

Technická univerzita v Liberci
Fakulta textilní

Obor: Textilní technika

Disertační práce

**CHARAKTERISTIKA OSNOVNÍ PLETENINY –
STRUKTURA A MECHANICKÉ VLASTNOSTI**

Ing. Irena Plachá

UNIVERZITNÍ KNIHOVNA
TECHNICKÉ UNIVERZITY V LIBERCI



3146115277

ETT

Liberec 2001

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Univerzitní knihovna
Vorelská 1329, Liberec 1
461 17

U588T

1432.1 51. pul-
ob, text. ge.

„Když vědec nezná odpověď na problém, žije v nevědomosti. Když výsledek tuší, žije v nejistotě. A když má proklatě velkou jistotu o charakteru výsledku, ještě pořád ho hlodají nějaké pochybnosti. Zjistili jsme, že pro dosažení pokroku to má ohromný význam. Musíme uznat naši ignoranci a ponechat prostor pochybám. Vědecké poznatky jsou souborem tvrzení pronesených s různým stupněm jistoty - některá tvrzení jsou naprosto nejistá, některá skoro jistá, ale žádná nejsou jistá absolutně.“

Richard Phillips Feynman

Vedoucí disertační práce : **Prof. Ing. Radko Kovář, CSc.**

Konzultant disertační práce: **Prof. RNDr. Bohuslav Stříž, DrSc.**

Rozsah práce:

Počet stran: 148

Počet obrázků: 156

Počet tabulek: 23

Počet příloh: 4

Poděkování

Během zpracování disertační práce mi přispěli svou radou mnozí odborníci. Velmi ráda bych poděkovala všem, kteří mi pomohli při vzniku této disertační práce. Svému školiteli Prof. Ing. Radko Kovářovi, CSc. za odborné vedení a cenné rady, konzultantu Prof. RNDr. Bohuslavu Střížovi, DrSc. za neocenitelnou pomoc a odborné rady související s mechanickou částí práce. Mé poděkování patří také těm, kteří mi přispěli dílčí radou a pomocí. Kromě toho je mou milou povinností poděkovat všem pracovníkům katedry textilních struktur za zájem, který věnovali mé práci, všestrannou pomoc a vědomosti, které jsem od nich získala.

Zejména děkuji všem, kteří mi usnadnili a především vytvořili podmínky pro zpracování této práce.

V neposlední řadě bych ráda poděkovala svým rodičům, přátelům, známým a nejbližším za nevyčerpatelnou trpělivost a neustálou morální podporu během zpracování mé disertační práce.

Autorka

V Liberci 11.3. 2001

Abstract

This thesis is focused on the structure and deformation of the warp knitted fabric – tricot. Although the application of knitted fabrics have expanded into technical and composite areas because of the unique performance of the material our understanding of the mechanical behaviour of knitted structure is still limited.

Warp knitted fabrics are neither homogeneous, nor isotropic, i.e. their properties are determined by the loading direction. Therefore theoretical analysis of fabric behaviour becomes a very considerable and experimental verification of theoretical predictions and it is more critical than for other materials.

This work investigates the issues related to knitted structure deformation. Two parts of warp knitted geometrical structure (tricot) are described: one is the design of the relaxed state of knitted fabric as basis state for calculating loop length; the other is the design of the uniaxial deformed state of structure – tricot. New dimensions parameters and fabric elongation can be determined based on this state.

All knitted structures basically originate from the loop unit. Due to the elastic component of strain energy, knitted loops tend to keep on changing shape so as to reach the minimum energy level. Therefore the shape of a loop determines the course and wale densities and then the area dimension of a knitted fabric. Fabric geometrical models keep in a plane of the initial configuration after relaxation processes. Model B based on the geometrical parameters is proven to be available in calculation of loop length. But some inaccuracy depends on yarn diameter and bent yarn in crossover point of loops.

The direction dependence or anisotropy of tensile strength and strain as well as the breaking strength and strain are examined experimentally in uniaxial testing. The experimental stress-strain behaviour is in accordance with the typical curve of warp knitted elongation curve.

An attempt to investigate the direction dependence or anisotropy of the tensile strength based on biaxial extension warp knitted fabric using special instrument are presented. Theoretical calculation of this tensile modulus E and u , (dimensionless value representing the non-linear tensile properties of knitted fabric) got from experimental measure becomes a very attractive alternative. The method includes using specimen in the form of a cruciform so that only the central part of the specimen is in biaxial tension while the arms of the specimen are in uniaxial tension.

In general, there are three independent properties to be determined, i.e. the tensile modulus in both warp and filling directions and the in-plane shear modulus.

By utilizing the superior deformability knitted fabrics can be deformed as the reinforcement to fit the final shape required. Therefore, it is necessary to keep on studying the deformation of warp knitted structure.

Seznam zkratk a symbolů

A, a - délka hlavní poloosy (rozšíření)	[mm]	G - gravitační síla	[N]
A - šířka oka	[mm]	H_c - celková hustota pleteniny po relaxaci	[m ⁻²]
A_{min} - minimální šířka oka	[mm]	H_{cleor} - celková hustota na stroji	[m ⁻²]
A_{max} - maximální šířka oka	[mm]	H_f - hustota řádků pleteniny po relaxaci	[m ⁻¹]
B, b - délka vedlejší poloosy (stlačení)	[mm]	H_{fteor} - hustota řádků nastavená na stroji	[cm ⁻¹]
b_i^o - rozměr vzorku pleteniny	[m]	H_s - hustota sloupků pleteniny po relaxaci	[m ⁻¹]
B - výška oka	[mm]	H_{steor} - hustota sloupků daná dělením stroje	[m ⁻¹]
d_v - průměr vlákna	[mm]	I - jednotkový tenzor	[1]
B_{min} - minimální výška oka	[mm]	J - jakobián	[1]
c - rozteč sloupků pleteniny	[mm]	K - zákrutový koeficient (materiálová konstanta)	[1]
c^I, c^{II} - maximální a minimální rozteč sloupků	[mm]	k - empirická konstanta (Kopias – Žůrek)	[1]
d - průměr délkové textilie	[mm]	k - počet namáhaných nití v oku	[1]
$d', d^I, d^{II}, d_d, d_y$ - průměr nitě po deformaci	[mm]	k_h - hustotní koeficient pleteniny	[1]
d_{ef} - efektivní průměr nitě	[mm]	L - délka příze	[km]
d_k - vypočítaná hodnota průměru nitě	[mm]	L - původní délka zkušební vzorku	[mm],
d_o - původní průměr nitě	[mm]	l - délka vzorku při zkoušce pevnosti	[mm]
d_s - substanční průměr příze	[mm]	l - délka nitě v oku	[mm]
c_{ij} - složky Biova tenzoru poměrných sil	[Nm ⁻¹]	l_{al} - délka nitě v oku podle Allisona	[mm]
$d_{\mu s}, d_{\mu m}$ - vypočítané průměry nitě pro hodnoty zaplnění	[mm]	l_c^I, l_c^{II} - délka nitě v oku po deformaci	[mm]
$\bar{E}_{ij}$ - modul vztažený k rovinné napjatosti	[Nm ⁻¹]	l_{da} - délka nitě v oku podle Dalidoviče	[mm]
F - vstupní tahová síla	[N]	$l_{gr p}, l_{gr z}$ - délka nitě v oku podle Grosberga	[mm]
F - materiálový deformační gradient	[1]	l_{kz} - délka nitě v oku podle Kopias – Žůrka	[mm]
F_{Isl} - síla připadající na jeden sloupek	[N/sl]	l_{se} - délka nitě v oku podle Shinna – Elarefa	[mm]
$F_{I f}$ - síla připadající na jeden řádek	[N/ř]	l_{skut} - skutečná délka nitě v oku	[mm]
$F_1, F_2, F_A, F_B, F_N, F_y$ - tahové síly v nitích	[N]	l_u - původní (upínací) délka vzorku	[mm]
F_N - normálová síla	[N]	l_v - délka nitě v oku podle Vékássyho	[mm]
F_o - výstupní tahová síla	[N]	M - parametr materiálu a technologie	[mm],
F_f - pevnost pleteniny ve směru řádků	[N]	m_1, m_2 - skutečné poměrné normálové síly	[Nm ⁻¹]
F_s - pevnost pleteniny ve směru sloupků	[N]	m_o - hmotnost nitě v oku	[g]
F_{slide} - tahová síla v niti v okamžiku, kdy vzdálenost $s \rightarrow \infty$	[N]	m_p - hmotnost příze	[g]
F_n - tahová síla nitě	[N]	m_z - hmotnost závaží	[g]
f_c - celkový součinitel tření	[1]	N - konstanta pro vazbu trikot	[1]
f_o - statický koeficient tření	[1]	$p_{s, f}$ - počet sloupků (řádků) ve zkušebním vzorku pleteniny	[1]
f_s - kinetický koeficient tření	[1]		

P - šířka oka podle Vékássyho	[mm]	s_r - srážení ve směru řádků	[%]
P - substanční průřez příze	[mm ²]	s_s - srážení ve směru sloupků	[%]
P_c - celková plocha průřezu příze	[mm ²]	T - jemnost délkového materiálu	[tex]
p_{teor}, p - součin roztečí sloupků a řádků	[mm ²]	t - jemnost vláken	[tex]
R - třecí síla	[N]	t - doba do přetrhu vzorku	[s]
R - tenzor rotace	[1]	u_{ij} - posuvy čtyřúhelníkového elementu	[1]
r_{ij} - složky tenzoru rotace	[1]	V - objem vláken v přízi	[mm ³]
S - substanční plocha příze	[mm ²]	V_c - celkový objem příze	[mm ³]
S - výška oka podle Vékássyho	[mm]	w - rozteč sloupků pleteniny	[mm]
S - maximální plocha oka	[mm ²]	w^I, w^II - minimální a maximální rozteč sloupků	[mm]
S_B - Bioův tenzor poměrných sil	[Nm ⁻¹]	x - parametr sklonu nakloněné roviny ($x = \sin \beta$),	[1]
S_{max} - maximální rozteč řádků podle Vékássyho	[mm]	Z, Z_i - součinitel plošného zakrytí	[1]
s - vzdálenost čelistí	[mm]	Z - zákrut příze	[m ⁻¹]
s_{ij} - složky skutečných poměrných sil	[Nm ⁻¹]		
α - sklon oka osnovní pleteniny	[rad]	δ_{12} - Kroneckerův symbol	[1]
α - úhel opásání	[rad]	δ, γ - úhly pro geometrické modely oka	[rad]
α^I, α^{II} - úhel sklonu spojovací kličky	[rad]	γ - měrná hmotnost	[gm ⁻³]
β - úhel sklonu spojovací kličky	[rad]	$\eta_{s,r}$ - pevnostní koeficient efektivnosti pleteniny ve směru sloupků (řádků)	[Nmm/g]
β - úhel sklonu nakloněné roviny	[rad]	μ - zaplnění příze	[1]
Δ - tenzor protažení	[1]	μ_m - mezní zaplnění příze	[1]
ε_d - maximální tažnost trikotu ve směru podélném	[%]	π - Ludolfovo číslo	[1]
ε_{ij} - složky tenzoru deformace	[1]	ρ_v - měrná hmotnost vláken	[kg.m ⁻³]
ε_{ij}' - složky tenzoru deformace k osám symetrie anizotropie	[1]	ρ_s - plošná hmotnost pleteniny	[g.m ⁻²]
$\varepsilon_{pO}, \varepsilon_{pW}$ - maximální tažnost ve směru sloupků a řádků	[%]	Σ - tenzor skutečných poměrných sil	[Nm ⁻¹]
ε_s - maximální tažnost trikotu ve směru příčném	[%]	ω - úhel symetrie anizotropie	[rad]
2D - dvoudimenzionální		PADh - polyamidové hedvábí	
3D - třídimeznionální		PESh - polyesterové hedvábí	
ba - bavlna		RML - rašlový víceúčelový laboratorní osnovní stroj	
FEM - finite elements method		RTM - resin transfer moulding	
F - srážecí plech		VSh - viskózní hedvábí	
I - VI - označení hustot pleteniny			
KP - kladecí přístroj			

Obsah

1	Úvod	8
1.1	Cíl disertace	10
2	Struktura pleteniny – obecně	11
2.1	Všeobecná hlediska modelování	12
2.1.1	Modely vazebních prvků pletenin	11
2.1.2	Mechanický model	12
2.1.3	Geometrické modely oček	12
2.1.4	Zjednodušující předpoklady pro modelování	12
2.2	Vazný bod	13
2.2.1	Odlišnost vazného bodu tkaniny a oka osnovní pleteniny	13
2.2.2	Vazné body tkanin	14
2.2.3	Vazné body pletenin	14
3	Stavy pletenin	16
3.1	Význam „stavu“ pleteniny	16
3.2	Rozměrová stabilita	16
3.3	Nestabilní stav	16
3.4	Plně relaxovaný stav	16
3.5	Stav částečné relaxace	17
3.6	Stav maximální možné deformace	17
4	Struktura osnovních pletenin	17
4.1	Vazba trikot	18
4.2	Očko osnovní pleteniny	19
4.2.1	Sklon oka osnovní pleteniny	20
4.2.2	Střída vzoru a strukturální jednotka trikotu	20
4.2.3	Prostorová geometrie oka	21
4.3	Definice strukturálních parametrů oka	21
4.4	Shrnutí poznatků o struktuře	22
5	Délkové textilie	23
5.1	Některé charakteristiky příze	23
5.1.1	Základní veličiny popisující přízi	23
5.2	Nit a průměr nitě v pletenině	25
5.2.1	Výpočet průměru nitě v pletenině	25
5.2.2	Vlastní teoretický návrh siluet řezů vazných bodů pletenin	27
5.2.3	Experimentální metody ke zjišťování průměru nitě a průměru nitě v textilií	30
5.3	Vliv průměru nitě	34
5.3.1	Vliv průměru nitě na zakrytí pleteniny	34
5.4	Zjišťování pevnosti a tažnosti nitě	36
5.4.1	Popis zkoušky	37
5.5	Mechanika ohybu nitě podle BACKERA	37
5.6	Tření	37
5.6.1	Rozdělení tření	38
5.6.2	Tření opásáním	38
5.6.2.1	Tření v imitovaném vazném bodu pletenin	39

5.6.3	Metoda měření prokluzu nitě v pletenině	39
5.6.3.1	Metoda zjišťování koeficientů tření podle STUMPFA	39
5.6.4	Vliv tření na mechanické vlastnosti pletenin	42
5.6.5	Shrnutí	43
6	Modelování oka osnovní pleteniny ve vazbě uzavřený trikot	44
6.1	Klasické geometrické modely	44
6.1.1	DALIDOVIČŮV model trikotu ve volném stavu a při 1-osé deformaci	44
6.1.2	Model trikotu ve volném stavu a při 1-osé deformaci VÉKÁSSYHO	47
6.1.3	Shrnutí a vyhodnocení dalších modelů vazby uzavřeného trikotu	49
6.1.4	Fotogrammetrická metoda vyhodnocení struktury textlie	52
6.2	Některé nové přístupy k modelování osnovních pletenin	52
6.2.1	Experimentální testování mechanických vlastností osnovních pletenin	52
6.2.1.1	Návrh modelu oka pro simulační metodu STUMPFA	53
6.2.2	Návrh modelu pletenin pro kompozitní materiály	54
6.3	Vlastní návrh modelování osnovní vazby – trikot z „pružné“ a „ohebné“ nitě	56
6.3.1	Nepřesnost modelů	57
6.3.2	Vlastní návrh modelu oka trikotu typu A	58
6.3.2.1	Stanovené podmínky pro konstrukci geometrického modelu oka typu A	59
6.3.2.2	Geometrické vyjádření délky nitě v oku	60
6.3.2.3	Teoretická specifikace modelu oka typu A ve struktuře pleteniny	63
6.3.3	Vlastní návrh modelu oka trikotu typu B	66
6.3.3.1	Stanovené podmínky pro konstrukci geometrického modelu oka typu B	67
6.3.3.2	Geometrické vyjádření délky nitě v oku	68
6.4	Shrnutí a srovnání vytvořených modelů oka typu A a B	70
7	Základní poznatky o deformaci pletenin	73
7.1	Pleteniny s ohledem na její hodnotu deformability	73
7.2	Deformační schopnost pletenin	73
7.2.1	Pracovní křivka pletenin	74
7.2.2	Obecné srovnání pracovních křivek tkanin a pletenin	75
7.3	Modely deformovaných pletenin	75
7.3.1	Navržené zjednodušující předpoklady pro vlastní modelování deformované struktury pleteniny	76
7.3.2	1-osé namáhání osnovní pleteniny – trikot	76
7.3.2.1	Maximální deformace struktury trikotu v podélném směru	77
7.3.2.2	Maximální deformace struktury trikotu v příčném směru	79
7.3.2.3	1-osá tažnost trikotu v podélném a příčném směru	81
7.3.3	Biaxiální deformace osnovní pleteniny – trikot	83
7.3.3.1	Určení úhlu sklonu spojovací kličky oka v biaxiálním modelu struktury osnovní pleteniny	85
7.3.3.2	Experimentální zkouška biaxiální deformace osnovní pleteniny	85
7.4	Vliv průměru nitě na délku nitě v modelu deformovaného oka pleteniny	87

8	Geometrické vlastnosti pletenin	89
8.1	Geometrické parametry pletenin a jejich změna	89
8.1.1	Hustota osnovní pleteniny	89
8.2	Vliv mechanicko-fyzikálních vlastností nitě na strukturální parametry osnovní pleteniny	90
8.3	Vliv konstrukce stroje na strukturální parametry osnovní pleteniny	94
8.3.1	Pracovní ústrojí a jeho činnost	94
8.3.1.1	Přívádění materiálu k pracovnímu ústrojí a odvádění pleteniny	96
8.4	Shrnutí	97
9	Mechanicko-fyzikální vlastnosti osnovních pletenin	98
9.1	Definice pevnosti a tažnosti	98
9.2	Zjišťování směrové pevnosti a tažnosti pletenin ve vazbě uzavřený trikot	99
9.2.1	Tahová zkouška pletenin	99
9.2.2	Obecný popis tahových křivek při zkoušce 1-osého namáhání	99
9.2.2.1	Pracovní křivky osnovní pleteniny a jejich vyhodnocení	100
9.2.3	Vlastní teoretické předpoklady pro odvození tažnosti a pevnosti vzorků trikotu s různou hustotou (PESh, 65PES/35ba)	102
9.2.3.1	Experimentální vyhodnocení směrové pevnosti a tažnosti osnovní pleteniny	103
9.2.4	Experimentální hodnoty 1-osé směrové pevnosti a tažnosti pleteniny (PESh) ve směrech 0°, 15°, 45°, 60°, 75° a 90°	105
9.2.5	Shrnutí poznatků především o tažnosti osnovních pletenin	107
10	Určování mechanických parametrů osnovních pletenin	109
10.1	Matematický popis nelineárního chování pletenin při deformování	109
10.1.1	Realizace biaxiálního zatěžování osnovní pleteniny	110
10.1.2	Matematické závislosti pro experimentální určení posuvů při zkoušce biaxiální deformace textilie	112
10.1.3	Stanovení mechanických charakteristik osnovní pleteniny	
10.1.3.1	Postup výpočtu modulů pružnosti na základě stanovení typu anizotropie	119
10.1.4	Experimentální určení posuvů elementů a určení hodnot mechanických parametrů osnovní pleteniny ve vazbě uzavřený trikot	120
10.2.	Shrnutí mechanických parametrů – modulů pružnosti osnovních pletenin	130
11	Závěr	130
11.1	Geometrické vlastnosti délkových textilií	131
11.2	Mechanické vlastnosti osnovní pleteniny trikot	133
11.2.1	Zhodnocení pevnosti a tažnosti osnovní pleteniny – trikot	134
11.2.2	Zhodnocení zjištěných modulů pružnosti v závislosti na napjatosti osnovní pleteniny – trikot	139
11.3	Slovo závěrem	140

Seznam použité literatury

Přílohy

1 Úvod

Problematika kolem struktury a chování osnovních pletenin při deformování je poměrně obsáhlá a především neprobádaná. Spoustu jevů a faktorů ji ovlivňujících se nepodaří zcela úplně popsat v důsledku širě jejího rozsahu.

Disertace se zabývá oblastí základního výzkumu struktury, geometrických a některých mechanicko-fyzikálních vlastností osnovní pleteniny ve vazbě uzavřený trikot. Jejím cílem tedy nemohlo být okamžité praktické uplatnění jejich výsledků v průmyslové oblasti, případně ekonomický výsledek, ale pouze poskytnutí dílčích poznatků v oblasti konstrukce geometrických modelů osnovní pleteniny ve vazbě uzavřený trikot ve volném stavu, ve stavu maximální jednoosé a biaxiální deformace a ve vyjádření tažnosti představených modelů struktury pletenin. Výsledky práce mohou najít uplatnění zejména v na ně navazujícím aplikovaném výzkumu. V neposlední řadě mohou využity také při výuce struktury osnovních pletenin a mohou pomoci ve zpracování dalších diplomových, popř. bakalářských prací týkajících se osnovních pletenin.

Tato práce se skládá ze dvou pohledů na strukturu a chování osnovních pletenin při deformování. Prvním pohledem je pohled z hlediska pletařské technologie a je převažující, druhý je pohled z hlediska mechaniky textilií. V obou případech je důležité poznání struktury, ze kterého se vychází při dalším zkoumání chování pleteniny při deformování.

Pletaře nejvíce zajímá struktura - provázání nitě v pletenině, která souvisí s deformačními vlastnostmi pleteniny. Protože je pletenina složena z opakujících se strukturálních jednotek, které se pro zjednodušení považují za identické, modelují se pouze tyto jednotky. Snahou představené práce je vytvořit poměrně jednoduchý čistě geometrický model osnovní pleteniny ve vazbě uzavřený trikot vytvořený z „dokonale ohebné“ a „dokonale pružné“ nitě ve volném a deformovaném stavu, který nezahrnuje empiricky naměřené koeficienty. Je sestaven pouze na základě pozorování struktury pleteniny vyrobené ze dvou materiálů. Druhou možností se jevil návrh experimentální metody vyhodnocení geometrie nitě v očku osnovních pletenin, popř. stanovení bodů na neutrální ose, které budou proloženy křivkou přibližující se tvarem co nejvíce skutečnému očku. Tento přístup byl zamítnut kvůli předpokládanému množství vytvořených modelů lišících se geometrickými parametry.

Pohled na pleteninu z hlediska pružnosti může být jako na spojitě kontinuum, kterým je nahrazena struktura pleteniny. Tímto sice dochází k velkému zjednodušení úhlu pohledu, avšak zatím jiná cesta se nejeví schůdnější. Potom lze zjišťovat deformace a základní mechanické parametry takto navrženého kontinua, protože s rozvojem počítačové techniky lze aplikovat rovnice mechaniky pružnosti a dosáhnout jejich výsledku.

Proč vytvářet model a zajímat se o problematiku deformability osnovních pletenin? Kvůli studiu deformability osnovních pletenin je nezbytné právě poznání struktury. Protože je

pletenina „nestejněměrná“ vytváří se modely, které úspěšně nebo neúspěšně nahrazují skutečné provázání nitě v pletenině.

Zůstává tedy otázka, proč se zajímat o deformabilitu?

S vývojem nových materiálů a především z důvodu nahrazení „klasických“ materiálů se rozvíjí výroba technických textilií, např. kompozitů s textilní maticí. Tyto materiály mohou být vhodné pro různé aplikace, protože se v nich spojuje vyšší poměr tuhosti vzhledem ke své hmotnosti. Některé mohou odolávat zatěžujícím podmínkám zahrnujícím, jak namáhání statické, dynamické, tak i cyklické. Mají vyšší houževnatost než kovy nebo jiné tradiční nosné materiály. Větší houževnatost znamená vyšší schopnost absorpce rázů nebo dynamické energie při zatěžování, atd.

Právě pletařské textilie mohou být v některých případech využívány jako výztužná složka, hlavně u těch kompozitních výrobků, které je třeba před vytvrzením prostorově tvarovat, aj. Pleteniny se jeví všeobecně jako jedna z nejvýhodnějších textilií schopná těmito vlastnostem vyhovět. Právě kvůli „vysoké“ hodnotě tažnosti (způsobené prokluzem nitě ve struktuře), která je obecně pro pleteniny typická na rozdíl od ostatních plošných textilních materiálů, je dobré ji plně zhodnotit a využívat. Kvůli zjišťování především velikosti tažnosti a pevnosti osnovní pleteniny, je nutné správně popsat volný stav pletenin. Nepřesným popisem se „ztrácí“ míra deformovatelnosti, která je v tomto pojetí považována za kladnou vlastnost pletenin. Dále pletenina poskytuje větší možnosti pro formování než tkanina, která se deformuje snadněji smykem nežli tahem. Také možnost ovlivňování směrové pevnosti a tažnosti vazeb osnovních pletenin podle jejího účelu použití „nahrává“ pleteninám. Zvláštní struktura osnovní pleteniny dává předpoklad pro specifické vlastnosti osnovních pletenin, a určuje tak některé teoretické vztahy a jejich použití.

Už při minimální vnější síle se pletenina protahuje a mění velikost svých základních strukturálních jednotek a parametrů. Tahová křivka osnovní pleteniny má nelineární charakter, kdy při malém přírůstku síly je velký přírůstek prodloužení. Při jednoosém namáhání dochází ještě navíc k výrazné příčné kontrakci struktury pleteniny. Míra velikosti rozměrových změn po sejmutí ze stroje přímo ovlivňuje výslednou tažnost osnovní pleteniny. Při stejném nastavení osnovního stroje, návleku kladecího přístroje a vazbě lze u různých materiálů dostat odlišné strukturální parametry (hodnoty rozteče řádků a sloupků), ačkoliv probíhalo stejné zatahování nitě očka pleteniny. Z toho vyplývá vliv vlastností použitého materiálu, především ohybové deformačních. Očko potom zaujímá jiný tvar, v případě vyšší ohybové tuhosti je kruhovější.

Se strukturou pletenin souvisí mnoho jiných jejích vlastností, proto její studium je potřebné, v ní je nutné hledat souvislosti a s jejím zkoumáním začínat.

Řešení problematiky je zaměřeno především do teoretické oblasti týkající se struktury osnovních pletenin. Také proto není práce klasicky rozdělena do dvou kapitol, řešeršní a

experimentální. Vlastní teoretické poznatky a dílčí experimentální výsledky jsou uváděny postupně. Shrnutím experimentů do posledních kapitol by se porušila souvislost a kompaktnost obsahu. Prameny jsou vždy uváděny ihned v textu a vlastní část je dostatečně označena. Případné opakování některých tvrzení a zjištěných informací není prováděno v důsledku optického zvětšení objemu práce, ale z hlediska lepší srozumitelnosti a pochopitelnosti předložené práce.

1.1 Cíl disertace

Cíl disertace byl rozvržen do několika oblastí:

1. Teoretická analýza geometrie osnovní pleteniny ve vazbě uzavřený trikot. Na základě fyzikálních zákonů, působení axiálních sil v nitích a na základě navržených zjednodušujících předpokladů navrhnout konstrukci geometrických modelů vybrané osnovní pleteniny. Odvodit matematické závislosti mezi jejími strukturálními parametry ve formě $l = f(w, c, d, \alpha, \dots)$. Provést verifikace navržených modelů vazby a shrnutí poznatků o změnách tvaru oček a jejich vlivu na deformabilitu pletenin, popř. její tažnost.
2. Zaměřit se na specifikaci vlivu stanovení průměru nitě na délku nitě v očku v modelu pleteniny ve volném a deformovaném stavu. V souvislosti s tématem práce provést stanovení průměru nitě, zabývat se problémem deformace průřezu nitě ve vazném bodě.
3. Navrhnout modely maximálně jednoose a biaxiálně deformované vazby. Odvodit matematické závislosti pro maximální směrovou tažnost ve směru řádků a sloupků. Podle podmínek statické rovnováhy v tzv. uzlovém bodě navrhnout polohu nití v jehelním oblouku.
4. U série vzorků zjistit jejich základní strukturální parametry a provést experimentální zkoušky směrové pevnosti a tažnosti a vyhodnotit směrovou závislost osnovní pleteniny.
5. Provést experimentální zkoušky biaxiálního namáhání osnovní pleteniny (ve směru řádků a sloupků, popř. v jiném obecném směru) umožňující protažení struktury i v místě upnutí vzorku, tzv. rovnoměrnou biaxiální deformaci.
6. Při zkoušce dvouosé napjatosti zjistit mechanické parametry navrženého kontinua představujícího strukturu osnovní pleteniny a stanovit jaký typ anizotropie mechanických vlastností bude mít tato osnovní pletenina.

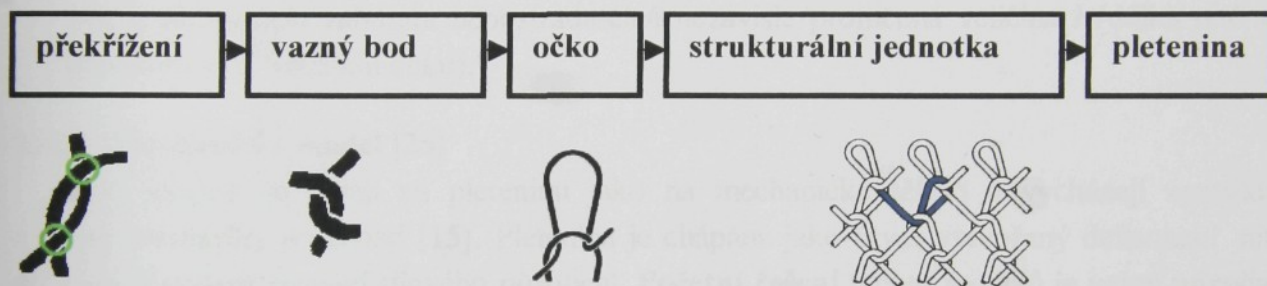
Záměrem práce bylo také shrnout doposud známou a publikovanou problematiku týkající se osnovních pletenin a deformačních charakteristik a „stmelit“ ji dohromady s mechanickou částí obsahující vyšetření směrových závislostí mechanických veličin textilie.

2 Struktura pleteniny - obecně

Jak uvádí KOČÍ [21], pleteninu tvoří jedna nebo více soustav nití, které jsou navzájem určitým způsobem propojeny pletařskou technikou tak, aby vznikl celistvý plošný textilní útvar. Na rozdíl od ostatních textilií může být soustava nití redukována pouze na jednu nit, ze které již lze celistvý plošný útvar vytvořit. **Osnovní pleteniny**, kterých se převážně tato práce bude týkat, jsou tvořeny nejméně z jedné soustavy osnovních nití navinutých na osnovním vále.

Celistvosti pleteniny se dosáhne vzájemným provázáním klíček nebo smyček – oček, které lze považovat za základní stavební prvky pleteniny. Ovšem ještě elementárnějším prvkem struktury pletenin je vazný bod.

Každá pletenina se skládá z opakujících se strukturálních jednotek, které jsou tvořeny očky nebo jinými prvky, ty jsou vytvářeny vaznými body složenými z jednotlivých překřížení (obr. 2.1). (V některých případech může být očko zároveň strukturální jednotkou.)



Obr. 2.1 Obecné schéma struktury pleteniny

2.1 Všeobecná hlediska modelování

Modelování [22] patří k všeobecně používaným metodám poznávání. Člověk je schopen vytvořit si představu o určitém jevu objektivní reality vždy jen na úrovni odpovídající historicky danému stupni lidského vědění. Tato představa, i když může být velmi komplikovaná, se s popisovaným jevem neztotožňuje, pouze ho popisuje, a to zpravidla jenom z některých úhlů a s danou omezenou přesností. Za model pleteniny lze považovat právě tuto naši představu o pletenině, která ji charakterizuje jen z některých hledisek a přitom zjednodušeným a tudíž i nepřesným způsobem.

Na stav pleteniny (kap. 3) a jejích strukturálních prvků (oček apod.) má vliv neomezené množství proměnných faktorů. Je to např. velmi komplikovaný soubor technologických podmínek pletení a úpravy textilie, deformační i ostatní vlastnosti zpracovávaného materiálu apod. Postihnout všechny proměnné veličiny s absolutní přesností není možné a ani účelné. Každé očko má svoji individuální formu a bylo by zbytečným plýtváním sil snažit se popsat každé očko skutečné pleteniny. **Vytváření modelů** proto zůstane jediným možným způsobem poznávání vztahů mezi závisle a nezávisle proměnnými parametry pleteniny a vztahů mezi těmito parametry a vlastnostmi pleteniny.

2.1.1 Modely vazebních prvků pletenin

Modelovat pleteninu jako celek by bylo velmi obtížné. Proto je využíváno skutečnosti, že se pletenina skládá ze základních vazebních prvků a modelovány jsou jen tyto strukturální elementy.

U složitějších vazeb není možné strukturu postihnout jen jedním vazebním prvkem, je nutné se zabývat určitým seskupením několika vazebních prvků. Tomuto seskupení, které se v pletenině v obou směrech pravidelně opakuje, se říká střída vazby.

Modely vazebních prvků, v současné době se v literatuře vyskytující, se často skládají z těchto částí [23, 25]:

- specifikace zjednodušujících předpokladů. Je zde vysloven soubor podmínek, za kterých model platí a předpoklady, které sice zkreslují výsledek, ale které byly nutné pro řešitelnost problematiky,
- určení tvaru osy nitě v očku nebo jiném vazebním prvkem,
- určení délky nitě ve vazném prvkem podle definovaného tvaru (rektifikace křivky). Tím je teprve do modelu zahrnuta nepostradatelná nezávisle proměnná veličina l (délka nitě ve vazném prvkem, většinou očku).

2.1.2 Mechanický model [25]

Tyto modely se dívají na pleteninu jako na mechanické těleso a vycházejí zpravidla z teorie mechaniky pružnosti [15]. Pletenina je chápána jako útvar vytvořený deformací nitě určitých vlastností pomocí silového působení. **Početní řešení** těchto modelů je velmi **náročné** a zatím je reálné jenom při aplikaci takových zjednodušujících předpokladů, které odporují skutečnosti. Na druhé straně ale mechanické modely mají nejbližší ke **skutečné podstatě** textilie jako fyzikálního útvaru. Matematické řešení může být prováděno formou vektorové analýzy pomocí sil a momentů, vyskytly se ale i pokusy o skalární rozbor, založený na zkoumání obsahu deformační energie.

2.1.3 Geometrické modely oček

Tyto modely mají zpravidla spekulativní charakter. Na základě **vizuálního pozorování** jsou jednotlivé úseky oka nahrazovány jednoduchými geometrickými křivkami. Shrnutí některých dnes už klasických geometrických modelů je uvedeno v kap. 6.1.

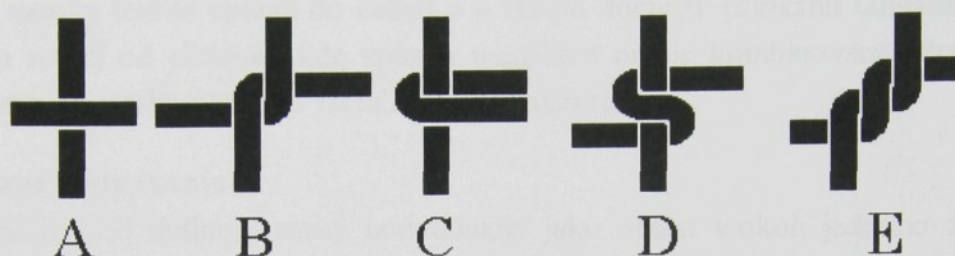
2.1.4 Zjednodušující předpoklady pro modelování

S ohledem na zjednodušení výpočtu délky nitě v očku pleteniny je předpokládáno, že:

- tvar oček v pletenině je stejný a model oka je zaveden jako dvourozměrný,
- je zanedbána nestejnomyšlnost nitě,
- je rovněž zanedbána deformace délkové textilie v podélném směru ,
- zaplétaná nit má válcový tvar kruhového průřezu a její průřez se po zaplétání zachovává. (Tento předpoklad odporuje skutečnosti, je ale nutný k dosažení přiměřeně jednoduchých výsledků.) Původní průměr nitě d_o není konstantní, ale je za něj považován,
- v jednotlivých překříženích je dotyk nití považován za jednobodový (ve skutečnosti předpoklad zcela neplatí).

2.2 Vazný bod

Provázání u tkanin a pletenin je vždy tvořeno vaznými body (křížením nití). Jednotlivá překřížení nití, kterým se podle tkalcovského názvosloví říká **vazné body**, lze charakterizovat následovně. U tkanin je znám osnovní a útkový vazný bod jako místo většinou pravoúhlého (výjimku tvoří např. triaxiální tkaniny) křížení osnovní a útkové nitě a jen vzácně se vyskytují jiné druhy křížení nití. Modely vazných bodů pletenin však mohou mít více variant [26]. Jejich zjednodušené rozdělení je uvedeno na obr.2.2.



