při výrobě zkoušené příze je ve zahrnuta součinitelem η_t. Podle literatury [11] pro veličinu η_t. platí rozmezí 0,95 až 1,1. Jeho hodnota je rovna jedné, takže tento součinitel také výpočet významně neovlivní.

Model podle Solověva lze doporučit v případě projektování přízí ze suroviny známých parametrů (jemnost, pevnost vláken, staplová délky, zákrutový koeficient) a vypředené technologií, pro kterou jsou známé koeficienty. Ty nejsou definované pro jiné materiály než je viskóza a právě bavlna, pro mykanou a česanou technologii. V dnešní době má tento model vzhledem k současným novým technologiím malé možnosti využití.

Pevnost predikovaná podle N. Pana

Používá se pro využití pevnosti svazku vláken v přízi φ_{sp}, který je násobkem regresně definovaného zaplnění označeného zde V_f (volume fraction) (1.13.1.21.) a faktoru orientace n_β (1.13.1.25.) na základě předpokladů:

- rozložení pevnosti vláken je popsáno dvou-parametrickým Weibullovým rozložením,

$$F(\sigma)=1-\exp\left(-\left(\frac{\sigma}{\sigma_0}\right)^{\beta}\right). \qquad (1.13.1.19.)$$

- úhly stoupání vlákenných šroubovic jsou rozloženy náhodně od nuly až k hodnotě povrchu příze, migrace vláken je zanedbána,
- úroveň zákrutu nezávisí na rozložení pevnosti příze,
- praskne-li vlákno zatížení se přenáší na zbylá vlákna,
- změny geometrie příze během zatížení jsou zanedbány, při přetrhu se uvažuje nárůst zaplnění směrem k meznímu stavu.

$$\phi_{sp}=V_f n_\beta. \qquad (1.13.1.20.)$$

Pro zaplnění V_f je navržen následující regresní vztah, který uvažuje mezní hodnotu zaplnění 0,7.

$$V_f=0{,}0196\,\eta^{2}. \qquad (1.13.1.21.)$$

Platí následující přepočet:

$$\eta=\sqrt{1-\cos^2\beta}. \qquad (1.13.1.22.)$$

Výpočet úhlu stoupání šroubovice povrchových vláken β:

$$\beta=\arctan\left(\frac{4\pi}{\sqrt{A}}\right). \qquad (1.13.1.23.)$$

Poissonův poměr příze η je v tomto případě závislý na úhlu β dle vztahu:

$$\eta_\beta = \frac{\sin^5\beta}{2\left(1+\cos^3\beta\left(\frac{1}{2\beta}-\frac{1}{4}\sin 2\beta\right)\right)}. \qquad (1.13.1.24.)$$

Faktor orientace η_β vychází ze vztahu (1.12.1.24.), je odvozen za předpokladu náhodného rozložení úhlů stoupání vlákenných šroubovic a odpovídá podílu středního poměrného prodloužení vlákna a poměrného prodloužení příze:

$$\eta_\beta = \frac{\varepsilon_{\beta m}(1+\nu_{\beta p})}{\varepsilon_\beta}. \qquad (1.13.1.25.)$$

Pak pevnost příze je:

$$P_p = V_f \eta_\beta P_s. \qquad (1.13.1.26.)$$

Výpočet dle N. Pana pro jednokomponentní příze je především funkcí zaplnění, protože faktor orientace η_β se velmi blíží hodnotě 1. Zaplnění jako výsledek stlačení vlákenných vrstev souvisí s počtem kontaktů na vláknech. Zaplnění v tomto případě nahrazuje vliv mezivlákenného tření [14].

Korigovaný vztah pro predikci pevnosti

Podle [3] použijeme vztah (1.13.1.20.) pro výpočet využití svazku vláken v přízi a nahradíme regresně vypočtené zaplnění dle vztahu (1.13.1.21.) vztahem (1.8.14.) nebo při neznámém zákrutu vztahem (1.8.13.). Pro nově korigované využití pevnosti svazku v přízi φ_{sp}^* platí:

$$\varphi_{sp}^* = \mu \eta_\beta^*. \qquad (1.13.1.27.)$$

Postup výpočtu dalších faktorů je ovlivněn korekcí. Tyto faktory budou pojmenovány korigovaný úhel stoupání šroubovice vláken β_D^*, korigovaný Poissonův poměr η^* a korigovaný faktor orientace η_β^* Platí následující vztahy:

$$\beta = \arctg\left(\frac{4\pi}{\rho\mu}\right) \qquad (1.13.1.28.)$$

$$\eta^* = \frac{\sin\beta}{\cos\beta\left(\frac{1}{2\beta} - \frac{1}{4}\sin 2\beta\right)} \qquad (1.13.1.29.)$$

$$\eta^* = \frac{2\beta - \sin 2\beta}{4\beta}. \qquad (1.13.1.30.)$$

Pro pevnost příze potom platí:

$$P_p = P_{sH}\eta^* l_z. \qquad (1.13.1.31.)$$

V práci [3] je prokázáno, že použití korigovaného vztahu pro výpočet pevnosti svazku vláken v příze reaguje citlivě na vliv technologie výroby a vede k nižší relativní chybě než je tomu u jiných modelů.

1.13.2. Regresní vztahy

Lineární regresní vztahy – pevnost příze predikovaná Uster Statistics

K hlavním nevýhodám tohoto druhu výpočtu je, že v algoritmu výpočtu hraje roli pouze druh vlákenné suroviny a technologie výroby příze. Jediným vstupním parametrem je jemnost příze bez ohledu na zákrut a parametry suroviny. Statistiky Uster jsou tedy připraveny vždy pro typickou surovinu česanou nebo mykanou s typickým zákrutem příze. Výhodou je zjištění střední hodnoty pevnosti o jmenovité jemnosti.

Jednotlivé třídy tvoří četnost výskytu přízí (v %) s maximální hodnotou pevnosti a tažnosti příze o známé hodnotě délkové hmotnosti. Diagramy těchto hodnot umožňují třídění pevnosti a tažnosti známé příze stejného typu a jemnosti pro většinu přízí, vyskytujících se na trhu.

Podle [23] vzorce pro 100% bavlnu rotorovou mykanou platí:

$$[illegible] \qquad (1.13.2.1.)$$

Lineární regresní vztah – predikce pevnosti podle Ripky

Pro poměrnou pevnost byl odvozen regresní model na bázi čtyř lineárních nezávislých proměnných a kvadrátu zjištěné jemnosti. Predikce pevnosti podle Ripky je definovaná pro rotorové příze. Pomocí následujícího postupu lze vypočítat poměrnou pevnost příze. Vstupní parametry pro výpočet pevnosti příze podle Ripky je experimentálně naměřená jemnost příze, koeficient zákrutu příze podle Phrixe, svazková pevnost naměřená na lince HVI a mikronérová hodnota jemnosti vláken zjištěná také z linky HVI.

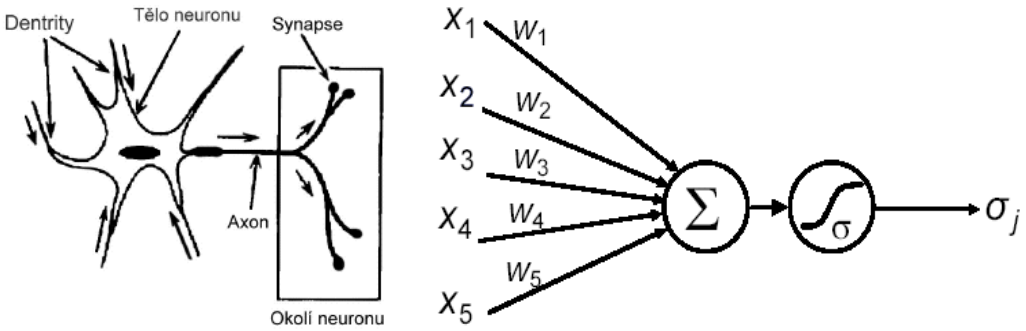
Pro poměrnou pevnost byl odvozen regresní model [3]:

$$[illegible] \qquad (1.13.2.2.)$$

Nelineární regresní vztahy - neuronové sítě

Neuronová síť (Artificial Neural Network, ANN, resp. NN) je výkonná metoda, která se používá k modelování vztahu mezi vícerozměrnou vstupní proměnnou *x* a vícerozměrnou výstupní proměnnou *y*. Inspirací pro neuronové sítě byla struktura mozkové tkáně vyšších živočichů, kde je neuron propojen tzv. synapsemi s několika jinými neurony. Vstupy se v případě přírody nazývají dendrity a jsou připojeny na výstupy (axony) jiných neuronů.

Umělou neuronovou síť lze obecně považovat za nelineární regresní model, který lze vyjádřit síťovou strukturou. Neuronové sítě řeší problémy a úkoly nejen v technologické praxi, ale také ve výzkumu, marketingových analýzách a podobně. Neuronové sítě jsou schopné vyřešit jednotlivé úlohy bez potřeby přesné matematické formulace nebo znalostí algoritmu. Aplikace neuronových sítí v technologii a řízení kvality jsou značně široké. Zahrnují řízené zlepšování kvality, plánování kvality, vyhodnocení vlivů na kvalitu, analýzy risku, předpovídání vývoje technologických parametrů a parametrů jakosti. NN nabízí modelování a optimalizaci responsích povrchů, data mining, predikční modelování například za účelem minimalizace rizik, identifikaci negativních vlivů a podobně [17].



Obr. 1.13.2.1. - schéma biologického neuronu a jeho umělé alternativy [17].

2. Experimentální část

V experimentální části je nejprve blíže specifikován experimentální materiál, následují informace o způsobu hodnocení vybraných parametrů vláken a přízí a poté jsou prezentovány získané výsledky.

2.1. Popis experimentálního materiálu

V rámci diplomové práce byly posuzovány mechanicko-fyzikální vlastnosti vybraných rotorových přízí vyrobených ve VÚB a.s. Ústí nad Orlicí. Jedná se o příze vypředené ze směsí 100% bavlněné suroviny. Vzájemným mísením různých typů bavln, které se lišily základními ukazateli (délka, svazková pevnost, zralost, index krátkých vláken, počet nečistot, reflektance a žlutost.) a cenou, bylo připraveno sedmnáct lotů bavlněných směsí. Jedná se tedy o soubor sedmnácti bavlněných rotorových přízí shodné jmenovité jemnosti 16,5 tex se shodnou jmenovitou hodnotou zákrutového koeficientu dle Phrixe, který činil 73 $m^{-1}ktex^{2/3}$. Příze byly vypředeny na rotorovém stroji firmy Rieter s označením BD D30 při otáčkách rotoru 100 tisíc za minutu.

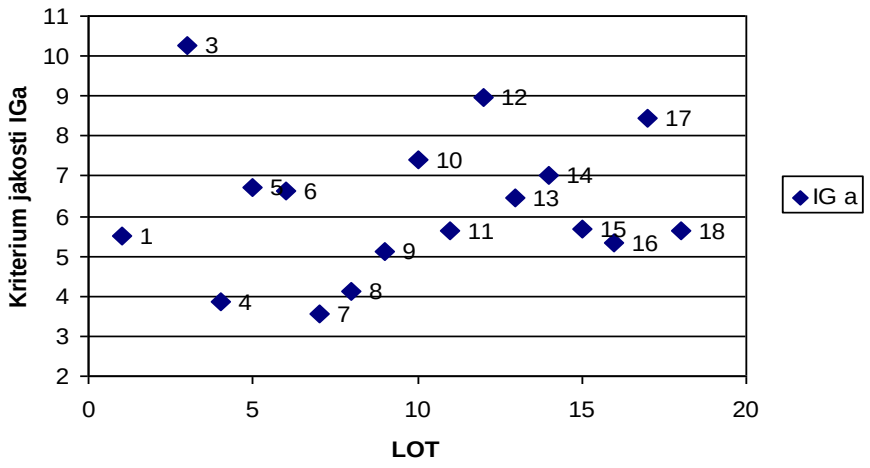
2.2. Zpracování naměřených hodnot

Bavlněná surovina byla testována prostřednictvím přístrojů *HVI* a *Afis* z hlediska délky vláken, indexu a obsahem krátkých vláken, jemnosti, zralosti, svazkové pevnosti a tažnosti, počtem nečistot, žlutosti a reflektance. Dále byla hodnocena jemnost a mechanicko-fyzikální vlastnosti bavlněných vláken prostřednictvím přístrojů Vibroskop a Vibrodyn. Výsledky jsou uvedeny v souhrnné tabulce 1 viz příloha 1.