Obr. 2.2 Příklady modelů vazných bodů

Varianta A se podobá útkovému vaznému bodu tkaniny. Vazný bod B a C je možné charakterizovat jako „půlzákrut“, který se skládá ze dvou překřížení (kap. 2.2.3), D a E představují dva typy celého „zákrutu“ vzájemně provázaných nití. Dále je možné si všimnout na obr. 2.2, že vazný bod A je obsažen ve vazném bodu B a C dvakrát a ve vazném bodu D, E třikrát. V reálných pleteninách se ale uvedené typy křížení nití vyskytují v řadě podvariant a zejména mezi vaznými body A a B, ale i B a C existuje nepřeberné množství přechodových možností.

Vazný bod má význam při zjišťování deformačních vlastností pletenin, kdy v tomto místě dochází k přesunům a prokluzům nitě ve vazných bodech.

2.2.1 Odlišnost vazného bodu tkaniny a očka osnovní pleteniny

Tkanina má většinou „plnější“ strukturu. Rozmístění jejích vazných bodů tvoří střidu vzoru, která se pravidelně opakuje ve struktuře tkaniny (vazný bod – střída). Na rozdíl od tkaniny má pletenina jeden prvek navíc (vazný bod – očko – střída).

Při tkaní, stejně jako při pletení, dochází ke zprohýbání nitě. Ovšem **struktura pleteniny** zřejmě více dovoluje niti projevit její mechanicko-fyzikální vlastnosti (především ohybové). Proto není snadné vytvořit obecný model vazného bodu pro všechny vazné body v očku a přesně vymezit geometrii neutrální osy v nitích. Navíc lze předpokládat, že při relaxaci nastává ve více případech větší rozměrová změna pletenin než tkanin a z toho vyplývající změna geometrie nitě ve vazném bodě.

U obou textilií může po zhotovení docházet ke **srážení** v příčném směru (směr útku), což rovněž způsobí změnu deformace průřezu nitě. (Srážení může být i záporné.) Volnější struktura pleteniny je umožněna geometrií očka. Vazné body očka osnovní pleteniny se mohou snadněji přesouvat v důsledku geometrie osy nitě, která je zprohýbána. Při relativně menší hustotě pleteniny se nitě nebudou pravoúhle křížit. Místem pro křížení mohou být stěny očka, jehelní oblouky, atd. Změnou geometrických parametrů se změní místo vzájemného kontaktu dvou nití, které vzniklo po zatahování. Přesun nastává z důvodu snížení vnitřní

energie vložené do pleteniny především ohybem nitě do požadovaného tvaru oka. Velikost průřezu nitě se mění. Z uvedených tvrzení vychází obecně **menší deformace** průřezu nitě ve vazném bodě pleteniny oproti tkanině ve **volném - plně relaxovaném stavu** (kap. 3.4). (Samozřejmě s ohledem na závislost na geometrických parametrech tkaniny a pleteniny.)

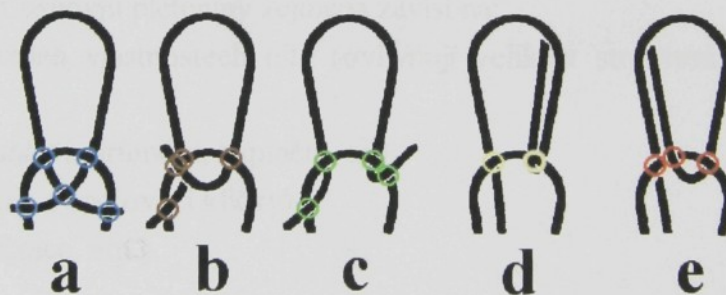
Všeobecně při deformování pleteniny dochází k výraznějšímu přesunu vazných bodů a jejich změně polohy, popř. i průřezu. Může dojít k seskupení některých z nich. U tkanin tak významný přesun a seskupení vazných bodů nenastává. Např. při zkoušení na trhacím přístroji se vzorky textilií upínají do čelistí a u tkanin dochází přímému tahovému namáhání [12] nití na rozdíl od pletenin, kde způsob namáhání nití je kombinovaný. Pravděpodobně také u pletenin má vazba větší vliv na tahové vlastnosti textilie.

2.2.2 Vazné body tkanin

NOSEK [39] definuje vazný bod tkaniny jako oblast v okolí jednoho zakřížení nití útku a osnovy. Jeho rozměr je dán rozestupy obou soustav nití.

2.2.3 Vazné body pletenin

Není jednoznačné stanovit, co přesně je vazný bod pletenin. Rozdíl je patrný u struktur pletenin osnovních a zátažných a dále, jestli se nacházejí ve volném a deformovaném stavu. Jestliže je pletenina v plně relaxovaném stavu, za vazný bod, podle tkalcovské terminologie, lze považovat místo překřížení dvou nití. Ovšem při deformaci pletenin **některá dvě překřížení** nití vedle sebe **mohou splývat** v jeden kontakt, kdy např. jedna nit obtáčí druhou (obr. 2.3d). Definice vazného bodu pletenin proto nebude tak jednoznačná. Na obr. 2.3 jsou kroužkem zaznačeny jednotlivá překřížení.

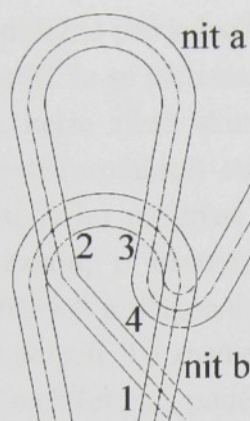


Obr. 2.3 Vazné body oček osnovních pletenin

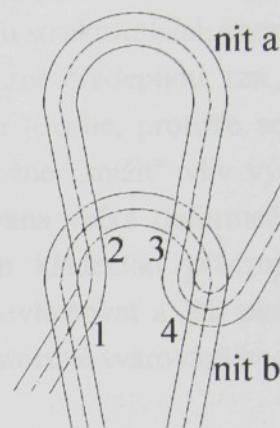
Navržená definice vazného bodu: Vazný bod je oblast křížení dvou nití, která zahrnuje jedno nebo více překřížení nití, u nichž je předpoklad, že se budou při biaxiální deformaci pletenin přibližovat, popř. splývat.

KOČÍ [21] používá pouze termín **vazný bod** a dále uvádí, že pro běžné vazby má opět každé oko osnovní pleteniny čtyři vazné body (v této práci jsou označeny jako překřížení) ve styku s předcházejícím okem. Ovšem na obr. 2.3 u typu a) je jich pět, navíc je překřížení spojovacích kliček, u d) je jeden vazný bod a jedno obtočení nití, tedy nikoli bodový styk a u varianty e) jsou vazné body tři. Mimoto se stěn oka může dotýkat spojovací klička příslušející jinému oku, což je např. u vazby sukna.

Podle navržené definice vazného bodu bude existovat několik variant vazných bodů. Počet vazných bodů není u všech oček vždy stejný. Vedle rozdílného počtu vazných bodů otevřeného a uzavřeného oka je druhý způsob rozdílného počtu kontaktů dvou nití vidět na obr. 2.4, 2.5 u oček osnovních pletenin s kladením střídavým a postupným. Zatímco na obr. 2.4 při deformování splynou jen překřížení označená 3 a 4, na obr. 2.5 dojde k seskupení obou dvojic překřížení, a to 1 a 2, 3 a 4.



Obr. 2.4 Model oka a jeho vazné body při kladení střídavém



Obr. 2.5 Model oka a jeho vazné body při kladení postupném

Dále je nutné zdůraznit vliv rozdílu uzavřeného a otevřeného oka na počet vazných bodů. Uzavřené oko (smyčka) má větší počet překřížení o překřížení spojovacích klíčků (obr. 2.3a). Dostávají se tak další vazné body.

Geometrie nitě v oku osnovní pleteniny zejména závisí na:

- mechanicko-fyzikálních vlastnostech nitě (ovlivňují velikost strukturálních parametrů – roztečí oka),
- geometrii nitě (jemnosti, průměru, zaplnění, aj.),
- na vazbě (sklon oka a spojovací klíčky),
- úpravě pleteniny (fixace, atp.).

Existuje nepochybně mnoho variant překřížení a vazných bodů, z nichž některá sousední překřížení se vzájemně ovlivňují. Téměř všechny vazné body jsou v této práci nahrazeny jedním „ideálním“ modelem, který bude popsán v kap. 5.2.2. V případě tohoto zjednodušení neznámá, že mezi kontakty není žádná vazba ani vzájemná závislost, která v reálné pletenině určitě existuje. Z hlediska **vlivu rozdílu vazných bodů na celkovou deformaci pletenin** lze vazné body „sjednotit“ do jednoho modelu a jejich odlišnost zanedbat (s výjimkou křížení nití dvou spojovacích klíčků u uzavřeného oka; a také křížení stěn oček a spojovacích klíčků při uzavřeném kladení přes jednu a více roztečí). Smysluplnější zřejmě bude se více věnovat návrhu průměru jehelních oblouků, popř. přesnějšímu určení průměru nitě a také deformaci průřezu nitě v místě kontaktu dvou nití při větší napjatosti.

3 Stavy pletenin

3.1 Význam „stavu“ pleteniny

Definice stavu pleteniny, totiž stavu jejího geometrického (prostorového) uspořádání, je při zkoumání struktury a vlastností nutná. Správně popsat stavy pletenin, obzvláště relaxovaný nebo plně relaxovaný stav (kap. 3.4), a z něj odvodit základní strukturální parametry, je důležité pro jednoznačnost řešení úlohy výpočtu strukturálních parametrů.

V případě, že se pleteniny (osnovní, ale i zátažné) mírně předechnou, tzn., že nejsou ve volném stavu, nelze zjistit skutečné deformační schopnosti textilie, protože se ztrácí určitá hodnota tažnosti (protažení) struktury pletenin. Tím je možné „snížit“ vliv výhody tažnosti pletenin oproti jiným plošným textiliím. Za ni je považována velká deformační schopnost, kterou lze vazbou, u osnovních pletenin také návlekm kladecího přístroje, vkládáním podélných, příčných a diagonálních soustav nití, výhodně ovlivňovat a „šít pleteninu“ přímo pro daný účel použití. To znamená navrhovat např. pro prostorové tvarování hodnotu tažnosti v různých směrech (příčný, podélný, diagonální).

3.2 Rozměrová stabilita

Jednou z charakteristických vlastností pletenin je jejich tendence k samovolným tvarovým změnám, ke kterým dochází v průběhu používání a transportu a zhotovení dalších výrobků z pletenin. Pletenina prochází během zpracování a používání řadou různých stavů, z nichž některé je možné z hlediska rozměrové stability charakterizovat.

Během pletení je pletenina v nestabilním stavu, který je možné navíc jen obtížně definovat. Už na pletařském stroji se pletenina zpravidla sráží (KOVÁŘ, [27]) a mění se tak její geometrické parametry. Za odtahovými válci stroje je pletenina odlehčena, většinou ale zůstává ještě částečně napnutá i v nábalu na stroji.

3.3 Nestabilní stav

Vlivem vnějších fyzikálních sil a vnitřních sil (ohybový moment, třecí síly) mění pletenina své rozměry. Ve skutečnosti dochází ke změnám rozměrových parametrů změnou fyzikálních podmínek. Ke specifikaci je nutné určit jednotlivé stavy pleteniny a sledovat pleteninu v těchto stavech nebo při přechodu z jednoho stavu do druhého.

Stav pleteniny je vzhledem k její velké schopnosti měnit rozměry důležitou a přitom obtížně definovatelnou charakteristikou. **Nestabilní** je pletenina brzy po zhotovení (deformace silovým působením při pletení, ta je dočasně nebo trvale fixována různými pasivními odpory - třením, viskoelasticitou apod., jak uvádí KOVÁŘ [22]). Do nestabilního stavu se textilie může dostat působením sil i mimo proces pletení (zušlechťování, konfekce, používání).

3.4 Plně relaxovaný stav

Jedním ze stavů pleteniny, který lze definovat, je **plně relaxovaný stav**, tj. stav s minimálním možným obsahem vnitřní (deformační) energie a tudíž s nejmenší tendencí ke

tvárovým změnám a největší tvarovou stabilitou. Tedy úkolem relaxačních procesů je eliminace vlivu pasivních odporů, které brání pletenině zaujmout plně relaxovaný stav hned po uvolnění působících sil.

Ani tento stav ale není možné vždy přesně najít (při deformaci nitě dochází k disipaci energie). Není to stav jednoznačný. Působení pasivních odporů v pletenině, nití ve vláknech dochází během pletení i později ke změnám struktury textilie, (dá se říci, že tyto změny jsou trvalé - plastické) a tím i k možnosti dosažení nekonečně velkého počtu různých plně relaxovaných stavů pletenin. Jelikož se tyto stavy z hlediska geometrických parametrů příliš neliší, má definice plně relaxovaného stavu značný význam [25].

Je to stav, ve kterém na **pletenině nepůsobí žádné vnější síly**, pletenina je v klidu, tzn., že nedochází k prokluzu nitě ve vazných bodech, ale je tzv. předepjatou soustavou [25]. Relaxačními procesy je eliminován vliv třecích sil. Nit se snaží zaujmout takový tvar, že je minimalizovaná vnitřní energie. Tvar jednotlivých elementů - oček - závisí především na ohybových vlastnostech použitého materiálu. Křivost oka se nemůže měnit skokem, tvar celého oka i spojovací kličky se většinou podobá elipsovitému úsekům. Křivka představující neutrální osu oka je hladká. V závislosti na ohybových vlastnostech nitě mohou nebo naopak nemusí být nitě stěny sousedních oček v řádku ve vzájemném kontaktu.

3.5 Stav částečné relaxace

Mezi oběma možnostmi - nestabilním a plně relaxovaným stavem - leží škála stavů **částečné relaxace** pleteniny. Dávají relativně stabilní pletenině (nebude mít tendenci k samovolné změně svých rozměrů jenom při dodržení určitých podmínek). Může to být např. stav suché a mokré relaxace, stav po beznapětové manipulaci s pleteninou (za sucha, ve vodě, při sušení, v rozpouštědle apod.), stav po vlhkotepelné fixaci při definované deformaci, stav po merceraci apod., jak uvádí KOVÁŘ [25].

3.6 Stav maximální možné deformace

Dalším definovatelným stavem, vhodným pro modelování, je stav maximální možné jednoosé deformace. Může sloužit při výpočtu tažnosti pletenin. Podrobněji bude popsán později v kap. 7.3.2.

4 Struktura osnovních pletenin

Struktura pleteniny je velmi složitá. Je především závislá na:

- geometrii použitého délkové textilie a jeho vlastnostech,
- technologii výroby, která souvisí s geometrií stroje a působícími vnějšími silami na nit (napětí podávané nitě, velikost odtahu, atp.),
- vazbě (například počet kladecích přístrojů (KP) a jejich navlečení, délka kladení pod jehlami, atd.), která koresponduje také s předcházejícím bodem.

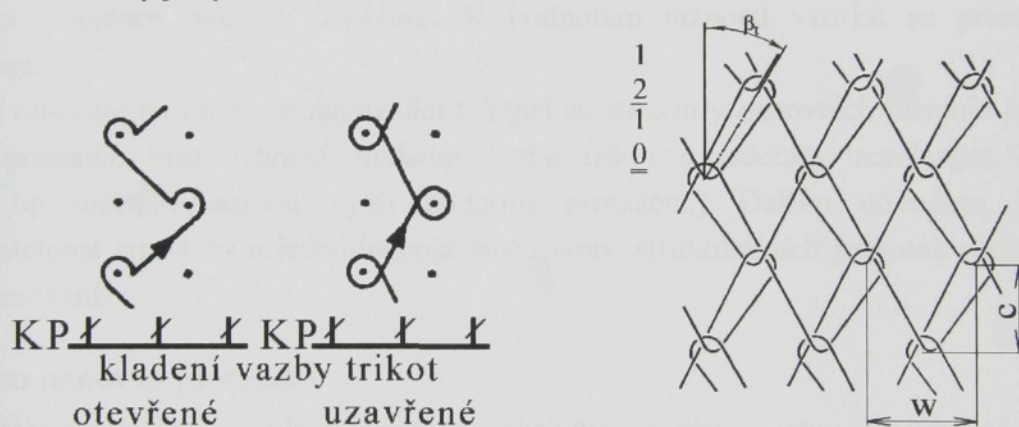
Geometrie oka je v porovnání se zátažnou pleteninou složitější, oko je zde v podstatě nesymetrický útvar, a proto určení jeho tvaru je obtížnější. Z odlišnosti tvarů a polohy platinových oblouků vyplývá také odlišná poloha překřížení a vazných bodů, tj. doteků dvou nití různých oček. Mimoto se stěna oka může dotýkat spojovací klíčka příslušející jinému oku v případě delšího posuvu pod jehlami, tj. více než o jednu rozteč. A také v případě uzavřeného oka může být navíc kontakt spojovacích klíčků.

Překřížení osnovní pleteniny mají různý charakter. Níť se mohou pouze dotýkat, nebo níť může obíhat druhou, jde z lící strany na rubní a obráceně s různými úhly mezi neutrálními osami nití. K tomu všemu nemusí být tato překřížení symetrická.

Dále bude popsána osnovní vazba trikot, na níž byly prováděny experimenty. Teoretické úvahy budou zahrnovat **nit dostatečně tuhou** ve směru axiálním.

4.1 Vazba trikot

Trikot patří k základním nejjednodušším jednopřístrojovým vazbám osnovních pletenin. Kladení a provázání je znázorněno na obr. 4.1. Návlek kladecího přístroje je plný, pro provázání vazby je vybráno kladení uzavřené.



Obr. 4.1 Schéma kladení a vazba osnovní pleteniny – uzavřený trikot

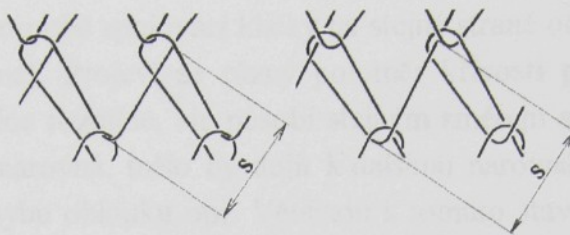
Jednoduchý uzavřený trikot má kladení střídavé. Je tvořen dvěma typy oček, které se liší sklonem. V důsledku vyrovnání tahových sil a ohybových momentů ve spojovacích klíčcích a stěnách oka jsou oka skloněna střídavě napravo a nalevo.

Při teoretické úvaze je možné předpokládat, že vlivem křížení nití v uzavřeném oku osnovní pleteniny (oko je smyčka), je součet kontaktních ploch mezi oběma nitěmi větší oproti otevřenému oku. Z toho vyplývá větší velikost třecích sil u uzavřeného oka.

Teoreticky při:

- podmínkách stejného způsobu zatěžování,
- pleteniny zhotovené z materiálu se stejnými mechanicko-fyzikálními vlastnostmi,
- pleteniny se stejnou vazbou,
- pleteniny s uzavřeným kladením,
- pleteniny se stejnými hodnotami strukturálních parametrů,

by se měla uzavřená očka deformovat v menší míře. Tomuto tvrzení neodporuje ani předpoklad stejné délky nitě spojovací kličky v modelu (KOČÍ [21]) očka otevřeného i uzavřeného, jak je vidět na obr. 4.2. U stejného typu modelu je spojovací klička vlastně „pouze“ posunuta. Ve skutečnosti ovšem tento „ideální“ případ zřejmě nebude existovat.



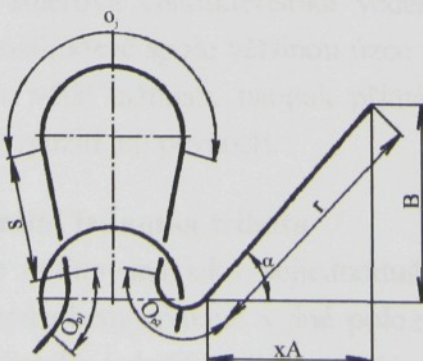
Obr. 4.2 Délka spojovací kličky otevřeného a uzavřeného modelu očka

Jak bude dále uvedeno, STUMPF a kol. [60] zkoumali chování osnovní pleteniny ve vazbě trikot s kladením otevřeným a uzavřeným při jednoosém namáhání. Zabývali se třením a prokluzem nití při deformaci. Autoři zjistili, že vazba trikotu s uzavřeným kladením vykazuje menší hodnoty pevnosti při přetrhu. Není však zcela jasné, zda příčinou může být specifická orientace nitě ve struktuře. K hodnotám tažnosti vzorků se práce bohužel nevyjadřuje.

S ohledem na to, že problematika týkající se struktury osnovních pletenin je prozatím nepříliš popsána, byla vybrána základní vazba trikot s kladením uzavřeným. (Otevřené kladení by mělo vykazovat vyšší hodnotu protažení.) Dalším důvodem je snadná pozorovatelnost struktury a jednoduchost změn tvaru strukturálních jednotek osnovní vazby při deformování.

4.2 Očko osnovní pleteniny

Očko pleteniny se skládá ze stěny, jehelního a platinového oblouku. U osnovních pletenin bývá většinou do očka zahrnuta také spojovací klička. Platinový oblouk se jeví poněkud jinak u zátažných a jinak u osnovních pletenin. Mimo zvláštní případy je platinový oblouk zátažných pletenin přímou spojnici dvou sousedních oček. Ke každému očku tedy přísluší polovina platinového oblouku z každé strany. U osnovních pletenin náleží každému očku dva samostatné platinové oblouky, které se většinou liší tvarem i velikostí (obr. 4.3). Téměř každé očko má kličku (spojovací), která spojuje dvě návazně na sebe pletená očka.

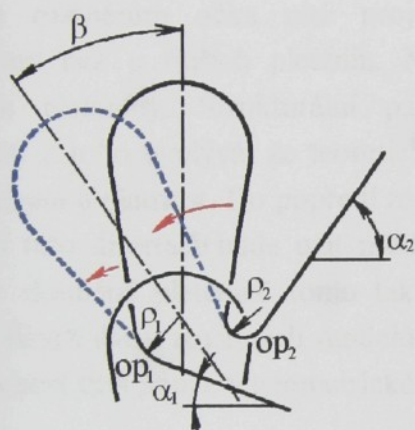


Obr. 4.3 Části očka osnovní pleteniny

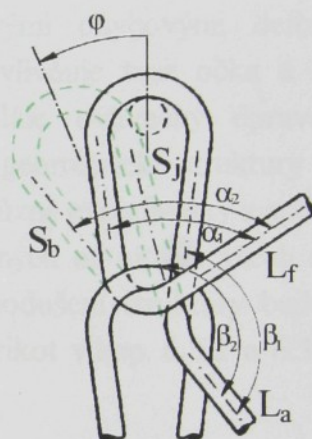
4.2.1 Sklon oka osnovní pleteniny

U oka je předpokládána symetrie horní části, tj. jehelního oblouku a stěny. Zatímco spodní část je asymetrická s různými tvary platinových oblouků. Vlivem tuhosti nitě je v nich vložena různá vnitřní energie, která se bude snažit oko deformovat tak, aby se vnitřní energie vyrovnaly.

Očka, u kterých jsou obě spojovací klíčky na stejné straně oka, budou skloněna podle obr. 4.4 (oko je otevřené). Projeví se různý poloměr křivosti platinových oblouků [21], ohybové momenty jsou sice rozdílné, ale působí stejným směrem a odkloní oko. Teprve až se platinový oblouk op_1 narovná, mělo by dojít k dalšímu narovnávání platinového oblouku op_2 na úkor opačného ohybu oblouku op_1 . Většinou k tomuto stavu již nedojde a deformace skončí narovnáním platinového oblouku op_1 , popř. spojovací klíčka, platinový oblouk op_1 a stěna vytvoří plynulou křivku. Uvedená deformace struktury pleteniny a zbytky vnitřní energie budou mít pak vliv na vlastnosti pleteniny.



Obr. 4.4 Sklon oka osnovní pleteniny (KOČÍ)



Obr. 4.5 Sklon oka osnovní pleteniny (VÉKÁSSY)

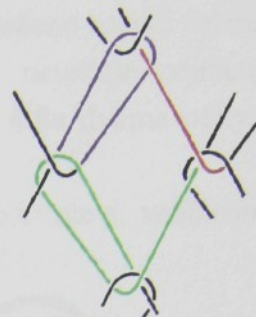
V důsledku výběru vazby pro tuto práci je ještě blíže zpráva VÉKASSYHO [64], která se také mimo jiné zabývá sklonem oka uzavřeného trikotu, jak je vidět na obr. 4.5. Vliv ohybového momentu v niti platinového oblouku způsobí změnu velikosti úhlu $\beta_1 \rightarrow \beta_2$ a spojovací klíčka předcházejícího oka L_a vlastně prodlužuje stěnu oka S_{zj} . Tah v niti spojovací klíčky značené L_f ovlivní změnu úhlu $\alpha_1 \rightarrow \alpha_2$ svírajícího se stěnou S_{zb} a tím se změní sklon celého oka o úhel φ . K tomuto dochází po uvolnění odtahových sil působících na pleteninu při jejím zhotovení.

Tím se částečně mění směrová charakteristika vedení nitě pleteninou. Na ní jsou závislé hodnoty tažnosti a pevnosti, které spolu většinou úzce souvisí. Nit měnící směr (hodně „zprohýbaná“) je předpokladem větší tažnosti, naopak přímá nit zajišťuje ve směru vedení malou tažnost a zpravidla dobré využití její pevnosti.

4.2.2 Střída vzoru a strukturální jednotka trikotu

Strukturální jednotka je definována jako nejjednodušší útvar, který se ve struktuře pleteniny pravidelně nějakým způsobem opakuje v jiné poloze, ale je geometricky identický (např. zrcadlově). V tomto případě jednoduchého uzavřeného trikotu je za strukturální jednotku považován útvar tvořený pouze jedním okem (na obr. 4.6 je značen zelenou

barvou) a je svým způsobem “symetrický” pouze podle vodorovné osy. Střída vzoru obsahuje dvě očka (strukturální jednotky) se spojovacími kličkami. Na obr. 4.6. je tvořena dvěma nitěmi.



Obr. 4.6 Střída vazby trikot a její strukturální jednotka

4.2.3 Prostorová geometrie očka

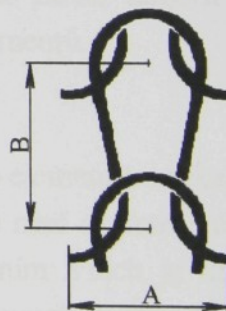
Očko osnovní pleteniny je prostorový útvar. Vznikl provázáním nití a vytváří strukturu pleteniny. Jak uvádí KOČÍ [21], geometrie očka osnovní pleteniny je významně ovlivněna **mechanicko-fyzikálními vlastnostmi použité nitě**. U pletenin s vyšší hustotou se vzhledem k malým rozměrům očka nitě projevují daleko více svými ohybovými deformačními vlastnostmi než u řidších pletenin. Níť do značné míry ovlivňuje tvar očka a celkovou strukturu pleteniny. Strukturální parametry očka jsou dále ovlivněny úpravářenským procesem. Z toho vyplývá, že teoretické úvahy vycházející z geometrické struktury pleteniny mají omezenou platnost. Do popředí zájmu se dostávají spíše různé experimenty a aplikace.

V této disertaci bude užit předpoklad tvarově podobných os nití ve všech očkách, i když ve skutečné pletenině tomu tak zcela není. Pro zjednodušení struktury bude prvním krokem návrh dvou rovinných modelů pro vazbu uzavřený trikot v kap. 6.3.2 a 6.3.3. Jejich jednoduchost tkví pouze v geometrickém vyjádření.

4.3 Definice strukturálních parametrů očka

Různí autoři se vyjadřují k definici geometrických parametrů různě. Hovoří o šířkách (výškách) očka a o roztečích sloupků (řádků).

Např. KOČÍ [21] (obr. 4.7) definuje obecně šířku očka A [mm] jako vzdálenost středů odpovídajících si platinových oblouků dvou sousedních oček v řádku. Výška očka B je definována jako vzdálenost středů jehelních (platinových) oblouků dvou sousedních oček.



Obr. 4.7 Rozměry očka (KOČÍ)

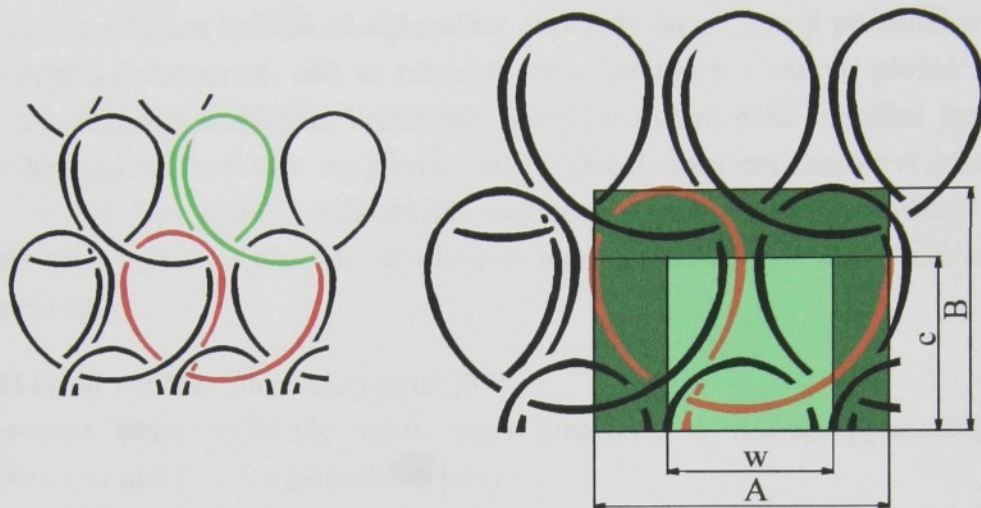
Základními parametry očka osnovní pleteniny jsou rozteč sloupků w a rozteč řádků c a šířka A a výška B očka. Podle mé úvahy nemusí být A , w a B , c vždy totožné (viz. obr. 4.8)

Intuitivně lze chápat, že **šířka (výška) očka** je největší možná vzdálenost v příčném (podélném) směru dvou nejvzdálenějších míst neutrální osy jednoho očka.

Na obr. 4.8 je vidět rozdíl mezi dvojicemi parametrů A , B a w , c u osnovní pleteniny trikot (barevnou plochou jsou vyznačeny obě plochy vymezené uvedenými parametry). Pomocí parametrů roztečí w , c je u **vazby trikot** dána velikost - plocha – nejmenší opakující se strukturální jednotky (obr. 4.8b – světle zeleně). Níť obsažená v této jednotce ($c \cdot w$)

představuje právě jednu délku nitě v očku. Zatímco plocha (obr. 4.8b – značeno tmavě zeleně) vymezená parametry šířkou A a výškou B jednoho očka (červeně) neurčuje nejmenší opakující se jednotku vazby, ani střidu vazby. Ta je znázorněna na obr. 4.8a dvěma očky a jejich spojovacími kličkami (červeně a zeleně).

Záleží na konstrukci modelů osnovní pleteniny, bude-li rovnost mezi veličinami v příčném směru A , w a podélném směru B , c .



Obr. 4.8 a) Střida vazby trikotu, b) navržené geometrické parametry modelu uzavřeného očka

Z hustoty řádků H_r [m^{-1}] a hustoty sloupků H_s [m^{-1}] nelze zjistit velikost parametrů A [mm] a B [mm], ale velikost roztečí sloupků w [mm] a řádků c [mm], a to:

$$w = \frac{1000}{H_s}, \quad c = \frac{1000}{H_r}. \quad (4.1)$$

Hodnoty šířky a výšky očka se mohou určit výpočtem např. podle geometrických modelů. Otázkou zůstává, jestli existuje důvod znát tyto veličiny. Podle mého názoru je podstatné nezaměňování pojmů a správné určení velikosti opakujících se elementů.

4.4 Shrnutí poznatků o struktuře

Charakteristika vazných bodů závisí na geometrii modelu základního elementu - očka. Tvar základního opakujícího se elementu - **očka osnovní pleteniny**, které není symetrické, a dále také charakteristika vazných bodů, závisí na mnoha faktorech. Jedním z nich je druh použitého materiálu. **Vlastnosti nitě** ovlivňují velikost strukturálních parametrů (např. rozteč řádků a sloupků) a tím následně tvar a velikost jednotlivých částí očka. Těmi jsou: jehelní oblouk, platinový oblouk, stěny očka a spojovací klička.

Proto se jeví výhodnější **modelovat** očko pro tzv. “dokonale ohebnou” a “dokonale pružnou” nit, potom velikost délky nitě v očku určovat pro oba případy a zjišťovat jejich vhodnost a přesnost. To bude předmětem následujících kapitol, ovšem před nimi je důležité se věnovat také struktuře a popisu charakteristik délkové textilie.

5 Délkové textilie

5.1 Některé charakteristiky příze

Jak uvádí NECKÁŘ [36], mnohá specifika příze jsou důsledkem zaplnění, které se pohybuje v rozmezí asi od 0,35 do 0,65. **Příze** je typem „nejvolnější“ struktury ze skupiny těch, u nichž je potlačen individuální charakter chování vlákna. Lze ji poměrně malými silami v příčném směru deformovat, což se příznivě projevuje nejen v zakrytí plošné textilie, ale i v její celkové příjemné měkkosti. Vnější síly nemohou ovšem příliš namáhat jen individuální vlákno. V kompaktní struktuře se silová reakce prostřednictvím množství mezivláknových kontaktů rozloží do mnoha vláknových segmentů. Produktem takového mechanismu „Svatoplukových prutů“ je obvykle uspokojivá úroveň destrukčních mechanických vlastností typu pevnosti apod.

5.1.1 Základní veličiny popisující přízi [37]

Jemnost příze vyjadřuje vztah mezi hmotností a délkou příze. Nejběžnější je vyjádření délkové hmotnosti v jednotkách [tex].

$$T = m_p / L, \quad (5.1)$$

kde: T – jemnost příze [tex],

m_p – hmotnost příze [g],

L – délka příze [km].

Substanční průměr příze je vyjádření průměru v případě stlačení vláken do homogenního válce. Takto vypočtená hodnota je teoreticky minimální (neobsahuje vzduchové póry).

$$d_s = \sqrt{\frac{4S}{\pi}} = \sqrt{\frac{4T}{\pi \rho_v}}, \quad (5.2)$$

kde: d_s – substanční průměr příze [mm],

S – substanční plocha příze [mm²],

ρ_v – měrná hmotnost vláken [kg.m⁻³].

Průměr příze [36]

Příze ve skutečnosti není stejnorodým válcem. Mezi vlákny jsou mezery, hustota stěsnání vláken není rovnoměrná a směrem k povrchu příze přechází spojitě do oblasti chlupatosti. Řez příze nemusí být osově symetrický. Z tohoto důvodu neexistuje jednoznačná definice průměru příze. Většinou se vychází z průměru nejmenšího myšleného válce, v němž je obsažena veškerá hmota příze nebo alespoň její podstatná část.

$$d = \sqrt{\frac{4T}{\pi \rho_v \mu}}, \quad (5.3)$$

kde: d – průměr příze [mm],

ρ_v – měrná hmotnost vláken [kg.m⁻³],

μ – zaplnění příze [1].

Mezi průměrem d příze a substančním průměrem d_s platí ve všech praktických případech relace $d > d_s$. Poměr d/d_s je bezrozměrnou veličinou.

Zaplnění příze je veličina vyjadřující podíl celkového prostoru útvaru zaplněného objemem vláken. Takto lze definovat zaplnění interpretací objemovou či plošnou.

$$\mu = \frac{V}{V_C} = \frac{P}{P_C}, \quad (5.4)$$

kde: V – objem vláken v přízi [mm^3],

V_C – celkový objem příze [mm^3],

P – substanční průřez příze, tj. souhrnná plocha řezných ploch všech vláken [mm^2],

P_C – celková plocha průřezu příze [mm^2].

Výpočet zaplnění je prováděn dle vztahu (5.5a) nebo (5.5b)

$$\frac{\left(\frac{\mu}{\mu_m}\right)^{5/2}}{\left[1 - \left(\frac{\mu}{\mu_m}\right)^3\right]^3} = \frac{M \cdot \sqrt{\pi}}{2000 \mu_m^{5/2} \sqrt{\rho}} \cdot Z^2 T^{1/2}, \quad (5.5a)$$

$$\frac{\left(\frac{\mu}{\mu_m}\right)^{3/2}}{\left[1 - \left(\frac{\mu}{\mu_m}\right)^3\right]^3} = \frac{K}{8 \cdot \sqrt{\frac{\pi \mu_m^3}{\rho}} \sqrt{T} \left(1 - \sqrt{\frac{t}{T}}\right)^2}, \quad (5.5b)$$

který je odvozen na základě komprimační teorie NECKÁŘE [36],

kde: μ_m - mezní zaplnění příze [1],

μ - zaplnění příze [1],

T – jemnost příze [tex],

ρ – hustota materiálu [kg m^{-3}],

M – parametr materiálu a technologie [mm],

Z – zákrut příze [m^{-1}],

K – zákrutový koeficient obecného typu (materiálová konstanta),

t – jemnost vláken [tex].

5.2 Nit a průměr nitě v pletenině

Skutečný průřez nitě, která tvoří právě jedno očko, je velice proměnlivý v důsledku relativně malého počtu zákrutů nitě používaných v pletených strukturách. Z délkového útvaru vzniká pletením plošný útvar - pletenina a základní parametr – průměr nitě* nezůstává v celé ploše pleteniny stejný (např. vliv nestejnoměrnosti). Proměnlivost průřezu nitě vzniká **zprohýbáním** délkového materiálu, změnou v místech kontaktu, kdy se nitě dotýkají nebo

* V tomto případě by se dalo hovořit o tzv. ekvivalentním průměru nitě analogicky jako ekvivalentní průměr vláken.

jsou vzájemně opásány (závislost na úhlu opásání). Zvláště ve vazných bodech dochází ke **stlačování**, změně tvaru průřezu a ovlivňování jeho velikosti.

V současné době existuje celá řada prací, které se zabývají strukturou „volné“ příze z různých hledisek. Například z hlediska geometrického (souvislost mezi jemností, průměrem a zákrutem příze, radiální průběh zaplnění, modely uspořádání vláken v přízi, atd.) nebo z hlediska vnitřní mechaniky příze (tahové vlastnosti svazku paralelních vláken a příze).

Při výrobě plošné textilie je příze vystavena namáhání, které vede k její deformaci. Stejně tak z dosavadních experimentů vyplývá, že i po relaxaci mají příze v místech vazných bodů zdeformovaný tvar. Jde většinou o kombinaci různých druhů namáhání, např. ohybového, torzního, tlakového a tahového. Významný podíl v těchto dějích má právě mechanismus stlačování a ohybu, kde je příze deformována tlaky kolmými k její ose. Dochází tedy ke stlačení, zploštění a ohybu příze a tím i ke změně její vnitřní struktury. Tento typ deformace převažuje v místech kontaktu dvou přízí – vazných bodech tkaniny, pleteniny.

5.2.1 Výpočet průměru nitě v pletenině

Vnitřní mechanika příze, interakce, vzájemné působení a dotyk mezi vlákny ve staplové přízi se liší od struktury PESH* a vzájemného působení jednotlivých vláken v multifilu. Z těchto důvodů není komprimační teorie NECKÁŘE [36] pro výpočet průměru nitě z PESH použita. Problém přiřazení jemnosti T , zákrutu Z a průměru d je problémem stlačování materiálu. Vlákná v přízi (šroubovicový model vláken) jsou stlačována dostřednými tlaky vyvozenými zákrutem příze.

Jednou z možností, jak zjistit průměr nitě, je znát její hodnotu zaplnění. Průměr je ve skutečnosti proměnná veličina, závislá na struktuře nitě dané geometrií vláken, stupněm paralelizace vláken, zákrutem, závisí na deformaci, stlačování nitě, atd. Podle **komprimační teorie** NECKÁŘE je pro výpočet nutné znát hodnoty konstant K a M (vztah 5.5a, b) daného materiálu. Bohužel pro pletařské příze nejsou tyto konstanty prozatím k dispozici. Proto byly pro přibližný výpočet velikosti zaplnění μ (vztah 5.5a) použity následující parametry a konstanty:

- 1) pro rotorovou přízi 65PES/35ba o jemnosti 25tex,
je-li $\mu_m = 0,8^{**}$, $\rho_v = 1412 \text{ kg m}^{-3}$,
 $K = 0,975$, $t = 0,2 \text{ tex}$.

Smluvní hodnota mezního zaplnění byla volena 0,8. (Pro výpočty se použila měrná hmotnost vláken vypočítaná z harmonického průměru hodnot obou komponent, střední jemnosti vláken a konstanta K pro bavlnu.) Načež hodnota zaplnění vychází pro 65PES/35ba $\mu = 0,445$. Konstanta K pro pletařské příze by měla mít pravděpodobně menší hodnotu (používají se objemnější příze s menším počtem zákrutů). Zaplnění potom bude také menší.

* V disertační práci není použito „nové“ značení vláken.

** Teoreticky je mezní zaplnění právě limitním zaplněním (největší možné zaplnění, tj. 0,907). Obvykle však je hodnota μ_m poněkud jiná, neboť při nedokonalém směrovém uspořádání vláken vznikne „doraz“ dříve. Naproti tomu u obzvlášť vysokých tlaků se deformují samotná vlákna a μ_m se přibližuje hodnotě 1.

2) Dalším použitým materiálem pro experimentální zkoušky této disertační práce je multifil PESH. Hedvábí je tvarované nepravým zákrutem, druzené a vysoce pevné, tj. 2 x 167 dtex sz/v f 36. Tvarováním se docílilo především snížení zaplnění nitě. Bohužel prozatím nejsou zřejmě známe žádné teoretické vztahy pro výpočet zaplnění tvarovaného multifilu, popř. průměru hedvábí ve volném stavu.

Při podélné deformaci nitě ochranný zákrut těchto dvou druzených multifilů zapříčiní, že všechna vlákna se „neprostoupí“. Dostředné síly způsobí, že vlákna jednoho druzeného materiálu se vzájemně přiblíží. Vlákna se potom dotýkají. Ovšem druzený multifil nebude mít kruhový průřez. Lze s určitým zjednodušením přijmout předpoklad, že mezní zaplnění PESH bude mít hodnotu $\mu = 0,907$ (NECKÁŘ [36] – plástová struktura). MARKO [34] naproti tomu udává, že zaplnění v idealizované válcové struktuře (PESH se této struktuře „přibližuje“) dosahuje hodnot $\mu = 0,76$. Jako teoreticky minimální a limitní lze vypočítat substanční průměr „volné“ nitě d_s z předpokladu kruhového příčného řezu. Vypočítané hodnoty průměrů z experimentálních a teoreticky zjištěných hodnot zaplnění obou použitých materiálů je možné shrnout do tab. 5.1a, b.

Tab. 5.1a) hodnoty průměrů nitě z PESH, b) 65PES/35ba

Vztah pro výpočet d nitě	Poznámky (PESH)	Průměr nitě [mm]
$d_k = k \cdot \sqrt{T}$	$k = 0,053^*$	0,306
$d_\mu = \sqrt{\frac{4T}{\pi \rho_v \mu}}$	$\mu = 0,366^{**}$	0,292
$d_{\mu m} = \sqrt{\frac{4T}{\pi \rho_v \mu_m}}$	$\mu_m = 0,76$ $\mu_m = 0,907$	0,203 0,186
$d_s = \sqrt{\frac{4T}{\pi \rho_v}}$		0,177

Vztah pro výpočet d nitě	Poznámky (65PES/35ba)	Průměr nitě [mm]
$d_k = k \cdot \sqrt{T}$	$k = 0,05^*$	0,250
$d_\mu = \sqrt{\frac{4T}{\pi \rho_v \mu}}$	$\mu = 0,389^{**}$ $\mu = 0,445^{***}$	0,230 0,225
$d_{\mu m} = \sqrt{\frac{4T}{\pi \rho_v \mu_m}}$	$\mu_m = 0,8$	0,168
$d_s = \sqrt{\frac{4T}{\pi \rho_v}}$		0,150

Pro většinu autorů se výpočet průměru nitě d_k , jak je uveden v [21], z její jemnosti jeví jako velice orientační (součinitel k je závislý na měrné hmotnosti skutečné nitě, ne daného materiálu). Navíc pro směsi není zjištěno, použití harmonického průměru je nepřesné. Takto stanovená hodnota průměru nitě může být poněkud nadsazená. Průměr nitě d_μ získaný podle vztahu (5.3) by mohl být použit jako tzv. průměr „volné“ nitě.**** Nit se ovšem musí deformovat do tvaru oka, ohýbat, čímž kruhový průřez nitě zřejmě nebude zachován a bude nesymetrický. Tato situace bude v pletenině i v jejím volném stavu a zvláště u PESH.

Hodnota $d_{\mu m}$ by mohla být použita pro výpočet délky nitě v oku v maximálně deformovaném stavu pleteniny. Zřejmě těchto hodnot průměru nitě nebude dosaženo. Tvar

* Při přepočtu konstanty k na zaplnění μ lze dostat u PESH hodnotu 0,3333 a 65PES/35ba hodnotu 0,3607.
** Hodnota zaplnění je zjištěna experimentálně, kap. 5.2.3.
*** Hodnota zaplnění je vypočítána podle vztahu (5.5.a).
**** „Volnou nití“ je myšlena např. část nitě ve spojovací kličce popř. stěně oka, která nemusí být nutně přímo v kontaktu s jinou nití.

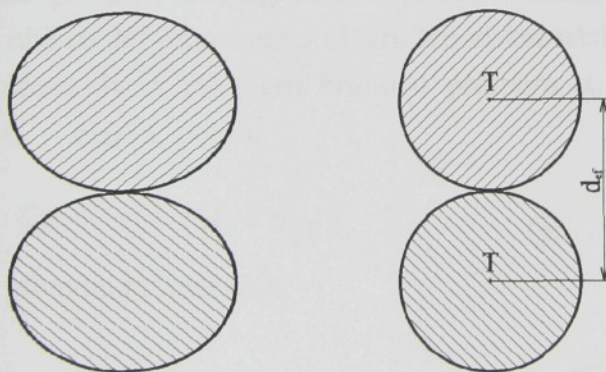
průřezu nitě se bude lišit ve vazném bodě a na volném úseku nitě, např. ve stěně oka. Pro materiál PESH jsou uvedeny dvě hodnoty mezního zaplnění μ_m (tab. 5.1a). Je-li nit osově zatěžována tahovými silami při deformaci pleteniny, vzrůstá hodnota zaplnění a snižuje se průměr nitě. Při uvažované maximální deformaci osnovní pleteniny se lze přiklonit spíše k větší hodnotě mezního zaplnění a tomu odpovídajícímu průměru nitě z PESH.

V tab. 5.1a, b je možné si všimnout, že odchylky hodnot průměru d_k a d_μ zjištěných experimentálně a výpočtem nití nejsou výrazné z hlediska jejich dalšího použití. Nebudou mít takový vliv na teoretický výpočet délky nitě v oku osnovní pleteniny ve vazbě uzavřený trikot, který je jedním z cílů (více je uvedeno v kap. 6.3 a kap. 7.4). Například u rotorové příze 65PES/35ba o jemnosti 25 tex je experimentální hodnota zaplnění $\mu = 0,389$ a zaplnění vypočítané podle komprimační teorie je $\mu = 0,445$ (ovšem s použitím empirických konstant, které přímo neodpovídají testované přízi).

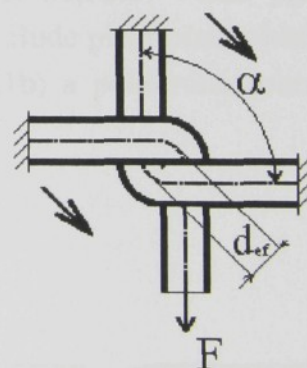
Přesnější tvar průřezu nitě nejspíše bude možno určit jen příčným řezem. Návrh teoreticky předpokládaných symetrických průřezů nití bude uveden v následující kapitole. Experimentální provedení řezů nití vhodných pro pletařské textilie by mohlo být předmětem další diplomové, popř. disertační práce.

5.2.2 Vlastní teoretický návrh siluet řezů vazných bodů pletenin

V ideálním případě, kdy nit bude mít kruhový tvar a v místě překřížení nebude docházet působením ohybových momentů v niti ke změně tvaru průřezu nitě, je předpoklad, že silueta řezu* dvou provazujících nití ve volném stavu pleteniny bude vypadat jako na obr. 5.1a. V řezu se nitě, jejichž tvar zůstává nadále kruhový obr. 5.1b, pouze dotýkají. Lze říci, že vzájemná kontaktní plocha je téměř minimální.



Obr. 5.1a) tvar řezu vazným bodem pleteniny,
b) dotyk dvou nití ve vazném bodě



Obr. 5.2 "Idelizovaný" vazný bod pletenin

Pro výpočty, uváděné v rámci jednotlivých modelů oček, je rozhodující tzv. **efektivní průměr nitě**, jak ho nazývá KOVÁŘ [23, 25], který je možné definovat jako nejmenší vzdálenost dvou neutrálních os nití procházejících těžištěm T (tj. os ležících v ploše, která se při ohybu niti délkově nedeformuje) ve vazném bodě obr. 5.2. Tento efektivní průměr nitě se mění i vlivem jednostranného stlačení nitě, tj. i ve vazném bodě poměrně řídké pleteniny.

* Následující siluety řezů lze dostat, jestliže se promítne obraz válcové plochy tvořené nitěmi ve směru šipek, tj. kolmo na rovinu, která je tvořena osou válcové plochy - nití a osou úhlu α (obr. 5.3).

Tlaky mezi nitěmi stlačují vlákna na vnitřní straně, zvětšují tak koeficient zaplnění μ a posouvají neutrální osu procházející těžišti nití do asymetrické polohy.

Vlastní modelový vazný bod pleteniny (obr. 5.2):

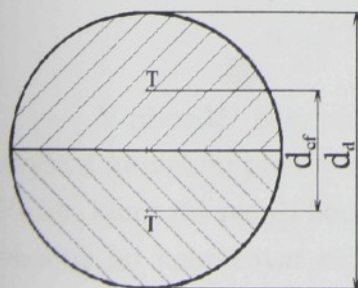
V modelovém vazném bodě je zanedbáno protažení nitě, úhel $\alpha = 90^\circ$ a vnější síla F je relativně velká. V reálné osnovní pletenině v místě kontaktu dvou nití, ve vazném bodě, dochází ke stlačení nitě, tj. mění se velikost a tvar průřezu nitě. Vnější vlákna v niti (na vnější straně oblouku) jsou namáhána tahem, vlákna na vnitřní straně oblouku jsou namáhána na tlak. Z toho vyplývá také změna zaplnění v různých místech nitě tvořící očko osnovní pleteniny. Vzdálenost neutrálních os nitě bude stále d_{ef} . Ovšem ani tento efektivní průměr není konstantní. Dochází-li ke změně vzdálenosti neutrálních os v místě kontaktu dvou nití, mění se tvar a může se také měnit těžiště průřezu nitě. Zmenšením průměru nitě následuje zvětšení rozteče řádků c a sloupků w oka osnovní pleteniny (definice je uvedena v kap. 4.3, obr. 4.8) a tím i deformace celé struktury pleteniny.

NECKÁŘ [36] uvádí, že pro **stlačitelnost příze** jsou navrženy dvě mezní hypotézy. Hypotéza o zachování obvodu a hypotéza o zachování obsahu plochy tvořené řezem příze je popsána také např. v [7, 36]. Současné studie se nejčastěji přiklání k hypotéze o zachování plochy. Předpokládá se, že plocha řezu se stlačením podstatně nezmění. (U kombinovaného namáhání nitě ve vazném bodě pleteniny bude navrženo také toto zjednodušení.)

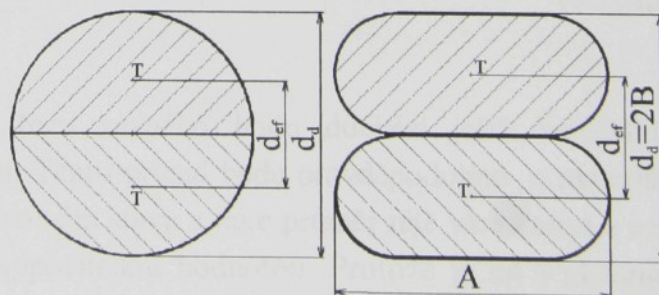
Jak bylo již výše uvedeno, v důsledku působení vnějších sil a ohybových momentů působících v nitích dochází ke změně tvaru řezu nitě. Modely řezů vazných bodů mohou být osově symetrické nebo nesymetrické. Nejjednodušším modelem z hlediska výpočtu efektivního průměru nitě d_{ef} může být řez vazného bodu na obr. 5.3. Vztah pro výpočet průměru nitě d_d deformovaného útvaru lze získat následovně: Bude platit předpoklad rovnosti ploch průřezů dvou nití tvaru kruhů o průměru d_o (obr. 5.1b) a polokruhů (obr. 5.3). Tj., $2(\pi d_o^2/4) = \pi d_d^2/4$, potom

$$d_d = d_o \sqrt{2}, \quad (5.6)$$

kde d_o je původní průměr nitě.



Obr. 5.3 Kruhový řez vazným bodem v deformovaném stavu



Obr. 5.4 Rovnost ploch dvou řezů vazných bodů

Efektivní průměr nitě d_{ef} na obr. 5.3 bude dán vzdáleností těžišť polokružnic* tvořených dvěma provazujícími nitěmi, tj. vztahem (5.7)

$$d_{ef} = \frac{4d_d}{3\pi} \quad (5.7)$$

a lze tak dospět k teoreticky „maximální“ vzdálenosti těžišť řezů vazných bodů.

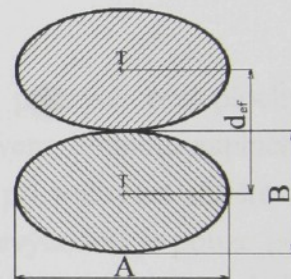
V případě rovnosti ploch řezů dvou nití ve vazném bodu zobrazených na obr. 5.4 lze vycházet z rovnice $\frac{\pi d_d^2}{4} = 2 \left(\frac{\pi B^2}{4} + (A-B)B \right)$, a po úpravě je možné získat závislost délky hlavní poloosy A („rozšíření“ nitě) na B („stlačení“ nitě), tj.:

$$A = \frac{\pi d_d^2}{8B} - \frac{B(\pi - 4)}{4}. \quad (5.8)$$

V případě nahrazení řezů dvou nití elipsami obr. 5.5 o stejném obsahu jako je plocha kruhového řezu na obr. 5.3 lze sestavit rovnici $\frac{\pi d_d^2}{4} = 2\pi AB$. Vyjádřením délky hlavní poloosy A zůstává závislost mezi její délkou a délkou vedlejší poloosy B , a to:

$$A = \frac{d_d^2}{8B}. \quad (5.9)$$

Tuto závislost lze nejspíše zjistit pouze experimentální metodou příčných řezů nití. (U vazných bodů pletenin prozatím nebyla provedena.)



Obr. 5.5 Elipsový model řezu vazného bodu

Shrnutí: Působením axiálních sil v nitích ve vazném bodě dochází ke změně tvaru řezu z předpokládaného kruhového na „obloukový“. Zvýší se tak kontaktní plocha oproti kruhovému (obr. 5.1b). Kruhový průřez (obr. 5.3) je vlastně speciálním případem elipsového modelu na obr. 5.5 a je z hlediska výpočtu nejjednodušší. Zaplnění u plástové struktury (NECKÁŘ [36], vztah 5.10a) a válcové struktury (MARKO [34], vztah 5.10b) může dosáhnout v krajním případě až hodnoty limitní, a to:

$$\mu = \frac{\pi}{2\sqrt{3}} = 0,907, \quad (5.10a,b)$$

$$\mu = 0,76.$$

V případě nesymetrického modelu řezu vazného bodu dochází ještě ke většímu zvýšení kontaktní plochy mezi dvěma nitěmi. Tento případ bude pravděpodobně u materiálu PESH, který má menší hodnotu zaplnění ve volném stavu a také průměr nitě více kolísá a není vhodné ho nahrazovat nějakou teoreticky vypočítanou hodnotou. Protože je nit v pletenině

* Těžiště T kruhové úseče vymezené úhlem α leží na ose souměrnosti dané kruhové výseče ve vzdálenosti $x = \frac{4r \cdot \sin^3 \alpha / 2}{3(\pi \alpha / 180 - \sin \alpha)}$ od středu příslušné kružnice o poloměru r [2]. V případě polokružnice je $\alpha = 90^\circ$.

různě zprohýbána, působí na ni dotykové síly dalších nití nejen ve vazných bodech a ovlivňují tak průměr a průřez nitě v pletenině.

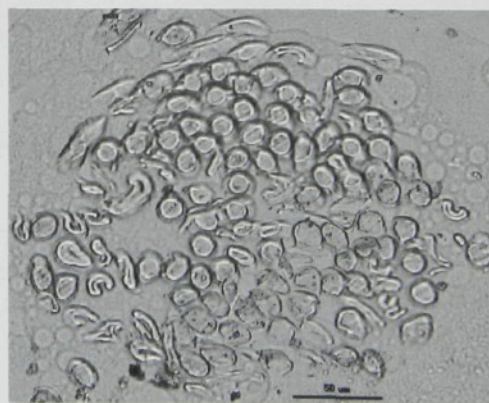
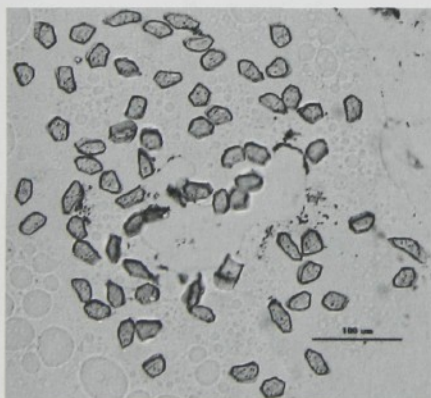
Mimo to, jak uvádí GROSBERG [14], relativně malý počet zákrutů v pletařských přízích způsobuje, že odchylka v jejich průměru je velice variabilní. Předpoklad konstantního průměru ve strukturách pletenin se jeví nevhodným, ale v této fázi výzkumu průměru a průřezu nitě nutnou podmínkou pro matematické vyjádření strukturálních veličin osnovních pletenin.

5.2.3 Experimentální metody ke zjišťování průměru nitě a průměru nitě v textilií

Průměr příze lze pozorovat a hodnotit jako **průměr v příčném řezu příze**. Metodiku tvorby příčných řezů podrobněji popisuje DRAŠAROVÁ v publikaci [7]. Spočívá ve fixaci příze impregnačním disperzním lepidlem (provádí se dvakrát). Následně je příze zalita směsí parafinu a vosku. Po vytvrzení se mohou provádět příčné řezy příze. Použití metodiky pro tvarované PESH s nepravým zákrutem není prozatím zpracováno. Při fixaci multifilu mohou adhezivní složky lepidla a vosku způsobit změnu jeho zaplnění (obr. 5.6a) a tím i průměr nitě. Bohužel jiná metoda zjišťování průřezu nebo průměru multifilu není autorce známá.

Experimentální stanovení hodnoty zaplnění.

1) Na obrazové analýze LUCIA bylo provedeno měření z 20-ti příčných řezů plochy jednotlivých vláken a celého multifilu PESH. Jejím podílem byla stanovena hodnota zaplnění $\mu = 0,366$. Plocha multifilu však nebyla kruhová. Problém by nastal při určování těžiště a následně jejího poloměru. Metoda je vhodnější pro příze (obr. 5.6b). Nevýhodou je pouze její pracnost, protože k vyhodnocení je třeba nejméně 50 příčných řezů příze, aby hodnota byla objektivnější.



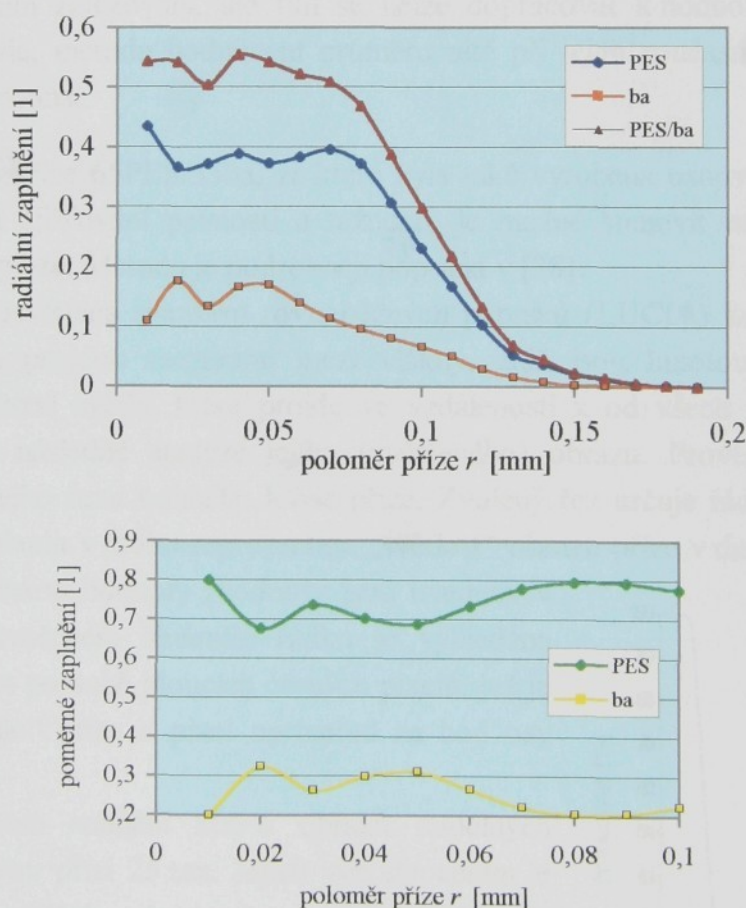
Obr. 5.6 a) Řez nitě PESH, b) 65PES/35ba (Lucia)

2) Experimentální hodnota zaplnění rotorové příze 65PES/35ba byla zjištěna metodou Secant - radiální analýzy příčných řezů [30, 36]. Bylo provedeno měření souřadnic středů vlákných řezů dvoukomponentní příze (20-ti příčných řezů příze). Získané souřadnice středů všech vláken jsou podkladem pro následné vyhodnocení. Po rozdělení řezů všech vláken do třídních intervalů je možno v každém třídním mezikruží vyjádřit součtovou vláknennou plochu. Snadno se vyčíslí i jeho celková plocha a poměr obou ploch je podle (5.4) zaplněním, jak uvádí NECKÁŘ v [36].

Pro stanovení jemnosti vláken PES a ba bylo provedeno měření 300 ploch příčných řezů vláken obou komponent a byla vypočítána průměrná hodnota průřezu vlákna. Potom byla vypočítána průměrná jemnost vláken*. Pro ba jsou výsledky: $t = 0,173 \text{ tex}$ ($<0,167; 0,179>$), pro PESh $t = 0,218 \text{ tex}$ ($<0,215; 0,220>$). Dále bylo zjištěno, že směsový poměr neodpovídá a podíl obou komponent se v rotorové přízi mírně liší. Experimentální hodnota vypočítaná z příčných řezů je 74,15 % PES/25,85 % ba. Všechna měření byla prováděna na obrazové analýze LUCIA.

Na obr. 5.7a jsou graficky zaznamenány hodnoty radiálního zaplnění komponent BD příze a celé směsi 65PES/35ba vypočítané v programovém prostředí PASCAL. Dle zkušeností [31] se v okolí hodnoty 0,15 radiálního zaplnění příze nachází poloměr příze a celkové zaplnění je právě definováno z kruhu o poloměru, kterému odpovídá dále uvedená hodnota zaplnění. Experimentální hodnota zaplnění vychází $\mu = 0,389$ a průměr BD příze je $d = 0,23 \text{ mm}$.

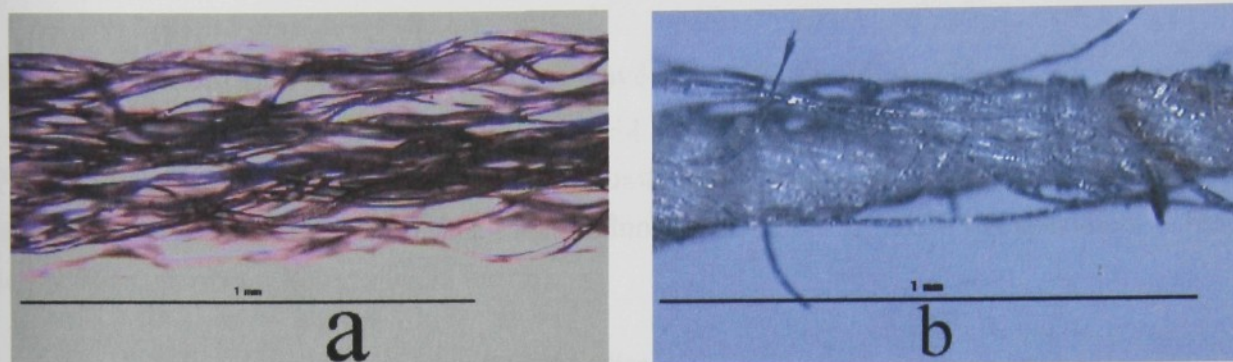
Poměrné zaplnění je určeno jako podíl radiálního zaplnění jedné komponenty a radiálního zaplnění celé směsi a jeho průběh v závislosti na poloměru rotorové příze 65PES/35ba lze sledovat na obr. 5.7b.



Obr. 5.7 a) radiální průběh zaplnění rotorové příze 65PES/35ba – 25 tex,
b) poměrné zaplnění komponent rotorové příze 65PES/35ba – 25 tex

* Pro výpočet jemnosti vláken je potřeba znát plochu příčného řezu a měrnou hmotnost vláken ρ_v ,
 $t = s \cdot \rho_v$.

Průměr lze též vyšetřovat a posuzovat v **podélném pohledu na přízi** (bezkontaktní metoda [36, 41]) a opticky zjišťovat velikost průměru (oblast průměru příze, chlupatosti, ...).



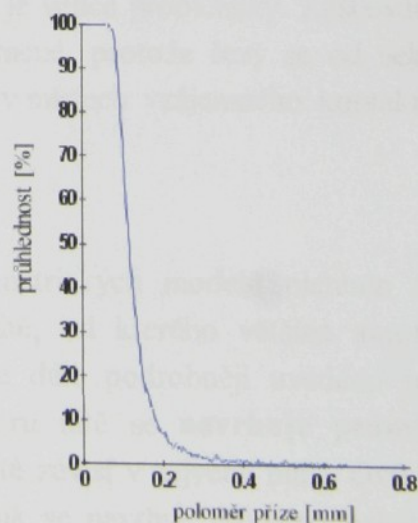
Obr. 5.8 Fotografie podélného pohledu a) PESH, b) BD příze 65PES/35ba

U tvarovaného hedvábí bude opět problém v důsledku uspořádání nekonečných vláken. Průměr není konstantní, působením i minimálních axiálních sil v nitích se jeho hodnota podstatně změní. Proto se metoda podélného pohledu pro určení průměru nitě z PESH nejeví vhodnou (obr. 5.8a). Pouze v případě určení průměru délkového materiálu při jejím konstantním axiálním zatěžování, ale tím se nelze dopracovat k hodnotě průměru nitě ve volném stavu. Navíc, metoda hodnocení průměru nitě při jejím současném zatěžování není patrně ještě vypracována.

U rotorové příze 65PES/35ba, ze které byla také vyrobena osnovní pletenina (trikot) pro experimentální zjišťování pevnosti a tažnosti, je možné stanovit **metodou podélného pohledu poloměr příze**. Metoda je podrobněji popsána v [38].

Je-li příze osvětlena svazkem rovnoběžných paprsků (LUCIA) kolmých k ose příze, pak mnohé z nich projdou mezerami mezi vlákny, aniž jsou hmotou pohlceny. Měření průhlednosti (množství světla, které projde ve vzdálenosti x od všech míst příze) spočívá v osvětlení příze a následné analýze jejího (zvětšeného) obrazu. Provede se vyhodnocení zavedeného myšleného řezu kolmého k ose příze. Zvolený řez určuje řádek pixelů. Světelná hodnota každého pixelu v řádku reprezentuje „světlost“ obrazu příze v daném místě. Světlost je převedena na binární hodnoty (hodnoty jsou uvedeny v [38]). V takto vytvořeném binárním řádku je vyhledána nejdelší posloupnost po sobě jdoucích černých pixelů, jež je považována za „tělo“ příze a pixel uprostřed za bod osy příze.

Provedla jsem snímání 800-ti obrazů podélných pohledů na rotorovou přízi 25 tex. Jejich vyhodnocením je výsledek experimentální závislosti „průhlednosti“ na vzdálenosti od osy příze obr. 5.9. Nelze jednoznačně stanovit, která hodnota průměru příze byla experimentálně zjištěna. Obecně lze říci, že poloměr příze leží kolem hodnoty 50 % průhlednosti (tab. 5.2).



Obr. 5.9 Grafický průběh poloměru BD příze 25tex

Tab. 5.2 Tabulka hodnot poloměru příze při určité hodnotě průhlednosti

[%]	90%	75%	50%	40%	30%	25%	20%	15%	10%	5%
r [mm]	0,09039	0,1019	0,1192	0,1289	0,1385	0,1442	0,1519	0,1673	0,1827	0,2135

Srovnání zjištěných hodnot průměrů rotorové příze 65PES/35ba – 25 tex

V tab. 5.3 lze sledovat velmi malý rozdíl zjištěných hodnot průměru nitě 65PES/35ba. Přepočtem průměru nitě z experimentální hodnoty (podélný pohled) je možné získat hodnotu zaplnění $\mu = 0,40$. Tato hodnota leží mezi hodnotami zaplnění $\mu = 0,389$ (experiment – řez) a $\mu = 0,445$ (výpočet – komprimační teorie).

Tab. 5.3 Hodnoty průměru rotorové příze

Průměr nitě [mm]		
Vypočítaná hodnota podle vztahu (5.5a)	Experimentální hodnota (metoda příčných řezů)	Experimentální hodnota (metoda podélného pohledu)
0,225	0,230	0,238

Zjišťování **průměru nitě v plošné textílii** je snazší a lze provádět u tkanin. Řezem v příčném nebo podélném směru se dostávají tzv. vazné vlny. Zhotovování příčných („měkkých“) řezů tkanin lze s ohledem na strukturu (geometrii nitě) provádět známou metodikou [8]. U pletenin, jak osnovních, tak zátažných, zatím patrně nebyla podobná metodika zpracována zejména z důvodu prostorovému zprohýbání nitě. (V případě zjednodušení pleteniny na plošný útvar je nit zprohýbána v rovině, u tkanin je nit téměř rovnoběžná s osou jednoho směru.) Proto nelze u pletenin získat tzv. „vaznou vlnu“ nebo obdobně nazývaný útvar.

Druhou možností, jak se o struktuře dozvědět více, by mohlo být získání řezů vazných bodů pletenin např. ve volném nebo v deformovaném stavu. Úskalím by bylo, jak připravit řez pleteniny tak, aby byl přibližně kolmý na osu vazného bodu. (U tkanin tuto problematiku popisuje DRAŠAROVÁ v [7]). Nebo další případ, jak simulovat vazný bod nebo překřížení nití, aby byly dosaženy podmínky kombinovaného namáhání jako jsou v očku osnovní pleteniny. Navíc, jak bylo uvedeno výše, průměr nitě z PESH je velice proměnlivý. Zjišťování průměru nitě u tohoto materiálu metodou řezů je velice pracné, protože řezy se od sebe mohou lišit tvarem. Dochází k lokální změně zaplnění nitě v místech vzájemného kontaktu nití (řezy vazných bodů).

5.3 Vliv průměru nitě

Jak uvádí KOČÍ [21], nedostatky v přesnosti geometrických modelů pletenin se mohou projevit nepřesným stanovením průměru použité nitě, od kterého většina autorů odvozuje a konstruuje geometrický model oka. Jak bude dále podrobněji uvedeno při modelování oka osnovní pleteniny v kap. 6, podle průměru nitě se **navrhuje průměr jehelního a platinového oblouku**, jehož délka na průměru nitě závisí v největší míře. Ovšem překážka není jen ve zkráceném průměru nitě, ale v tom, jak se navrhne průměr jehelního

oblouku, tedy; jak velký n -násobek průměru nitě bude určovat délku oblouku. Vliv průměru nitě na délku nitě v očku bude uveden později v kap. 6.4. a 7.4.

V kap. 6.1 je provedeno shrnutí některých geometrických modelů osnovní pleteniny trikot. V kap. 6.3.2 a 6.3.3 jsou navrženy vlastní geometrické modely této vazby zároveň s konstrukčním návrhem průměru oblouku a tvaru neutrální osy nitě v očku.

5.3.1 Vliv průměru nitě na zakrytí pleteniny

Vložením této kapitoly nyní je možné ukázat, jak může záviset stanovení průměru nitě na hodnotu zakrytí osnovní pleteniny trikot. Použité geometrické parametry pletenin jsou uvedeny v tab. 5.3, 5.4.

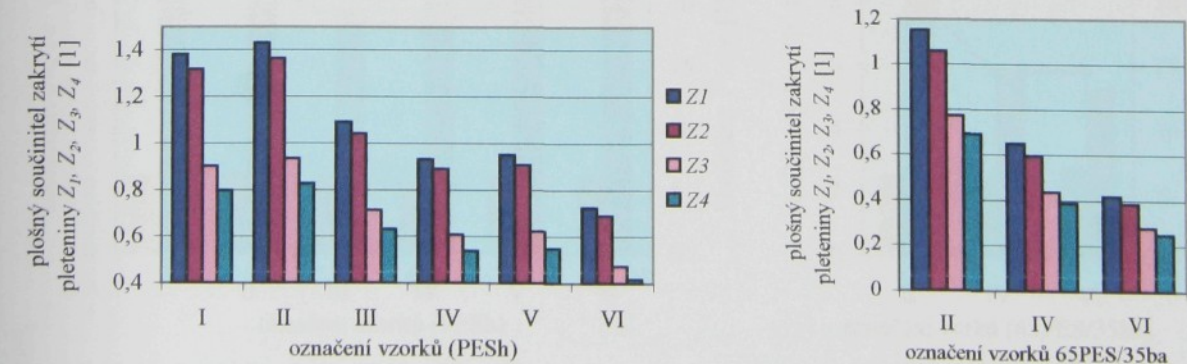
Samotná délka nitě v očku neposkytuje porovnatelnou představu o zaplnění pleteniny nití. Proto byla použita veličina zakrytí, která slouží k charakterizaci a porovnávání pletenin.