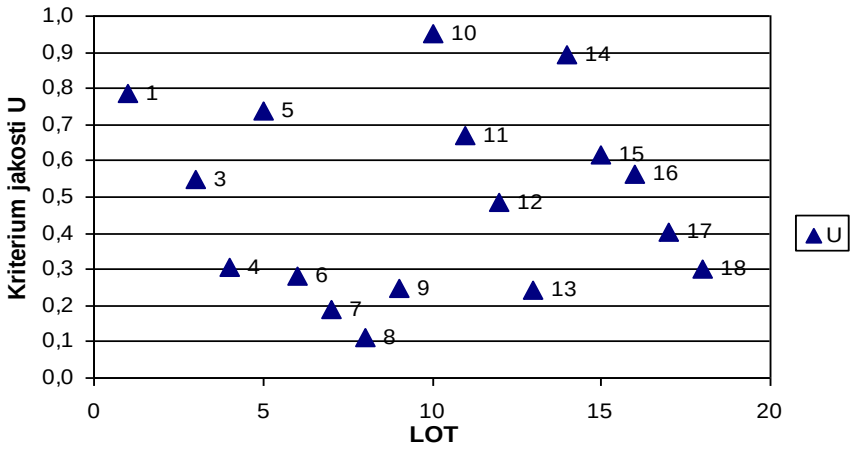
U sedmnácti experimentálních přízí byla zjišťována jemnost přízí pásmovou metodou, průměr, zaplnění, hmotná nestejnoměrnost, počet vad a chlupatost pomocí Uster Tester 4, mechanicko-fyzikální vlastnosti prostřednictvím tří typů přístrojů Multimat, Tensorapid a Instron. Vzhledem k velkému množství naměřených dat jsou výsledky z přístroje Uster Tester 4 umístěny v datové příloze 1. U tří vybraných přízí byl průměr a zaplnění hodnocen dle interní normy IN 22–103–01/01 [11]. Z důvodu časové náročnosti jednotlivých testů byla data hodnocení vlákenné suroviny a pevnostních charakteristik z měření na přístrojích Multimat a Tensorapid převzata. Tabulka výsledků je se svolením autorů uvedena v příloze 1 viz tabulka 2.

2.2.1. Stanovení kriteria jakosti

Princip výpočtu kriterií jakosti byl popsán v kap.1.7. a výsledky jsou uvedeny v tabulce 1 přílohy 2. Na obrázku 2.2.1.1.a 2.2.1.2. jsou vynesené jednotlivé loty a k nim vypočítané hodnoty kriterií. Z obou obrázků je patrné, že vlákenná surovina byla mísena ve velkém rozmezí , což vede k vysoké variabilitě přízí.



Obr. 2.2.1.1. – hodnoty jakosti kriterií *IGa* příslušných lotů.



Obr. 2.2.1.2. – hodnoty kriterií jakosti *U* příslušných lotů.

Vzorky přízí byly odebrány dle normy ČSN EN 12751 (80 0070) [9] a před vlastním měřením klimatizovány dle ČSN 80 0061 [1].

Jemnost přízí byla hodnocena pásmovou metodou dle ČSN EN ISO 2060 [2]. Zaplnění a průměr přízí byl zjišťován pomocí přístroje Uster Tester 4 a analýzou příčných řezů dle IN 46-108-01/01 [10].

2.2.2. Jemnost příze – Pásmová metoda

Princip metody je popsán v kap. 1.8. Každá ze sedmnácti přízí byla měřena a vážena dle normy ČSN EN ISO 2060 (80 0702) [2]. Výsledky měření parametru jemnosti (délkové hmotnosti) jsou uvedeny v tabulce 2 viz příloha 2. Pro výpočet byl použit vzorec (1.8.1.) a výsledné hodnoty jemnosti jsou označeny jemností experimentální.

2.2.3. Průměr a zaplnění příze - Uster Tester 4

Přístroj Uster Tester 4 a jeho funkce jsou popsány v kap.1.9.2. Měření probíhalo rychlostí 400 $mmin^{-1}$ po dobu ½ minuty. Každá ze sedmnácti přízí byla proměřena vždy 5x. Hodnoty využité pro experimentální zjištění průměru a zaplnění jsou označeny dle Uster testes 4 jako *2DØ* (mean value of twodimensional yarn diameter) pro střední hodnotu průměru a *D* (mean value of yarn density) střední hodnota hustoty příze. Výsledky testování sledovaných parametrů jsou souhrnně uvedeny v tab.1. viz příloha 3. Hodnoty průměru byly zjištěny přímo a pro výpočet zaplnění bylo použito vzorce (1.8.1.), kde hodnotě hustoty příze odpovídá hodnota *D*. K výpočtu je třeba znát měrnou hmotnost vláken, která je pro bavlněná vlána 1,52 gcm^{-3}. Grafické znázornění zjištěných hodnot průměru a zaplnění je uvedeno na obr.2.2.4.3. a obr.2.2.4.4. Průměr a zaplnění příze souvisí s jemností příze a typem vlákenné suroviny. Při shodné jmenovité jemnosti přízí a shodné úrovni zákrutového koeficientu by pouze výrazná změna hustoty vlákenného materiálu mohla zapříčinit zvýšení nebo snížení průměru příze a zaplnění příze. V tomto případě byly příze vyrobeny ze směsí různých typů bavlněných vláken a proto jsou odlišnosti mezi hodnotami průměru a zaplnění ve většině případů statisticky nevýznamné. Statisticky výrazné odlišnosti vykazovaly loty s označením 10 a 12, přičemž se nepodařilo objasnit důvod těchto odlišností, protože příze se od sebe nijak výrazně neodlišovaly žádnou ze zjištěných vlastností.

2.2.4. Průměr a zaplnění příze - Obrazová analýza

Pro radiální analýzu přízí byly vybrány pouze tři vzorky přízí, protože příprava příčných řezů a jejich zpracování je časově náročná. Ze souboru sedmnácti rotorových přízí byly vybrány příze s označením LOT 7, LOT 12 a LOT 14. Výběr byl proveden na základě předpokladu, že především délka vláken významně ovlivňuje pevnost přízí. Přičemž surovina s označením LOT 14 vykazuje nejvyšší hodnotu délky vláken horní půle staplu (*UHM*), LOT 12 se nejvíce

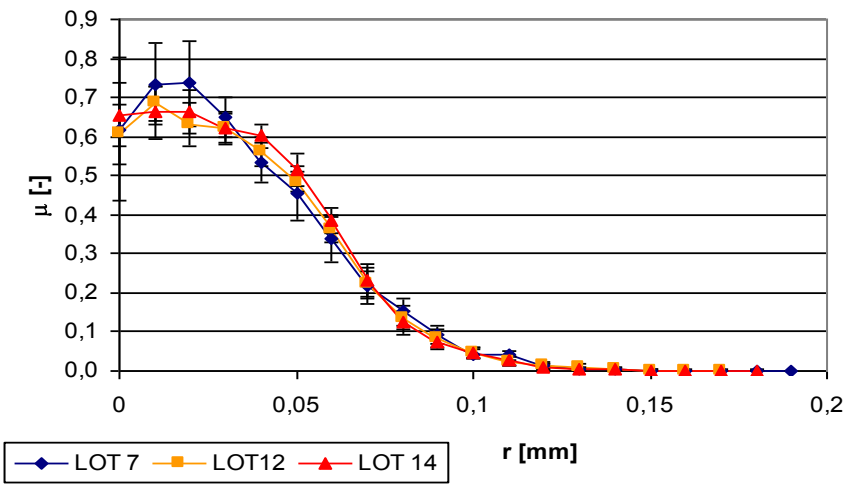
přibližuje průměrné hodnotě délky horní půle staplu a LOT 7 vykazuje nejnižší hodnotu této délky ze všech sedmnácti experimentálních LOTů, které byly k dispozici.

Vlastní příprava řezů probíhala dle interní normy IN 46–108–01/01 [10] a pro vyhodnocení průměru a zaplnění byla použita metoda Secant popsaná v kap. 1.9.1. dle IN 22–103–01/01 [11]. Výsledky metody jsou v tab. 5.-7. v příloze 4.

Obrazy příčných řezů přízí byly získány v systému obrazové analýzy Nis Elemnets. Celkem bylo zpracováno 20 řezů od každé příze. Ukázka příčného řezu je uvedena na obr.2.2.4.1.

Obr. 2.2.4.1. – ukázka příčného řezu bavlněnou rotorovou přízí (T_{jm}=16,5tex, a= 73ktex$^{2/3}$m^{-1}, kalibrace 3,45µmpxl^{-1}).

Výsledky hodnocení průměru a zaplnění jsou porovnány s výsledky získanými na přístroji Uster v tabulce 1-2 příloha 4. Závislost zaplnění na poloměru příze je uvedena na obr.2.2.4.2. Zaplnění v oblasti jádra se pohybuje v rozmezí 0,5 až 0,75 a poté s narůstajícím poloměrem klesá. Z výsledků je patrné, že rotorová příze vyrobená ze suroviny s označením LOT 7 vykazuje mírně vyšší hodnotu zaplnění v jádře příze a pokles trendu je výraznější oproti přízí ze suroviny LOT 12 a 14. Rozdíly mezi hodnotami jsou však velmi malé a je možné je považovat za statisticky nevýznamné.



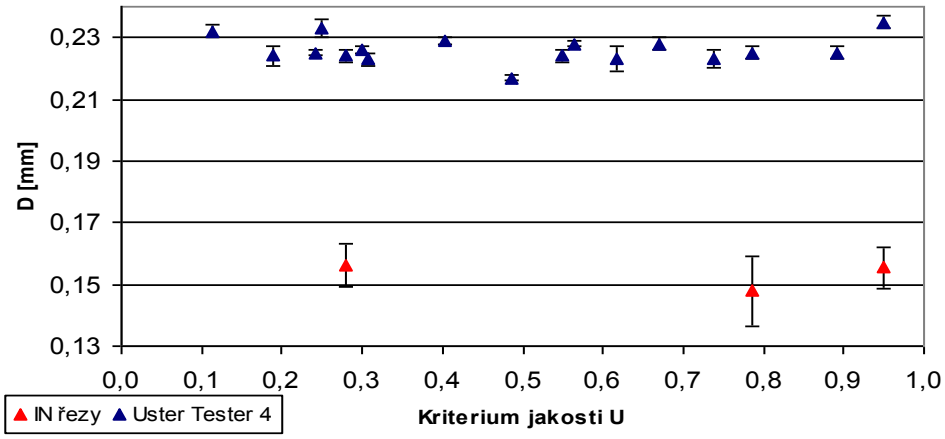
Obr.2.2.4.2. – graf zaplnění zjištěných podle interních norem vzhledem k poloměru příze.

Grafické porovnání zjištěných hodnot průměru příze a zaplnění dle interních norem a užitím Uster Tester 4 je uvedeno na obr.2.2.4.3. a obr.2.2.4.4. Je možné konstatovat, že průměr příze zjištěný analýzou příčných řezů přízí je výrazně nižší než hodnota zjištěná opticky prostřednictvím Uster Tester 4. Zaplnění zjištěné analýzou příčných řezů příze je vyšší než zaplnění příze vypočtené ze zadané jemnosti a změřeného průměru příze na přístroji Uster Tester 4. Důvodem je jiná konvence použitá pro stanovení průměru příze. Závislost zaplnění na poloměru příze je možné posuzovat pouze do průměru příze. Průběh křivky zaplnění v oblasti chlupatosti může být ovlivněn přípravou řezů. Konvence pro nalezení průměru příze je stanovena s ohledem na to, aby se v oblasti vymezené průměrem nacházelo 85% vláken. Metodika poskytuje cenné informace o uspořádání vláken v těle příze. Hodnota zaplnění zachycuje míru stěsnání, která souvisí s mírou uspořádání vláken v nosné části příze. Z tohoto důvodu je hodnota průměru a zaplnění zjištěná z příčných řezů vhodná pro predikci a modelování pevnosti příze, protože především jádro příze je nositelem mechanických vlastností příze. V případě Usteru je průměr stanoven užitím jiných pravidel a dochází k měření hustoty příze až k jejímu povrchu cca 0,23 mm od středu příze, kde se už nachází více vzduchu než vláken. Z tohoto důvodu jsou hodnoty výsledného dopočítaného zaplnění nižší než zjištěné hodnoty zaplnění z metody příčných řezů. Výsledek průměru a zaplnění příze zjištěný pomocí Uster Tester 4 bere v úvahu krycí schopnost příze a je vhodný např. pro modelování zakrytí tkaniny.

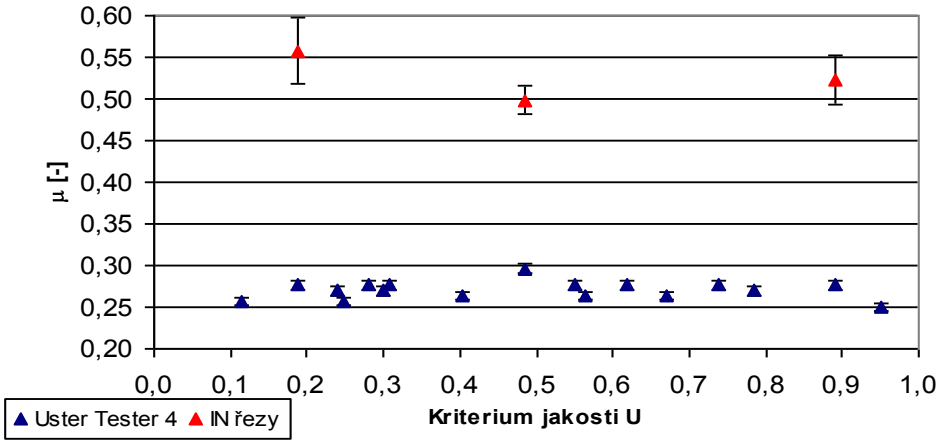
Metoda určení průměru příze a následné dopočítání zaplnění dle Uster Tester 4 je oproti radiální analýze velice rychlá a spolehlivá. Délka proměřeného materiálu je výrazně větší a proto mají výsledky lepší vypovídací hodnotu. Analýza příčných řezů je sice časově

náročná, ale poskytuje nejen informace o průměru a zaplnění příze, ale je možné zjišťovat také další parametry především u směsových přízí (rozložení vláken v průřezu, objemové a hmotnostní podíly komponent, kvalita promísení atd.).