Součinitel plošného zakrytí vychází ze znalosti průměru nitě d , délky nitě v očku l , roztečí sloupků w a řádků c pleteniny a je dán vztahem:

$$Z = \frac{l \cdot d}{w \cdot c} \tag{5.11}$$

Je to podíl plochy nitě tvořící právě jedno očko a obsahu plochy zahrnující právě délku jednoho očka (také uvedeno v kap. 4.3, obr. 4.8) v plošném modelu pleteniny. Teoreticky by neměl dosáhnout hodnoty větší než 1, protože jmenovatel vyjadřující plochu očka by měl být větší vzhledem k čitateli. Uvedený vztah (5.11) je dosti zjednodušen. Pro osnovní pleteniny více než pro zátažné. Očko osnovní pleteniny má na rubní straně spojovací kličku, která „překrývá“ ostatní části očka a hodnota zakrytí je tím nadhodnocena. Vliv na větší výslednou hodnotu zaplnění Z může mít dále **překrývání nití** ve vazných bodech, kdy jejich společná plocha není odečítána a **zvětšuje hodnotu Z** . Kromě toho vztah (5.11) nezahrnuje geometrii nitě, tzn. jakým způsobem je nit v ploše tvarována a kolik překřížení je v této jednotce obsaženo. Dalším vlivem může být rovněž prostorové zprohýbání nitě. A nakonec, také nepřesným zjištěním průměru nitě lze dostat výsledky, které tvrzení $Z \in (0, 1)$, nevyhovují.

Experimentální vyhodnocení. Do vztahu (5.11) jsou dosazeny experimentální hodnoty délky nitě v očku, roztečí sloupků a řádků a průměrů nitě*. Výsledky součinitele zakrytí Z jsou určeny pro různé hustoty osnovní pleteniny (jejich další geometrické parametry jsou uvedeny v kap. 8.2) a jsou vyneseny do grafů obr. 5.10 a zapsány do tab. 5.4. a tab. 5.5.



Obr. 5.10 Závislost plošného součinitele zakrytí u pletenin s různou hustotou (PESH a 65PES/35ba)

*Tabulka hodnot strukturálních parametrů obou pletenin je uvedena v kap. 8.2.

Tab. 5.4 Hodnoty zakrytí pleteniny (PESh) 2 x 167 dtex

Č.	c[mm]	w[mm]	l[mm]	Z ₁ [1]	Z ₂ [*] [1]	Z ₃ [1]	Z ₄ [1]
I	0,532	1,851	4,44	1,38	1,31	0,84	0,80
II	0,543	1,851	4,69	1,43	1,36	0,87	0,82
III	0,685	2,174	5,30	1,09	1,04	0,66	0,63
IV	0,735	2,632	5,88	0,93	0,89	0,57	0,54
V	0,781	2,777	6,73	0,95	0,91	0,58	0,55
VI	1,042	3,571	8,77	0,72	0,69	0,44	0,42

Legenda:

- Z₁ odpovídá použitému průměru nitě d_k
- Z₂ odpovídá použitému průměru nitě d_μ (experiment – příčné řezy),
- Z₃ odpovídá použitému průměru nitě $d_{\mu m}$,
- Z₄ odpovídá použitému průměru nitě d_s .

Tab. 5.5 Hodnoty zakrytí pleteniny (65PES/35ba) 25 tex

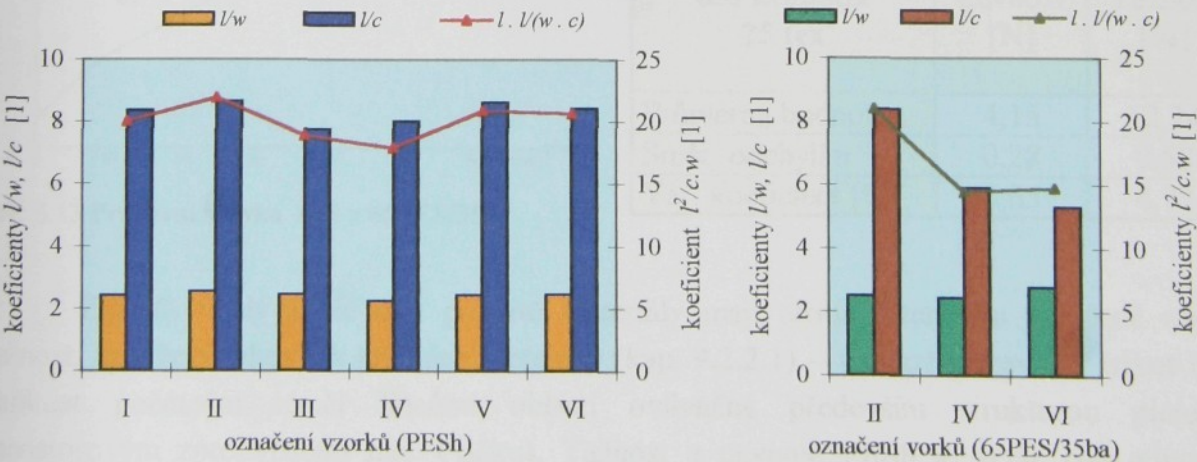
Č.	c[mm]	w[mm]	l[mm]	Z ₁ [1]	Z ₂ [1]	Z ₃ [1]	Z ₄ [1]
II	0,543	1,818	4,33	1,15	1,06	0,74	0,69
IV	0,943	2,273	5,56	0,65	0,60	0,44	0,39
VI	1,667	3,125	8,7	0,42	0,38	0,28	0,25

V některých případech vychází součinitel plošného zakrytí větší než 1. V hustší pletenině (znač. I - PESH) se zjednodušením pleteniny na 2D útvar dosáhne větší nepřesnosti v délce nitě v očku než u relativně řidší struktury. Výpočtem je ale možno zjistit, že obecně je zakrytí u příze PES/ba nižší a jen v jednom případě nesplňuje podmínku ($Z \in (0, 1)$).

Rovněž poměr l/w , l/c a $l^2/(w \cdot c)$ osnovních pletenin by měl být konstantní, jestliže jsou osy nití v porovnáváných pleteninách geometricky podobné.

Jestliže $k = l^2/(w \cdot c)$, potom součinitel zakrytí bude $Z = \frac{k}{l/d}$. (5.12)

Zakrytí je funkcí délky nitě v očku a průměru nitě a je nepřímo úměrný veličině l/d . Protože se však nit nechová příliš „ideálně“ a v místech překřížení nití působí třecí síly, které ovlivňují tvarové oko a vzájemný poměr jejich hodnot w a c , nevychází koeficienty l/w , l/c a $l^2/(w \cdot c)$ v pletenině příliš konstantně (obr. 5.11). U rotorové příze 65PES/35ba klesá koeficient $l^2/(w \cdot c)$ se snižující se hustotou dokonce o jednu třetinu, tzn., že zvýšením rychlosti odtahu došlo po relaxaci k většímu nárůstu plochy strukturální jednotky vzhledem k součinu $w \cdot c$ než u materiálu PESH.



Obr. 5.11 Hodnoty koeficientů l/w , l/c a $l^2/(w \cdot c)$ u vzorků vazby trikot s různou hustotou (PESH a 65PES/35ba)

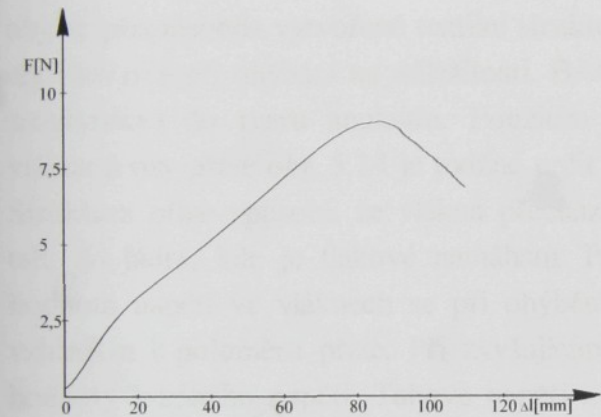
* Pro výpočet byla použita hodnota průměru nitě 0,186, když $\mu_m = 0,907$.

Zjišťování průměru nitě se jeví velice nesnadným úkolem. Bude nejspíše vyžadovat samostatné zpracování. Není ovšem cílem této práce, ale na druhé straně je ho potřebné znát pro konstrukce geometrických modelů. Proto není průměr nitě zde podrobněji a hlouběji prostudován.

5.4 Zjišťování pevnosti a tažnosti nitě

Na trhacím přístroji INSTRON 4411 byla zjišťována pevnost a tažnost hedvábí PESh a příze 65PES/35ba podle ČSN 80 0700.

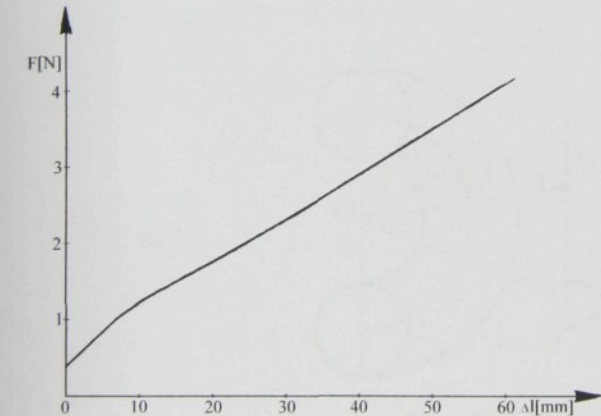
Na obr. 5.12 je zobrazen graf tahové křivky družené nitě z PESh - 167 dtex x 2 a v tab. 5.6 jsou zaznamenány hodnoty pevnosti a tažnosti. Na obr. 5.13 a v tab. 5.7 obdobně pro rotorovou přízi 65PES/35ba o jemnosti 25tex. Pro oba případy bylo provedeno 50 měření.



Obr. 5.12 Pracovní křivka nitě z PESh

Tab. 5.6 Hodnoty pevnosti a tažnosti nitě z PESh

Materiál PESh 2 x 167 dtex	Pevnost [N]	Tažnost [%]
Průměrná hodnota	9,50	18,16
Směr. odchylka	0,37	1,01
Var. koeficient [%]	3,87	5,55



Obr. 5.13 Pracovní křivka nitě z 65PES/35ba

Tab. 5.7 Hodnoty pevnosti a tažnosti nitě z 65PES/35ba

Materiál 65PES/35ba 25 tex	Pevnost [N]	Tažnost [%]
Průměrná hodnota	4,15	12,24
Směr. odchylka	0,28	0,58
Var. koeficient [%]	6,65	4,72

Z grafů vyplývá, že oba použité materiály mají proti pleteninám poměrně nízkou tažnost, tzn. že v tahových křivkách pleteniny (kap. 9.2.2.1) – ve vazbě uzavřený trikót bude velikost počáteční téměř lineární oblasti ovlivněná především strukturou pleteniny (prostorovým zprohýbáním nitě v očku). Tažnost a pevnost PESh je větší, což odpovídá předpokladům z hlediska struktury příze a je více ovlivněná předpětím než rotorová příze 65PES/35ba (je nutno také uvažovat rozdílnost jemnosti obou materiálů).

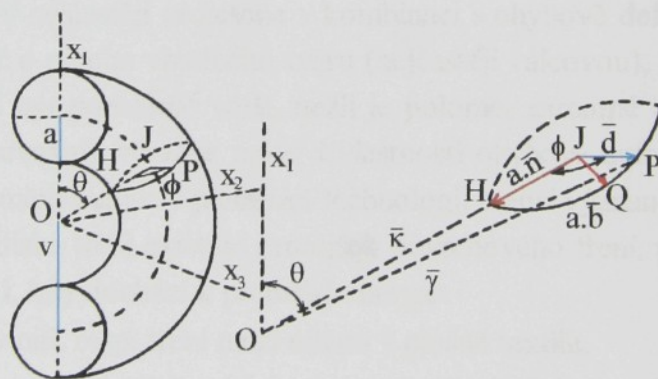
5.4.1 Popis zkoušky

Nit délky 500 mm je upnuta do čelistí trhacího přístroje INSTRON 4411 s předpětím (1 ± 5 mN/tex). Trhací rychlost je volena tak, aby doba přetrhu byla $t_p = 20 \pm 2$ s. Graficky je zaznamenávána závislost prodloužení na zatěžující síle, je zjišťována střední křivka měření a vyhotoveno statistické zpracování naměřených dat (příloha 1).

5.5 Mechanika ohybu nitě podle BACKERA

V této části se bude hovořit především o délkové textílii – přízi. Obecně lze říci, že mechaniku ohybu je možno aplikovat pro většinu délkových textilií. Následující zpráva se přímo netýká změny průměru příze při ohybu, proto je zde jen okrajová zmínka.

Autor práce [1] konstatuje, že přízi nelze považovat za rovný, přímý útvar. A navíc, ke změně z 1-dimenzionálního útvaru na 2-dimenzionální musí být „ohýbána a zakrucována“, aby se přizpůsobila vytvořené textilní struktuře – tkanině nebo pletenině. Proto nabývá otázka chování nitě při ohýbání na důležitosti. BACKER [1] představil studii ohýbané příze (model šroubovice) do tvaru anuloidu. Použitím polohového vektoru sledujícího relativní dráhu vlákna a osy příze obr. 5.14 je možné určit napětí lokálního vlákna způsobené ohybem příze. Struktura příze způsobí, že vlákna přecházejí z povrchových vrstev, kde jsou namáhána na tah, do jádra, kde je tlakové namáhání. Prokluz vláken je zanedbáván. Jak se očekávalo, hodnota napětí ve vláknech se při ohýbání zmenšovala, jakmile poloměr anuloidu vzrůstal vzhledem k poloměru příze. Při zvyšujícím se počtu zákrutů příze docházelo ke snižování hodnoty lokálního napětí. Tahové napětí a stlačení bylo maximální ve vláknech umístěných ve vnějších vrstvách příze.



Obr. 5.14 Ohyb příze podle BACKERA

Nit z nekonečného polyesterového hedvábí je zakroucena oproti přízi podstatně méně, někdy mívá nepravý zákrut. Tím má menší kompaktnost a z toho vyplývá, že změna průřezu nitě při ohybové deformaci bude jiná, možná i větší, protože nit je více „rozsypaná“. Průřez nitě potom zřejmě nebude ani symetrický.

5.6 Tření

Proces tření provází změnu struktury pletenin, tj. změnu stavu pleteniny. Nelze ho opominout a nevěnovat mu pozornost. Tření především ovlivňuje deformovatelnost pleteniny

víceméně negativním směrem, protože „zbrzdí“ deformační procesy. Má však také vliv při srážení pleteniny po jejím zhotovení.

5.6.1 Rozdělení tření

Z hlediska projevu existuje **tření** statické, při kterém nedochází ke vzájemnému pohybu dotýkajících se těles. Pomáhá zajišťovat stabilitu systémů, např. snižuje paratelnost, ale rovněž brání zaujmutí stabilního stavu a ztěžuje relaxační procesy. Při kinetickém tření, kdy se tělesa po sobě posouvají, dochází k přeměně mechanické energie na tepelnou. Jak uvádí KOVÁŘ [22, 28], tři varianty povrchového tření nitě (obr. 5.15), tj. tření jednostranným (a), oboustranným přitlakem nitě (b) a opásáním (c) vedou ke známým vztahům (5.13):

$$a) \quad F = F_o + F_N \cdot f, \quad b) \quad F = F_o + 2 F_N \cdot f, \quad c) \quad F = F_o \cdot e^{\alpha f}, \quad (5.13)$$

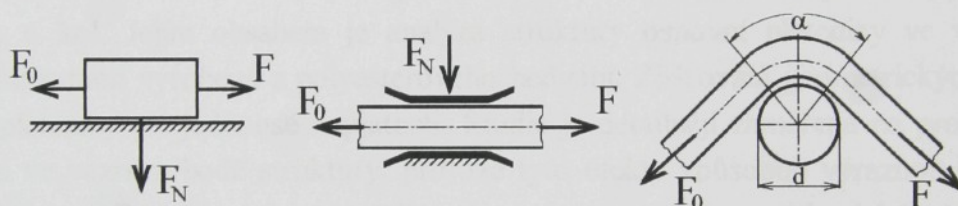
kde F_o – vstupní síla [N],

F – výstupní síla [N],

F_N – normálová síla [N],

f – koeficient tření [1],

α – úhel opásání [rad].



Obr. 5.15 Tření jednostranným, oboustranným přitlakem a opásáním

V praxi se tření nejčastěji projevuje v kombinaci s ohybově deformačními vlastnostmi. Při tření opásáním nitě o plochu vhodného tvaru (nejčastěji válcovou), poloměr opásání, jak je uvedeno v [23], musí být podstatně větší, nežli je poloměr samotné nitě. Jinak by se kromě třecích vlastností projevovaly výrazně právě i vlastnosti ohybově deformační. Opásání kolem relativně velkých poloměrů má ale v pletařské technologii menší význam.

U textilií z hlediska tření existuje protějšek povrchového tření, pro které KOVÁŘ [28] používá termín **vnitřní**, kdy dochází k přeměně energie:

- tření mezi vlákny v niti, resp. tření mezi nitěmi v plošné textilií,
- třením uvnitř vláken, související s viskózními a plastickými složkami deformace vláken.

Vnitřní i povrchové tření se uplatňuje při výrobě i používání pleteniny. Vnitřní tření má dominantní význam především při **deformaci** textlie.

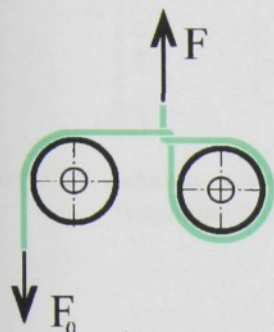
5.6.2 Tření opásáním

Více principů a metod experimentů, jejichž cílem je simulovat tření a prokluz nitě při pletení, resp. při deformaci pleteniny popisuje např. KOVÁŘ, [27]. Např. příspěvek [19] obsahuje také měření a výpočet třecí síly při ohybu nitě přes ocelový drátek.

Při tření opásáním je cílem určení relace mezi vstupní F a výstupní F_o tahovou silou v niti u třecího místa, kterou lze obecně formulovat vztahem $F = f(\text{vstupní síla, koeficient tření, úhel opásání, rychlost posuvu nitě, použitý materiál, atd.})$. Na poměr sil F/F_o mají vliv

různé vlastnosti nitě (nejen povrchové tření, ale i ohybová deformace, deformace průřezu nitě, atd.). Při stanovení součinitele tření z poměru F/F_0 pomocí Eulerova vztahu se získá „celkový“ součinitel tření f_c .

5.6.2.1 Tření v imitovaném vazném bodu pleteniny



Vhodnější simulaci prokluzu nití ve vazném bodu poskytuje měření F/F_0 v **imitovaném vazném bodu** pleteniny. Nit je vedena přes kladky uložené na valivých ložiscích (pro zmenšení vlivu tření kladek). Na obr. 5.16 je představeno nepřímé stanovení součinitele tření z poměru F/F_0 pomocí Eulerova vztahu (tření nitě o nit). Nevýhodou je, že se jednotlivé složky deformace uplatňují společně, navzájem se ovlivňují a mění svůj charakter [25, 27, 28].

Obr. 5.16 Tření nitě o nit podle KOVÁŘE

5.6.3 Metoda měření prokluzu nitě v pletenině

Zjišťování koeficientů tření při tření nitě o nit se mimo jiné věnuje také publikace [60] STUMPFA a kol. Jejím obsahem je analýza struktury osnovní pleteniny ve vazbě trikot s různými hustotami vyrobená z polyesterového hedvábí. Zjišťování geometrických vlastností a chování pleteniny při jednoosé napjatosti. Studie je detailněji zaměřena na prokluz a tření mezi nitěmi ve vazném bodě struktury, protože tyto efekty způsobují výraznou deformaci a tažnost pleteniny. Pozornost je věnována zkoumání statického a kinetického tření, jehož výsledky jsou použity jako základ pro modelování struktury metodou konečných prvků (FEM) [61]. Při zkouškách 1-osé deformace ve směru sloupků je na dynamometru upevněn mikroskop pro snímání změny struktury vzorku.

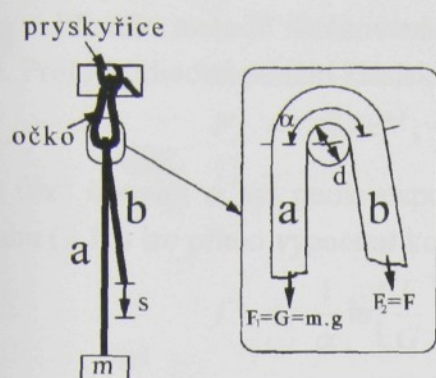
5.6.3.1 Metoda zjišťování koeficientů tření podle STUMPF

V této metodě [60] byla první provazující nit v důsledku uchycení v čelistech dynamometru fixována v pryskyřici. Na jeden konec druhé nitě provlečené vytvořenou kličkou bylo zavěšeno závaží a opačný konec byl upevněn ve spodní čelisti dynamometru, obr. 5.17. Tahová síla během celého experimentu byla zaznamenávána při použití různých rychlostí zatěžování v závislosti na vzdálenosti s (prodloužení). Typický příklad naměřené křivky je na obr. 5.18.

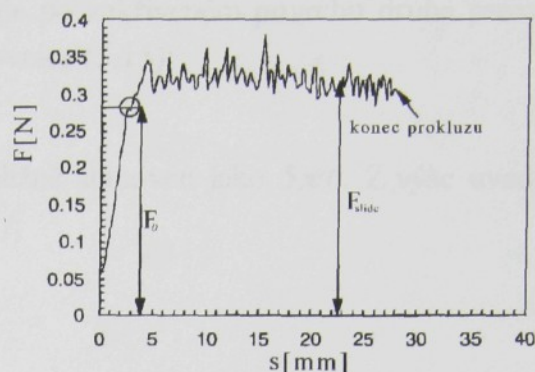
Podmínkou prokluzu nití ve vazném bodě podle obr. 5.19 bude:

$$|F_A - F_B| > R, \quad (5.14)$$

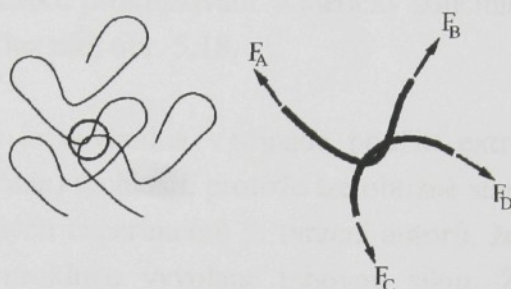
kde R označuje třecí sílu [N], F_A , F_B jsou tahové síly v nitích [N].



Obr. 5.17 Schéma uchycení nití v čelistech dynamometru



Obr. 5.18 Závislost tahové síly na s (vzdálenost čelistí) při zkoušce tření nitě o nit



Obr. 5.19 Vazný bod a axiální síly v nitích

Síla v části **a** (obr. 5.17) byla vyjádřena jako gravitační síla $G = m \cdot g$ (hmotnost v dalších pokusech vzrůstala). Síla F v části **b** vzrůstá už při napínání nitě závažím směrem dolů. Při hodnotě $F = F_0 = 0,282$ [N] (hodnota vyvolaná trhacím přístrojem) začíná prokluz nitě. S tímto tvrzením by se patrně dalo polemizovat. Celý proces je sice monitorován a identifikován v grafickém záznamu malou „kličkou“. Ovšem tato klička může být např. také způsobena pootočením oka upnutého v horní čelisti, které je pevně uchyceno v čelistech. Nic nebrání jejímu natočení. Nebo dalšími vlivy, jako jsou nestejnomyšernosti nitě, nekonstantní průřez nitě, který se mění při ohýbání (používá se tvarovaný materiál s malým počtem zákrutů). Postupně dochází ke změně polohy třecí plochy a její velikosti zároveň s osovou deformací nitě, aj.

Touto metodou byla měřena výstupní tahová síla $F = F_0$ v okamžiku překonání třecího odporu, tj. staticky. (Bude důležitá právě pro modelování prokluzu nitě metodou konečných prvků.) Na základě této síly lze pak definovat statický koeficient tření f_0 . Kinetický koeficient tření f_s je určen z hodnoty výstupní síly (obr. 5.18) F_{slide} během kolísání síly v časovém okamžiku $s \rightarrow \infty$. V grafu na obr. 5.18 může být kolísání naměřených hodnot výstupních sil způsobeno také pootáčením kličky (oka) vlivem tahových sil v prokluzující niti nebo tzv. „vrzáním“, kdy prokluz není plynulý, ale dochází ke „střídavému zastavování a rozbíhání“. Proto kinetický koeficient tření f_s zjištěný na základě F_{slide} může být rovněž zkreslen.

Při této metodě zatěžovaná nit prokluzuje po zakřiveném povrchu druhé provazující nitě. Proto je vhodné použití klasické Eulerovy rovnice (5.15):

$$F = G \cdot e^{\alpha f}, \quad (5.15)$$

kde úhel opásání α byl podle experimentu přibližně stanoven jako $5\pi/6$. Z výše uvedeného vztahu (5.15) lze přímo vypočítat koeficient tření f :

$$f = \frac{1}{\alpha} \ln\left(\frac{F}{G}\right), \quad (5.16)$$

potom třecí sílu R lze získat po dosazení (5.15) z rovnice (5.17):

$$R = F - G = G(e^{\alpha f} - 1) \quad (5.17)$$

Statický koeficient tření f_o může být vypočítán při znalosti hodnoty výstupní tahové síly $F = F_o$ v okamžiku počátku prokluzování. Kinetický součinitel tření f_s počítá s hodnotou síly F_{slide} , když probíhá prokluz nití, obr. 5.18.

Představená metoda je nevhodná v případě použití extrémně malých (1,2 mm/min) nebo velkých (200, 500 mm/min) rychlostí, protože lze obtížně stanovit počátek prokluzu nití.

Výsledkem provedených experimentů je tvrzení autorů, že tření je podle všeho velice málo závislé na rychlosti prokluzu vyvolané tahovou silou. Zjištěná hodnota statického koeficientu tření byla $f_o = 0,34$.

Odchylky hodnot kinetického koeficientu tření při různých rychlostech jsou malé. Jejich závislost bude předmětem dalšího zkoumání. Nyní je možné říci, že výsledkem je přibližně lineární závislost, proto $f_s = 0,38$.

Závěr, že hodnota statického koeficientu tření f_o je nižší než kinetického f_s , je neobvyklý. To znamená, že prokluz nití se „nemůže zastavit“, když rychlost prokluzu dosáhne z jakékoliv příčiny nulové hodnoty. (V případě, že statický koeficient tření f_o překoná kinetický f_s , tj., $f_o > f_s$, dosažení nulové rychlosti by bylo výsledkem ustáleného stavu.) Zjištění $f_o < f_s$ nemůže být zcela zobecněno, je nutné brát ho s určitou „opatrností“.

Publikované výsledky obsahují patrně nějaké nepřesnosti v navržené metodě, jež zapříčiňují uvedené hodnoty. V případě jejího použití docházelo nejspíše při zaznamenání tahových sil k nepřesné interpretaci výsledků ovlivněných, jak už bylo zmíněno, pootáčením očka, „pohybu“ třecího místa, „vrzáním“, atd. Je nutné nezapomínat, že kontaktními útvary nejsou souvislá ideální tělesa. Většinou se pracuje s lubrifikovanými vlákny, která nejsou v napjatém stavu, mohou mít nepravý zákrut, tvarovány, atd. Vnější tahové síly jsou příčinou napínání a nové uspořádání vláken v niti může vyžadovat jinou velikost koeficientů tření. Jak také uvádí STANĚK [50], jejich velikost závisí na členitosti povrchového reliéfu vláken, na velikosti jejich kontaktní plochy a současně na deformabilitě jejího povrchového reliéfu.

Výsledky STUMPFA a kol. [60] jsou v rozporu s pracemi, např. [13, 24, 28, 29, 35], které uvádějí, že statický koeficient tření bude větší než kinetický. Přestože v [13] výše variačních koeficientů může zkreslit nebo přímo „obrátit“ výsledky.

5.6.4 Vliv tření na mechanické vlastnosti pletenin

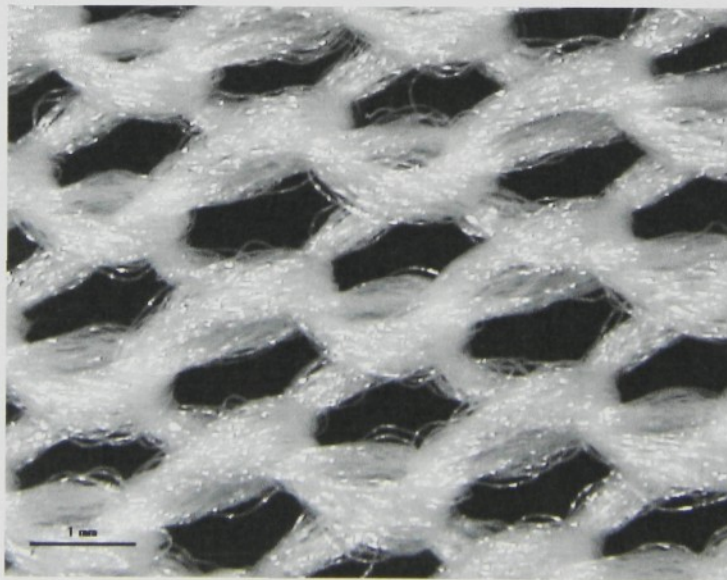
Tření má pravděpodobně největší význam na tvar počátečního úseku tahové křivky pleteniny. Může ovlivnit velikost přibližně lineární části křivky. Prokluz bude probíhat dokud se všechny části oka nenapřímí ve směru působících tahových sil (při 1-osé deformaci) nebo směru jemu „blízkému“. Dle mého názoru, čím více nitě bude obsaženo v co nejmenší velikosti strukturální jednotky jednoduchého trikotu, tím bude proces přesunu nitě do stěny nebo spojovací kličky oka trvat delší časový úsek, což způsobí větší tažnost struktury. Tedy vliv bude zřejmě mít velikost koeficientu $l^2/(c \cdot w)$ (kap. 5.3.1).

V osnovních pleteninách, jak uvádějí autoři v [60], dochází k prokluzu nitě tak, že se působením vnějších sil nit přesouvá a její délka v jednom oku klesá. Zatímco se ve druhém sousedícím oku (ne ve stejném řádku) tvořeném ze stejné nitě objeví tato délka jako přírůstek. Důsledkem toho je, že se délka nitě v oku bude lišit.

Je nutno poznamenat určité výhrady k tomuto tvrzení autorů [60]. Vyloučí-li se nerovnoměrná deformace, směrová deformace pleteniny (sklon sloupků ve vzorku je různý od 0° , 90°), prostorové tvarování pleteniny a bude se uvažovat pouze 1-osé tahové namáhání (mimoходом je i v této práci [60] navrženo) ve směru sloupků a řádků, nemůže nastat takový stav struktury osnovní pleteniny - trikot, kdy se délky nitě ve všech očkách a jejich částech budou podstatně lišit. **Bude nastávat přesun nitě, ale jen v rámci oka.** Při tahové deformaci do okamžiku počátku samotného protažení nitě bude délka nitě v oku l konstantní, protože:

- při rovnoměrném deformování je tvar oček podobný,
- oka se nemohou „někam ztratit“, jejich počet zůstává stejný.

Délka nitě v jednotlivých částech oka* vazby trikotu by se např. mohla lišit při 1-osé deformaci pod úhlem různým od směrů 0° , 90° , obr. 5.20, kdy řádky pleteniny nejsou kolmé na sloupky.



Obr. 5.20 Fotografie vazby uzavřeného trikotu při 1-osém namáhání pod úhlem 30° (PESH)

* Délky jednotlivých částí oka orientovaného napravo se liší od oka orientovaného nalevo.

5.6.5 Shrnutí

Tření má v textiliích rozporuplný význam. Bez dostatečného tření by se velmi snadno deformovala jejich struktura, na druhé straně naopak tření zpomaluje proces relaxace pleteniny, dočasně udržuje její deformaci a tak způsobuje její tvarovou nestabilitu.

Podstatná je i oblast velikosti deformace, která je předmětem zkoumání. Např. v počáteční malé deformaci se výrazněji uplatňují ohybové, deformační a třecí vlastnosti. Při větších deformacích vzroste význam příčné stlačitelnosti, podélného protažení nitě a změní se i charakter tření nitě o nit.

Je možné pokoušet se snížit součinitel povrchového nebo vnitřního tření. Lze měnit povrch vláken, ovlivňovat deformační vlastnosti samotných vláken (snižovat podíl neelastických složek deformace) nebo použít vhodný lubrifikační prostředek. Celkově ale nezbyvá než konstatovat, že tření pletenin je stále živým a nedořešeným problémem, který stojí za další studium a samostatné zkoumání.

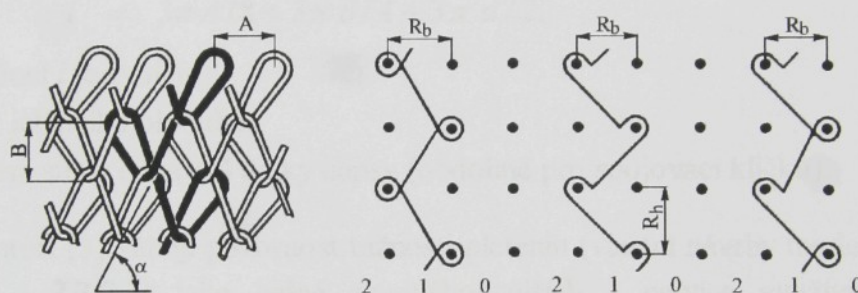
6 Modelování oka osnovní pleteniny ve vazbě uzavřený trikot

6.1 Klasické geometrické modely

Před návrhem vlastních modelů osnovní pleteniny ve vazbě uzavřený trikot je vhodné shrnout některé dosavadní poznatky a informace týkající se osnovních pletenin v odborné literatuře se vyskytující. Zhodnotit je a na jejich základě potom zhotovit vlastní geometrický pohled na strukturu osnovní pleteniny ve vazbě uzavřený trikot.

6.1.1 Dalidovičův model trikotu ve volném stavu a při 1-osé deformaci

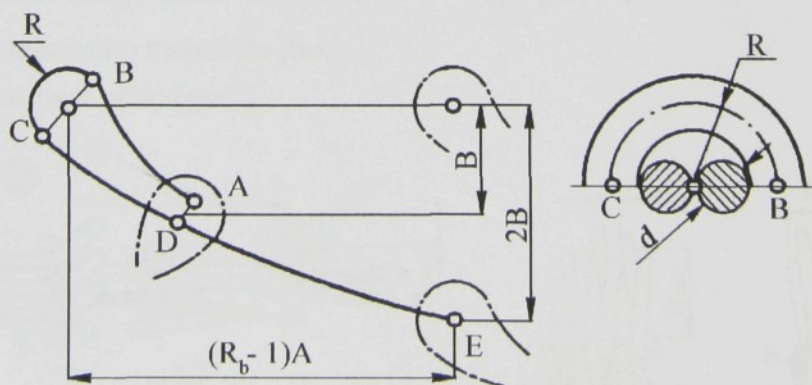
DALIDOVIČ a ŠALOV [5] se také zabývali modelováním osnovních pletenin. Mimo jiné i osnovní jedolící vazby trikot, obr. 6.1. Ve zprávě je vyobrazeno provázání uzavřené kladení, avšak výpočty délky nitě v oku se týkají otevřeného oka, jak je vidět na dalším obr. 6.2 (pro trikot je koeficient $R_b = 2$, obr. 6.1).



Obr. 6.1 Kladení a provázání osnovní pleteniny – trikot

Autoři uvádějí, že vztah mezi délkou nitě v oku l [mm] trikotu a geometrickými parametry jeho struktury A , B^* , d [mm] může být získán z výše uvedeného geometrického modelu oka. Délka nitě v oku bude:

$$l = BC + AB + CDE. \quad (6.1)$$



Obr. 6.2 Model oka otevřeného trikotu a detail jehelního oblouku

*Označení geometrických parametrů oka je ponecháno podle jednotlivých autorů. Všechny vztahy uvažují s parametry, které jsou v této práci definovány pod termínem rozteče řádků a sloupků.

Podle návrhů autorů je délka oblouku BC rovna 1/2 kružnice o poloměru $R = 3d/2$, kde d je střední průměr nitě. Potom $BC = 3\pi d/2$. (6.2)

Oblouky AB a CDE mohou být nahrazeny částí elipsy. Zjednodušení obvodu elipsy podle vztahu $\tau \cong \pi(a + b)$, kde a a b jsou délky poloos, vzhledem k nahrazení neutrální osy oka částí elipsy nebude mít na výpočet vliv. DALIDOVIČ a ŠALOV zvolili nahrazení oblouku AB 1/4 elipsy s poloosami $a = A/2$ a $b = B$, kde A a B jsou šířka a výška oka, tj.:

$$AB \cong (\pi/4)(A/2 + B). \quad (6.3)$$

Tímto nahrazením nebude v bodě B (obr. 6.2) plynulý přechod mezi dvěma úseky oka AB a BC. Oblouk CDE je roven 1/4 elipsy s poloosami $a = A$ a $b = 2B$, tj.:

$$CDE \cong (\pi/4)(A + 2B). \quad (6.4)$$

Vztah pro výpočet délky nitě v otevřeném oku trikotu podle modelu na obr. 6.2 po dosazení (6.2), (6.3) a (6.4) do rovnice (6.1) bude:

$$l = 3\pi A/8 + 3\pi B/4 + 3\pi d/2. \quad (6.5)$$

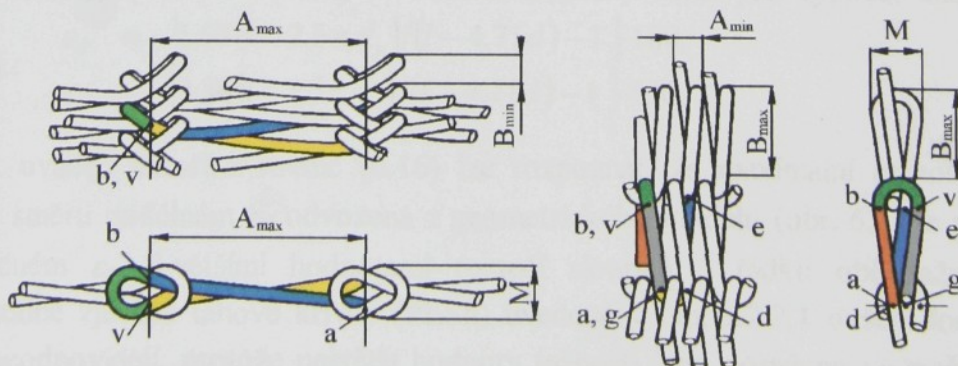
V tomto vyjádření l je zvolen:

- průměr jehelního oblouku,
- nahrazení stěny oka 1/4 délky elipsy (obdobně pro spojovací kličku).

Dále autoři [5] věnují pozornost tažnosti pletenin (vlastní návrhy modelů jsou uvedeny v kap. 7.3.2.1 a 7.3.2.2) jako jedné z nejvýhodnějších a nejvíce využívaných vlastností pletenin. Zpráva se zabývá protažením struktury při jednoosé napjatosti. Jsou zde uvedeny modely deformované struktury otevřeného kladení trikotu, obr. 6.3. Autoři předpokládají, že model struktury na obr. 6.2 se působením vnějších tahových sil pootočí (vůči původní struktuře) a bude vypadat jako na obr. 6.3. Při deformaci v příčném směru se z oček vytváří "uzly" a výška oka se stává minimální ($B_{min} = 2d_y$) a tloušťka maximální ($M \cong 4d_y$). Proč je tloušťka označena jako maximální autoři neuvádějí. Působením tahových sil ve směru řádků v navrženém modelu oba rozměry - výška B a tloušťka M - budou mít snahu se v co největší míře zmenšit. Průměr nitě je stanoven jako: $d_y = 35,7\sqrt{T\gamma^{-1}}$, (6.6)

kde T - jemnost délkového materiálu [tex],

γ - měrná hmotnost příze [gm^{-3}].



Obr. 6.3 Modely příčně a podélně deformované struktury trikotu

Očko takto deformované se skládá z úseku **ab** a oblouku **bv** ($3/4$ kružnice o průměru $3d_y$), které mohou být vyjádřeny jako:

$$ab \cong A_{max}; bv \cong 3/4 \cdot 3\pi d_y = 2,25 \pi d_y. \quad (6.7)$$

$$\text{Potom } l = A_{max} + 2,25 \pi d_y, \quad (6.8)$$

$$\text{odkud } A_{max} = l - 2,25 \pi d_y. \quad (6.9)$$

Při jednoosém protažení trikotu ve směru sloupků se šířka oka stává minimální ($A_{min} = 2 d_y$) a tloušťka maximální ($M \cong 4 d_y$). Délka nitě v oku obsahuje součet úseků **ab**, **vg**, **de** a oblouků **bv** ($1/2$ kružnice o průměru $3d_y$) a **gd** ($1/2$ kružnice o průměru $2d_y$). Výška oka bude B_{max} . $bv = 3 \pi d_y/2$; $gd = 2 \pi d_y/2$. Potom:

$$l = 3 B_{max} + 3 \pi d_y/2 + 2 \pi d_y/2 = 3 B_{max} + 2,5 \pi d_y. \text{ Odkud} \quad (6.11)$$

$$B_{max} = (l - 2,5 \pi d_y)/3. \quad (6.12)$$

Maximální plocha trikotu při biaxiální deformaci může být určena na základě rovnice: $S = A \cdot B$. V práci [5] je obecně délka nitě v jakémkoliv oku vyjádřena rovnicí: $l = xA + yB + zd$, kde x , y , z jsou koeficienty pro daný model oka, A , B představují rozteč sloupků a řádků a d je střední průměr nitě.

Odvození vztahů (6.13) pro výpočet velikostí roztečí je podrobněji uvedeno v [5]:

$$\begin{aligned} A &= (l - zd)/2x = (l - 3\pi d/2)/(2 \cdot 3\pi/8), \\ B &= (l - zd)/2y = (l - 4,71d)/4,71. \end{aligned} \quad (6.13)$$

Maximální plocha oka S je určena na základě rovnice (6.13) a rovnice (6.4), přičemž střední průměr nitě d je nutné zaměnit podle úmluvy s průměrem nitě d_y . Potom:

$$S = (l - zd)^2/4xy = (l - 4,71d)^2/11,1. \quad (6.14)$$

Tažnost ve směru sloupků (obdobně pro směr řádků) je dána vztahem: $\varepsilon_d = [(B_{max} - B)/B] \cdot 100$,

dosazením rovnice (6.13) do (6.15) se dostává konečný vztah pro výpočet tažnosti v obou

$$\begin{aligned} \varepsilon_d &= [1,57(l - 2,5\pi d_y)/(l - 4,71d) - 1] \cdot 100, \\ \varepsilon_s &= [2,36(l - 1,5\pi d_y)/(l - 4,71d) - 1] \cdot 100, \end{aligned} \quad (6.16)$$

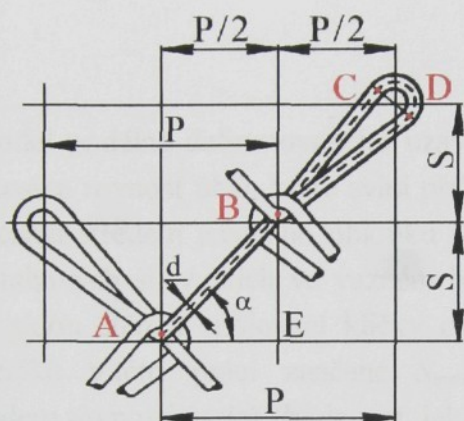
Jak uvádějí autoři, z rovnic (6.16) lze rozpoznat, že maximální tažnost trikotu při přetrhu ve směru podélném ε_d odvozená z geometrického modelu (obr. 6.3) je menší než ve směru příčném ε_s . S většími hodnotami roztečí sloupků a řádků obě tažnosti rostou. Experimentálně zjištěné tahové křivky (PESh) uvedené v kap. 9.2.2.1 ovšem tomuto tvrzení bohužel neodpovídají, protože největší hodnoty tažnosti bylo dosaženo ve směru podélném (směr sloupků).

6.1.2 Model trikotu ve volném stavu a při 1-osé deformaci Vékássyho

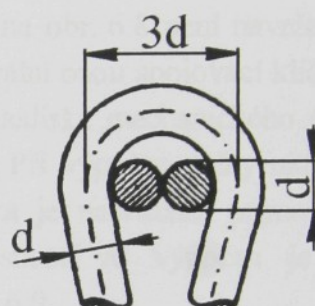
Také VÉKÁSSY se věnuje modelování struktury uzavřeného trikotu ve volném stavu v práci [64]. Délku nitě v očku stanovuje jako rektifikaci čáry A – B – C – D – B, obr. 6.4. Přičemž úseky AB, BC a DB jsou úsečky a CD je oblouk. Model trikotu je z důvodu zjednodušení navržen tak, aby platila rovnost délek úseků: $AB = BC = DB = L$. Průměr jehelního oblouku je stanoven jako $3d$, obr. 6.5. Potom délku nitě v očku lze vyjádřit rovnicí:

$$l = 3d\pi/2 + 3L, \quad (6.17)$$

přičemž délka L je určena z pravoúhlého trojúhelníka ABE, tj. $L^2 = S^2 + (P/2)^2$. (6.18)



Obr. 6.4 Model struktury uzavřeného trikotu podle Vékássyho

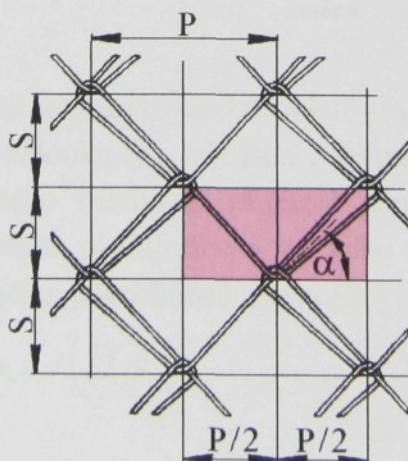


Obr. 6.5 Konstrukce jehelního oblouku očka

Autor uvádí konečný vztah pro délku nitě v očku trikotu závislý na šířce očka značené P , výšce očka S a průměru nitě d (všechny veličiny jsou v [mm]):

$$l = 3d\pi/2 + 3\sqrt{S^2 + P^2/4}. \quad (6.19)$$

dále je definován úhel α na základě symetrie opakujícího se elementu – očka, obr. 6.6. Úhel α , který svírá spojovací klička se směrem řádků, byl odvozen jako konstanta s hodnotou 45° .



Obr. 6.6 Nejmenší opakující se element struktury trikotu

Při navrhování této geometrie konstrukce oka je zvolen:

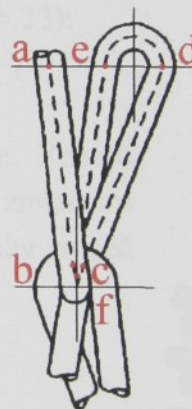
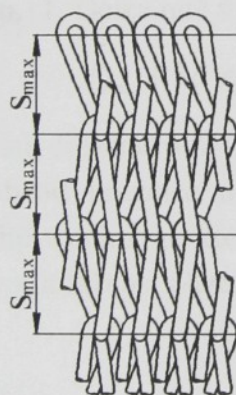
- průměr jehelního oblouku,
- délka stěn oka a spojovací kličky je identická (průmět části oka* a spojovací kličky do osy x je stejný).

Model trikotu na obr. 6.4 spíše odpovídá modelu pleteniny s minimální ohybovou tuhostí nitě, s tzv. „dokonale ohebnou nití“** z hlediska ohybových vlastností a liší se od předpokládaného provázání zobrazeného na obr. 6.7. (Jak uvádí autor, lépe odpovídá skutečné geometrie nitě ve struktuře pleteniny.)



Obr. 6.7 Provázání a řez vazby uzavřený trikót

Model podélně deformovaného uzavřeného trikotu na obr. 6.8 není navržen tak, aby byla zachována rovnost úhlů, které svírá příčný směr s neutrální osou spojovací kličky a osou, která prochází středem jehelního oblouku oka, jak by z hlediska mechanického (rovnováha axiálních tahových sil v nitích ve vazném bodě) mělo být. Při výpočtu délky nitě v oku je zanedbán sklon stěn a spojovací kličky oka. Jejich délka je nahrazena přímo maximální roztečí řádků v této práci značené S_{max} . Malá nepřesnost ve výpočtu je dosažena předpokladem rovnosti úseků ab, dc a ef, jak je vidět na obr. 6.9.



Obr. 6.8 1-osá deformace trikotu v podélném směru

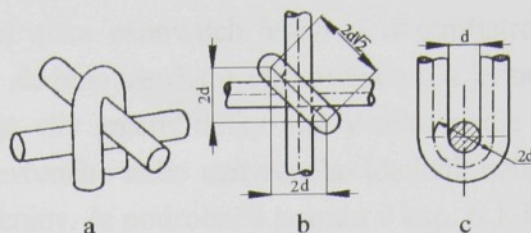
Obr. 6.9 Model oka při 1-osé deformaci v podélném směru

Na obr. 6.10 je detailněji zobrazen jehelní oblouk (a), odvození jeho průměru (b) a odvození průměru platinového oblouku (c), kde jsou opásaný dva průměry d nitě. Délka nitě v deformovaném oku uzavřeného trikotu je přibližně dána součtem trojnásobku rozteče řádků S_{max} a součtem délek obvodu platinového a jehelního oblouku. Autor odvozuje v [64] vztah pro výpočet délky nitě v oku, jehož konečný tvar je:

$$l = 3S_{max} + \pi d(\sqrt{2} + 1) \quad (6.20)$$

* Očko se skládá ze spojovací kličky a části oka tvořené stěnami, jehelním a platinovým obloukem.

** Pojem „dokonale ohebná“ nit bude definován v kap. 6.3.



Obr. 6.10 Detaily provázání nití v jehelním oblouku oka

Autor dále z blíže nespecifikovaných (zřejmě experimentálních) důvodů navrhuje změnu hodnoty průměru nitě pro modely deformované, a to:

$$d' = d/\sqrt{2}, \quad (6.21)$$

kde d - původní průměr nitě [mm],

d' - deformovaný průměr nitě [mm].

Potom skutečná délka nitě dosazením vztahu (6.21) do rovnice (6.20) bude:

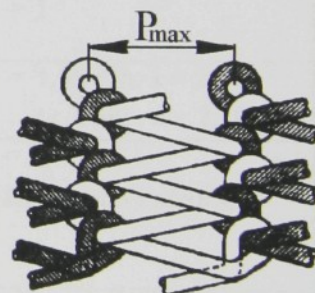
$$l = 3S_{\max} + 2,41\pi d'. \quad (6.22)$$

Závěrem zůstává vyjádřit maximální rozteč řádků $S_{\max}$ a vypočítat tažnost pleteniny ve směru sloupků.

Model struktury uzavřeného trikótu maximálně deformovaného ve směru **příčném** je vyobrazen na obr. 6.11. Délka nitě v oku je určena rovnicí (6.23):

$$l = P_{\max} + 3d'\pi, \quad (6.23)$$

kde d' je minimální deformovaný průměr definovaný výše. Rozteč sloupků $P_{\max}$ a obvod kružnice o průměru $3d'$ dávají zmíněnou veličinu – délku nitě v oku, ze které lze vypočítat maximální rozteč sloupků $P_{\max}$ a odvodit tažnost pleteniny ve směru řádků.



Obr. 6.11 1-osá deformace trikótu v příčném směru

Stejně jako uvádí DALIDOVÍČ a ŠALOV, tak i VÉKÁSSY konstatuje, že tažnost osnovní pleteniny – trikótu je větší ve směru řádků a ověřuje toto tvrzení na konkrétním experimentálním příkladu.

6.1.3 Shrnutí a vyhodnocení dalších modelů vazby uzavřeného trikótu

Mezi dnes už klasické geometrické modely patří, jak uvádí Dušek [10], několik teoretických modelů struktury osnovní pleteniny. Modely jsou sestaveny na základě vizuálního pozorování, jednotlivé úseky oka jsou nahrazovány jednoduchými geometrickými křivkami. V této kapitole je provedeno shrnutí pěti modelů osnovních pletenin.

Dalidoviče - model oka osnovních jedno- i dvoupřístrojových pletenin vycházející z předpokladu, že oko je složeno ze dvou elipsovitých a z jednoho jehelního půlkruhového oblouku. **Model** nezahrnuje vliv změny délky nitě v oku podle toho, který kladecí přístroj (KP) oko vytváří, vliv otevřeného nebo uzavřeného kladení, nebere v úvahu prostorový tvar oka, ani stav relaxace pleteniny. Je podrobněji popsán v kap. 6.1.1.

Allisona - model oka osnovních jedno i dvoupřístrojových pletenin vytvořený za předpokladu, že oko je složeno z rovné spojovací kličky, dvou rovných stěn lící kličky a jehelního oblouku ve tvaru půlkružnice. Ani tento model nezahrnuje vliv uložení kladecích přístrojů, způsob kladení nití, prostorový tvar oka, ani stav relaxace pleteniny.

Kopiase - Žúrka - model oka jednopřístrojových pletenin z PADh a VSh vytvořený pomocí experimentálního měření skutečného oka. Zahrnuje všechny výše zmíněné vlivy.

Shinna - Elarefa model dvoupřístrojových osnovních pletenin stanovený za předpokladu, že lící klička je složena ze dvou rovných stěn a z jednoho půlkruhového oblouku a že spojovací klička je rovná. Tloušťka pleteniny je stanovena konstantně, jako $3d$. Model nezahrnuje vliv uložení kladecích přístrojů, způsob kladení ani stav relaxace pleteniny.

Grosberga - model oka dvoupřístrojových pletenin pro uzavřené kladení, zvažující vliv relaxace pleteniny, pořadí návleku kladecích přístrojů i prostorový tvar oka. Všechny uvedené modely jsou geometrické, z výjimkou posledního modelu Grosberga, ten je geometricko-mechanický. Vzorce pro výpočet délky nitě v oku všech modelů osnovních pletenin jsou uvedeny v tab. 6.1.

Tab. 6.1 Shrnutí vzorců pro výpočet délky nitě v oku modelu osnovní pleteniny ve vazbě uzavřený trikot

Autor	Vzorec	pozn.
Dalidovič	$l_{da} = 3\pi d/2 + 3\pi c/4 + 3\pi w/8$	
Allison	$l_{al} = \sqrt{c^2 + n^2 w^2} + 2,025\sqrt{c^2 + 4d^2} + (2\pi + 1)d$	$n = 1$
Kopias - Žůrek	$l_{kz} = k\sqrt{4c^2 + n^2 w^2}$	$n = 1$, PADh: $k = 2,005$ VSh: $k = 2,101$
Shinn - Elaref	$l_{se} = \sqrt{10d^2 + c^2} + \sqrt{18d^2 + c^2} + \sqrt{c^2 + (nw - 2d)^2} + 2,5\pi d$	$n = 1$, 2 KP* (zadní i přední)
Grosberg	$l_{grp} = 1,29\sqrt{c^2 + n^2 w^2} + 2,55c + 2,6d$ $l_{grz} = 1,29\sqrt{c^2 + n^2 w^2} + 2,55c + 7,2d$	$n = 1$, pro KP zadní $n = 1$, pro KP přední
Vékassy	$l_v = 3d\pi/2 + 3\sqrt{c^2 + w^2}/4$	$S = c$ – rozteč sloupků $P = w$ – rozteč řádků

Uvedené vzorce byly použity pro výpočet délky nitě v oku při dosazení experimentálně zjištěných velikostí roztečí w , c vazby uzavřeného trikotu vyrobeného z PESH a vypočítané hodnoty průměru nitě d (tab. 5.1a, kap. 5.2.1). Na obr. 6.12 je sestaven graf závislosti vypočítaných hodnot délek nitě v oku podle Dalidoviče l_{da} , Allisona l_{al} , Shinna –

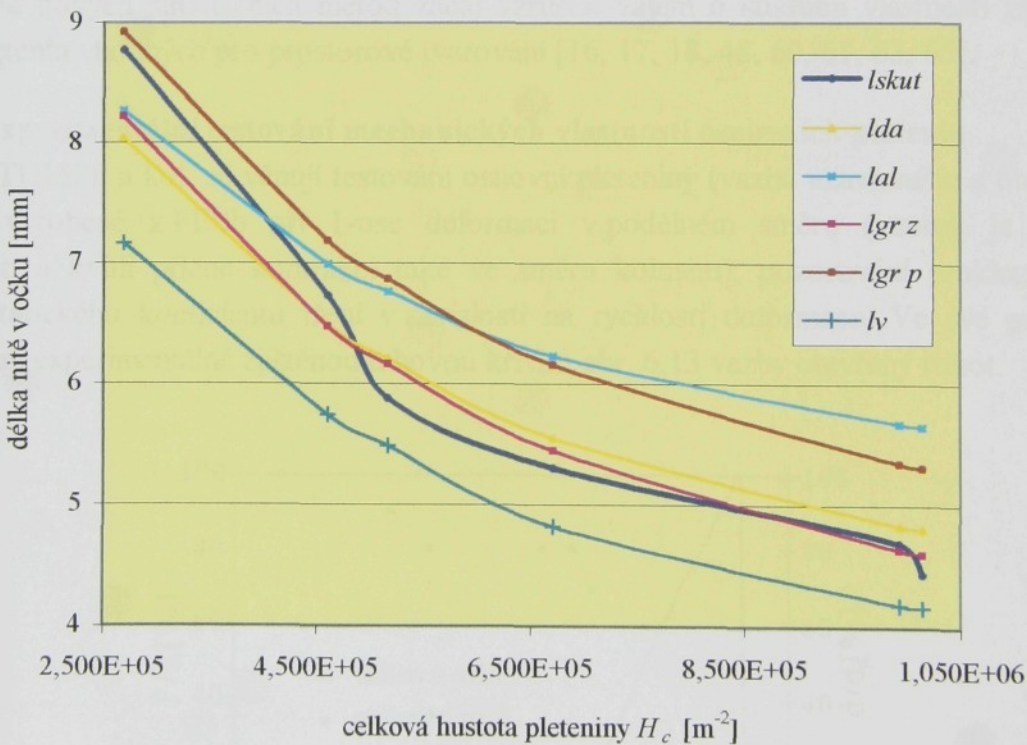
* 2 KP – dvoupřístrojová vazba.

Elarefa l_{se} , Grosberga $l_{gr p}$, $l_{gr z}$ a Vékássyho l_v experimentálně zjištěné délky nitě v oku l_{skut} vzorků s různou hustotou osnovní pleteniny ve vazbě uzavřený trikót (PESh – 2 x 167 dtex). V oblasti větších hustot skutečným hodnotám délek nitě v oku nejbližší odpovídají hodnoty vypočítané podle vztahů modelu Dalidoviče a Grosberga (pro KP zadní). V oblasti menších hustot vazby (vzorek VI*) se nejvíce **skutečná** (experimentálně zjištěná) **délka nitě v oku** přibližuje hodnotě určené pomocí modelu Grosberga (pro KP přední).

Hodnoty délek nitě v oku rotorové příže 65PES/35ba nebyly dosazeny do uvedených vztahů, protože nebyla vyrobena taková řada hustot, jako u materiálu PESh.

Tab. 6.2 Vypočítané délky nitě v oku trikotu (PESh) podle vzorců v tab. 6.1

Č.	w [mm]	c [mm]	d [mm]	l_{skut} [mm]	l_{da} [mm]	l_{al} [mm]	$l_{gr p}$ [mm]	$l_{gr z}$ [mm]	l_v [mm]
I	1,851	0,532	0,292	4,44	4,81	5,65	5,31	4,60	4,16
II	1,851	0,543	0,292	4,69	4,84	5,67	5,34	4,63	4,18
III	2,174	0,685	0,292	5,30	5,55	6,23	6,16	5,45	4,82
IV	2,632	0,735	0,292	5,88	6,21	6,76	6,88	6,16	5,48
V	2,777	0,781	0,292	6,73	6,49	6,99	7,18	6,47	5,74
VI	3,571	1,042	0,292	8,77	8,04	8,27	8,92	8,21	7,16



Obr. 6.12 Závislost délek nitě v oku l na celkové hustotě H_c pleteniny (PESh)

* Značení je provedeno v kap. 8.1, kde jsou uvedeny také strukturální parametry osnovní pleteniny.

6.1.2 Fotogrammetrická metoda vyhodnocení struktury textilie

Na druhé straně DUŠEK [10] uvádí, že matematické modelování textilních struktur musí vycházet z dostatečně přesného popisu vnitřní geometrie textilního útvaru. Zde jde především o zachycení stavu a zjištění poměrů uvnitř základní strukturální jednotky a dále o určení vzájemných vztahů mezi nimi.

Dosavadní způsob popisu struktury vychází většinou z jednoduchých geometrických představ o uložení vláken nebo nití v textilním útvaru založených na přímém experimentálním pozorování prostorového rozmístění těchto nití či vláken. Tradiční optické metody (především řezy) však selhávají u takových textilií, kde nit nebo vlákno probíhá zcela obecnou prostorově složitou polohou. Exaktní popis takového geometrického uspořádání jednotlivých komponent textilního útvaru doposud ve výzkumné experimentální metodice chybí.

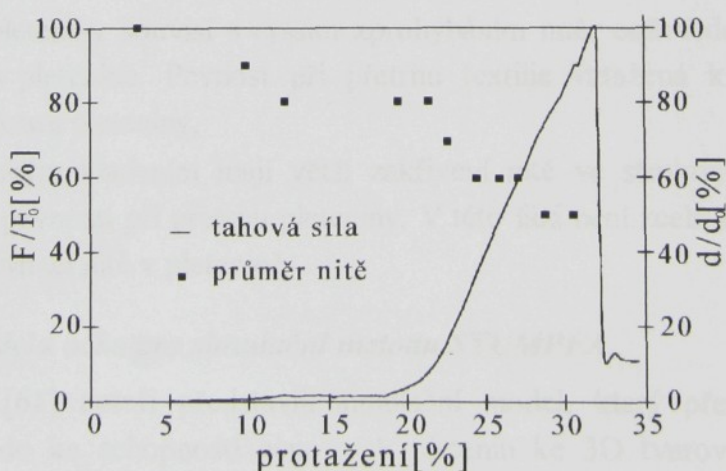
DUŠEK [10] se ve své práci zaměřil právě na vývoj objektivní experimentální metody k určení polohy jakkoli orientované osy vlákna nebo nitě uvnitř textilního útvaru. Metoda by měla umožnit přesný popis skutečného tvaru sledované strukturální jednotky. Její nevýhodou je omezenost použití zjištěného modelu pro různé druhy materiálů a pleteniny s jinými hodnotami strukturálních parametrů.

6.2 Některé nové přístupy k modelování osnovních pletenin

S výzkumem v oblasti kompozitních materiálů s textilní výztuží, s rozvojem výpočetní techniky a nových simulačních metod začal vzrůstat zájem o studium vlastností základních vazeb pletenin vhodných pro prostorové tvarování [16, 17, 18, 48, 60, 61, 63, 65].

6.2.1 Experimentální testování mechanických vlastností osnovních pletenin

STUMPF a kol. se věnují testování osnovní pleteniny (vazba uzavřeného a otevřeného trikotu) vyrobené z PESh při 1-osé deformaci v podélném směru (vzorek je uchycen v čelistech a kvůli příčné kontrakci také ve směru kolmém), pozorování prokluzu nitě a měření statického koeficientu tření v závislosti na rychlosti deformace. Ve své práci [60] představují experimentálně zjištěnou tahovou křivku obr. 6.13 vazby otevřený trikot.



Obr. 6.13 Pracovní diagram osnovní pleteniny (trikot)

Na první pohled je zřejmé, že její průběh je nelineární. Může to být vysvětleno, jak autoři tvrdí, v první řadě efektem prokluzu nitě v oku a dále napínáním původně zakřivených a zprohýbaných úseků nitě. Úsek tahové křivky „se přibližuje“ vodorovné ose. Při určitém protažení struktury (v tomto případě kolem 20-ti %) začíná tahová síla téměř lineárně stoupat. To koresponduje se stavem, kdy je nit ve struktuře napjatá a proces prokluzování nitě ukončen, protože je dosaženo konečného tvaru a uspořádání oček.

Experimenty mělo být potvrzeno, že nejdříve nastává prokluz nitě zároveň se změnou uspořádání vláken v niti a dále je prodloužení vzorků ovlivněno deformací délkového materiálu. Podle autorů není překvapující, že strmější část tahové křivky pleteniny na obr. 6.13 má podobný průběh s tahovou křivkou samotné nitě. Autoři nazvali bodem „blokování“ bod, ve kterém končí proces prokluzování nitě ve struktuře, který je na přechodu křivky do strmějšího úseku, tj. v jejich případě při protažení 20 %. V případě vyztužení struktury osnovní pleteniny další přidavnou soustavou nití bude k „blokování“ docházet dříve.

V průběhu zkoušky při vzrůstání tahové síly k maximální hodnotě dochází k malým nerovnoměrnostem a diagram není příliš plynulý. Může to být vysvětleno porušením jednotlivých vláken, které vedou k destrukci celé pleteniny. Při použití metody (přichycení podélných okrajů pleteniny pomocí vodící tyče) mohou tyto nerovnoměrnosti být rovněž způsobeny posunem nitě po vodících tyčích.

Na obr. 6.13 jsou také vyneseny hodnoty změny průměru nitě měřené mikroskopicky v na spojovacích kličkách při jednotlivých deformačních stavech. Průměr nitě klesá v oblasti blížící se přetrhu pleteniny až na 50% své hodnoty. Je to výsledek napínání nití a deformování struktury. Měření průměru nitě je zde provedeno velice orientačně, jen z pohledu a jeho výsledky je nutno brát s „rezervou“.

Závěry z provedených testů podélné 1-osé deformace trikotu, které vyslovuje STUMPF a kol. je možné shrnout následovně:

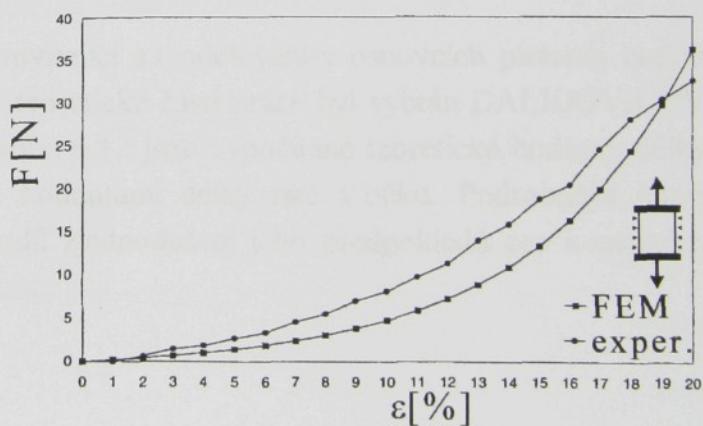
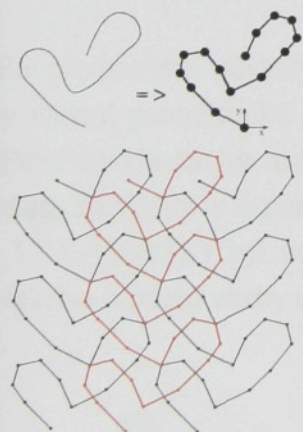
- při určité hodnotě tahové síly se proces prokluzu nitě ve struktuře pleteniny zastavuje a další deformace je založená na deformaci zapletené nitě,
- vyšší hustota pleteniny souvisí s vyšším zprohýbáním nitě, což vede k menšímu využití pevnosti nitě v pletenině. Pevnost při přetrhu textilie vztažená k hmotnosti klesá se vzrůstající hustotou pleteniny,
- vazby s uzavřeným kladením mají větší zakřivení nitě ve struktuře, a proto vykazují menší hodnoty pevnosti při přetrhu pleteniny. V této fázi není zcela zřejmé, zda tento jev je způsoben orientací nitě v pletenině.

6.2.1.1 Návrh modelu oka pro simulační metodu STUMPFa

Ve zprávě [61] autoři představili simulační model, který předpovídá deformační chování, které vede ke schopnosti osnovních pletenin ke 3D tvarování a formování do různého tvaru. Zvláště velký význam mají pleteniny při použití v technických aplikacích, a to zejména při využití osnovních pletenin jako výztužného materiálu pro výrobu kompozitů.

Především je míněna technologie RTM (resin transfer moulding), kdy je do dutiny nástroje pro plasty beznapětově vkládána neimpregnovaná relaxovaná pletenina. Mechanické vlastnosti osnovních pletenin ovlivňuje především vazba. Tloušťku pleteniny, kterou není možné jednoduše měřit a není v ploše konstantní, ani působením vlivů, jako jsou geometrie struktury, jemnost a charakteristiky příze související s průměrem (chlupatost), nelze příliš ovlivňovat. STUMPF a kol. uvádějí, že dosáhnout hloubky výzkumu deformability pletenin na stejnou úroveň, jaká je dosažena u tkanin, nebude snadné.

Jako simulační nástroj byla použita sestava software, která je založena na metodě konečných prvků (FEM), a dále obsahuje výkonný optimalizátor k interaktivnímu uspořádání simulačních modelů, např. grafickému znázornění vypočítaných výsledků. Pro výzkum deformačního chování základních osnovních pletenin (např. vazby jednopřístrojové, do struktury nejsou vloženy další soustavy nití) musí být vyšetřována geometrie oček, sestaven model a ten ve formě 2D členů - „drátů“ (představují nitě) přenesen do FEM-modelu, obr. 6.14(a). Uvedené zjednodušení struktury by mělo stačit pro správné modelování zakřivení oka osnovní pleteniny – otevřeného trikotu. Software pro výpočet napětí požaduje údaje týkající se ohybových a tahových vlastností délkové textilie (nejsou blíže specifikovány a určena metoda jejich měření), z níž je pletenina vyrobená. Tak lze dostat model, pomocí kterého může být simulován proces deformování pletenin. Na obr. 6.14(b) je znázorněna pracovní křivka trikotu při 1-osé podélné deformaci ve směru sloupků (byla zamezena příčná kontrakce vzorku) a vypočítané hodnoty napětí a deformace pomocí FEM. Kromě toho lze zjistit napětí v jednotlivých nitích. Další možností je zkoušení pletenin s různou hustotou, tj. zaměřit se na vliv strukturálních parametrů. Nebo ještě použít jiné druhy vazeb, kterých je jistě nepřeberné množství.



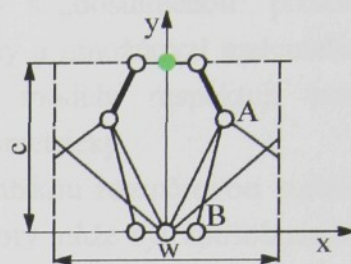
Obr. 6.14 a) Model vazby otevřený trikót pro FEM, b) pracovní křivka osnovní pleteniny při 1-osé deformaci v podélném směru

6.2.2 Návrh modelu pletenin pro kompozitní materiály

Rovněž k novějším pracím týkajícím se struktury a deformace pletenin s využitím počítačových simulačních programů lze dále řadit např. zprávu [65] WU a kol. Autoři se v ní zaměřili na navrhování mechanických vlastností pletenin osnovních i zátažných vhodných jako výztužný materiál do kompozitů s textilní armaturou.

Elastická složka deformace způsobí změnu tvaru oka za účelem dosažení minimální úrovně vnitřní energie. Tvar oka v podstatě „rozhodne“ o hustotě sloupků a řádků a tudíž plošných rozměrech pleteniny. Příspěvek obsahuje [65]:

- návrh deformované struktury pleteniny pro použití výztuže v kompozitních materiálech užitím počítačové simulační metody,
- návrh parametrů zahrnujících mechanické vlastnosti kompozitů s pletenou výztuží. Předváděný model osnovní pleteniny je založený pouze na geometrii tvaru oka z nenapjaté nitě obr. 6.15 za předpokladu rovnosti obou hustot (sloupků a řádků). Model představuje počáteční konfiguraci struktury. Při působení vnějších sil se deformuje tak, že je vytvořen rovnovážný stav založený na statické rovnováze sil působících v úsecích v každém křížení (uzlovém bodě). V tomto bodě je vypočítáno tahové napětí změnou délky jednotlivých úseků.



Obr. 6.15 Model oka osnovní pleteniny (Wu)

Lze říci, že představený model jen z části přibližuje chování skutečné pleteniny při deformování struktury. Model zřejmě nezahrnuje vliv změny délky úseku přesunem do jiného úseku – spojení. Při takto navrženém modelu obr. 6.15 vhodném jen pro některé typy osnovních vazeb pravděpodobně velký přesun nitě ve vazném bodě být nemůže. Proto autoři uvádějí, že výsledky experimentálně zjištěných pracovních křivek pletenin v podstatě odpovídají vypočítaným hodnotám pevnosti a tažnosti zjištěných pomocí simulační metody, která je vhodnější pro menší deformace textilií.

Po představení některých prací související s modelováním osnovních pletenin budou navrženy vlastní geometrické modely. Do teoretické části práce byl vybrán DALIDOVIČŮV model. Patří ke klasickým modelům a na obr. 6.12 jsou vypočítané teoretické hodnoty délky nitě v oku srovnány s experimentálními hodnotami délky nitě v oku. Podrobnější popis modelu VÉKÁSSYHO byl zvolen z důvodů zjednodušení jeho předpokladů pro konstrukci geometrického modelu vazby uzavřený trikót.

6.3 Vlastní návrh modelování osnovní vazby - trikot z „pružné“ a „ohebné“ nitě

Před návrhem vlastních modelů osnovní pleteniny ve vazbě uzavřený trikot je vhodné shrnout některé vlastnosti a charakteristiky týkající se délkových materiálů a jejich vlivu na konstrukci modelu oka pleteniny. Dále, kvůli různému chování nitě ve struktuře pleteniny, pokusit se jakýmkoliv způsobem „rozdělit“ délkovou textilií a podle jejich vlastností definovat typ modelu pleteniny.