Metoda podle interních norem, kdy bylo měřeno celkem šedesát vzorků (3 x 20) příčných řezů byla náročná na čas a trpělivost. Samotná výroba řezů („bločků“) probíhala v rozmezí několika dnů. Následné „ řezání“ bylo náročné na manuální zručnost. Na základě praxe se může konstatovat, že měření ovlivňovalo po celou dobu teplota ovzduší v prostředí laboratoří. Bloček snadno podléhal teplotním jevům v místnosti a to tak, že čím byl teplejší bloček i nůž, kterým se vzorky řezaly, tím se s nimi hůře pracovalo. Nutná tedy byla dobrá časová organizace práce mezi vlastním řezáním a pozorováním v mikroskopu. Také velmi záleželo na ostrosti pracovního nože. Čím byl nůž tupější,tím se sním řezalo hůře.



Obr. 2.2.4.3. – graf porovnání výsledných průměru příze mezi hodnotami zjištěných na Usteru Testeru 4 a hodnotami zjištěných podle interních norem.



Obr. 2.2.4.4. – graf porovnání výsledných hodnot zaplnění zjištěných na Uster Tester 4 a hodnotami zjištěných podle interních norem.

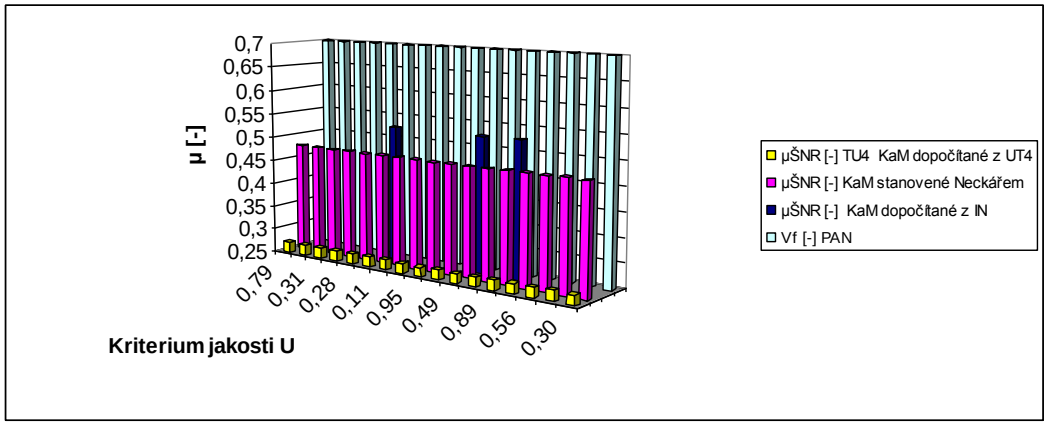
2.2.5. Zaplnění příze regresně definované a podle rovnic komprimační teorie

Pro výpočet zaplnění lze použít rovnice (1.13.1.21., 1.8.13. a 1.8.14.), které jsou výsledkem regresně definovaného zaplnění podle Pana popsané v kap.1.13.1. a komprimační teorie popsané v kap.1.8. V případě komprimační teorie je hodnota konstanty *K* závislá na požitém materiálu a hodnota konstanty *M* je závislá na použitém materiálu a technologii. V tabulce 2.2.5.1. jsou vypočteny průměrné hodnoty těchto konstant a zaplnění, které se liší podle použitého zaplnění při výpočtu konstant. Při použití regresně definovaného zaplnění podle Pana a zaplnění podle konstant stanovených Neckářem je hodnota výsledného zaplnění závislá na hodnotě stanoveného mezního zaplnění. Výsledná jsou uvedeny v tab. 4 v příloze 4 a vyneseny v grafech na obr. 2.2.5.1. – 2.2.5.5. V grafech jsou jednotlivé hodnoty propojeny pro přehlednost – nejedná se tedy o lineární závislost.

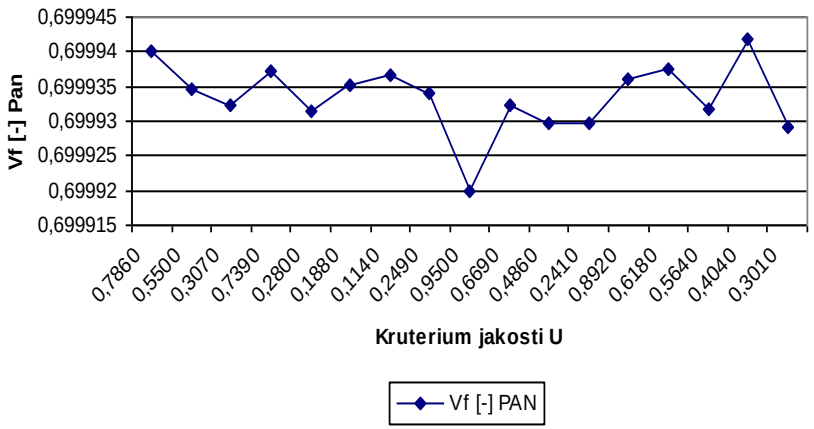
Výsledky zjištěných hodnot jsou podobné jako při metodě obrazové analýzy a na přístroji Uster Tester 4. Nejvyšších hodnot dosahovalo regresně definované zaplnění podle Pana, po té za použití konstant vypočítaných ze zaplnění zjištěných z obrazové analýzy a při použití konstant podle Neckáře. Nejnižší zaplnění dosahovalo při použití konstant dopočítaných z mezního zaplnění Usteru. Důvodem je, že hodnoty konstant *K* a *M* vychází v tomto případě nejvíce v závislosti na velikosti zaplnění (u přízí shodné jmenovité jemnosti, zákrutu, měrné hmotnosti) zjištěného u jednotlivých metod. Rozdíly již byly popsány v předchozí kapitole.

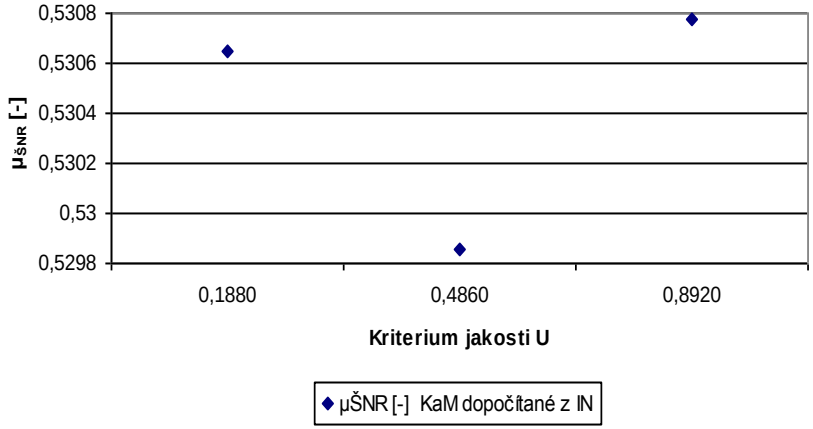
Tab. 2.2.5.1.

	Konstanty materiálu a technologie		Průměrné μ [-]
	M	K	
Odvozené Neckářem	0,0027	0,78	0,477
Zjištěné z μ_{UT4}	0,000355	0,1937	0,271
Zjištěné z μ_{IN}	0,004868	1,3354	0,530
V_f Pan	-	-	0,699

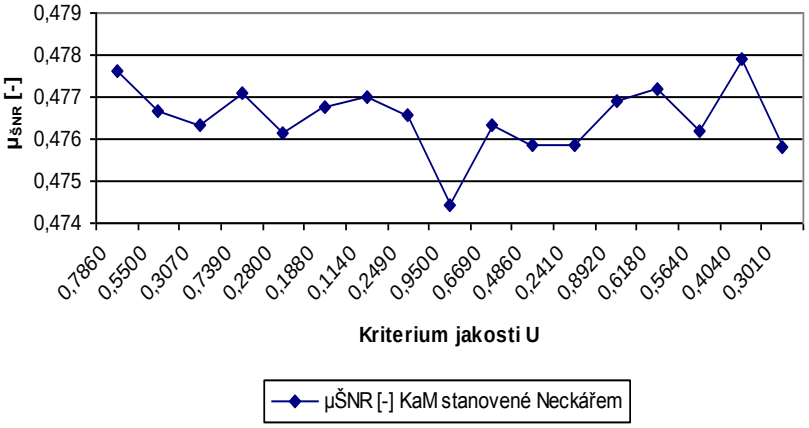


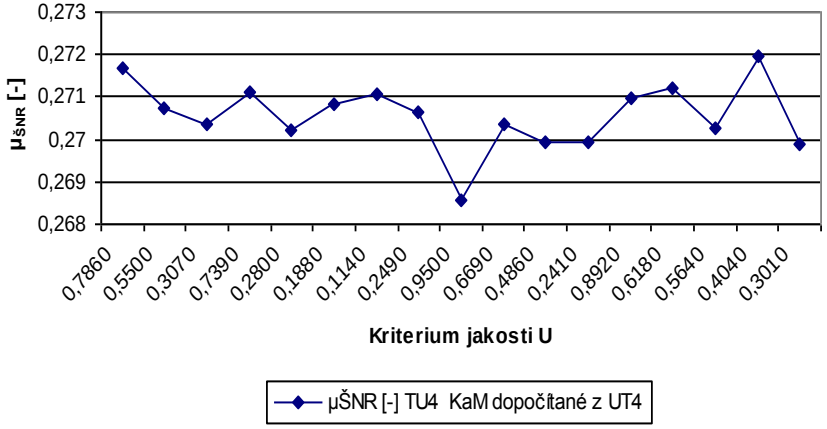
Obr. 2.2.5.1. – přehled modelových výsledků zaplnění.





Obr. 2.2.5.2. a 2.2.5.3. – výsledné zaplnění podle regresního zaplnění podle Pana a dopočítaných ze zaplnění zjištěným podle obrazové anlýzy.





Obr. 2.2.5.4. a 2.2.5.5. – výsledné zaplnění podle konstant K a M stanovených Neckářem a dopočítaných ze zaplnění příčných řezů.

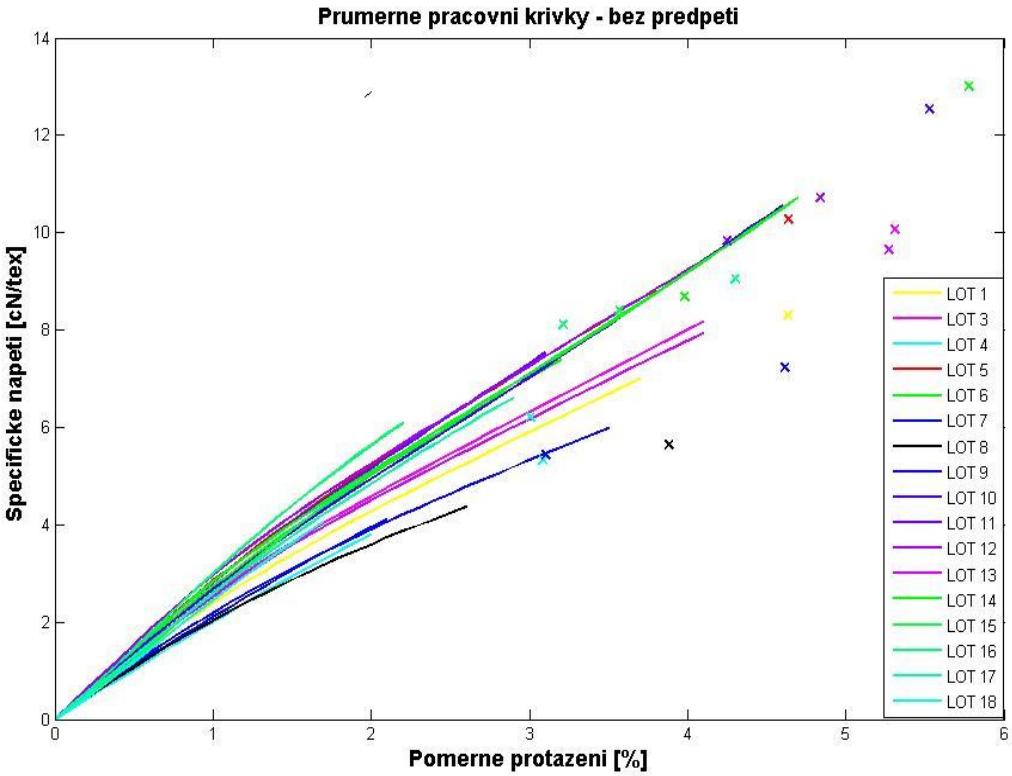
2.2.6. Stanovení mechanických vlastností přízí - Instron

Testování mechanicko-fyzikálních vlastností bylo provedeno na přístrojích Tensorapid a Multimat v laboratořích VÚB a.s. (data převzata) a pro měření pevnosti a tažnosti v laboratoři FT TUL byl vybrán dynamometr Instron 4411. Hodnocení pevnostních charakteristik bylo provedeno u všech sedmnácti vzorků přízí dle ČSN EN ISO 2062 (80 703) [3]. Upínací délka byla 500mm, předpětí 0,0825 $mNtex^{-1}$ bylo nastaveno dle jemnosti příze a kritériem pro vyhovující test byla doba trhu. Pokud čas nutný k porušení vzorku příze nevyhovoval intervalu 20 s ± 3 s, bylo nutné měření nahradit novým. Pro dosažení uvedeného času se rovná správné zvolení rychlosti trhacího procesu. Pro efektivní nastavení rychlosti bylo nezbytné, aby před vlastním testováním byly nejprve provedeny zkušební měření, kde byla postupně měněna rychlost tak, aby doba trhu odpovídala normě. Měření mechanických vlastností přízí bylo provedeno rychlostmi v rozsahu 45 mm min^{-1} až 80 mm min^{-1}. Data byla statisticky testována z hlediska nezávislosti, homogenity a normality dat a poté byly stanoveny základní statistické parametry (střední hodnota, rozptyl, variační koeficient, interval spolehlivosti a konfidence). Výsledky z padesáti platných měření jsou spolu s hodnotami směrodatné odchylky, variačního koeficientu a konfidence uvedeny v příloze 5.