Cílem modelování je takový popis pleteniny, který by s „dostatečnou“ přesností odpovídal jejímu skutečnému stavu, zároveň byl poměrně obecný a umožňoval matematické modelování mechanických vlastností pletenin. Geometrické modely respektují pouze nejzákladnější fyzikální zákony, které se ve struktuře projevují geometricky.

Jak už bylo výše zmíněno, pleteniny většinou vykazují nízkou rozměrovou stabilitu. Při mírné napjatosti se mění úhel sklonu oček a změna jeho hodnoty může být způsobena také koncentrováním ohybu nitě v místě provázání. Ohybová tuhost nitě může být zanedbána pouze za předpokladu, že nit je „dokonale ohebná“, jak je uvedeno ve zprávě [14]. V případě větší ohybové tuhosti, se chyba předpokladu zanedbání tuhosti nitě projeví v dosažení menší hodnoty deformace struktury.

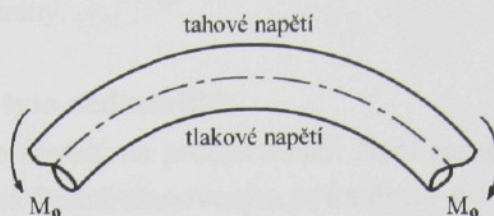
Navržený předpoklad: Skutečná délka nitě v oku osnovní pleteniny by měla ležet v intervalu z hodnot délek nitě oka modelu typu A (nit s vyšší hodnotou ohybové tuhosti, tzv. „dokonale pružná nit“) a modelu typu B (nit s minimální hodnotou ohybové tuhosti, tzv. „dokonale ohebná nit“). Model A by se také dal nazvat tuhým, model B poddajným. Jelikož výsledný tvar nitě v oku je závislý na vlastnostech použitého materiálu, je v rozměrově identické strukturální jednotce obsaženo různé množství materiálu (v modelu A je větší). Nebo obráceně, stejná hodnota délky nitě v oku vytváří jinou plochu opakující se jednotky ($w \cdot c$) [46].

Vzájemný kontakt stěny sousedních oček závisí na celkových hustotách pletenin H_c (nebo roztečích) a na ohybových vlastnostech nitě (ovšem ta zpětně ovlivňuje hustoty). Je možné předpokládat, že dotyk stěn závisí na poměru roztečí sloupků a řádků. Zjednodušeně lze konstatovat, jestliže se šířka oka pleteniny A přibližuje hodnotě dvounásobku rozteče sloupků, tj. $A \rightarrow 2w$, potom také pravděpodobnost dotyku sousedních stěn oček v řádku je větší. Pro plochu vyjádřenou součinem ($w \cdot c$) (při konstantní délce nitě v oku l) platí následující nerovnost: $(c \cdot w)_p < (c \cdot w)_o$ (6.24)

„pružná“ nit „ohebná“ nit

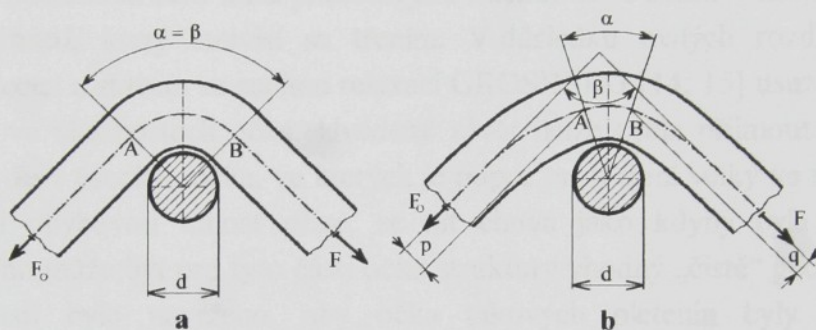
Předpokládané poznatky naznačují, že lze u závislosti tvaru oka osnovní pleteniny na ohybových vlastnostech nitě vyslovit následující **úvahu**: Čím bude mít nit větší tuhost, tím se bude tvar oka více přibližovat kruhovému a zaujímat větší plochu, která je dána součinem rozteče řádků a sloupků ($w \cdot c$). Dále platí: Čím bude mít nit menší poloměr křivosti, tím bude klást menší odpor k dalšímu zakřivení. Při větším ohybu nitě se více zploští její průřez a tím se zvětší kontaktní místo mezi nitěmi (ovlivňuje prokluz nitě a tření) ve vazném bodě. Na

vnitřní straně oblouku zakřivené nitě bude působit tlakové napětí, na vnější tahové (obr. 6.16), jak je uvedeno v [27].



Obr. 6.16 Tahové a tlakové napětí ohýbané nitě

V práci [27, 28] KOVÁŘ charakterizuje možnosti deformace nitě posouvající se kolem háčku pletací jehly obr. 6.17 a nitě rozděljuje do následujících skupin. Ve všech případech je zachován stejný úhel vektorů sil F_o a F , tj. úhel změny směru vedení nitě β .



Obr. 6.17 Opásání dokonale ohebné a dokonale elastické nitě

Dokonale ohebná nit (a) není schopna přenášet ohybový moment M_o . Úhel opásání nitě a odpovídá úhlu β ($\alpha = \beta$). Vně tohoto úhlu má nit přímý tvar. Lze využít Eulerův vztah

$$F = F_o \cdot f^{\alpha f}. \quad (6.25)$$

Dokonale pružná nit (b). Úhel skutečného opásání nitě α je menší než-li úhel β , kontaktní napětí mezi nití a jehlou je naopak větší. Nit je zakřivená i mimo úhel α . Lze si ji představit např. jako nosník vetknutý v bodě A nebo B zatížený jednou šikmou silou F_o nebo F . Z rovnováhy v bodech A, B vyplývají pro hodnotu ohybového momentu vztahy

$$M_{OA} = F_o \cdot p, M_{OB} = F \cdot q. \quad (6.26)$$

6.3.1 Nepřesnost modelů

Tvar oček plně relaxované pleteniny je podle MUNDENA dán potřebou nitě zaujmout ve struktuře co nejnížší úroveň vnitřní energie. Není snadné matematicky odvodit rovnice pro tvar oka požadující minimum energie.

Jednoduché **geometrické modely** lze tvořit poměrně snadno, mají i s jistou tolerancí dostatečnou přesnost vypočtené délky oka při porovnání se skutečnou hodnotou. Z geometrického modelu, jak uvádí např. GROSBURG [14], KOČÍ [21], aj vznikají nepřesnosti ve vyjádření chování struktury pletenin. Mnohdy ani některé dokonale zpracované modely pletenin (TAO and SIRIKASEMLERT [63] - computer simulation)

nemusí mít větší přesnost než modely jednoduché s vědomými chybami v předpokladech modelování oka. Z toho vyplývá, že pouhá geometrická přesnost nepostačuje pro vytvoření správného obrazu oka pleteniny.

Projevují se hlavně tyto nedostatky:

- výpočet je v největší míře závislý na průměru nitě. Není zaručeno, že chyba výpočtu délky nitě v oku není způsobena špatně stanoveným **průměrem nitě**,
- nepřesnost se dosáhne použitím 2 - dimenzionálního modelu, kdy se zanedbává tloušťka pleteniny a prostorové zprohýbání nitě, rozměry relaxovaného oka závisí na poměru ohybové tuhosti a smykovém namáhání nitě,
- další nepřesnost plyne ze **vzájemného působení** nití sousedních očí. Pravdou zůstává to, že i v relaxovaných strukturách je vždy nit oka v kontaktu s jinou nití. Třecí odpory existují jak v místech křížení mezi jednotlivými nitěmi, tak i uvnitř v nitích, které projevují **odpor k ohýbání**, který souvisí se třením. V důsledku malých rozdílů mezi stavem s mokrou relaxací a stavem se suchou relaxací GROSBERG [14, 15] usuzuje, že tření hraje malou „rolí“ ve vlastnostech oka. Uvedený závěr nelze zcela přijmout. U pletenin bylo zjištěno [20], že v úsecích oka, ve kterých je odpor proti tření velký ve srovnání se silami způsobujícími ohybovou tuhost příze, se nit chová jako kdyby byla úplně pružná a následkem toho může být pro tyto části oka struktury vhodný „čistě“ geometrický přístup. Ve skutečnosti bylo navrženo, aby oka takových pletenin byly rozdělovány do jednotlivých částí,
- přesnost výpočtu délky oka je závislá na **hustotě pleteniny**.

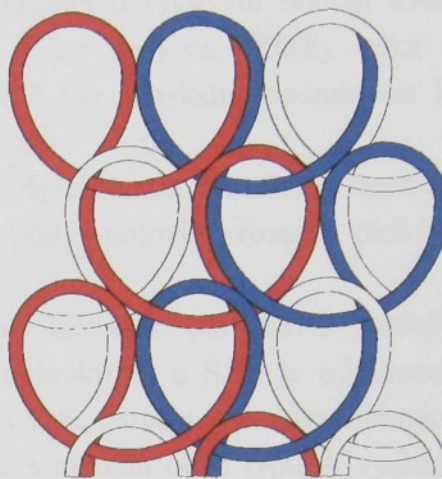
V následujících kapitolách budou popsány **dva typy modelů vazby uzavřeného trikotu**. Bude vyjádřena délka nitě v oku v závislosti na nezávislých (d , l) a závislých (w , c , β) proměnných, ačkoliv se tato forma může jevit nepřiliš logickou. Snahou je do výsledného vztahu pro výpočet délky nitě v oku l dosadit parametry a vypočítanou hodnotu l podle geometrického modelu porovnat s experimentálně naměřenou hodnotou při zhotovení pleteniny. Samozřejmě vhodnějším by bylo vyjádření rovnice pro výpočet rozteče sloupků nebo řádků. Ovšem doplnění podmínky minimálního obsahu energie ve struktuře pleteniny ve volném stavu se jeví nesnadným úkolem. Doplněním o další rovnici, kdy při minimální energii je plocha oka ($w \cdot c$) maximální, nevede také k řešení.

6.3.2 Vlastní návrh modelu oka trikotu typu A

Očko pleteniny je při tomto modelování chápáno jako rovinný útvar složený z jehelního a platinového oblouku, stěn a spojovací kličky. Tato **spojovací klička přechází souvisle** do platinového oblouku oka, není tady žádný výrazný skok v poloměru křivosti v oblasti připojení jednotlivých úseků oka. Dalo by se říci, že **tvar** celého oka je **obloukovitý**, jak je vidět v modelu struktury na obr. 6.18. Neutrální osa celého oka je tvořena hladkou křivkou. Tečny ke kružnicím v koncových bodech jednotlivých sousedních úseků splývají. Takovou nit lze považovat za tuhou, ne poddajnou. Charakterizovaná

„dokonale pružná“ nit není elastická ve směru podélném a dosahuje vyšší hodnoty ohybové tuhosti než druhá nit nazývaná „dokonale ohebná“ nit. Tvar jednotlivých elementů pletenin závisí právě především na ohybových a deformačních vlastnostech použitého materiálu a dále pak na struktuře délkového materiálu.

Model oka osnovní pleteniny ve vazbě trikót typu A byl pro stanovení teoretické hodnoty délky nitě v oku rozdělen pouze do čtyř úseků (dále v textu jsou označovány písmeny). Neutrální osy úseků oka jsou tvořeny oblouky. Téměř všechny jsou modelovány jako **půlkružnice**, popř. části kružnice. **Délka nitě v celém oku** je určována na neutrální ose nitě. **Její vyjádření bude v závislosti pouze na rozteči sloupků w a na průměru nitě d** , tj. $l_p = f(w, d)$. Později, v kap. 6.3.2.3, bude ukázáno, že rozteč řádků c je v tomto typu modelu A také závislou veličinou.

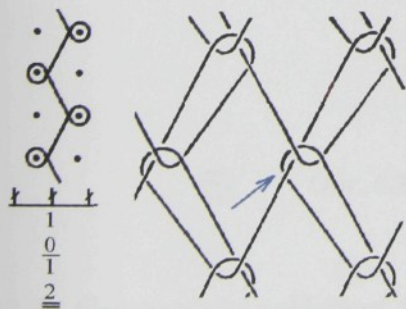


Obr. 6.18 Model struktury typu A

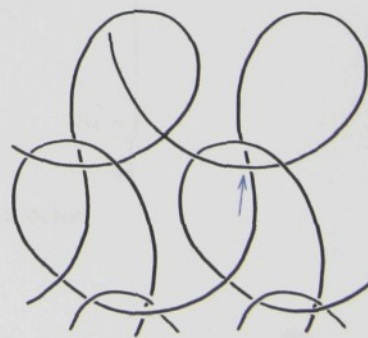
Na obr. 6.18 je ukázána struktura uzavřeného trikótu. U této specifické struktury nelze jednoznačně na první pohled rozlišit mezi sebou jednotlivé úseky oka (jejich ohraničení), jak jsou rozděleny v kap. 4.3.

6.3.2.1 Stanovené podmínky pro konstrukci geometrického modelu oka typu A

Podle kladení a všeobecně známého provázání vazby uzavřeného trikótu na obr. 6.20 by měla spojovací klička přicházet k bližší straně jehelního oblouku sousedního oka. V důsledku tuhosti nitě se však tato nit nebude opírat o bližší stěnu sousedního oka, ale o tu, která s ní přímo nesouvisí (obr. 6.21, značeno šipkou).



Obr. 6.19 Všeobecně známé provázání vazby uzavřeného trikótu (KOČÍ)



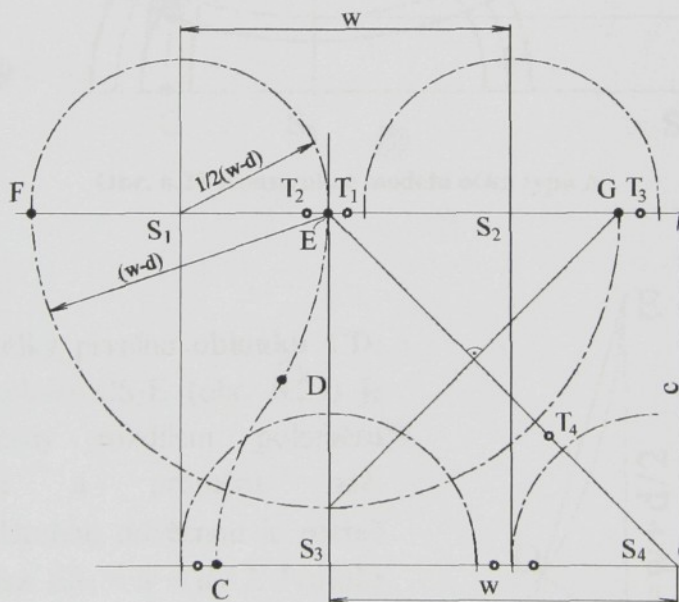
Obr. 6.20 "Volnější" provázání vazby uzavřeného trikótu (návrh)

* „pružná“ a „ohebná“ nit jsou poněkud zavádějící a jsou to zavedené termíny pouze z důvodu zjednodušení popisu.

Předpokladem pro konstrukci geometrie oka je velikost jehelního oblouku oka, která vychází z vlastností „pružné“ nitě. Sousední oka ve sloupku se budou vzájemně dotýkat v bodě T_1 (obr. 6.21). Proto lze z velikosti rozteče sloupků w odvodit velikost poloměru **jehelního oblouku**. Aby neutrální osa oka byla hladkou křivkou a v důsledku tuhosti nitě spojovací kličky (nit se bude „opírat“ o stěnu sousedního oka v bodě T_3), je úsek oka FG na obr. 6.21 polokružnicí o poloměru $(w-d)$. Dalším dotykovým bodem dvou (neprovazujících) úseků nití je bod T_4 . Je to kontaktní místo spojovací kličky oka a předcházejícího oka tvořeného toutéž nití (viz. také obr. 6.18). Poslední podmínkou je vymezena velikost rozteče řádků c oka v modelu B vazby trikot.

Spojovací klička tvoří s **jednou stěnou oka** půlkružnicí, která má střed v bodě E. **Druhá stěna oka** je tvořena dvěma oblouky, které se púlí v polovině rozteče řádků c v bodě D - inflexní bod.

Z trojúhelníka ES_3S_4 z obr.6.21 lze odvodit velikost závislého parametru - **rozteče řádků c** . Rozteč w je učená vzdáleností středů jehelních oblouků S_3 a S_4 a je odvěsnou. Velikost přepony ES_4 je možné získat součtem úseček ET_4 a T_4S_4 (součet poloměru oblouku FG, průměru nitě a jehelního oblouku). Pro rozteč řádků c v modelu oka typu A vychází vztah: $c = \frac{1}{2} \sqrt{w(5w-6d)+d^2}$. Je-li $d \ll w$, lze přijmout předpoklad, že $c \approx w + d/2$.



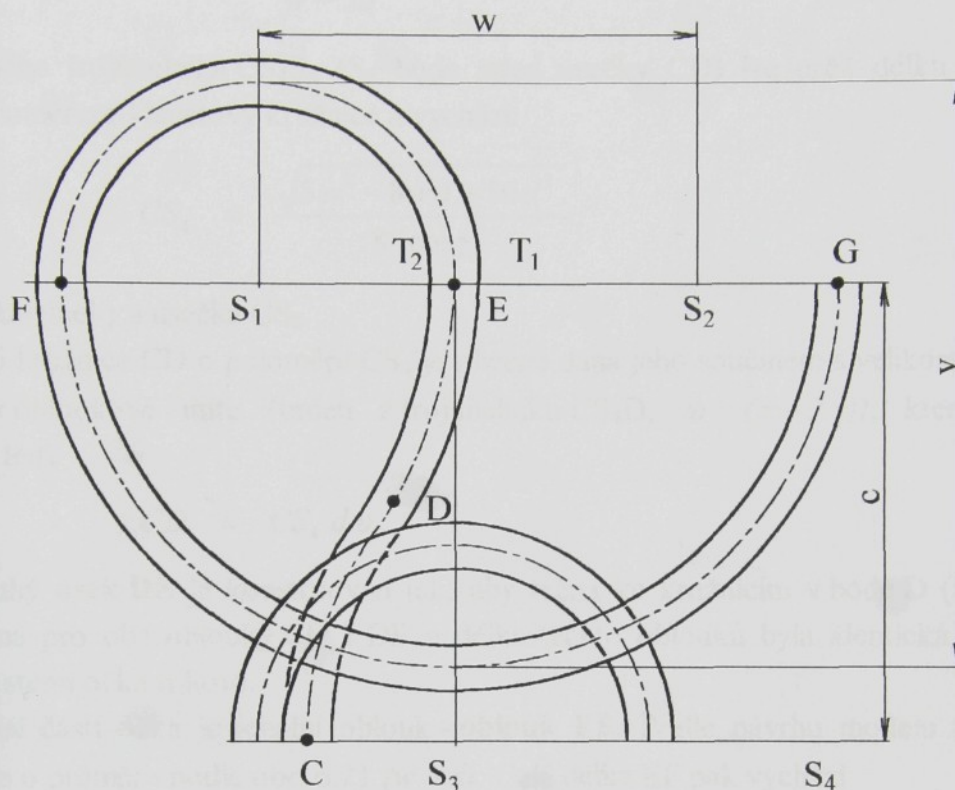
Obr. 6.21 Konstrukce geometrie oblouků oka

6.3.2.2 Geometrické vyjádření délky nitě v oku

Délka nitě v oku může být vyjádřena rektifikací křivky CDEFG (obr. 6.22). Je dána součtem jednotlivých úseků CD, DE, EF a FG na neutrální ose nitě. Úsek CD bude část platinového oblouku spolu s úsekem stěny oka, jehož výsledkem je část kružnice. Stejně jako další úsek DE tvořící tutéž stěnu oka. V bodě D se stěna oka púlí. Úsekem EF je jehelní oblouk a zbývající oblouk FG zahrnuje druhou stěnu oka, platinový oblouk a celou spojovací kličku.

Na obr. 6.22 je vidět, že délky úseček CE a DE se podle podmínek konstrukce rovnají, potom délka nitě v modelu typu A bude:

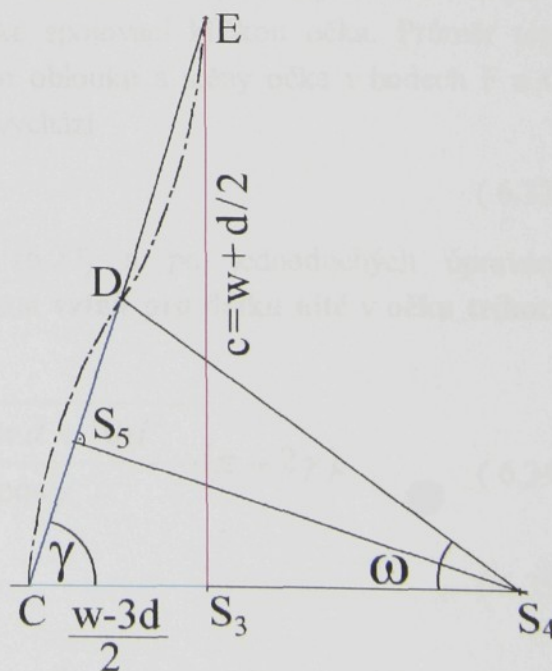
$$l_p = 2CD + EF + FG. \quad (6.27)$$



Obr. 6.22 Konstrukce modelu oka typu A

K vyjádření délky prvního **oblouku CD**:
V pravoúhlém trojúhelníku CS_3E (obr. 6.23) je délka kratší odvěsny rozdílem poloměru jehelního oblouku a průměru nitě, $CS_3 = (w - 3d)/2$. Druhou odvěsnou je rozteč řádků c nebo-li úsečka $ES_3 = w + d/2$. Protože $CD = DE$, tak v případě nahrazení oblouku CD úsečkou její délka $(CD)^2 = \frac{1}{2} (CS_3^2 + ES_3^2)$ po úpravě bude:

$$CD = \frac{1}{2} \sqrt{5w^2 - 8wd + 10d^2}. \quad (6.28)$$



Obr. 6.23 Konstrukce stěny oka

Přesnějším vyjádřením je určení délky Thaletovy kružnice se středem S_4 sestrojené nad třetivou CD (obr. 6.23). Z výše zobrazeného trojúhelníku CS_3E potom úhel γ , potřebný pro výpočet poloměru CS_4 oblouku CD, vychází:

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{2w + d}{w - 3d}. \quad (6.29)$$

Z pravoúhlého trojúhelníku CS_4S_5 (S_5 bude střed úsečky CD) lze určit délku úsečky CS_4 , která je poloměrem Thaletovy kružnice a vychází:

$$CS_4 = \frac{\sqrt{5w^2 - 8wd + 10d^2}}{8 \cdot \cos \gamma}, \quad (6.30)$$

když je znám úhel γ a úsečka CS_5 .

Délka části kružnice CD o poloměru CS_4 je obecně dána jeho součinem s velikostí středového úhlu ω v obloukové míře (určen z trojúhelníku CS_4D , $\omega = (\pi - 2\gamma)$), který vymezuje třetiva CD, tedy

$$CD = CS_4 d\omega. \quad (6.31)$$

Druhý úsek DE je konstruován tak, aby tečna ke kružnicím v bodě D (inflexní bod) byla totožná pro oba oblouky CD i DE a délka těchto oblouků byla identická. Oblouk DE tvoří tutéž stěnu oka trikotu.

Další částí oka je jehelní oblouk - **oblouk EF**. Podle návrhu modelu typu A je to půlkružnice o průměru podle obr. 6.21 ($w - d$). Celá délka EF pak vychází

$$EF = \pi/2 \cdot (w - d). \quad (6.32)$$

Poslední obloukovou částí oka trikotu je **půlkružnice FG**, která je tvořena druhou stěnou oka, platinovým obloukem a zároveň také spojovací klíčkovou oka. Průměr této kružnice je navržen v důsledku návaznosti jehelního oblouku a stěny oka v bodech F a G na obr. 6.21, popř. 6.22. Délka **oblouku FG** potom vychází

$$FG = \pi (w - d). \quad (6.33)$$

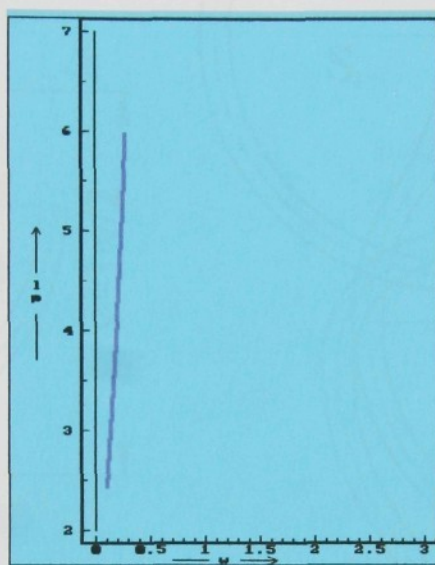
Po dosazení rovnic (6.29 – 6.33) do rovnice (6.27) a po jednoduchých úpravách geometrického vyjádření součtu délek úseků lze dostat **vztah pro délku nitě v oku trikotu modelu typu A**:

$$l_p = \frac{3\pi}{2} (w - d) + \frac{\sqrt{5w^2 - 8wd + 10d^2}}{2 \cdot \cos \gamma} \cdot (\pi - 2\gamma), \quad (6.34)$$

$$\text{kde úhel } \gamma \text{ bude: } \gamma = \arctg \frac{2w + d}{w - 3d}. \quad (6.35)$$

Ze získaného matematického vztahu odvozeného z geometrie osy nitě v oku lze vidět, že v případě použití nitě s velkou ohybovou tuhostí délka nitě v oku l je funkcí pouze rozteče sloupků w a průměru nitě d .

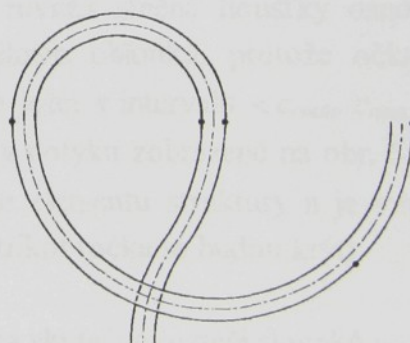
Na obr. 6.24 je vynesena závislost délky nitě v oku l_p pružného modelu A při konstantní hodnotě průměru nitě $d = 0,2$ mm na rozteči sloupků w u vazby uzavřený trikot. Je vidět, jak délka nitě v oku „rychle“ roste a zřejmě ani přesnější vyjádření průměru nitě by příliš neovlivnilo vypočítané hodnoty l_p . Konstrukce modelu zvláště pro řidší pleteniny, tj. pro vyšší hodnoty w , není příliš vhodná. Výška oka v je pro danou hodnotu rozteče sloupků w konstantní. Což ovšem neznamená, že v modelu typu A rozteč řádků c nemůže mít různou velikost.



Obr. 6.24 Teoretická závislost délky nitě v oku l_p modelu A na rozteči sloupků w

6.3.2.3 Teoretická specifikace modelu oka typu A ve struktuře pleteniny

Mechanické vlastnosti délkového materiálu předurčují (nit by měla mít dostatečnou tuhost) návrh konstrukce uvedeného modelu tak, aby rozteč řádků c byla závislá na rozteči sloupků w , tj. $c = f(w)$. V „idealizovaném“ případě bude $c_{mod} = w + d/2$, protože nit sousedních očí v 2D modelu struktury pleteniny (v reálném případě je to jinak) se musí dotýkat ve vyznačených bodech (na obr. 6.25) a spojovací klička musí tvořit s jednou stěnou oka kružnici.

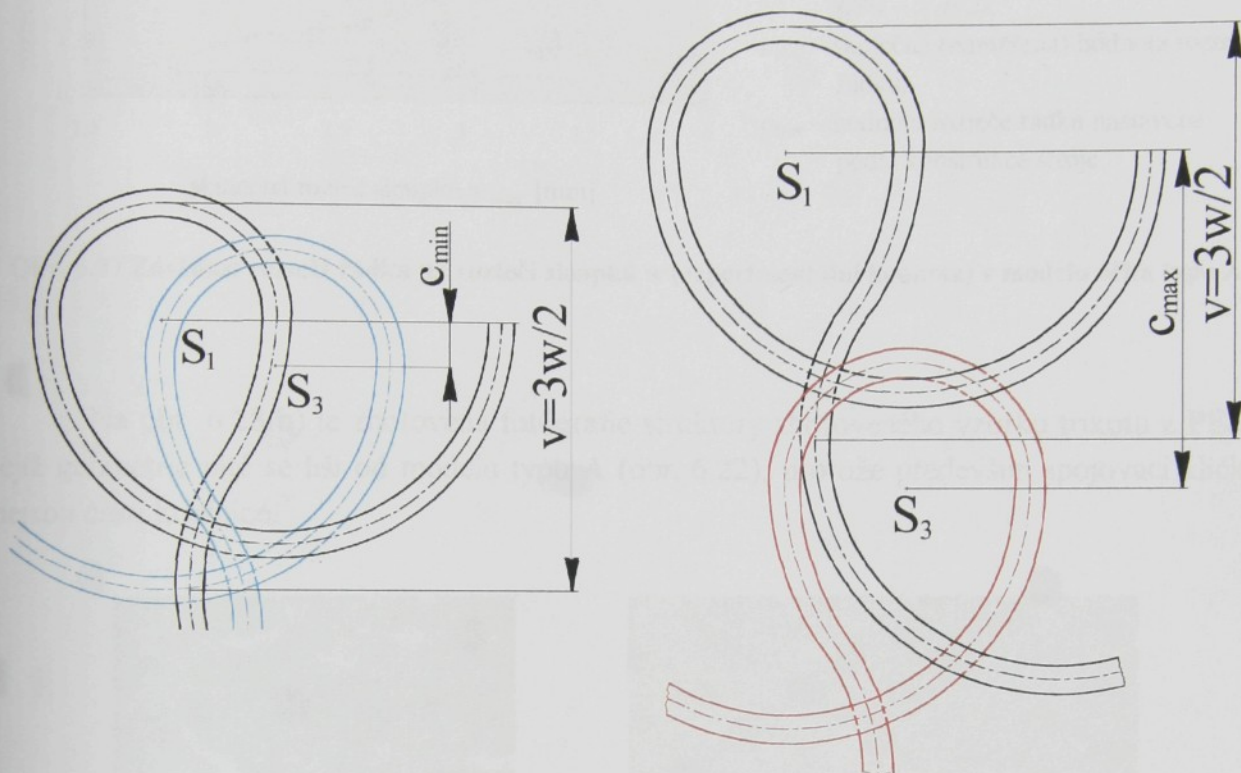


Obr. 6.25 Body dotyku v modelu oka typu A

Ovšem ve skutečnosti nemusí mít použitý materiál vždy přesně tyto „dokonalé“ vlastnosti a kromě toho reálná pletenina také není 2D modelem. Vzájemná poloha dvou očí nad sebou v řádku může vypadat např. jako na obr. 6.26. Na obrázku a) je minimální vzdálenost středů jehelních oblouků c_{min} , na obrázku (b) je vzdálenost maximální c_{max} , které

vymezuje jen způsob provázání. Z geometrie oka lze snadno zjistit následující rovnice pro mezní vzdálenost středů jehelních oblouků obou oček:

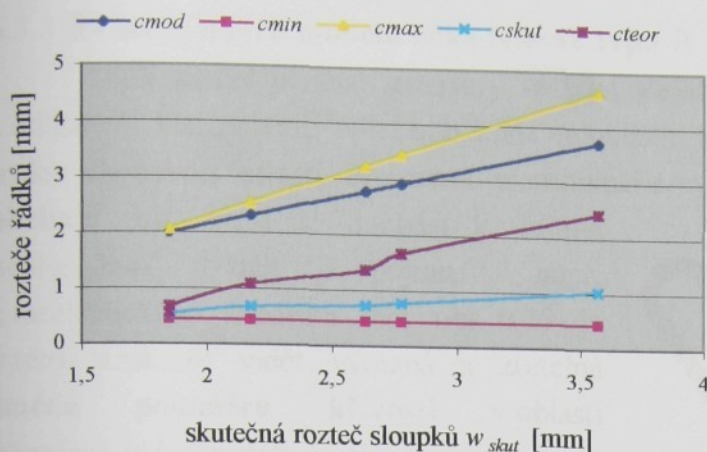
$$\begin{aligned} c_{o \min} &= 3d/2, \\ c_{o \max} &= (3w - 5d)/2. \end{aligned} \quad (6.36)$$



Obr. 6.26 Model oka typu A s a) minimální a b) maximální roztečí řádků c

Při takto změněné konfiguraci oček se ale nemění délka nitě v oku. Výška oka v geometricky odvozená, tj. $v = 3w/2$, zůstává konstantní. **Ovlivňuje se poloha středů jehelních oblouků – rozteč řádků c** a z toho vyplývá rovněž změna tloušťky osnovní pleteniny. (Roste při zmenšování vzdálenosti středů jehelních oblouků, protože oka a spojovací kličky se překrývají.) Rozteč řádků c proto bude ležet v intervalu $\langle c_{o \min}, c_{o \max} \rangle$. Pro všechny hodnoty $c \in \langle c_{o \min}, c_{o \max} \rangle$ ovšem neplatí body dotyku zobrazené na obr. 6.25. Součin $(c \cdot w)$ stále udává nejmenší velikost opakujícího se elementu struktury a je v něm obsažena celá délka nitě v oku pleteniny ve vazbě uzavřený trikot (oka se budou krýt).

Na obr. 6.27 v grafu závislosti hodnot roztečí řádků na skutečné rozteči sloupků w_{skut} u vazby uzavřeného trikotu (PESh) je vidět, že skutečná (naměřená) hodnota rozteče řádků c_{skut} se výrazněji liší vůči hodnotě c_{mod} , která souvisí s konstrukcí modelu typu A (vypočítaná hodnota), proto délka nitě v oku zjištěná podle vztahu (6.35) nebude odpovídat skutečné délce nitě v oku. Tento model oka typu A je spíše zamýšlen pro „blízké“ hodnoty skutečných roztečí sloupků a řádků, protože v návrhu konstrukce struktury je jejich rozdíl téměř minimální. (Je závislý na průměru nitě.)

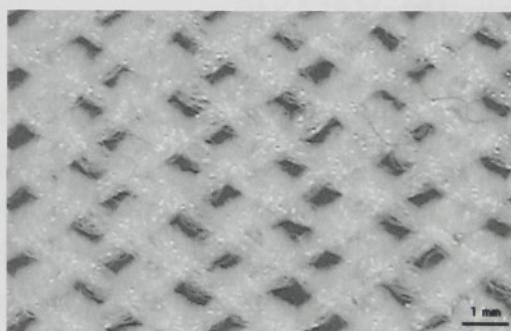
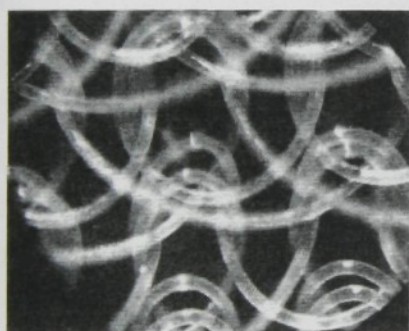


Legenda:

- c_{mod} – rozteč řádků definovaná konstrukcí modelu, $(w + d / 2)$,
- c_{min} – minimální hodnota rozteče řádků, $(3d/2)$,
- c_{max} – maximální hodnota rozteče řádků, $((3w - 5 d)/2)$,
- c_{skut} – skutečná (naměřená) hodnota rozteče řádků,
- c_{teor} – hodnota rozteče řádků nastavená podle konstrukce stroje.

Obr. 6.27 Závislost roztečí řádků na rozteči sloupků w (experimentální hodnota) v modelu oka typu A

Na obr. 6.28 b) je zhotovená fotografie struktury zhotoveného vzorku trikotu z PESH jejíž geometrie nitě se liší od modelu typu A (obr. 6.22), protože především spojovací klíčky nejsou části kružnice.

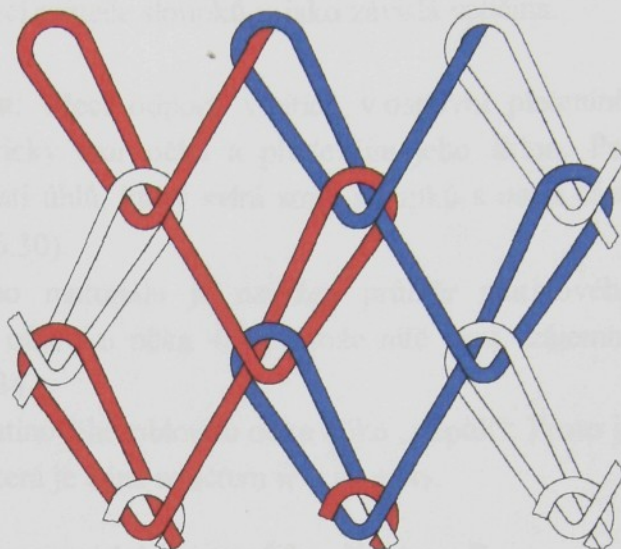


Obr. 6.28 Fotografie osnovní vazby trikot (a) Grosberg, (b) vlastní

Na tomto modelu typu A se ukázalo, že je v některých případech lépe a vhodněji přizpůsobit tvar modelu elementu oka skutečnému (přizpůsobení experimentálnímu tvaru oka), než se snažit o co nejpřesněji vyjádřenou rektifikaci křivky tvořící oko. Rovněž zaměření se na zdokonalení modelu 2D nahrazením 3D modelem se u představeného modelu jeví nepřilíš účelné. Menší vliv bude mít i stanovení průměru nitě, ovšem navržený předpoklad velikostí obou roztečí oka podle konstrukce se na nepřesnosti bude podílet větší měrou. Proto vlastní navržený model oka typu A je vhodný pro osnovní pleteninu ve vazbě trikot s podobnými hodnotami hustot řádků a sloupků (nebo roztečí w , c). Výsledky délek nitě v oku l_p v modelu typu A budou srovnány v kap. 6.4.

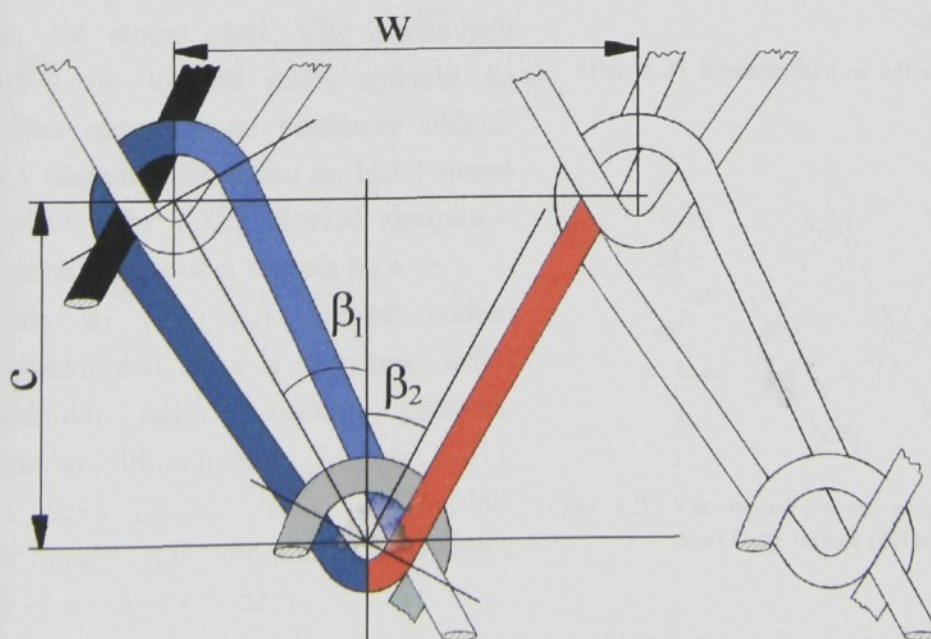
6.3.3 Vlastní návrh modelu očka trikotu typu B

Další model pletené struktury se týká stejné vazby - uzavřený trikót ovšem pro nit s odlišnými vlastnostmi. Nit bude klást minimální odpor k ohýbání, bude poddajná s velmi malou ohybovou tuhostí. Pro snazší identifikaci a vyjádření bude používán termín **“dokonale ohebná” nit**, přestože dochází k vědomě nepřesnému užití pojmu např. z mechanického hlediska. Na obr. 6.29 je v této struktuře vidět výrazná a zřetelná změna poloměru křivosti v oblasti připojení jednotlivých částí očka a je zcela logické v tomto případě hovořit o dvou samostatných úsecích očka (části očka a spojovací klíčky). Tzn. že spojovací klíčka nepřechází “pozvolna” do platinového oblouku a stěny očka. Neutrální osa tvořící očka je hladkou křivkou.



Obr. 6.29 Model struktury typu B

Část očka (na obr. 6.30 je označena v modrých barvách) je pro matematické vyjádření dále rozdělena do dalších úseků a bude mít “padákovitý” tvar. Spojovací klíčka ve struktuře spojuje části očka úsečkou (označena červenou barvou). V oblasti připojení je ostrá a prudká změna křivosti. Je to způsobeno ohybovými vlastnostmi použitého materiálu a je také možné vyslovit předpoklad menší velikosti třecích odporů v nitích než u předchozího modelu A z „dokonale pružné nitě“.



Obr. 6.30 Část očka a spojovací klíčka očka modelu B

Model oka osnovní pleteniny ve vazbě trikot typu B byl pro teoretický výpočet délky nitě v oku rozdělen na několik částí (jsou označovány písmeny). Délka nitě v oku je dána součtem jednotlivých úseků vymezených na neutrální ose nitě. Bude se vyjadřovat **v závislosti pouze na roztečích řádků c a sloupků w a na průměru nitě d** . Obvykle se experimentálně nezjišťuje úhel sklonu části oka nebo spojovací kličky, proto bude podle konstrukce modelu geometricky vyjádřen pomocí rozteče sloupků w jako závislá veličina.

Předpoklady pro konstrukci modelu: Třecí odpory v nitích v osnovní pletenině, ohybové vlastnosti nitě aj. ovlivňují geometrický tvar oka a především jeho sklon. Pro řešitelnost úlohy je zavedena podmínka rovnosti úhlů, který svírá směr sloupků s osou části oka a spojovací kličkou, tj. $\beta_1 = \beta_2 = \beta$ (obr. 6.30).

Podle ohybových vlastností délkového materiálu je navržen průměr platinového oblouku $2d$ a ten vymezuje průměr jehelního oblouku oka $4d$, protože nitě jsou vzájemně provázány, jak je také vidět v detailu na obr. 6.34.

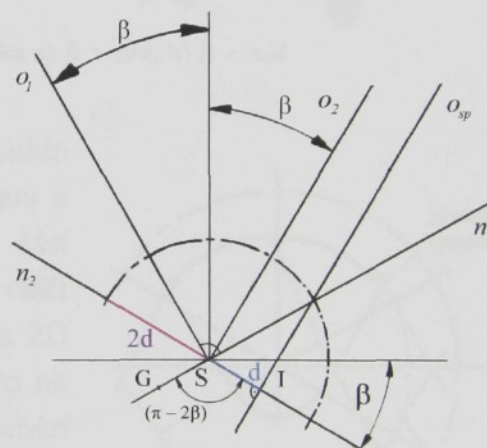
V modelu je dále navrženo, že střed platinového oblouku oka očko „nepůlí“. Proto je dále zavedena specifikace rozteče sloupků w , která je dána součtem $w = w_1 + w_2$.

6.3.3.1 Stanovené podmínky pro konstrukci geometrického modelu oka typu B

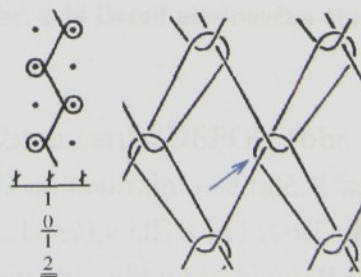
Osa o_1 části oka prochází dvěma středy jehelních oblouků sousedních oček ve sloupku a svírá s podélnou osou úhel β (obr. 6.31). Osa spojovací kličky $o_{sp} \parallel o_2$ (o_2 je osou předcházejícího oka ve sloupku, resp. jeho části oka) rovněž prochází středem S a také svírá s podélnou osou úhel β . Kdyby bodem S (střed jehelního oblouku) procházela neutrální osa spojovací kličky o_{sp} , bod S by půlil rozteč sloupku w na dvě stejné části. Vliv ohybových vlastností nitě a vliv kladení vazby způsobí, že spojovací klička navazuje na platinový oblouk dalšího oka v následujícím řádku na bližší straně sousedícího oka. (obr. 6.32). Rozteč sloupku w je proto zavedena jako součet roztečí w_1 a w_2 .

Normála n_2 ($n_2 \perp o_{sp}$) vedená bodem S protíná neutrální osu oka a vymezuje délku jehelního oblouku oka tvořenou kružnicí. Poloměr jehelního oblouku bude $2d$ (obr. 6.31). Ohyb nitě v úseku platinového oblouku (dále znač. GI) je v modelu stanoven jako část kružnice o poloměru d se středem v bodě S .

Délka kružnice je v obloukové míře vymezena úhlem $(\pi - 2\beta)$. V modelu typu B pro průměr jehelního oblouku na neutrální ose je navržena hodnota $4d$.



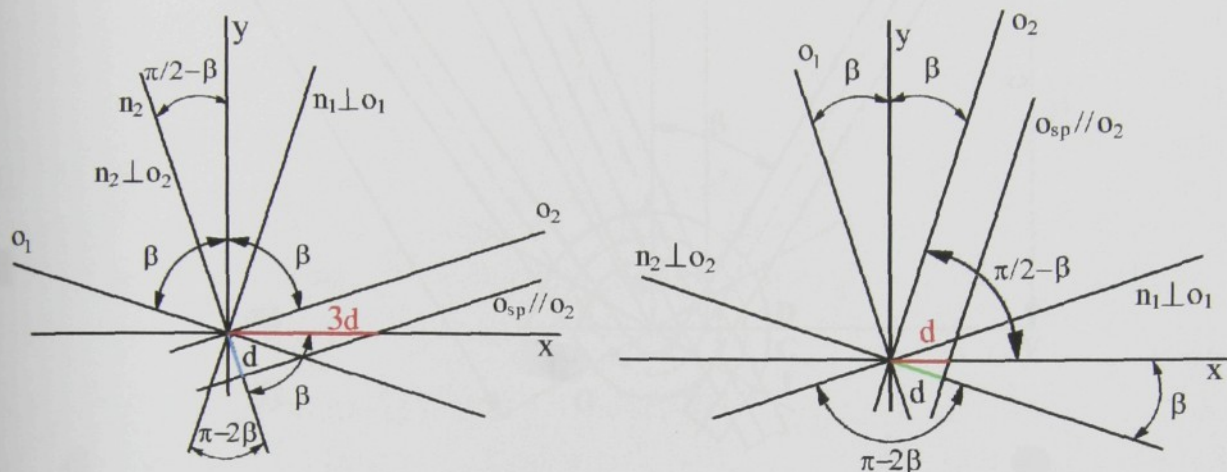
Obr. 6.31 Konstrukce os oka modelu B



Obr. 6.32 Všeobecně známé provázání vazby uzavřený trikot (KOČÍ)

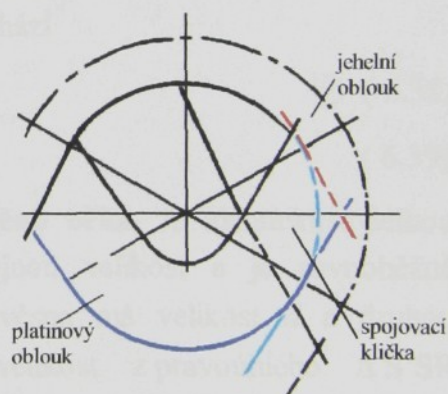
Specifikace: V představeném modelu očka typu B budou pro úhel β (obr.6.33a, b) zavedeny následující podmínky:

- jestliže $w/2 > c$, potom $\beta > \pi/4$ a úsek, který vytíná o_{sp} na ose x od středu jehelního oblouku S bude $\rightarrow 3d$, a proto pro rozteč platí rovnice: $w \approx 2w_l + 6d$,
- jestliže $w/2 < c$, potom $\beta < \pi/4$ a úsek, který vytíná o_{sp} na ose y od středu jehelního oblouku S bude $\rightarrow d$, a proto pro rozteč platí rovnice: $w \approx 2w_l + 2d$.



Obr. 6.33 Specifikace konstrukce os očka a) $\beta > \pi/4$, b) $\beta < \pi/4$

Kružnicí, tj. částí platinového oblouku, byl dosažen plynulý přechod mezi stěnou očka a spojovací klíčkou a nit se v modelu B v platinovém oblouku “opírá” o část jehelního oblouku předcházejícího očka, jak je vidět v detailu na obr. 6.34. Ve skutečnosti není pletenina 2D model, tak se nit platinového oblouku nemůže o tuto nit opírat, protože je „nad“ ní. Spojovací klíčka očka přichází podle kladení k bližší straně jehelního oblouku sousedního očka (obr. 6.32).

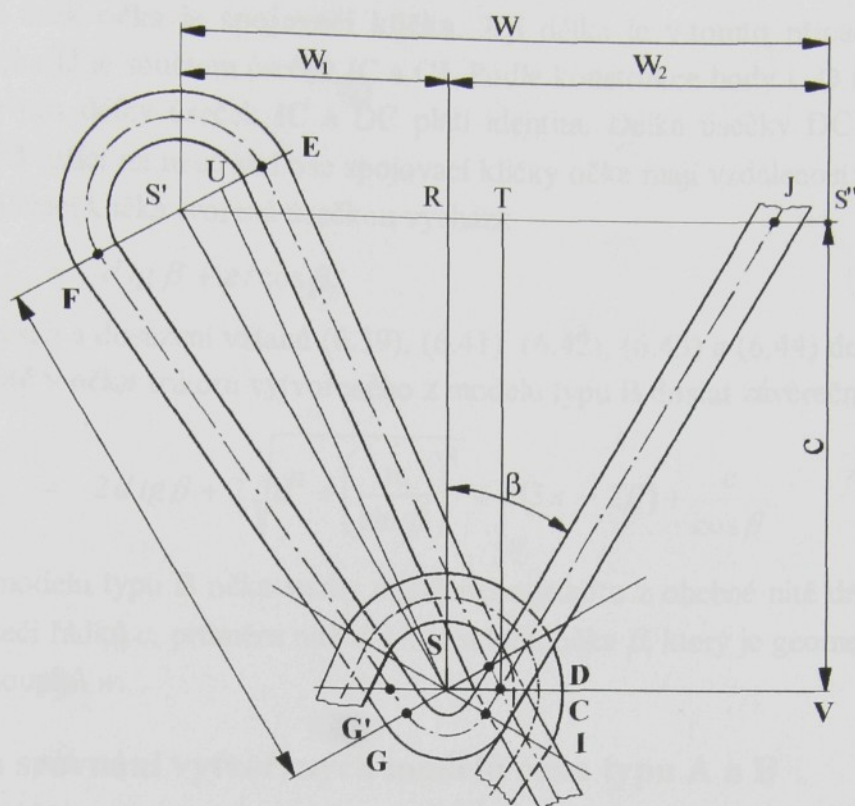


Obr. 6.34 Detail platinového oblouku očka

6.3.3.2 Geometrické vyjádření délky nitě v očku

Délku nitě v očku lze vyjádřit jako prostorově složitou čáru CDEFGIJ (obr. 6.35). Je dána součtem jednotlivých úseků CD, DE, EF, FG, GI a IJ na neutrální ose nitě. Úsek CD by měl být část platinového oblouku, v modelu B je to úsečka. Úsečky DE a FG tvoří stěnu očka, oblouk EF jehelní oblouk, oblouk GI druhou část platinového oblouku a úsečka IJ tvoří spojovací klíčku očka. Na obr. 6.35 je vidět, že délky úseček DE a FG se rovnají, potom celá délka nitě v očku může být vyjádřena

$$l_o = CD + 2DE + EF + GI + IJ. \quad (6.37)$$



Obr. 6.35 Konstrukce modelu oka typu B

V pohledu na osnovní pleteninu leží body C,D na úsečce CD a jsou součástí neutrální osy části platinového oblouku. Délka úsečky CD potom vychází

$$CD = d \operatorname{tg} \beta, \quad (6.38)$$

kde úhel β z pravoúhlého $\Delta S'SR$ vychází $\operatorname{tg} \beta = w_1 / c$. (6.39)

Dalším úsekem oka je úsečka DE, která tvoří **stěnu oka**. Je identická s délkou úsečky FG. **K velikosti úsečky DE:** Úsečka DE má stejnou velikost a je rovnoběžná s úsečkou SU (přepona v pravoúhlém $\Delta S'SU$). Jedna odvěsna má velikost d a druhou odvěsnou tohoto trojúhelníka je úsečka $S'S$, jejíž velikost z pravoúhlého $\Delta S'SR$ je $S'S = w_1 / \sin \beta$. Dosazením potom lze dostat vztah pro délku úsečky DE, která tvoří stěnu oka, a to:

$$DE = \sqrt{d^2 + \left(\frac{w_1}{\sin \beta} \right)^2}. \quad (6.40)$$

Jehelní oblouk EF oka trikotu je tvořen půlkružnicí o poloměru $2d$. Jeho délka bude

$$EF = 2\pi d. \quad (6.41)$$

Druhá část platinového oblouku je tvořena obloukem GI, který je vyjádřen jako délka kružnice o poloměru d . Z geometrie oka je odvozena velikost úhlu GSI, a to $(\pi - 2\beta)$. Pak vyjádřeno v obloukové míře:

$$GI = r d \varphi = d (\pi - 2\beta). \quad (6.42)$$

Poslední úsek oka je **spojovací klička**. Její délka je v tomto případě rovna **délce úsečky IJ**. Úsečka IJ je součtem úseček IC a CJ. Podle konstrukce body I, D leží na kružnici, to znamená, že pro délky úseček IC a DC platí identita. Délka úsečky DC je určena jako $d \operatorname{tg} \beta$. Body C, J ležící na neutrální ose spojovací kličky oka mají vzdálenost: $CJ = c / \cos \beta$. Potom celá spojovací klička tvořená úsečkou vychází:

$$IJ = d \operatorname{tg} \beta + c / \cos \beta. \quad (6.43)$$

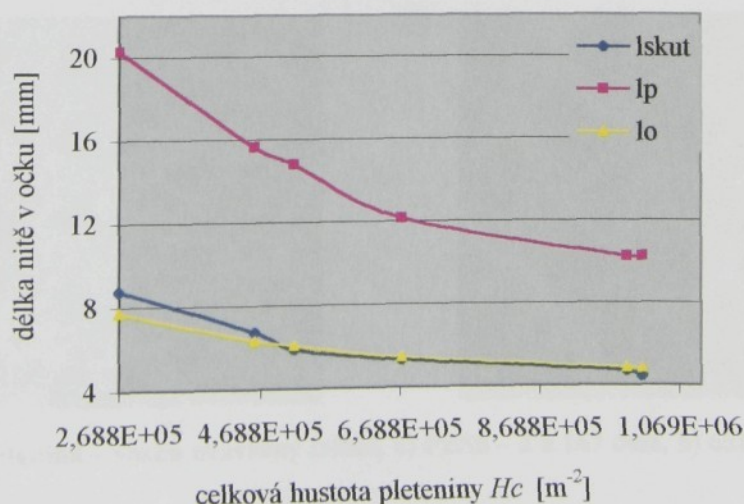
Po úpravách a dosazení vztahů (6.39), (6.41), (6.42), (6.43) a (6.44) do rovnice (6.38) lze pro **délku nitě v oku** trikotu vytvořeného z modelu typu B dostat závěrečný vztah:

$$l_o = 2d \operatorname{tg} \beta + 2\sqrt{d^2 + \left(\frac{w_1}{\sin \beta}\right)^2} + d(3\pi - 2\beta) + \frac{c}{\cos \beta}. \quad (6.44)$$

U navrženého modelu typu B oka vazby uzavřeného trikotu z ohebné nitě délka nitě v oku l_o závisí na rozteči řádků c , průměru nitě d . Úhel sklonu oka β , který je geometricky odvozen podle rozteče sloupků w .

6.4 Shrnutí a srovnání vytvořených modelů oka typu A a B

Předpokládá se, že **skutečná délka nitě v oku** bude ležet v intervalu z hodnot délek nitě v oku modelu typu A a B, tento předpoklad se poměrně prokázal. U pletenin s vyšší hustotou H_c hodnota délky nitě v oku v modelu typu B, tj. hodnota l_o , celkem kopíruje křivku grafu na obr. 6.36 z experimentálně zjištěných hodnot l_{skut} . U řidších pletenin (menší hodnota H_c) je odchylka délky modelované od skutečné větší. V tomto případě se zřejmě více struktura pleteniny projevují fyzikálně-mechanické vlastnosti nitě. V tab. 6.3 a 6.4 jsou uvedeny experimentální a teoretické hodnoty délek nitě v oku ve vzorcích osnovní pleteniny pro $d = 0,292$ (PESh) a $d = 0,23$ (65PES/35ba). Vliv průměru nitě na délku nitě v oku je opravdu minimální (rozdíl v desetinách mm). Definovat model pro určitou vazbu a více druhů materiálů, rovněž pro celou šíři hustot pletenin se zatím jeví nerealizovatelné.



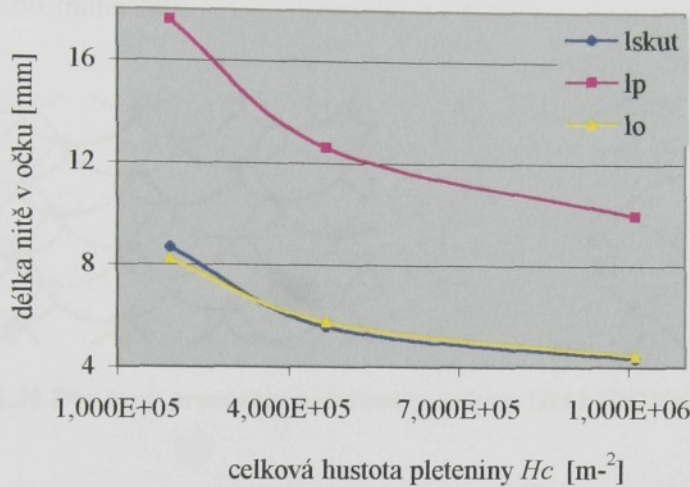
Obr. 6.36 Závislost teoretických délek nitě v oku modelu A, B a skutečné délky nitě v oku na celkové hustotě pleteniny (PESh)

Tab. 6.3 Teoretické a experimentální hodnoty
nitě v oku (PESh)

H_c [m ⁻²]	l_{skut} [mm]	l_p [mm]	l_o [mm]
1,0152.10 ⁶	4,44	10,23	4,82
9,936.10 ⁵	4,69	10,23	4,84
6,716.10 ⁵	5,30	12,12	5,46
5,168.10 ⁵	5,88	14,80	6,07
4,608.10 ⁵	6,73	15,64	6,32
2,688.10 ⁵	8,77	20,30	7,75

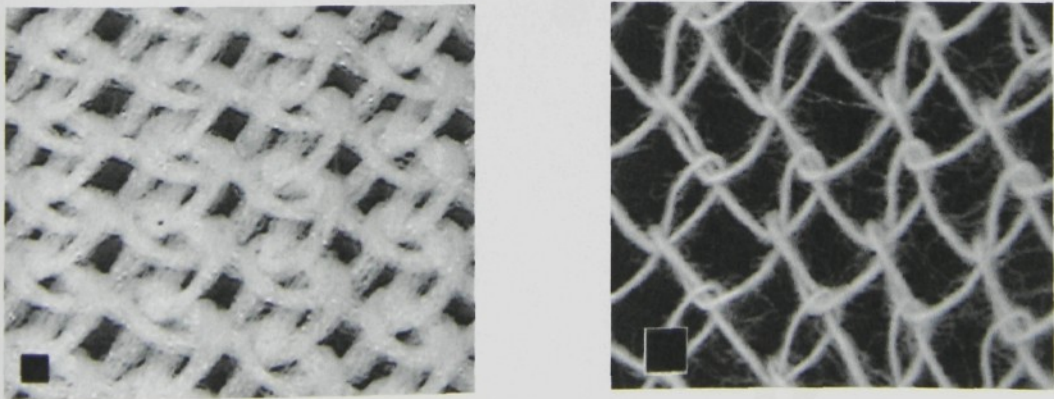
Tab. 6.4 Teoretické a experimentální hodnoty délek
délek nitě v oku (PES/ba)

H_c [m ⁻²]	l_{skut} [mm]	l_p [mm]	l_o [mm]
1,0120.10 ⁶	4,33	9,96	4,42
4,6646.10 ⁵	5,56	12,62	5,74
1,920.10 ⁵	8,70	17,60	8,23



Obr. 6.37 Závislost teoretických délek nitě v oku modelu A, B a skutečné délký nitě v oku na celkové
hustotě pleteniny (65PES/35ba)

Větší vliv na přesnější teoretický výpočet délky nitě v oku bude mít vliv specifikace velikosti jehelního oblouku, který se většinou definuje jako n-násobek průměru nitě než samotné stanovení průměru nitě. Většinou se zprohýbáním nitě do tvaru oka deformuje její průměr tak, že se zploští a jeho hodnota by při pohledu na pleteninu mohla být větší.



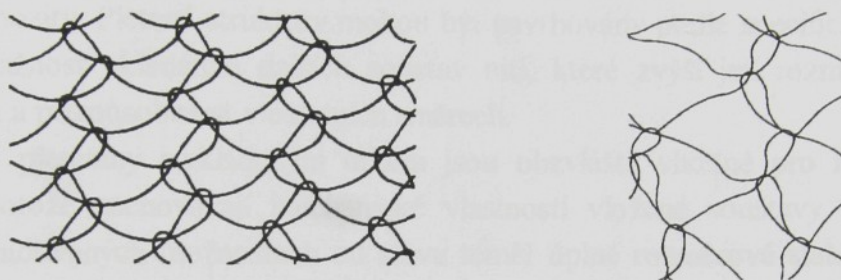
Obr. 6.38 Osnovní pletenina – vazba uzavřený trikót, a) PESH – 2 x 167 dtex, b) 65PES/30ba – 25 tex

Model oka a z něj dále určenou délku nitě v oku je potřeba znát např. pro určení deformačních vlastností pletenin, které vycházejí právě ze správně určeného počátečního (volného) stavu pletenin daného velikostí opakujícího se elementu. Na obr. 6.38 jsou snímky

zhotovených osnovních pletenin, podle jejichž pozorování byly navrženy dva čisté geometrické modely jejich struktury.

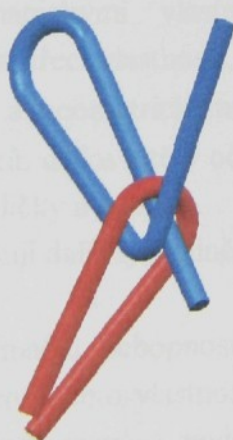
I zde lze najít další rozpor podobně jako v jiných technologiích, které souvisejí se strukturou délkových textilií. Obecně je známou skutečností, že nestejněměrná délková textilie, a tou zřejmě tvarované hedvábí je, zapříčiní nestejněměrnou pleteninu snadněji než stejnoměrná nit. Jednotlivá oka mají potom svůj individuální tvar.

DALIDOVÍČ a ŠALOV ve své zprávě [5] uvádějí dva typy struktury uzavřeného trikotu, které by měly vyhovovat modelu, obr. 6.39. Je vidět, jak je struktura volná, jak vazné body mohou být posouvány a jejich poloha není vymezena, ale ovlivněna ohybovými vlastnostmi délkového materiálu.

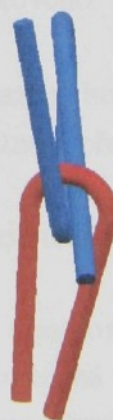


Obr. 6.39 Dva typy provázání uzavřeného trikotu (DALIDOVÍČ a ŠALOV)

V kap 6.3.2 a 6.3.3 byly představeny dva 2D modely uzavřeného trikotu. Na obr. 6.40 je znázorněn 3D model uzavřeného oka z nestlačitelného (tuhého) délkového materiálu a na obr. 6.41 je tento model pootočen. Je to sice návrh modelu (nakreslen v systému CATIA), který je závislý na daných podmínkách např. průměru jehelního oblouku oka, ale je možno pozorovat, jak jsou oka natočená vůči sobě, popř., jaká je tloušťka pleteniny v určitých částech, atd. V reálném případě navíc neplatí podmínka tuhosti nitě, pak cíl přesnějšího výpočtu délky nitě v oku bez užití empirických konstant se jeví neskutečným.



Obr. 6.40 Navržený 3D model oka osnovní pleteniny



Obr. 6.41 Pootočení navrženého 3D modelu oka osnovní pleteniny

7 Základní poznatky o deformaci pletenin

7.1 Pleteniny s ohledem na její hodnotu deformability

Konstrukce pletenin daná způsobem provázání nitě nebo nití se zcela jinak chová při deformaci, tvarování než tkaniny. Je to také dáno větším „projevem“ mechanických a **deformačních vlastností délkového materiálu** vzhledem k plošné textilií. Intuitivně je předpokládáno, že v případě souvislosti mezi deformačními charakteristikami osnovní pleteniny a nití neexistuje tak velké „pouto“ jako v případě jiných textilií. Důvodem je prokluz nitě vycházející z provázání pleteniny. Osnovní pleteniny se vyznačují **vysokou hodnotou protažení** ve všech směrech, a proto se jeví jako vhodné materiály pro 3D tvarované kompozity. Pletené struktury mohou být navrhovány podle specifických požadavků na směrovou tažnost vkládáním dalších soustav nití, které zvýší její rozměrovou stabilitu v jednom směru a přizpůsobivost v ostatních směrech.

Osnovní pleteniny s vkládaným útkem jsou obzvláště vhodné pro některé aplikace **kompozitů**, protože zachovávají mechanické vlastnosti vložené soustavy nití a umožňují flexibilitu v požadovaných možnostech od stavu téměř úplné rozměrové stability ke stavu se směrovým prodloužením struktury pleteniny. V těchto pleteninách se útková soustava projeví ve zvýšení hodnoty pevnosti a zvýšení odolnosti ve smyku.

Nevýhodou pletenin [49] pro určité aplikace může být jejich tloušťka (SCARDINO ji uvádí přibližně 3 – 5 průměrů nitě) a větší spotřeba nitě vzhledem k hodnotě „Cover“ faktoru.

7.2 Deformační schopnost pletenin

Při tomto pohledu z hlediska struktury pleteniny je důležité, jaký textilní útvar bude považován za základní. Bude-li ním délkový materiál, je deformací osnovní pleteniny změna tvaru jejích základních elementů, tj. oček. To znamená, že i nepatrný přesun nitě z části oka do spojovací kličky vede k deformaci (přesunu) a je chápán jako deformace.

Skutečná deformační schopnost pletenin je především dána:

- fyzikálně-mechanickými vlastnostmi použitého délkového materiálu (protahení, ohybová tuhost, třecí vlastnosti, ...),
- strukturálními a geometrickými parametry pletenin (vazba, hustota pleteniny, rozteč řádků a sloupků, délka nitě v oku, ...), tím je dána možnost přesunu nitě z části oka* do spojovací kličky a naopak.

Deformaci také ovlivňují další fyzikálně-mechanické vlastnosti zkoumané pleteniny.

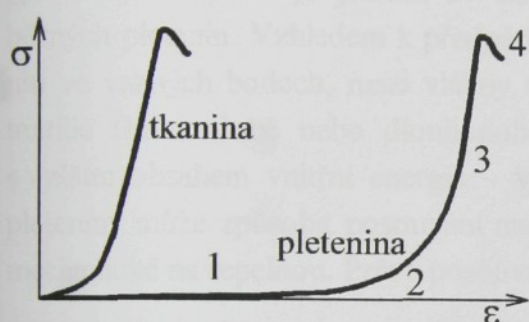
Vysoká deformační schopnost je charakteristickou vlastností pleteniny. Základní zkouškou pro stanovení těchto vlastností je zkouška v tahu prováděná na trhacím přístroji. Při zkoušce se graficky zaznamenává závislost mezi zatížením a protažením pleteniny – pracovní diagram – a hodnoty zatížení a protažení při přetrhu. Konečné hodnoty zjištěné při přetrhu

* Část oka je tvořená dvěma stěnami oka, platinovými a jehelním obloukem.

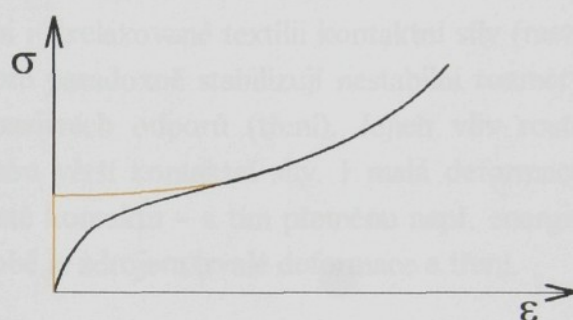
mají význam především u technických textilií. Toto měření necharakterizuje pleteninu dostatečně, neboť k přetrhu pleteniny pro oděvní účely dochází zřídka. Důležitější je oblast malých deformací, ale také tvar (průběh) tahové křivky.

7.2.1 Pracovní křivka pletenin

Jak uvádí KOVÁŘ [25, 27], KOČÍ [21] úsek 1 tahové křivky pleteniny (obr. 7.1) má **velký přírůstek deformace už při malých změnách napětí**. Tahové síly mohou být tak malé, že nejsou přístrojem vůbec zachyceny. **Očka** pleteniny se v této oblasti **deformují tvarově**, především se mění tvar jehelních a platinových oblouků a zároveň začíná docházet k přesunu nití ve vazných bodech. Nítě se napřimují a případné rozdíly v délkách nití jednotlivých oček se postupně vyrovnávají, aby jejich délka byla konstantní.



Obr. 7.1 Tahová křivka tkaniny a pleteniny



Obr. 7.2 Počáteční fáze tahové křivky pleteniny

Úsek 2 je charakteristický **změnou strmosti deformační křivky**, která je zde výraznější než v úsecích 1 a 3. Dochází tady k výraznějším změnám ve tvaru nitě a posuv vazných bodů pokračuje tak dlouho, dokud se nitě v sousedních vazných bodech začnou dotýkat a stlačovat. Průměr nitě se mění, stejně jako zaplnění nitě (je vyšší).

V úseku 3 bylo již prakticky dosaženo **maximální možné tvarové deformace nitě** i maximálního možného posuvu vazných bodů. V této nejstrmější části křivky se začíná výrazněji uplatňovat i délková deformace (protažení) zapletené nitě. Na konci tohoto úseku začíná destrukce pleteniny (přetržení nejslabšího místa nitě), která pokračuje v úseku 4 až do **úplného přetržení**.

Poměry mezi jednotlivými úseky mohou být různé, i když konečné hodnoty tažnosti a pevnosti budou stejné. Pleteninu tedy charakterizuje i tvar křivky.

V samotných začátcích tahové křivky však může být téměř **skokový nárůst síly** potřebný k deformaci pleteniny. Lze to zjistit při „citlivějším“ měření. Chování pleteniny je skoro nepružné. Probíhá náhlé překonávání třecích odporů (skokem), obr. 7.2. Předpokládá se, že v ideálním případě má deformační křivka v okolí bodu $\epsilon \rightarrow 0$ svislý úsek, a to až do okamžiku překonání třecího odporu. U reálných pletenin je průběh pracovních křivek plynulejší, je možná určitá deformace i před překonáním třecích odporů a třecí síly mezi nitěmi začínají působit postupně (např. nejdříve nastane stlačitelnost povrchových vláken, ...).

7.2.2 Obecné srovnání pracovních křivek tkanin a pletenin

Pro srovnání tahových křivek textilií je uveden obr. 7.1, který ukazuje prostřednictvím tažnosti rozdíl v obsahu předpětí u tkaniny a pleteniny. Struktura má snahu zaujmout stav s minimální hladinou vnitřní energie (dosažení plně relaxovaného stavu). Ale ani potom nepředstavuje toto minimum nulovou hodnotu – z toho vyplývá, že je možno se na pleteninu dívat jako na předepjatou soustavu. Vnitřní energie způsobující předpětí se do textilie „vkládá“ zejména **deformací nitě ohybem**. Tkanina s menší ohybovou deformací nití zákonitě obsahuje méně předpětí, což vede k podstatně menší tažnosti tkaniny v porovnání s pleteninou.

Z předchozích údajů je jasné, že akumulace určité části vložené energie pleteniny je právě důsledkem existence elastických (pružných) složek deformace nitě, vláken atd. Toto „předběžné napětí“ je jedním ze zdrojů nelineárních deformací a malé tvarové stability běžných pletenin. Vzhledem k předpětí však působí i v relaxované textilií kontaktní síly (mezi nití ve vazných bodech, mezi vlákny v nitích), které paradoxně stabilizují nestabilní rozměry textilie (krátkodobě nebo dlouhodobě) vlivem pasivních odporů (tření). Jejich vliv roste s vyšším obsahem vnitřní energie – v pletenině jsou větší kontaktní síly. I malá deformace pleteniny může způsobit posouvání materiálu v místě kontaktu – a tím přeměnu např. energie mechanické na tepelnou. Právě posouvání nití po sobě je zdrojem trvalé deformace a tření.

7.3 Modely deformovaných pletenin

Pro zjišťování některých vlastností (např. tažnosti) je vhodné vytvořit si **modely pletenin v deformovaném stavu**. Pokud se bude počítat s maximální možnou – **mezní – deformací**, je možno dostat se ke stavu, který lze zjednodušeně jednoznačně definovat [22, 25, 27]. Předpokládá se, že vliv deformace bude takový, aby volné úseky nitě budou mít tvar úsečky, tj. že se zanedbá vliv působení ohybového momentu v nitě.