Posouzení průměrných tahových křivek přízí

Pro každou ze zkoušených přízí bylo provedeno nejméně 50 měření, které vyhovovaly normě. Z každé jednotlivé zkoušky byla získány dvojice hodnot síly v [N] a protažení v [mm], posledním bodem je hodnota pevnosti a protažení příze při přetrhu. Při opakování měření není velikost síly odečítána pro shodné hodnoty protažení. Pro výpočet průměrné tahové křivky je nutné nejprve pomocí lineární interpolace dopočítat dílčí hodnoty síly pro dané hodnoty protažení (volba rozlišení na ose x). Poté lze z dílčích tahových křivek díky lineární interpolaci stanovit průměrnou tahovou křivku pro danou přízi. Její průběh je možné posuzovat pouze do místa, kde došlo k přetrhu první příze (příze s nejmenší tažností). Pro dokreslení je vhodné zobrazit také koncový bod, kdy došlo k přetrhu příze (bod průměrné pevnosti a protažení resp. tažnosti příze). Na obr.1 až obr 17. v příloze 6. jsou uvedeny dílčí tahové pracovní křivky spolu s vypočítanou průměrnou tahovou křivkou. Pro lepší přehlednost je výhodnější srovnávat tahové pracovní křivky bez počátečního předpětí použitého při testování mechanických vlastností přízí. Porovnání průměrných tahových křivek pro všechny typy přízí je uvedeno na obr.2.2.6.1. Z obrázků je vidět, že tahové pracovní křivky přízí vyrobených z různých typů směsí bavlněné suroviny nejsou shodné. Variabilita

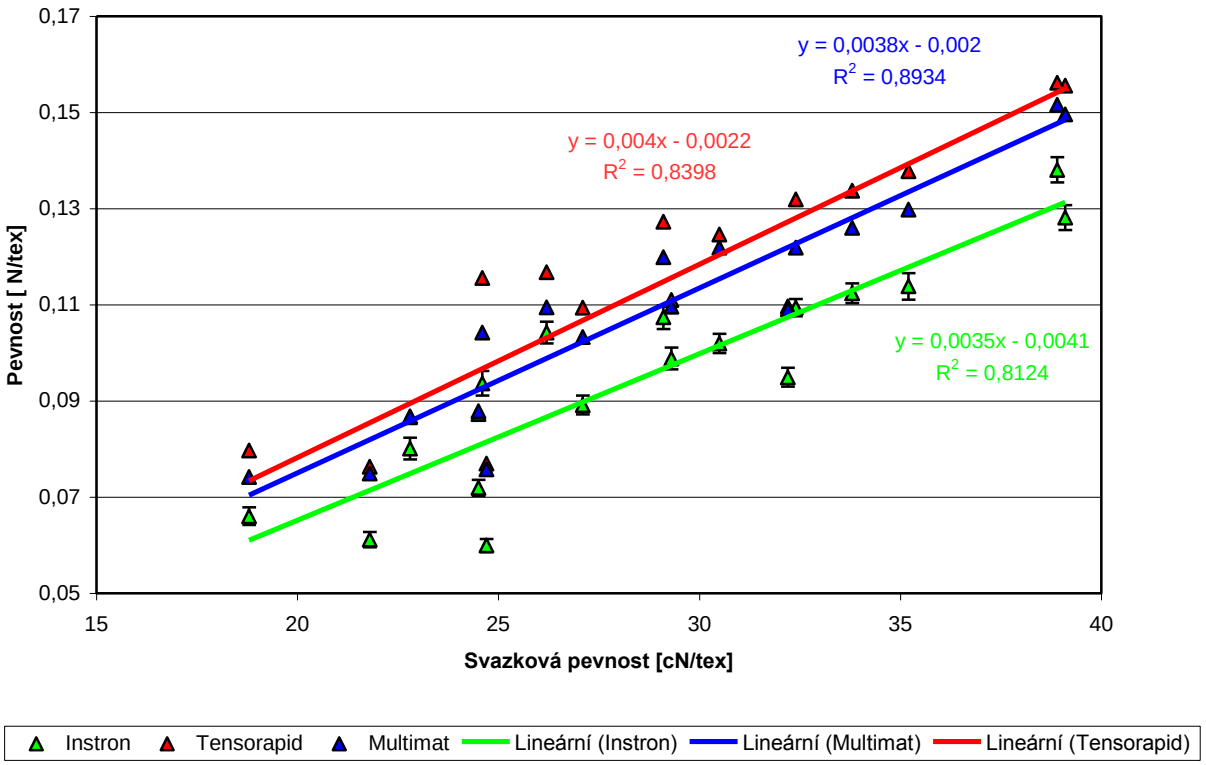
pevnosti a tažnosti je poměrně velká a dobře koresponduje se svazkovou pevností a tažností vláken (podle obr.2.2.6.2). Pokud vlákenná surovina vykazuje nízkou pevnost a nízkou tažnost jsou pevnost a tažnost příze nízké a naopak. Největších hodnot poměrné pevnosti a tažnosti dosahovaly příze označené LOT 14 a LOT 10, které zároveň vykazují největší hodnoty kriteria jakosti *U* a pevnosti ve svazku. Nejnižších hodnot poměrné pevnosti dosahují příze označené LOT 7 a LOT 4 vykazující jedny z nejnižších hodnot kriterií jakosti *U* a svazkové pevnosti.



Obr. 2.2.6.1. – průměrné pracovní křivky bez předpětí

Na obr.2.2.6.2. je uvedena závislost pevnosti příze na svazkové pevnosti vláken a porovnány jsou výsledky hodnocení pevnosti přízí zjištěné na přístrojích Multimat a Tensorapid v laboratoři VÚB a.s. a na přístroji Instron v laboratoři FT TUL. Z obrázku je vidět, že hodnoty spolu dobře korelují a s narůstající svazkovou pevností vláken roste také pevnost příze. Hodnoty pevnosti přízí zjištěné pomocí přístroje Instron jsou nejnižší a nejvyšších hodnot vykazují výsledky zjištěné na přístroji Tensorapid. Experimentální body byly doplněny lineárními regresními přímkami. Z výsledků je patrné, že trendy nárůstu je možné vidět u všech typů použitých přístrojů a považovat je za podobné, posunuté o konstantní hodnotu. Důvodem rozdílných hodnot je použití odlišného předpětí při testování a různé rychlosti trhu. Podmínky při sledování mechanických vlastností byly následující:

rychlost – doba trhu Instron v rozmezí od 45 do 80 mm min^{-1}(20s ± 3s), l_0=500mm, rychlost deformace v intervalu od 0,09 do 0,16 mm min^{-1}, předpětí 0,0825 mNtex^{-1}; rychlost – doba trhu Multimatu (20s+/-3s), l_0=500mm, rychlost deformace nezjištěna, předpětí 0,0825 mNtex^{-1} a rychlost – doba trhu Tensorapidu 400mm min^{-1}, l_0 = 500mm, rychlost deformace 0,8 a předpětí bylo stanoveno za základě jemnosti=nezjištěno).

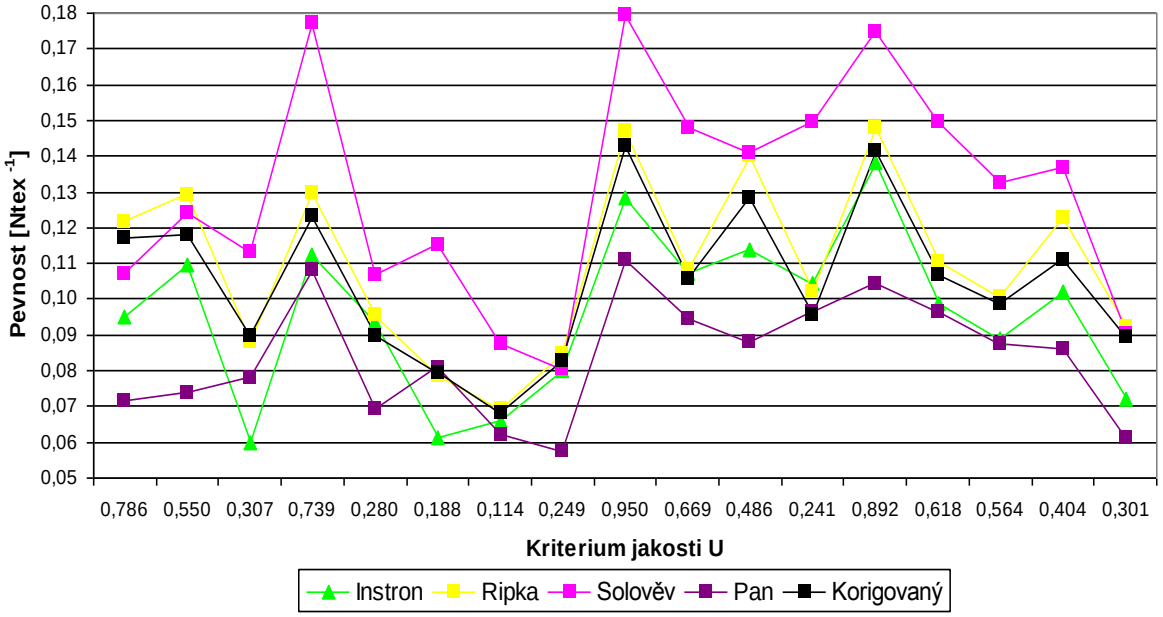


Obr. 2.2.6.2. – graf pevností – porovnání hodnot naměřených a třech různých přístrojích tj. Instron, Tensorapid a Multimat

2.3. Porovnání experimentálních hodnot pevností s vybranými modely

Jednotlivé postupy pro výpočty vybraných modelů jsou popsány v kap. 1.13. a hodnoty poměrných pevností jsou uvedeny v tabulce 1 přílohy 7.V obrázku 2.3.1. jsou vyneseny jednotlivé hodnoty poměrné pevnosti vybraných modelů a porovnány hodnotami poměrné pevnosti zjištěné experimentálním měřením na přístroji Instron 4411. Hodnotám experimentu se nejvíce přiblížily hodnoty regresního vztahu podle Ripky (1.13.2.2.) a teoretického korigovaného vztahu (1.13.1.31.) a dá se konstatovat, že oba modely jsou nadhodnoceny. Důvodem přiblížení u modelu Ripky je, že je navržen právě pro predikci

pevnosti bavlněné rotorové příze shodné s experimentálním materiálem (měřené na Multimatu, což je patrné na obr.2.3.2.). Příčinou přiblížení u korigovaného modelu je, že citlivěji reaguje na vliv technologie výroby a vede k nižší relativní chybě než je tomu u jiných modelů. Největší odchylky jsou vidět u teoretického vztahu podle Solověva (1.13.1.2), který je nejvíce systematicky nadhodnocen. Původ těchto rozdílů je, že model je založen na součinovém vztahu poměrné pevnosti vláken a čtyř součinitelů. Zejména výpočty koeficientů pro stanovení jednotlivých součinitelů jsou závislé na mnoha aspektech a proto model Solověva lze doporučit v případě projektování přízí známých parametrů a vypředené technologií, pro kterou jsou hodnoty těchto koeficientů známé. Model Pana (1.12.1.26.) je mírně podhodnocený a jeho výsledky příliš neodpovídají experimentu.

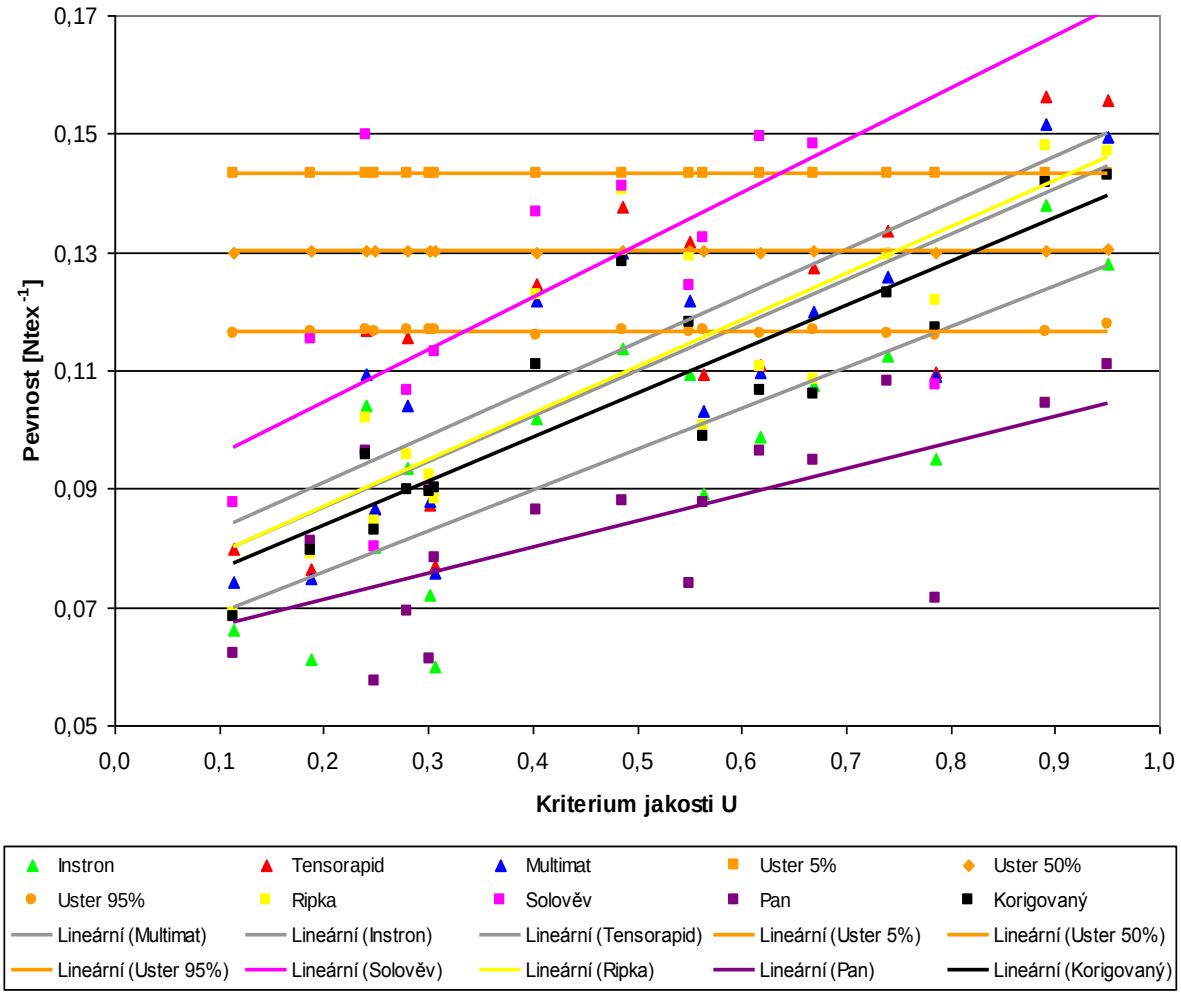


Obr.2.3.1. – přehled a porovnání hodnot pevností naměřených na dynamometru Instron 4411 a hodnot vypočítaných podle vybraných modelů pro predikci pevnosti.

Na obrázku 2.3.2. jsou vyneseny veškeré naměřené výsledky pevností ze všech tří přístrojů a výsledky pevností vypočítaných z vybraných modelů pro predikci pevnosti. Jak už bylo naznačeno a je patrno s grafu, s naměřenými hodnotami pevnosti Instronu 4411 nejlépe koreluje korigovaný model (procentuelní odchylka 11%) a regresní lineární vztah Ripky (procentuelní odchylka 16%). Do grafu na rozdíl od obr. 2.3.1. jsou zaneseny i hodnoty poměrné pevnosti vypočtené podle 5%, 50% a 95% kvalitativní hladiny statistiky Uster (1.13.2.1), které dosahují největších procentuelních odchylek (58%, 44% a 28%).

Nadhodnocený model Solověva má procentuelní odchylku 38% a podhodnocený teoretický vztah podle Pana -10%.

Na závěr lze konstatovat, že trendy modelů se shodují s trendy naměřených pevností na Instronu, Multimatu a Tenzorapidu. Rozdíl mezi jednotlivými přístroji byl způsoben rozdílnými hodnotami rychlosti deformace. Z těchto důvodů by bylo vhodné zjistit závislost pevnosti svazku na rychlost deformace a následně tuto závislost včlenit do vztahu pro predikci pevnosti příze.



Obr. 2.3.2. – porovnání naměřených a vypočítaných pevností.

2.4. Regresní vztah pro výpočet relativní pevnosti bavlněných přízí

Jedná se o experiment, proto není tato kapitola popsána v rešeršní části. Pomocí jednoduché metody, která je ovšem náročná z hlediska velkého množství měření, lze nastínit postup, jak je možno predikovat pevnost bavlněné rotorové příze stejného typu jako byl experimentální materiál.

Z dostatečně velkého množství přízí a následného zjištění vlastností lze zjistit regresní model. Pomocí korelace, jenž je ve statistice vzájemný vztah mezi znaky či veličinami, jsou vyjádřeny statistické závislosti pomocí korelačních koeficientů. Korelační koeficient vyjadřuje těsnost této závislosti a může nabývat hodnot od -1 až po 1, přičemž hodnota -1 značí zcela nepřímou závislost, 0 značí, že se nejedná o žádnou statisticky zjištěnou závislost a 1 poukazuje na přímou závislost testovaných dat.

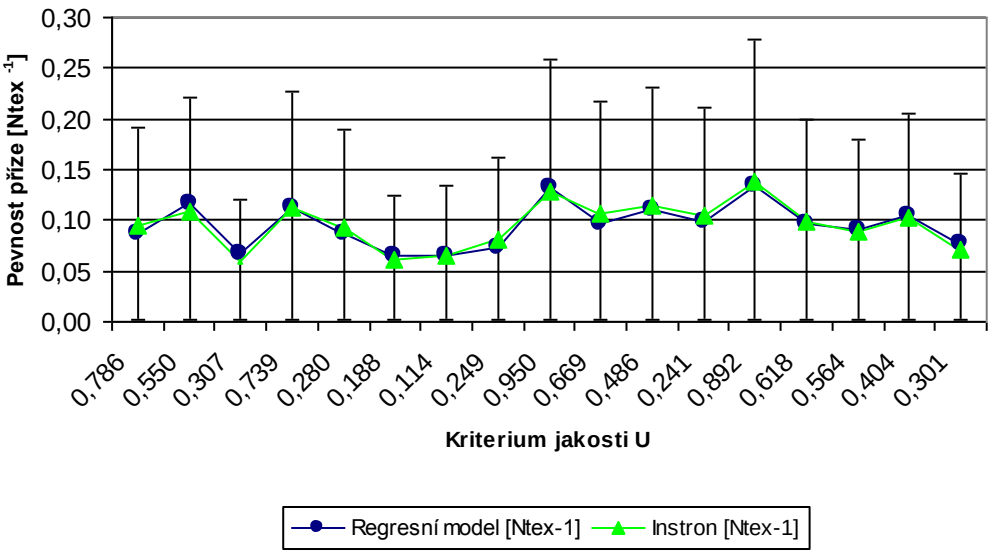
V programu QC Expert byla provedena na souboru dvanácti vybraných vlastností (viz tab.1 příloha 8) lineární regrese za pomoci metody nejmenších čtverců. Vybrané vlastnosti jenž znamenaly nezávisle proměnné, byly porovnány s pevností zjištěnou na přístroji Instron 4411, což byla závisle proměnná. Na základě hodnot statistických charakteristik regrese (vícenásobný korelační koeficient *R*, koeficientu determinace R^2, predikovaný korelační koeficient Rp, střední kvadratická chyba predikce MEPa Akaikeho informační kriterium), testu významnosti a kriteria multikolinearity, byly vybrány vlastnosti, které by použité v regresním modelu nejvíce odpovídaly hodnotám experimentu. Vybrané vlastnosti jsou uvedené v tab.2.4.1.

Tab.2.4.1.

Parametr	Odhad	Směrodatná odchylka	Pravděpodobnost
Abs.člen [0]	-0,0042	0,0131	0,753
ML [4]	0,0042	0,000518	1,765
t_m [8]	-0,0098	0,00282	0,00419
P_v [11]	0,14	0,0421	0,00525

Na základě takto zjištěných hodnot byl navrhnut regresní model pro predikci pevnosti bavlněných rotorových přízí jmenovité jemnosti 16,5 tex a zákrutového koeficientu dle Phrixe 73 $m^{-1}tex^{2/3}$ (2.4.1.). Na obr. 2.4.1. je vynesena naměřená pevnost přízí na přístroji Instron 4411 a k němu navrhovaný regresní model. Lze shledat, že model naměřenou pevnost téměř překrývá což potvrzuje jeho korektnost.

$$P = -0{,}0042 + 0{,}0042\,ML - 0{,}0098\,t_m + 0{,}14\,P_v\,. \qquad (2.4.1.)$$



Obr. 2.4.1. – porovnání výsledných hodnot pevností přízí regresního modelu s pevností naměřenou na Instronu 4411.

Tato metodika může sloužit pro vytvoření prediktivních modelů odhadující vliv vlákenných parametrů na parametry příze, tkaniny nebo k vyjádření jakosti bavlněných vláken.

Další možností jak predikovat pevnost příze se zabývá např. práce [30].

Závěr

Podstatou práce je u bavlněných rotorových přízí shodné jmenovité jemnosti 16,5 tex a zákrutového koeficientu podle Phrixe 73 $m^{-1}ktex^{2/3}$ experimentálně prověřit průměr, zaplnění a pevnost. Vybrané vlastnosti byly zjištěny u průměru a zaplnění na přístroji Uster tester 4, pomocí obrazové analýzy, výpočtem pomocí regresně definovaného vztahu a použitím rovnic komprimační teorie. U pevnosti byly příze měřeny na dynamometru Instron 4411, porovnány s výsledky naměřenými VÚB a.s. Ústí nad Orlicí a s vybranými modely predikce pevnosti.

U přízí byly spočítány jakostní ukazatele vlákenné suroviny jenž sloužily k vyjádření variability přízí. Experimentálně byla změřena jemnost přízí, jenž vycházela většinou vyšší než jemnost jmenovitá a proto na základě průměrné naměřené jemnosti by bylo vhodnější stanovit její hodnotu na 17 tex.

Lze konstatovat, že průměr a následné zaplnění nejvíce ovlivňuje materiálové složení, počet vláken v přízi (jemnost) a zákrut (respektive zákrutový koeficient). Jelikož experimentální materiál byl shodné jmenovité jemnosti, stejné hodnoty zákrutů a nelišil se ani materiálovým složením, nemohly být výsledné hodnoty zaplnění statisticky významné. Sledoval se tedy především vliv délky vlákenné suroviny. Při zjišťovaném průměru a zaplnění na přístroji Uster Tester 4 bylo proměřeno všech sedmnáct lotů a na základě zjištěných skutečností lze konstatovat, že zjištěné zaplnění vzhledem k metodice měření je vhodné použít např. pro predikci zaplnění ve tkanině. Při použití obrazové analýzy byly vybrány tři zástupci ze souboru sedmnácti přízí na základě délky vláken *UHM* a byl sledován především vliv délky vláken na zaplnění. Bylo zjištěno, že rozdíly v zaplnění vzhledem k délce vláken v přízi se dají hodnotit jako statisticky nevýznamné. Vzhledem k zvolené konvenci měření pomocí obrazové analýzy je výsledné zaplnění vhodné pro predikci pevnosti příze. Zaplnění bylo také zjištěno pomocí regresně definovaného vztahu a rovnic komprimační teorie s podobnými závěry.

Pevnost souboru přízí byla proměřena na dynamometru Instron 4411 a následně porovnána z hodnotami naměřenými na přístrojích Tensorapid a Multimat. Bylo zjištěno, že s rostoucí svazkovou pevností rostla i pevnost příze. Stoupající trendy byly u všech typů použitých přístrojů a lze je považovat za podobné, posunuté o konstantní hodnotu, způsobenou rozdílnými podmínkami při proměřování mechanických vlastností na jednotlivých přístrojích. Pro názorné porovnání chování přízí při tahovém namáhání byly pro jednotlivé loty dopočítány průměrné pracovní křivky.

Pro porovnání experimentálních výsledků poměrné pevnosti bylo vybráno pět modelů predikce poměrné pevnosti bavlněné rotorové příze, z nichž nejvíce se experimentálním hodnotám blížil model podle Ripky a korigovaný vztah. Při porovnávání predikce s experimentálními výsledky je porovnání zatíženo relativními chybami. Podstatné však je, že zvolený systém zachycuje základní trendy vlastností shodné s experimentem. Pro zlepšení predikce je potřeba nové hledání vhodných konstant pro daný soubor přízí. Bylo zjištěno, že pro lepší výsledné hodnoty modelů by bylo vhodné začlenit vliv rychlosti deformace na výslednou pevnost příze.

Na závěr byl vytvořen regresní model, který by nejlépe koreloval s experimentálními hodnotami pevnosti naměřenými na dynamometru Instron 4411.

Jednotlivé výsledky této práce mohou posloužit pro porovnání vlastností dalších bavlněných surovin, například ve směsi a na základě toho ověřit vliv míseného materiálu na vlastnosti jako je průměr a zaplnění příze nebo pevnost a tažnost.

Seznam použité literatury a použité internetové odkazy

[1] www.tul.cz

[2] Jirsák, O.: Netkané textilie. Fakulta textilní KNT TU Liberec 2001

[3] Křemenáková, D.: Modelování geometrie a pevnosti bavlnářských přízí, habilitační práce, TU Liberec 2005

[4] Ghorashi, H.: Uster Technologies, Singapure 2004-05

[5] Militký, J.: Textilní vlákna. Fakulta textilní TU Liberec 2002

[6] www.rieter.cz

[7] Nová, L.: Struktura rotorové příze, bakalářská práce, TU Liberec 2006

[8] Ursíny, P.: Předení II., Liberec: TUL 2001

[9] Ursíny, P.: Stroje a technologie dopřádání, VŠST, Liberec 1984

[10] Rohlena, V. a kol.: Bezvřetenové předení, SNLT Praha 1974

[11] Neckář, B.: Příze. Tvorba, struktura, vlastnosti, SNTL Praha 1990

[12] Ursíny, P.: Předení I., Liberec TUL 2001

[13] Dostálová, M., Křivánková, M.:Základy textilní a oděvní výroby. Fakulta textilní KTS TU Liberec 1998

[14] Křemenáková, D.: Systém projektovaní textilních struktur. Část 1 "vlákno–příze", Závěrečná zpráva. Výzkumné centrum Textil, Fakulta textilní, Technická univerzita v Liberci 2004

[15] Kovačič, V.: Zkoušení textilií, Studijní materiály FT TU Liberec 2001

[16] Kovačič, V.: Zpracovatelské vlastnosti textilních vláken, Studijní materiály FT TU Liberec

[17] www.triobyte.cz

[18] Neckář B.: Morfologie a strukturní mechanika obecných vlákenných útvarů. 2. vyd. Liberec: TUL, 2001. 243 s. ISBN 80-7083-473-0

[19] Militý, J.: Complex evaluation of citron fiber quality, FT TU Liberec

[20] Lawrence, C. A, - Finikopulos, E.: Indian Journal of Fibre and extil Research, 17(12),201-208, 1992

[21] Hearle, J.W.S,: Fibre failure and wear of materials an atlas of fracture, fatigue and durability. První vyd. Chichester England1989

[22] Husková, M.: Geometrické vlastnosti směsových přízí, diplomová práce, TU Liberec 2006

[23] www.uster.com

[23] Hladík, V. a kol.: Textilní vlákna Praha 1970

[24] Neckář, B., Křemenáková, D.: Strukturní aspekty geometrických a mechanických vlastností staplových přízí [Strutex] Liberec 1999

[25] Neckář, B.: Dvanáct přednášek z textilního inženýrství pro netextilní odborníky, Technická univerzita v Liberci, 1998

[26] Jirásková, P.: Výroba délkových textilií. Studijní text pro distanční studium Liberec 2004

[27] Militký, J, Vaníček, J.: Vlastnosti vláken , Katedra textilních materiálů, FT TU Liberec

[28] Militký, J. – Komplex Duality of Cotton fibers. FAO/ESCORENA. Textiles for Suistanable Development. Nova Publisher 2007

[29] Militký, J.: Řízení jakosti 3 – jakost vláken, jakost přízí, jakost textilií. Přednášky FT TU Liberec

[30] Dokoupilová, L.: Vliv rychlosti deformace na pracovní tahové křivky přízí, TU Liberec 2007

Normativní odkazy:

[1] ČSN 80 0061 Klimatizování textilních surovin, polotovarů a výrobků.

[2] ČSN EN ISO 2060 (80 0702) Nitě na návinech. Zjišťování jemnosti (délkové hmotnosti) pásmovou metodou.

[3] ČSN EN ISO 2062 (80 703) Textilie. Nitě v návinech. Zjišťování pevnosti a tažnosti jednotlivých nití při přetrhu.

[4] ČSN 80 0203 Textilní vlákna. Zjištění délkové hmotnosti. Gravimetrická a vibroskopická metoda.

[5] ČSN 820 02038. Textilie. Bavlna. Stanovení micronérní hodnoty.

[6] ČSN EN ISO 1973 (80 0269) Textilní vlákna. Zjištění délkové hmotnosti. Gravimetrická a vibroskopická metoda.

[7] ČSN 880 0701 Zjištění zákrutů přízí.

[8] ČSN EN ISO 5079 (80 0200) Textilie – Vlákna – Zjišťování pevnosti a tažnosti jednotlivých vláken při přetrhu.

[9] ČSN EN 12751 (80 0070) Textilie - Odběr vzorků vláken, nití a plošných textilií ke zkouškám

[10] IN 46–108–01 Doporučený postup tvorby příčných řezů. Měkké a tvrdé řezy

[11] IN 22–103–01 Zaplnění příze. Přímá metoda a metoda Secant.

[12] IN 21-108-01/01 Stanovení geometrických vlastností

Přílohy

Příloha 1:

Tabulka 1. – jakostní ukazatele 17 bavlněných surovin a pramenů.

LOT	P_v [Ntex^{-1}]	ε_v[%]	P_s [cNtex^{-1}]	ε [%]	UHM [mm]	UI [%]	I_{kv} [%]	t_m [mic]	pn [-]	ref	zI	S_{kv} [%]	I_{kv1}[%]	I_{kv2} [%]	zr
1	0,2125	7,06	32,2	6,4	28	83	9,7	3,8	2	73	10,7	12,3	6,8	7,3	0,75
3	0,2194	6,91	32,4	6,1	33,8	80,9	6	2,5	8	68,8	13,5	12	4,8	4,8	0,71
4	0,2321	5,81	24,7	5,1	24,1	79,6	15,1	4,2	2	69,7	12,1	16,8	11,9	11,5	0,77
5	0,3214	6,12	33,8	6,1	30	84,1	6,6	3,5	2	74,6	10,3	9,7	6,1	6	0,77
6	0,2057	5,09	24,6	5,5	26,8	80,4	13,8	2,8	4	70,2	13,2	12,6	8,3	9,6	0,72
7	0,2406	5,79	21,8	5	22,1	78,6	22,2	3,8	1	68,7	13,3	18,2	17,4	18,6	0,77
8	0,1846	7,07	18,8	4,9	23,3	77,6	22,6	3,4	2	73,3	11,5	24,5	20,6	21	0,72
9	0,1702	8,88	22,8	6,1	26,2	79,1	13,3	3,5	2	70,8	12,5	19,7	8,6	9,5	0,73
10	0,3272	8,11	39,1	6,5	35,4	86,7	3,7	4	1	66,9	13	7,1	2,9	3,1	0,79
11	0,2806	5,87	29,1	5,4	28,8	82	9,5	3,8	6	69,4	11,2	13,6	7,4	7,8	0,78
12	0,2606	5,35	35,2	5,2	29,8	81,9	8	2,5	4	76	10,5	10,6	6,1	5,8	0,72
13	0,2853	7,23	26,2	5,5	28,3	76	15,8	2,8	2	61,8	15,8	13,7	8,4	8,9	0,72
14	0,31	7,79	38,9	6,4	36,2	87,5	13,5	3,9	2	66,7	13,6	8,2	3,2	3,3	0,79
15	0,2863	6,36	29,3	5,6	28	81,6	10,6	3,6	2	69,6	13	11,6	8,7	8,3	0,76
16	0,2594	5,7	27,1	5,7	27,7	80,8	11,9	3,7	2	69	12,9	13	8	9,3	0,77
17	0,2572	6,76	30,5	6	29,1	78,1	10,7	2,4	2	63,8	14,8	12,2	7,8	7,9	0,71
18	0,1814	8,85	24,5	7	26,4	80,1	12,2	3,3	1	71	12,5	16,8	8,9	10,4	0,71

Tabulka 2. - jakostní ukazatele rotorových přízí.

LOT	T_{jm} [tex]	a [$m^{-1}ktex^{2/3}$]	vk_{Tjm} [%]	$P_{prTENSO}$ [$cNtex^{-1}$]	ε_{TENSO} [%]	$vk_{PprTENSO}$[%]	A_{TENSO} [Ncm^{-1}]	$P_{prMULTI}$ [cNtex-1]	ε_{MULTI} [%]	$vk_{PprMULTI}$ [%]	CV_u
1	16,5	73	0,95	10,97	5,08	8,5	2,7	10,91	5,43	9,59	17,15
3	16,5	73	2,11	13,19	5,93	8,7	3,63	12,19	6,22	9,92	14,54
4	16,5	73	0,74	7,7	3,8	10,3	1,41	7,58	4,15	13,77	16,95
5	16,5	73	1,15	13,37	4,87	10,5	3,48	12,6	6,01	15,29	15,53
6	16,5	73	0,9	11,56	4,62	11,3	2,56	10,42	4,78	17,52	15,61
7	16,5	73	1,26	7,63	4,02	12,5	1,51	7,49	4,57	12,69	17,14
8	16,5	73	0,7	7,97	4,52	14,3	1,86	7,42	4,65	10,6	16,31
9	16,5	73	1,27	8,66	4,85	11,6	2,12	8,68	4,89	11,26	16,28
10	16,5	73	1,48	15,56	5,66	8,4	3,7	14,96	5,81	10,27	15,79
11	16,5	73	0,77	12,73	4,49	8,7	2,61	11,99	4,68	9,27	15,78
12	16,5	73	1,26	13,78	5,25	9,3	3,25	12,98	5,7	11,54	15,43
13	16,5	73	1,12	11,68	5,11	9,3	2,81	10,95	5,26	11,22	15,57
14	16,5	73	0,74	15,62	5,82	9,4	4,05	15,16	6,19	10,04	15,65
15	16,5	73	1,53	11,1	4,26	12,4	2,28	10,96	4,73	11,62	16,1
16	16,5	73	1,11	10,94	4,2	11,1	2,17	10,33	4,17	11,03	16,48
17	16,5	73	1,71	12,46	5,49	7,8	3,31	12,19	5,57	11,33	14,89
18	16,5	73	0,68	8,73	4,37	10,5	1,94	8,79	4,95	11,38	16,2

Příloha 2:

Tabulka 1 – výsledné hodnoty výpočtu kriterií jakosti *IGa* a *U*.

LOT	IG a	U
1	5,52	0,79
3	10,28	0,55
4	3,88	0,31
5	6,73	0,74
6	6,63	0,28
7	3,56	0,19
8	4,12	0,11
9	5,13	0,25
10	7,39	0,95
11	5,62	0,67
12	8,98	0,49
13	6,47	0,24
14	7,03	0,89
15	5,67	0,62
16	5,33	0,56
17	8,46	0,40
18	5,63	0,30

Tabulka 2 – výsledná experimentální jemnost přízí.

LOT	T_{exp} [tex]
1	17,25
3	16,91
4	16,79
5	17,06
6	16,74
7	16,95
8	17,03
9	16,88
10	16,16
11	16,79
12	16,64
13	16,64
14	17,00
15	17,09
16	16,75
17	17,36
18	16,61

Příloha 3:

Tab. 1. – hodnoty *2DØ* a *D* (ρ_{pr}) jednotlivých lotů naměřených na přístroji Uster Tester 4.

LOT	D (ρ_{pr}) [g/cm3]	2DØ [mm]
1	0,41	0,225
3	0,42	0,224
4	0,42	0,223
5	0,42	0,223
6	0,42	0,224
7	0,42	0,224
8	0,39	0,232
9	0,39	0,233
10	0,38	0,235
11	0,4	0,228
12	0,45	0,217
13	0,41	0,225
14	0,42	0,225
15	0,42	0,223
16	0,4	0,228
17	0,4	0,229
18	0,41	0,226

Příloha 4 :

Tab. 1-2 – hodnoty průměru a zaplnění z obou použitých metod..

Tab.1

LOT	1	3	4	5	6	7	8	9
D_{UT4} [mm]	0,225	0,224	0,223	0,223	0,224	0,224	0,232	0,233
D_{IN} [mm]						0,148		
μ_{UT4} [-]	0,27	0,276	0,276	0,276	0,276	0,276	0,257	0,257
μ_{IN} [-]						0,558		

Tab. 2

LOT	10	11	12	13	14	15	16	17	18
D_{UT4} [mm]	0,235	0,228	0,217	0,225	0,225	0,223	0,228	0,229	0,226
D_{IN} [mm]			0,156		0,155				
μ_{UT4} [-]	0,25	0,263	0,296	0,27	0,276	0,276	0,263	0,263	0,27
μ_{IN} [-]			0,498		0,522				

Tab.3 - průměr a zaplnění podle obrazové analýzy:

LOT	μ_{ef} [-]	Konfidence μ_{ef}	D_{ef}	Konfidence D_{ef}
7	0,55774	0,04060	0,14780	0,01112
12	0,49835	0,01740	0,15620	0,00696
14	0,52193	0,02950	0,15540	0,00677

Tab. 4 – hodnoty zaplnění počítané podle Pana a komprimační teorie.

LOT	$\mu_{šNR}$ [-] Neckář KaM	$\mu_{šNR}$ [-] TU4 KaM z UT4	$\mu_{šNR}$ [-] IN KaM z IN	Vf Pan [-]
1	0,478	0,272		0,6999402
3	0,477	0,271		0,6999346
4	0,476	0,270		0,6999324
5	0,477	0,271		0,6999371
6	0,476	0,270		0,6999315
7	0,477	0,271	0,531	0,6999352
8	0,477	0,271		0,6999366
9	0,477	0,271		0,699934
10	0,474	0,269		0,6999199
11	0,476	0,270		0,6999324
12	0,476	0,270	0,530	0,6999296
13	0,476	0,270		0,6999296
14	0,477	0,271	0,531	0,6999361
15	0,477	0,271		0,6999376
16	0,476	0,270		0,6999317
17	0,478	0,272		0,6999419
18	0,476	0,270		0,6999291

Tab.5 -7 – hodnoty šířky mezikruží a k nim hodnoty zaplnění s příslušnými konfidencemi zjištěné metodou obrazové analýzy s příčných řezů třech přízí.

Tab.5

LOT 7		
h	**μ_{IN}**	**Konfidence**
0	0,88847	0,18477
0,01	0,81184	0,10245
0,02	0,80409	0,10853
0,03	0,71224	0,05250
0,04	0,56775	0,05220
0,05	0,45525	0,06920
0,06	0,31460	0,06050
0,07	0,20107	0,04680
0,08	0,13521	0,03660
0,09	0,07890	0,02300
0,1	0,03800	0,01100
0,11	0,03150	0,01150
0,12	0,01140	0,00579
0,13	0,00508	0,00281
0,14	0,00379	0,00421
0,15	0,00105	0,00220
0,16	0,00000	0,00000
0,17	0,00077	0,00161
0,18	0,00068	0,00134
0,19	0,00015	0,00032

Tab.6

LOT 12		
h	**μ_{IN}**	**Konfidence**
0	0,60565	0,07660
0,01	0,68508	0,04500
0,02	0,63111	0,05780
0,03	0,62208	0,03570
0,04	0,56156	0,03610
0,05	0,48345	0,02560
0,06	0,36063	0,03220
0,07	0,22077	0,03550
0,08	0,13645	0,02830
0,09	0,08320	0,02340
0,1	0,04810	0,01350
0,11	0,02550	0,00987
0,12	0,01510	0,00679
0,13	0,01030	0,00621
0,14	0,00359	0,00283
0,15	0,00071	0,00119
0,16	0,00047	0,00079
0,17	0,00027	0,00057
0,18		
0,19		

Tab.7

LOT 14		
h	μ_{IN}	Konfidence
0	0,65539	0,08220
0,01	0,66203	0,06770
0,02	0,66380	0,05530
0,03	0,62315	0,04100
0,04	0,60094	0,03060
0,05	0,51495	0,04050
0,06	0,38538	0,03310
0,07	0,23331	0,04160
0,08	0,12307	0,03130
0,09	0,07410	0,01920
0,1	0,04640	0,01590
0,11	0,02680	0,01250
0,12	0,01050	0,00609
0,13	0,00463	0,00357
0,14	0,00397	0,00417
0,15	0,00151	0,00215
0,16	0,00099	0,00146
0,17	0,00040	0,00084
0,18	0,00023	0,00048
0,19		

Příloha 5:

Tab.1 – výsledná pevnost a tažnost příze naměřená na přístroji Instron 4411.

LOT	Ø P_{pr} [N]	s [N]	vk [%]	n	Konfidence	Dolní mez	Horní mez
1	1,5666	0,1234	0,0788	56	0,0323	1,5343	1,5989
3	1,8055	0,1101	0,061	53	0,0297	1,7758	1,8351
4	0,9891	0,0825	0,0835	52	0,0224	0,9666	1,0115
5	1,8543	0,1232	0,0664	51	0,0338	1,8204	1,8881
6	1,5457	0,1506	0,0974	49	0,0422	1,5035	1,5879
7	1,0088	0,0916	0,0908	47	0,0262	0,9826	1,035
8	1,0895	0,1102	0,1012	51	0,0302	1,0592	1,1197
9	1,3215	0,1354	0,1025	51	0,0372	1,2843	1,3587
10	2,1148	0,1546	0,0731	50	0,0428	2,0719	2,1576
11	1,772	0,1465	0,0827	50	0,0406	1,7313	1,8126
12	1,8781	0,1669	0,0888	51	0,0458	1,8323	1,9239
13	1,7198	0,1336	0,0777	50	0,037	1,6828	1,7569
14	2,278	0,1574	0,0691	50	0,0436	2,2344	2,3216
15	1,6312	0,1389	0,0852	53	0,0374	1,5938	1,6686
16	1,471	0,119	0,0809	52	0,0323	1,4387	1,5033
17	1,6823	0,1193	0,0709	51	0,0328	1,6496	1,7151
18	1,187	0,0995	0,0838	51	0,0273	1,1597	1,2143

Tab. 2. – výsledná tažnost příze naměřená na přístroji Instron

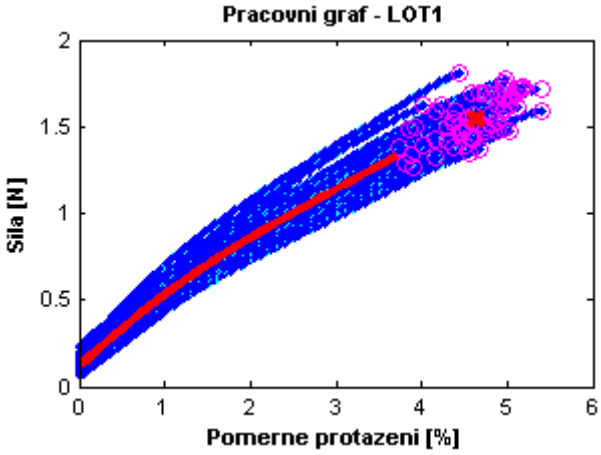
LOT	Ø ε [%]	s [%]	vk [%]	n	Konfidence	Dolní mez	Horní mez
1	4,7052	0,312	0,0663	56	0,0817	4,6235	4,7869
3	5,3012	0,3068	0,0579	53	0,0826	5,2186	5,3838
4	3,0511	0,2293	0,0751	52	0,0623	2,9888	3,1134
5	4,5191	0,3077	0,0681	51	0,0844	4,4347	4,6035
6	3,9684	0,2578	0,065	49	0,0722	3,8962	4,0406
7	3,0374	0,2591	0,0853	47	0,0741	2,9633	3,1115
8	3,9611	0,342	0,0863	51	0,0939	3,8672	4,055
9	4,6555	0,3769	0,081	51	0,1034	4,552	4,7589
10	5,5063	0,3526	0,064	50	0,0977	5,4086	5,604
11	4,3047	0,3184	0,074	50	0,0883	4,2164	4,3929
12	4,8133	0,3393	0,0705	51	0,0931	4,7201	4,9064
13	5,306	0,3997	0,0753	50	0,1108	5,1952	5,4167
14	5,6242	0,3638	0,0647	50	0,1008	5,5234	5,725
15	3,8831	0,2975	0,0766	53	0,0801	3,803	3,9632
16	3,3293	0,2625	0,0788	52	0,0713	3,258	3,4007
17	4,4129	0,2483	0,0563	51	0,0682	4,3447	4,4811
18	3,3049	0,2702	0,0818	51	0,0742	3,2308	3,3791

Tab.3. – výsledná poměrná pevnost příze naměřená na přístroji Instron

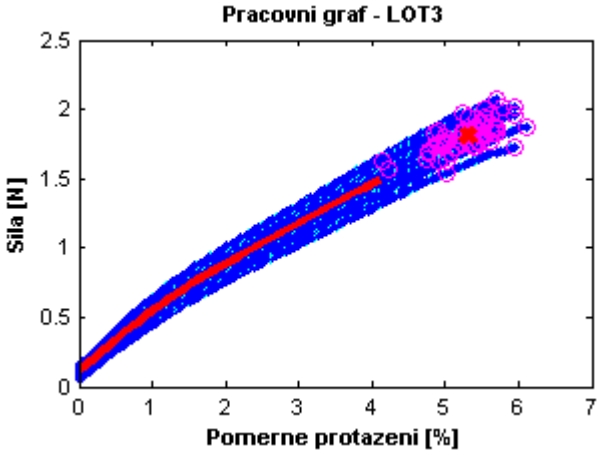
LOT	Ø P_{pr} [$Ntex^{-1}$]	s [$Ntex^{-1}$]	vk [%]	n	Konfidence	Dolní mez	Horní mez
1	0,0949	0,0075	0,0788	56	0,002	0,093	0,0969
3	0,1094	0,0067	0,061	53	0,0018	0,1076	0,1112
4	0,0599	0,005	0,0835	52	0,0014	0,0586	0,0613
5	0,1124	0,0075	0,0664	51	0,002	0,1103	0,1144
6	0,0937	0,0091	0,0974	49	0,0026	0,0911	0,0962
7	0,0611	0,0056	0,0908	47	0,0016	0,0596	0,0627
8	0,066	0,0067	0,1012	51	0,0018	0,0642	0,0679
9	0,0801	0,0082	0,1025	51	0,0023	0,0778	0,0823
10	0,1282	0,0094	0,0731	50	0,0026	0,1256	0,1308
11	0,1074	0,0089	0,0827	50	0,0025	0,1049	0,1099
12	0,1138	0,0101	0,0888	51	0,0028	0,111	0,1166
13	0,1042	0,0081	0,0777	50	0,0022	0,102	0,1065
14	0,1381	0,0095	0,0691	50	0,0026	0,1354	0,1407
15	0,0989	0,0084	0,0852	53	0,0023	0,0966	0,1011
16	0,0892	0,0072	0,0809	52	0,002	0,0872	0,0911
17	0,102	0,0072	0,0709	51	0,002	0,1	0,1039
18	0,0719	0,006	0,0838	51	0,0017	0,0703	0,0736

Příloha 6:

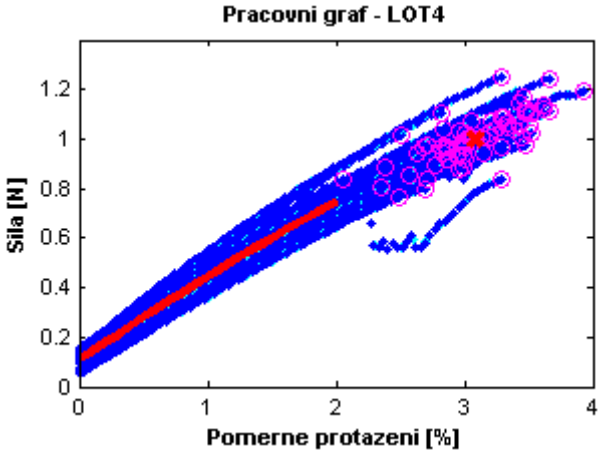
Obr. 1 – 17. – jednotlivé tahové grafy 17 lotů.



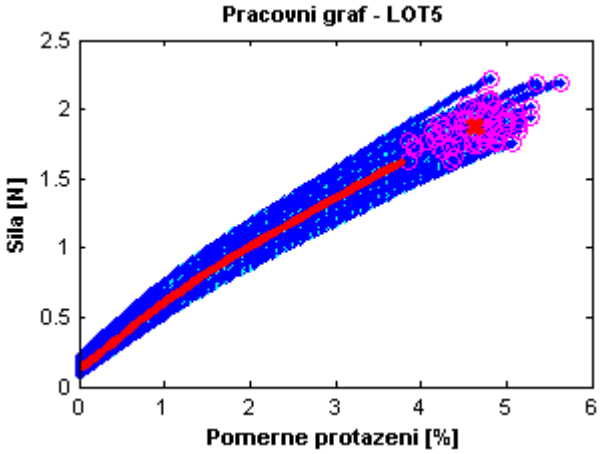
Obr. 1



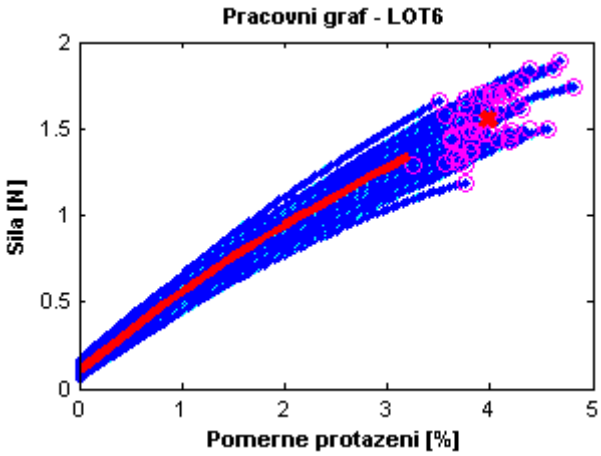
Obr.2



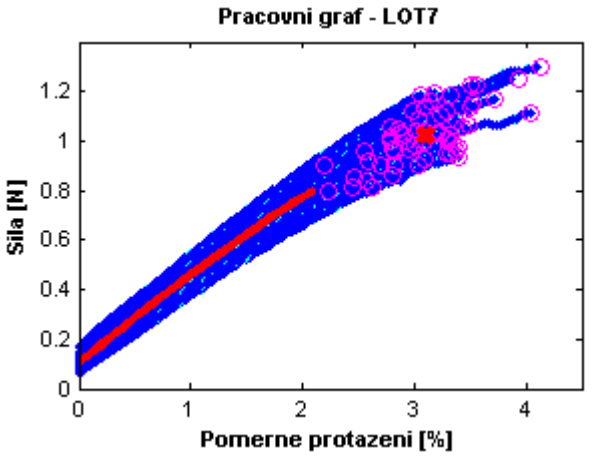
Obr. 3



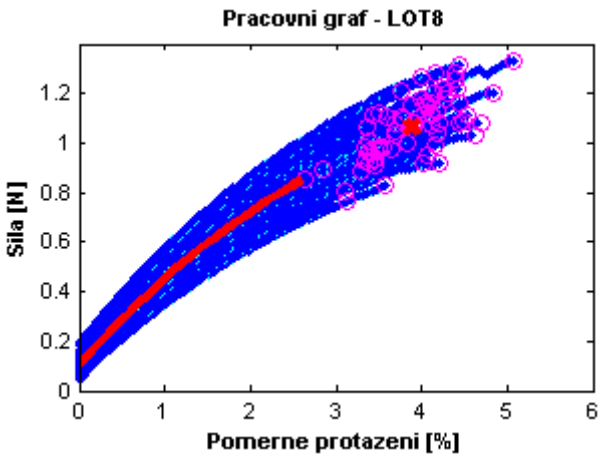
Obr. 4



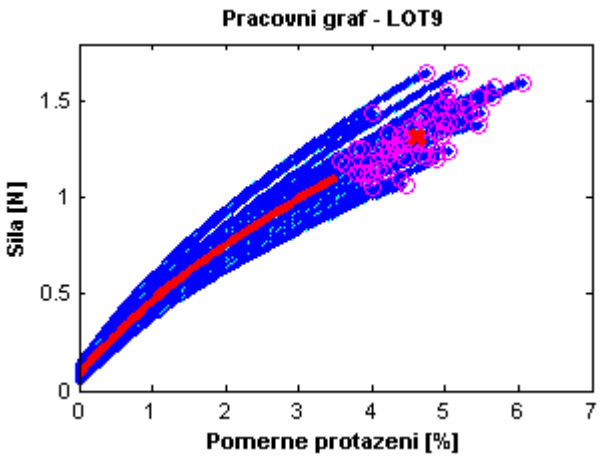
Obr. 5



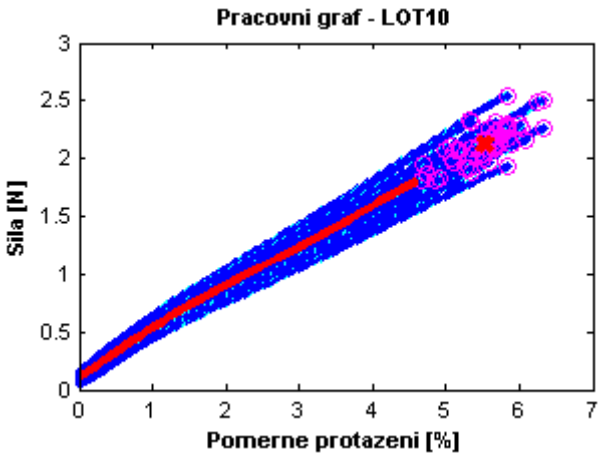
Obr. 6



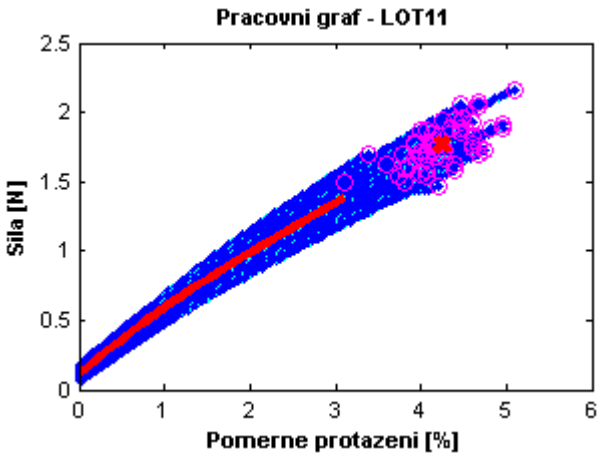
Obr. 7



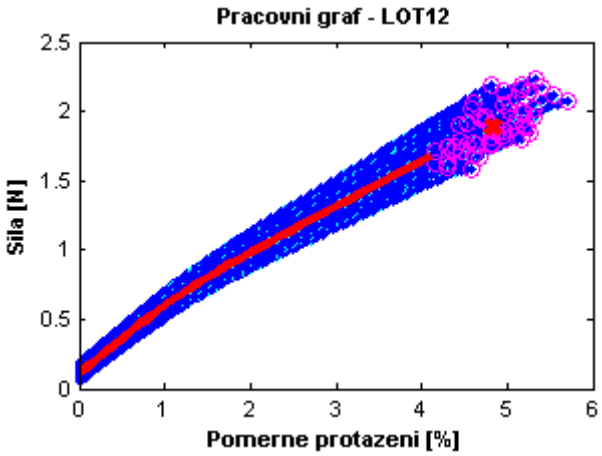
Obr. 8



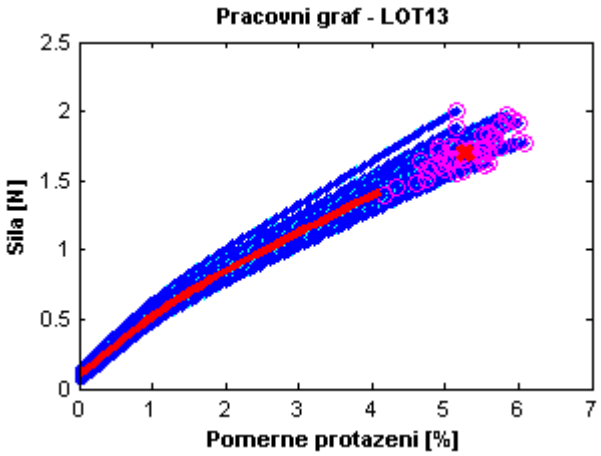
Obr.9



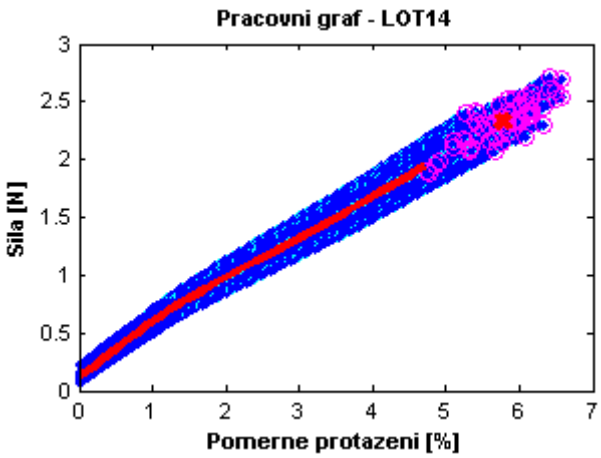
Obr. 10



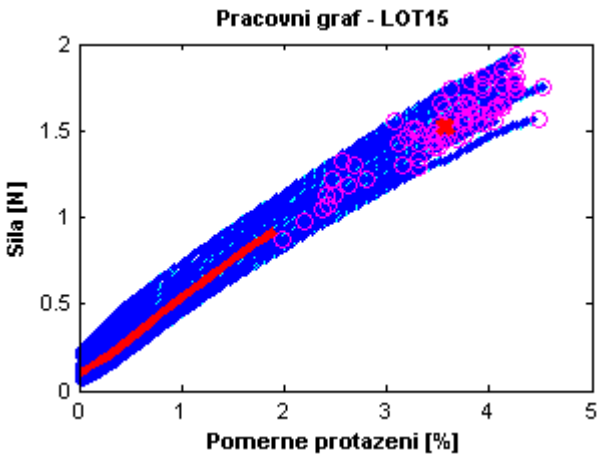
Obr. 11



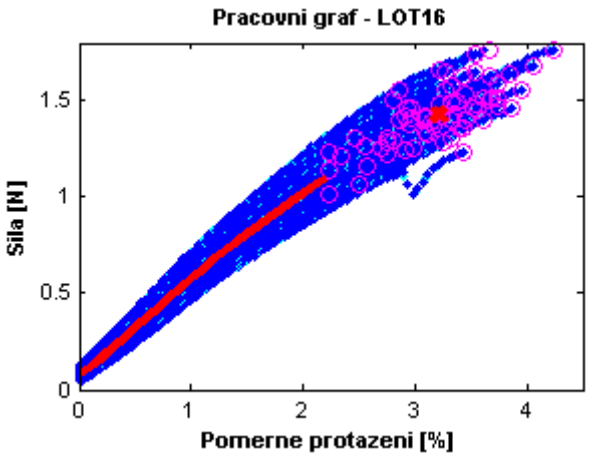
Obr. 12



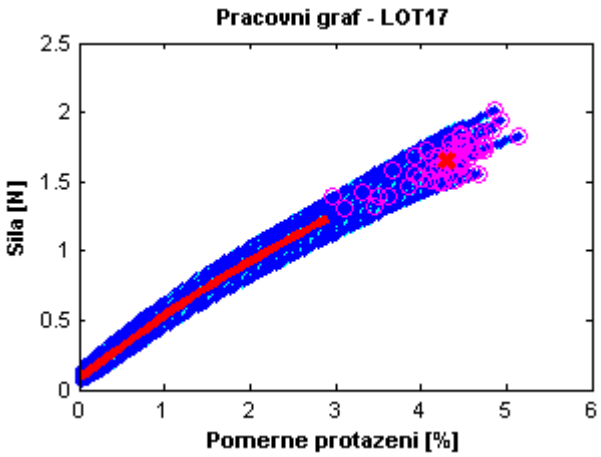
Obr. 13



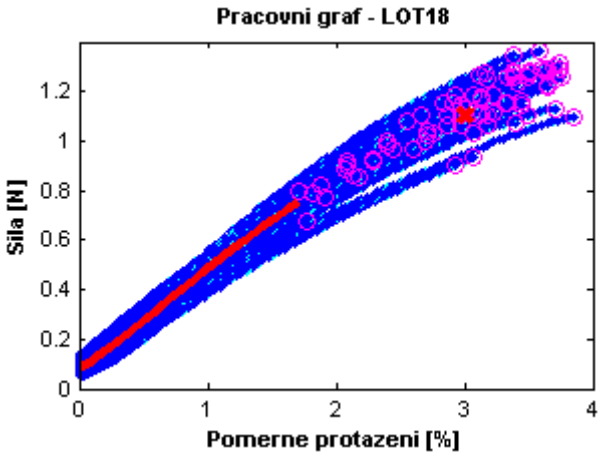
Obr. 14



Obr. 15



Obr. 16



Obr. 17

Příloha 7:

Tab. 1. – přehled výsledků poměrných pevností podle vybraných modelů predikce pevnosti.

$P_{prINSTRON}$ [N]	P_{pr} [N] Ripka	P_{pr} [N] Solověv	P_{pr} [N] Pan	P_{pr} [N] Korigovaný	$P_{pr5\%}$ [N]	$P_{pr50\%}$ [N]	$P_{pr95\%}$ [N]
0,095	0,122	0,107	0,071	0,117	0,143	0,130	0,116
0,109	0,129	0,124	0,074	0,118	0,143	0,130	0,117
0,060	0,088	0,113	0,078	0,090	0,143	0,130	0,117
0,112	0,130	0,177	0,108	0,123	0,143	0,130	0,116
0,094	0,096	0,107	0,069	0,090	0,143	0,130	0,117
0,061	0,079	0,115	0,081	0,079	0,143	0,130	0,116
0,066	0,069	0,088	0,062	0,068	0,143	0,130	0,116
0,080	0,085	0,080	0,057	0,083	0,143	0,130	0,117
0,128	0,147	0,179	0,111	0,143	0,143	0,130	0,118
0,107	0,108	0,148	0,095	0,106	0,143	0,130	0,117
0,114	0,140	0,141	0,088	0,128	0,143	0,130	0,117
0,104	0,102	0,150	0,096	0,096	0,143	0,130	0,117
0,138	0,148	0,175	0,104	0,142	0,143	0,130	0,116
0,099	0,111	0,149	0,096	0,107	0,143	0,130	0,116
0,089	0,101	0,132	0,087	0,099	0,143	0,130	0,117
0,102	0,123	0,137	0,086	0,111	0,143	0,130	0,116
0,072	0,092	0,090	0,061	0,089	0,143	0,130	0,117

Příloha 8:

Tab. 1. – vybrané vlastnosti bavlněné suroviny potřebné k stanovení regresního modelu.

P_{sv} [$Ntex^{-1}$]	ε [%] (sur.)	UHM [mm]	**ML [mm]**	UI [%]	I_{kv} [%]	T_{exp} [tex]	**t_m [-]**	pn [-]	t [tex]	**P_v [$Ntex^{-1}$]**	ε_v [%]	$P_{prINSTRON}$ [$Ntex^{-1}$]
0,322	6,4	28	23,24	83	9,7	17,25	3,8	2	0,184	0,213	7,06	0,095
0,324	6,1	33,8	27,34	80,9	6	16,91	2,5	8	0,118	0,219	6,91	0,109
0,247	5,1	24,1	19,18	79,6	15,1	16,79	4,2	2	0,161	0,232	5,81	0,060
0,338	6,1	30	25,23	84,1	6,6	17,06	3,5	2	0,126	0,321	6,12	0,112
0,246	5,5	26,8	21,55	80,4	13,8	16,74	2,8	4	0,141	0,206	5,09	0,094
0,218	5	22,1	17,37	78,6	22,2	16,95	3,8	1	0,144	0,241	5,79	0,061
0,188	4,9	23,3	18,08	77,6	22,6	17,03	3,4	2	0,165	0,185	7,07	0,066
0,228	6,1	26,2	20,72	79,1	13,3	16,88	3,5	2	0,218	0,170	8,88	0,080
0,391	6,5	35,4	30,69	86,7	3,7	16,16	4	1	0,168	0,327	8,11	0,128
0,291	5,4	28,8	23,62	82	9,5	16,79	3,8	6	0,147	0,281	5,87	0,107
0,352	5,2	29,8	24,41	81,9	8	16,64	2,5	4	0,134	0,261	5,35	0,114
0,262	5,5	28,3	21,51	76	15,8	16,64	2,8	2	0,13	0,285	7,23	0,104
0,389	6,4	36,2	31,68	87,5	13,5	17,00	3,9	2	0,149	0,310	7,79	0,138
0,293	5,6	28	22,85	81,6	10,6	17,09	3,6	2	0,15	0,286	6,36	0,099
0,271	5,7	27,7	22,38	80,8	11,9	16,75	3,7	2	0,165	0,259	5,70	0,089
0,305	6	29,1	22,73	78,1	10,7	17,36	2,4	2	0,132	0,257	6,76	0,102
0,245	7	26,4	21,15	80,1	12,2	16,61	3,3	1	0,173	0,181	8,85	0,072

Datová příloha 9:

- výsledky měření na přístroji Uster Tester 4 – Data Uster Tester 4.pdf