Model jakékoliv pleteniny vyjádřený matematickým vztahem může mít v nejjednodušší formě obecný tvar:

$$\varphi(w, c) = f(d, l). \quad (7.1)$$

Jsou zde uplatněny jenom dva nejdůležitější nezávisle (d, l) a dva závisle proměnné parametry pleteniny (w, c). Vztah (7.1) nedává jednoznačné řešení, obsahuje dvě nezávisle proměnné. Pro řešení konkrétního případu je nutná ještě jedna matematická podmínka charakterizující stav pleteniny. Pro stav maximální podélné (nebo příčné) deformace pleteniny je to funkce $w = w^I(d^I)$, popř. $w = w^{II}(d^{II})$, obdobně $c = c^I(d^I)$, popř. $c = c^{II}(d^{II})^*$ apod.

* Indexy I, II znamenají, že parametry pleteniny jsou v deformovaném stavu.

7.3.1 Navržené zjednodušující předpoklady pro vlastní modelování deformované struktury pleteniny

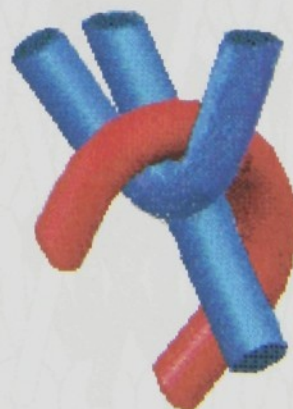
Pro popis pleteniny modelem se zavádí zjednodušující předpoklady, čímž se dosáhne odklon od skutečné struktury pleteniny. Jsou navržené tyto předpoklady použité pro výpočet strukturálních parametrů oka při jednoosé deformaci:

- oka jsou tvarově podobná, odchylky se zanedbávají, model oka platí pro celou strukturu,
- původní průměr nitě d válcového tvaru se deformací změní na d' nebo d'' ,
- vlákna jsou nestlačitelná, mění se zaplnění nitě,
- zapletená nit je považovaná za tuhou (nemění se její délka),
- deformace je modelována pro případ, kdy uchycení vzorků v čelistech není pevné (tj. je umožněn posun a změna struktury pleteniny i v místě upnutí) nebo změna struktury je pozorována "v dostatečné vzdálenosti" od místa upnutí,
- nedochází ke zkosení vzorků (řádky zůstávají kolmé na sloupky) nebo je zanedbatelné,
- výpočty strukturálních parametrů vychází z plošné geometrie oka, ačkoliv oko je prostorový útvar.

7.3.2 1-osé namáhání osnovní pleteniny - trikot

Už **při malé napjatosti** (v tahové křivce na obr. 7.1 je to v 1 oblasti) dochází nejen u vazby uzavřeného trikotu ke změně, deformaci struktury a jejích základních parametrů, jako jsou rozteče sloupků w a řádků c , dále ke změně průměru nitě d , atd. Překřížení tvořící jednotlivé vazné body se posouvají tak, aby nastalo zvýšení velikosti (šířky nebo výšky) strukturální jednotky ve směru působících sil, tj. u některých materiálů ve směru deformace. Směr působících sil a směr deformace nemusí být u všech textilních materiálů souosý. V opačném případě bude docházet ke zkosu vzorku pleteniny. Příčinou je typ anizotropie mechanických vlastností zkoumané struktury. (Více je uvedeno v kap. 10.)

Při **větší deformaci**, lépe v případě jednoosé, je vidět postupné seskupení některých jednotlivých vazných bodů oka v "jeden bod", který je možné nazývat **uzlovým**. Bod je nepřesným a zavádějícím vyjádřením. Je to spíše kontakt – místo na povrchu jednotlivých vláken v niti, jímž se dotýkají jiných vláken další provazující nitě. Prostřednictvím kontaktů se přenášejí síly, které vznikají při deformování. V uzlovém bodě se kříží více nití obr. 7.3, např. u trikotu je to nit jehelního oblouku předcházejícího oka ve sloupku a dvě nitě následujícího oka ve sloupku provazující s touto nití (nebo-li nitě vedoucí ze stěny oka následujícího).



Obr. 7.3 Uzlový bod osnovní pleteniny

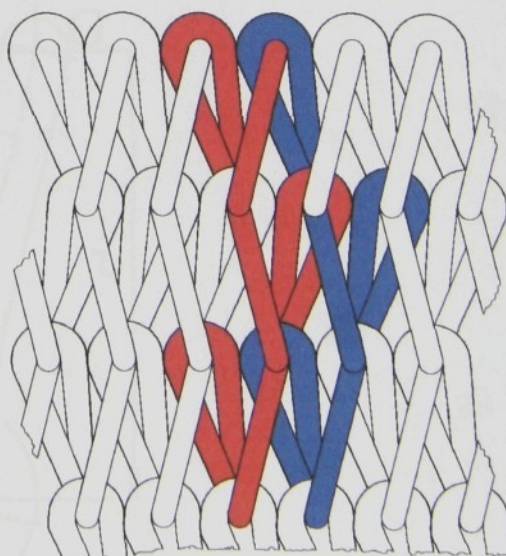
Při zkoušení deformačních vlastností (pevnosti a tažnosti) dochází ve směru kolmém na zatížení k **příčné kontrakci** pleteniny. Kontrakce může být značná. Rozměr kolmý na směr deformace se může zmenšit na zlomek původní velikosti. Určitý podíl na této deformaci má druh materiálu, povrchové vlastnosti nití (odstávající vlákna nebo hladký povrch) a tření mezi nimi. Schopnost příčné kontrakce pletenin souvisí se strukturou a hustotou použité vazby a se schopností nitě deformovat svůj příčný průřez. U pletenin tedy existuje vztah mezi podélnou a příčnou deformací, který může být v některých případech mírně ovlivňován (použití elastických nití).

Následující vlastní modely oka trikotu deformovaného v podélném a příčném směru při maximální možné napjatosti struktury za níže uvedených předpokladů jsou navrženy pro oba modely trikotu typu A a B ve volném stavu. Protože v modelu oka typu A, na rozdíl od typu B, při stejných hodnotách rozteče řádků c a sloupků w je obsažena větší délka nitě v oku l , výsledné hodnoty protažení oka a tažnosti celé struktury (např. parametry w' a c') budou vyšší. Rozdílnost modelů A a B nebude mít žádný vliv na geometrii a uspořádání nití v jehelním obloučku v modelech deformovaných pletenin.

7.3.2.1 Maximální deformace struktury trikotu v podélném směru

Při jednoosém namáhání se působí na vzorek pleteniny pouze v jednom směru, buď ve směru řádků nebo ve směru sloupků. Vzorek pleteniny se i při takto označeném způsobu namáhání deformuje jak ve směru řádků, tak ve směru sloupků, proto není deformace pleteniny jednoosá. Vnější síly však působí pouze v jednom směru, proto jednoosé.

V důsledku působení axiálních tahových sil v nitích při jednoosé deformaci pleteniny v **podélném směru** (směr sloupků) dochází k takovému přeskupení, kdy nitě nebudou v jehelním obloučku oka vedle sebe. Protože je velikost průměru jehelního oblouku zmenšena na úkor délky stěn oka, budou tyto nitě za sebou. Očko se více napřimuje, zmenšuje se sklon oka a spojovací kličky, jejíž případný obloukovitý tvar se mění na přímý. Tímto přeskupením se dosáhnou větší rozměry oka, především zvětšení rozteče řádků, a tím protažení struktury trikotu. Očko je uzavřené při pohledu z lící strany jakoby kolem "jednoho průměru" nitě (obr. 7.4). V modelu oka je neutrální osou jehelního oblouku polokružnice, ačkoliv ve skutečnosti tomu tak nemusí být. Uvažuje-li se tloušťka pleteniny jako $3d$, při pohledu z rubní strany (strana pleteniny se spojovacími kličkami) je na vrchní – nejvyšší – pozici nit "vedoucích" z oka, tj. nit spojovací kličky oka příslušející. „Pod ní“ je spojovací klička předcházejícího sousedního oka ve sloupku a na spodní straně, tj. při pohledu na lící stranu pleteniny úplně nahoře, je nit jehelního oblouku. Toto postavení je způsobeno tahovými silami v nitích tvořících oko a geometrií nitě v oku.



Obr. 7.4 1-osá podélná deformace struktury uzavřeného trikotu

Předpoklad pro konstrukci: Při maximální deformaci v podélném směru budou z mechanického hlediska úhly, které svírají osa části oka α' a osa spojovací kličky β' s příčným směrem (obr. 7.5) stejné (rovnováha tahových sil v uzlovém bodě),

$$\alpha' = \beta', \quad \sin \alpha' = \sin \beta'. \quad (7.2)$$

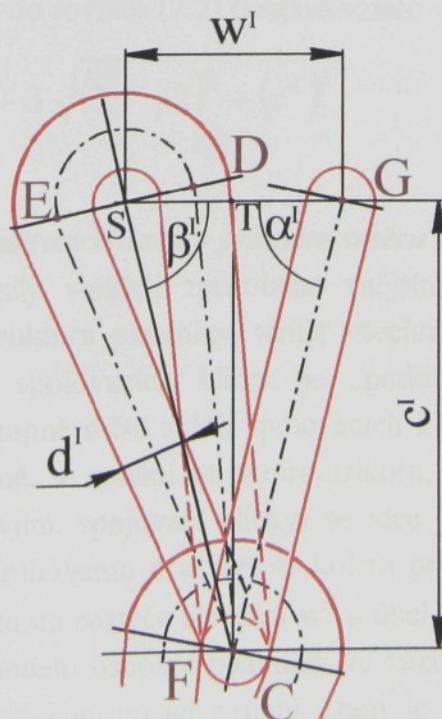
V tomto modelu je průmět části oka a spojovací kličky do vodorovné osy v důsledku působení vnějších tahových sil na vzorek pleteniny rovněž stejný.

Z navržené geometrické konstrukce oka na obr. 7.4 je možné snadno zjistit jeden ze základních strukturálních parametrů, a to je délka nitě v oku l_c' při 1-osé deformaci v podélném směru v závislosti na rozteči řádků c' , průměru nitě d' , popř. v závislosti na úhlu α' , který svírá osa části oka s příčným směrem (může být z návrhu modelu odvozen). Celková délka nitě v oku l_c' je přibližně dána součtem délky jehelního oblouku o poloměru d' a trojnásobkem délky spojovací kličky.

Proto obecně bude délka nitě v oku trikotu deformovaném v podélném směru čára CDEFG a její matematické vyjádření bude: $l_c' = CD + DE + EF + FG$. (7.3)

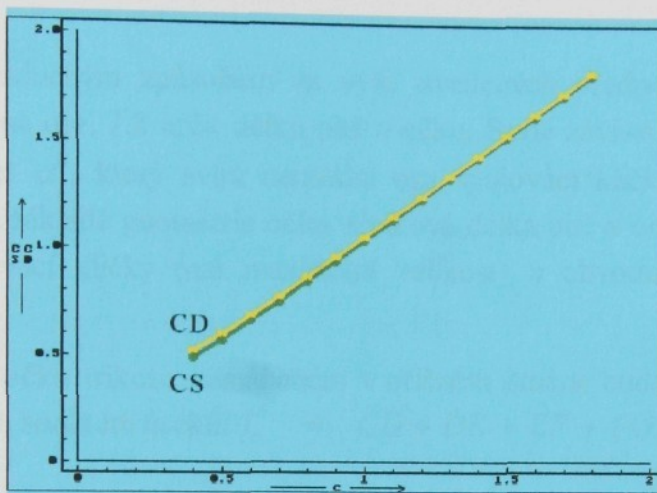
Při maximální deformaci v podélném směru nastane zmenšení **rozteče řádků** w' na hodnotu závislou pouze na průměru nitě d' , protože provázání vazby umožní dotyk stěn oček. Zjednodušeně lze konstatovat, že rozteč sloupků w' (nebo-li úsečka SG) bude mít velikost trojnásobku průměru nitě d' . (U 2D modelu body C a F jsou totožné.)

Z geometrie neutrální osy nitě na obr. 7.5 lze celkem snadno odvodit délky jednotlivých částí oka. Z pravoúhlého trojúhelníka CTS délka přepony CS bude: $CS = \sqrt{(3d'/2)^2 + (c')^2}$. V důsledku dotyku sousedních oček v bodě T musí být vzdálenost středů jehelních oblouků $SG = 3d'$ a tato vzdálenost je zároveň rovna rozteči sloupků w' .



Obr. 7.5 Geometrie oka při 1-osé deformaci v podélném směru

Stěna očka je tvořena přeponou CD v pravoúhlém trojúhelníku CDS. Její velikost po úpravě bude následující: $CD = \sqrt{13(d')^2/4 + (c')^2}$. Protože $CS \approx CD$, $(3d'/2)^2 \approx 13(d')^2/4$ a především, protože $d' \ll c'$, může být vyjádření stěny očka zjednodušeno. Platí rovnost mezi délkou stěny očka CD a úsečkou CS, která zároveň také vyjadřuje délku spojovací kličky). Rozdíl mezi délkami CS a CD je vyneseno do grafu na obr. 7.6. v závislosti na rozteči řádků c (je použit průměr nitě $d = 0,2$ mm).



Obr. 7.6 Grafická závislost zjednodušení délky stěny očka na rozteči řádků c

Dalším úsekem očka je délka **jehelního oblouku** DE, kterou je půlkružnice o průměru $2d'$, $DE = \pi d'$. Délky obou **stěn očka** jsou identické, tj. $CD = EF$.

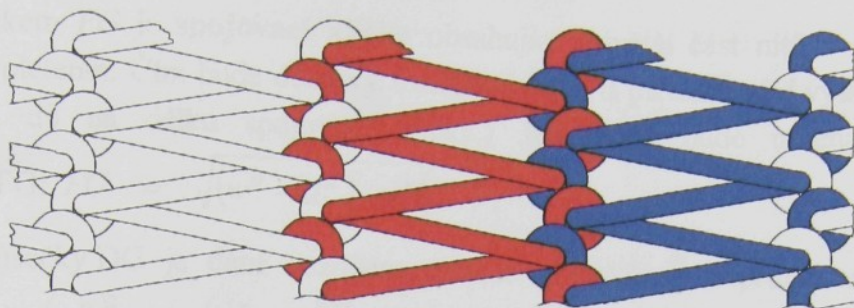
Spojovací klička tvořená úsečkou FG bude mít stejnou velikost jako úsečka CS.

Pro délku nitě v uzavřeném očku modelu 1-osé podélné deformace vazby trikot se dosazením výše uvedených vztahů do rovnice (7.2) dostává vztah:

$$l_c^I = \pi d' + 3 \sqrt{(3d'/2)^2 + (c')^2}. \quad (7.4)$$

7.3.2.2 Maximální deformace struktury trikotu v příčném směru

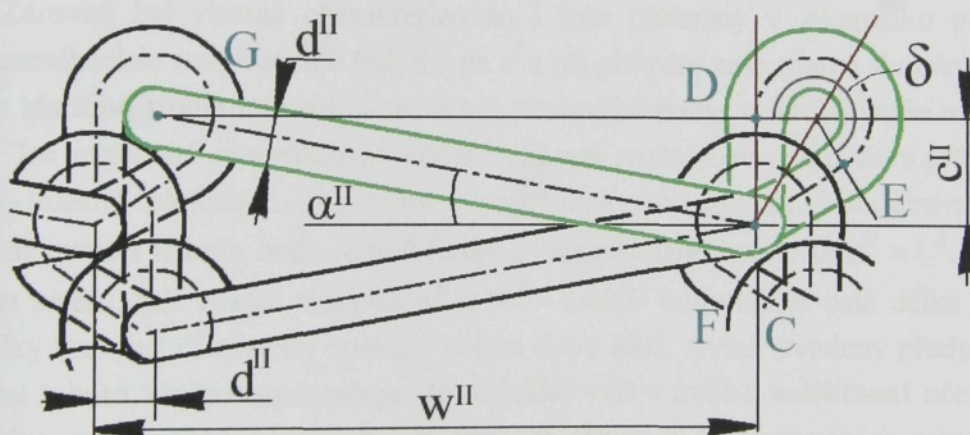
Působící axiální tahové síly v nitích způsobené vnějším namáháním pleteniny ve směru řádků postupně ovlivní strukturu pleteniny, téměř všechna nit se přesune z oček do spojovacích kliček. Sklon nitě spojovacích kliček je „podobný“ se směrem vnějšího zatěžování. Při deformaci se postupně mění sklon spojovacích kliček, které potom dosahují maximální délku (obr. 7.7). Úplně se změní struktura trikotu, ale ne provázání. Jehelní oblouček, vlastně celé očko (s vyjím. spojovací kličky) se více „uzavírá kolem dvou nití“. Tvar očka trikotu se přibližuje kruhovému a utváří se kolem průřezů obou nití, které jsou stlačovány. Výrazně se změní hodnota rozteče sloupků w'' a úhel sklonu spojovací kličky α'' , který bude minimální. V tomto modelu osnovní pleteniny ve vazbě trikot jsou nitě uzavřené v očku opět za sebou, přičemž na vrchní pozici z rubní strany je rovněž nit spojovací kličky příslušejícího očka.



Obr. 7.7 1-osá příčná deformace struktury trikotu

Poměrně jednoduchým způsobem za výše uvedených předpokladů lze z geometrie deformovaného oka na obr. 7.8 určit délku nitě v oku. Bude záviset na rozteči sloupků w'' , průměru nitě d'' . Úhel α'' , který svírá neutrální osa spojovací kličky se směrem příčným, může být vyjádřen na základě geometrie oka. Celková délka nitě v oku l_c'' je přibližně dána součtem délky spojovací kličky (má maximální velikost) a obvodu "kruhového" oka o průměru $2d''$.

Délka nitě v modelu oka trikotu namáhaném v příčném směru bude obecně čára CDEFG matematicky vyjádřena součtem úseků: $l_c'' = CD + DE + EF + FG$. (7.5)



Obr. 7.8 Geometrie oka při 1-osé deformaci v příčném směru

Geometrie oka znázorněná na obr. 7.7 vychází ze zešíkvení oka způsobeného ohybovými momenty v nitích v oblasti platinových oblouků. V návrhu plošného modelu oka trikotu je stejná velikost **stěny oka**, tj. úseků CD a EF. Maximální dosažitelná deformace struktury předurčí vzdálenost středů jehelních oblouků dvou sousedních očí ve sloupku – rozteče řádků c'' . Délka stěny CD je odvěsnou pravoúhlého trojúhelníka CSD, kde přepona $CS = 2d''$ a $SD = d''$. Potom rozteč řádků je $c'' = d''\sqrt{5}$, která je rovna délce úsečky CD.

Rovněž délka úseku DE tvořící **jehelní oblouk** bude záviset pouze na průměru nitě d'' . K vymezení délky DE: Z obr. 7.8 lze snadno odvodit úhel γ , tj. úhel CSD; $\cos \gamma = d''/2d''$. Podle uvedené konstrukce modelu bude velikost úhlu γ konstantní, jejíž hodnota je $\gamma = \pi/3$, ovšem jen za podmínky konstantní velikosti průměru nitě d'' . Konkávní úhel vymežující délku jehelního oblouku DE potom vychází: $\delta = 4/3\pi$. Následně délka oblouku bude $DE = 4\pi d''/3$.

Posledním úsekem FG je **spojovací klička** obsahující největší část nitě v očku. (Platí pro menší hustoty pletenin. Čím bude délkový součinitel zakrytí pleteniny l/d vyšší, tím bude také připadat větší díl na délku spojovací kličky.) Její délka bude určena z pravoúhlého trojúhelníka DFG : $FG = \sqrt{(w'' - d'')^2 + 5(d'')^2}$, (7.6)

kde velikost úsečky DG je dána rozdílem rozteče sloupků w'' a průměrem nitě d'' podle obr. 7.8. Protože $(w'')^2 \approx (w'' - d'')^2$ a $d'' \ll w''$, lze úsek FG ve výpočtu zjednodušit.

Konečný vztah pro délku nitě v očku modelu jednoose deformovaného trikotu v příčném směru vychází:

$$l_c'' = 2d''\sqrt{5} + \frac{4\pi d''}{3} + \sqrt{(w'')^2 + 5(d'')^2}. \quad (7.7)$$

7.3.2.3 1-osá tažnost trikotu v podélném a příčném směru

Deformační vlastnosti pletenin je možné stanovovat teoreticky na základě různých modelů oček. Modely podélně a příčně jednoose deformované pleteniny ve vazbě uzavřený trikot (kap. 7.3.2.1 a 7.3.2.2) jsou vytvořeny pro **maximální možnou směrovou deformaci pletenin**. Zároveň byl vlastně charakterizován i stav pleteniny v „okamžiku přetrhu“. Při podélném namáhání se změní rozteč řádků c na c' a při příčném zase rozteč sloupků w na w'' .

Bez hlubšího studia této problematiky a především podle velikosti změn roztečí řádků a sloupků lze intuitivně zkonstatovat podle velikosti rozteče sloupků, že v příčném směru bude větší tažnost pleteniny. Tomu by i napovídalo tvrzení, že v podélném směru při maximální deformaci trikotu bude rozteč řádků c mít přibližně hodnotu: $c'' \approx l_c''/3$. Na rozdíl od příčného směru, kde rozteč sloupků $w'' \approx (w'' - 4\pi d/3)$ bude téměř celá délka nitě v očku l_c'' (bez délky kruhové části oka opásané kolem dvou nití). Avšak uvedený předpoklad zcela ke stanovení tohoto závěru nepostačuje. **Je důležité vzít v úvahu zešíkmení oček**, které má **výrazný vliv na rozteče a výslednou tažnost**. Bude-li v relaxovaném stavu pleteniny zešíkmení oček vyšší, tj. úhel sklonu oka menší, bude větší i hustota řádků, tzn. počet oček na jednotku délky v podélném směru. Proto může **výsledná tažnost pleteniny ve směru sloupků být vyšší než ve směru řádků**, ačkoliv ve směru řádků je výraznější přesun nitě a deformace tvaru strukturální jednotky tvořící strukturu pleteniny.

Pro určení tažnosti platí:

- 1) $l_c' = l_c'' = l_c$,
 - nit je považovaná za tuhou,
 - délka nitě v očku se nemůže nikam „ztratit“, proto je konstantní ve všech stavech.
- 2) $d' = d''$.
 - zanedbává se odchylka deformací průřezu nitě při namáhání v podélném a příčném směru,
 - zanedbává se rovněž rozdílnost deformovaných průřezů všech nití.

Úpravou vztahů (7.4, 7.7) lze potom dostat maximální hodnotu rozteče řádků c^I a maximální hodnotu rozteče sloupků w^{II} (pro směr příčný je rozteč řádků c^{II} a pro podélný směr rozteč sloupků w^I je závislá na průměru nitě):

$$\begin{aligned} c^I &= \sqrt{\left(\frac{l_c - \pi d^I}{3}\right)^2 - \left(\frac{3d^I}{2}\right)^2}, \\ w^{II} &= \sqrt{\left(\frac{3l_c - d^{II}(13,42 + 4\pi d^{II})}{3}\right)^2 - 5d^{II2}}, \end{aligned} \quad (7.8)$$

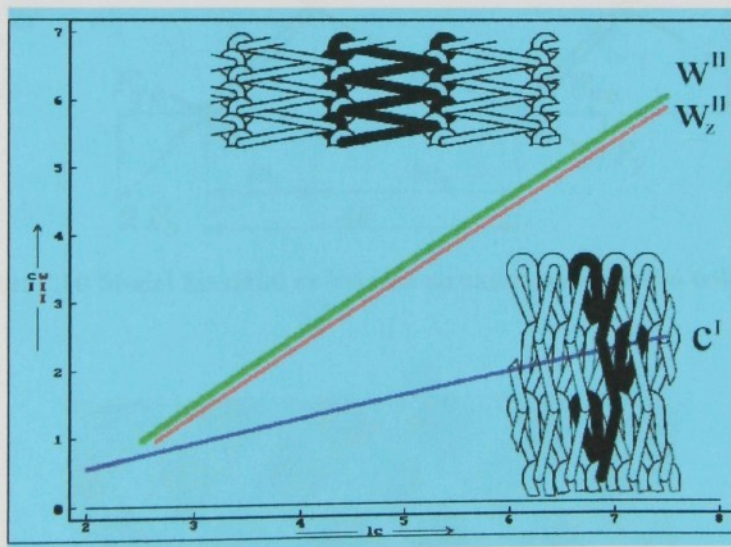
za následujících podmínek:

- velikost průměru průřezu v deformovaných stavech je totožná s efektivním průměrem nitě,

$$d_{ef} = \frac{4d_d}{3\pi}, d^I = d^{II} = d_{ef}. \quad (7.9)$$

Pro maximální tažnost ve směru sloupků ε_{pc} a řádků ε_{pw} bude proto platit:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{pc} &= \frac{c^I - c}{c} 100, \\ \varepsilon_{pw} &= \frac{w^{II} - w}{w} 100. \end{aligned} \quad (7.10)$$



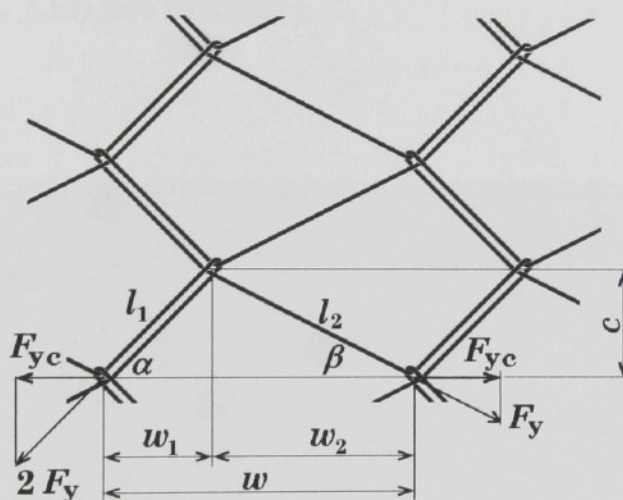
Obr. 7.9 Grafická závislost maximální rozteče řádků c^I a sloupků w^{II} na délce nitě v očku l_c při směrové jednoosé deformaci

Na obr. 7.9 je znázorněn graf závislostí maximální rozteče řádků c^I a rozteče sloupků w^{II} při jednoosé deformaci na délce nitě v očku - vztahy (7.8). w_z^{II} znamená, že délka úseku CD – stěna očka – byla zjednodušena, jak je uvedeno výše (pro $d = 0,2$ mm). Toto zjednodušení hodnotu maximální rozteče řádků ovlivnilo jen nepatrně. Je vidět, že rozteč řádků c^I se zvyšující se délkou nitě v očku roste podstatně pomaleji, což znamená, že **teoretickým výpočtem** pro stejnou hodnotu délky nitě v očku je dosaženo **větší prodloužení očka ve směru řádků**.

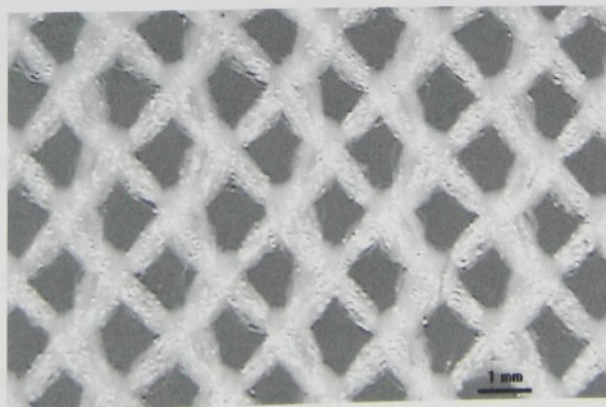
Větší přírůstek délky strukturální jednotky ve směru řádků při jednoosé deformaci ještě nemusí znamenat větší prodloužení struktury a vyšší hodnotu výsledné tažnosti celé osnovní pleteniny. Je to závislé na původních rozměrech elementu struktury, tj. rozteči sloupků w nebo počtu jednotek, tj. hustotě sloupků H_s . Tato skutečnost, že vazba uzavřeného trikotu* může být tažnější ve směru sloupků (podélný směr), byla experimentálně zjištěna a výsledky jsou uvedeny např. v kap. 9.2.3.1 a 9.2.4.

7.3.3 Biaxiální deformace osnovní pleteniny - trikot

Maximální (mezni) deformované stavy mohou vést na síťové modely struktury pleteniny, kterými je možné nahradit některé typy osnovních pletenin (neuvažuje se průměr nitě d , je zanedbán). V tomto případě je za biaxiální deformaci považována rovnoměrná („strip“) dvouosá deformace vyvolaná vnějšími silami o stejné velikosti v obou směrech na sebe kolmých. Na obr. 7.10 je zobrazen model maximálního biaxiálního zatížení vazby uzavřeného trikotu ve směru sloupků a řádků [44], na obr. 7.11 je dvouose deformovaná reálná pletenina.



Obr. 7.10 Model biaxiální deformace struktury uzavřeného trikotu



Obr. 7.11 Biaxiální deformace osnovní pleteniny (PESH)

* Použitý materiál – PESH 2 x 167 dtex f 36 sz/v. Osnovní pletenina – trikot – byla vyrobena na rašlovém stroji RM – 6 – F, 42“, ER fy Karl Mayer.

Ve struktuře je patrné, že vazné body se shlukly do tzv. **uzlového bodu**. Za předpokladu, že axiální síla v částech oka je stejná, $F_y = \text{konst.}$, lze vypočítat rovnováhu v uzlovém bodě ve směru řádků:

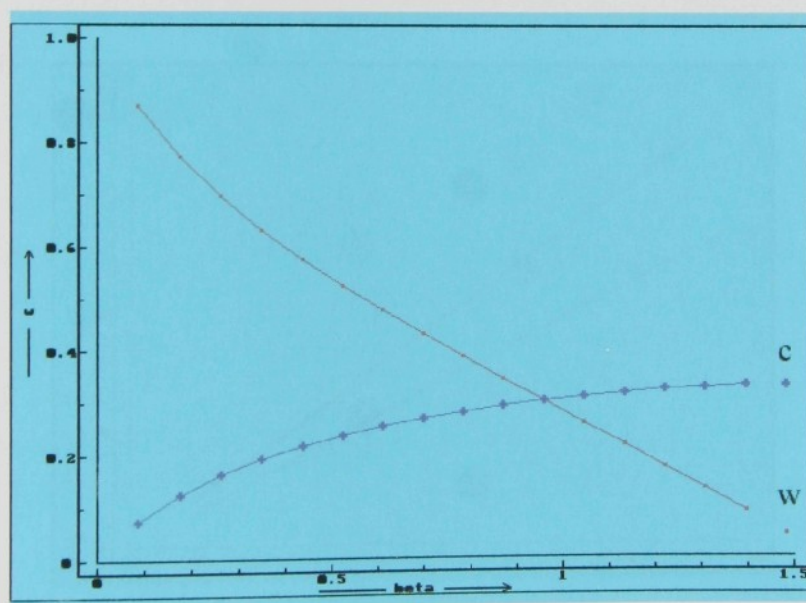
$$F_{yc} = 2F_y \cdot \cos \alpha = F_y \cdot \cos \beta, \quad \cos \beta = 2 \cdot \cos \alpha. \quad (7.11)$$

V důsledku **symetrie** strukturální jednotky trikotu rovnováha existuje vždy. Z geometrie struktury (obr. 7.10) lze snadno získat následující rovnice pro výpočet délky nitě v oku:

$$\begin{aligned} l &= 2l_1 + l_2, \quad w = w_1 + w_2, \quad c = l_1 \sin \alpha = l_2 \sin \beta, \\ l_1 &= w_1 / \cos \alpha, \quad l_2 = w_2 / \cos \beta. \end{aligned} \quad (7.12)$$

Nezávislou proměnnou bude délka nitě v oku l , závislými parametry je rozteč sloupků w a řádků c a sklony oka α a spojovací kličky β . Na obr. 7.12 je znázorněn vliv změny úhlu β na parametry w a c . Podmínky pro úhly α , β z modelu struktury na obr. 7.10 (pro $d = 0,2 \text{ mm}$) a pro řešitelnost rovnic (7.11, 7.12) jsou následující:

- $\alpha > \beta$,
- $\alpha \in (\pi/3, \pi/2)$.



Obr. 7.12 Závislost roztečí řádků c a sloupků w na změně sklonu spojovací kličky β

Se zvyšujícím se úhlem sklonu oka nebo spojovací kličky β klesá rozteč sloupků, tzn., že oko se protahuje více do výšky. Hodnota rozteče řádků c se zvětšuje, ale ne tak „prudce“ (s ohledem na konstrukci síťového modelu je délka elementu – oka - v podélném směru je třetinou délky nitě v oku).

7.3.3.1 Určení úhlu sklonu spojovací kličky v biaxiálním modelu struktury osnovní pleteniny

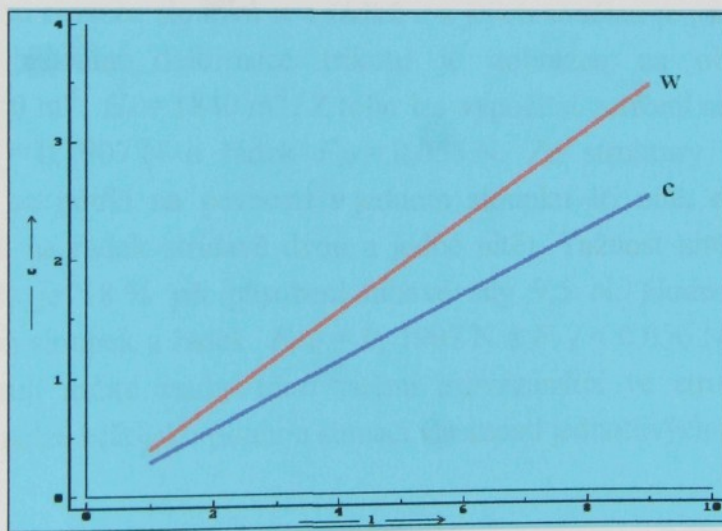
Pro výpočet sklonu oka je nutno zavést další předpoklad. Strukturální jednotka nebo **element pleteniny** bude při rovnoměrné biaxiální deformaci **zaujímat co největší plochu S** danou součinem rozteče řádků c a sloupků w , $S = (c \cdot w)$. Má-li být plocha maximální, potom diferenciál $dS / d\beta \rightarrow 0$. Využitím rovnic (7.11) a (7.12) bude plocha S :

$$\begin{aligned} S &= c (w_1 + w_2) = l_2 (l_1/2 + l_2) \sin \beta \cos \beta, \\ \frac{dS}{d\beta} &= l_2 (l_1/2 + l_2) \cos^2 \beta - l_2 (l_1/2 + l_2) \sin^2 \beta. \end{aligned} \quad (7.13)$$

$$\text{Je-li } l_2 (l_1/2 + l_2) (\cos^2 \beta - \sin^2 \beta) = 0, \quad (7.14)$$

$$\text{potom } \beta = \pi/4. \quad (7.15)$$

Graf lineární závislosti roztečí sloupků w a řádků c na délce nitě v oku při maximální biaxiální deformaci vazby uzavřeného trikotu, je-li $\beta = \pi/4$ a $d = 0,2$ mm je představen na obr. 7.13. Struktura pleteniny se nedeformuje tak, že v obou směrech bude při maximálním zatížení stejný rozměr elementu, tj. rozteč sloupků w a řádků c .



Obr. 7.13 Závislost roztečí řádků c a sloupků w na délce nitě v oku l při sklonu spojovací kličky $\beta = \pi/4$

7.3.3.2 Experimentální zkouška biaxiální deformace osnovní pleteniny

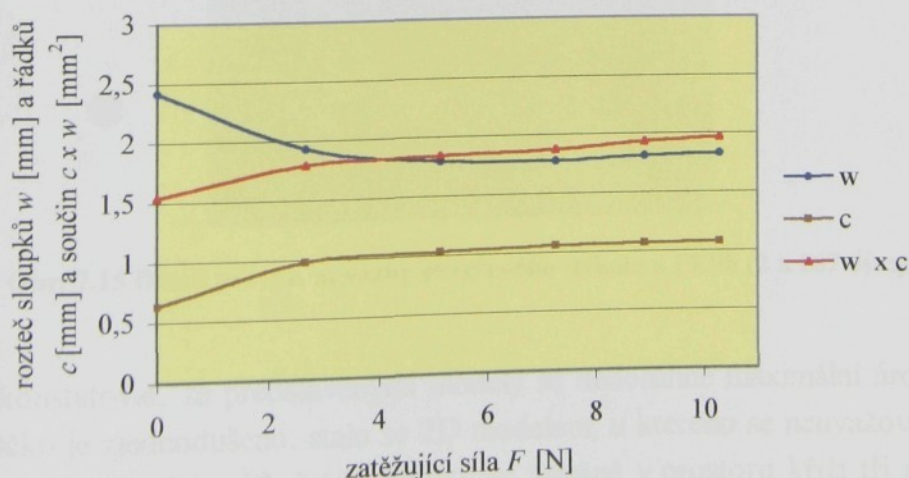
Předpokládá se, že u navržené zkoušky rovnoměrné biaxiální deformace (popsaná v [12, 19] pleteniny **nenastává přesun nitě z oka do oka, ale pouze v rámci jednoho oka**. Tzn., že délka nitě v oku je konstantní v celém průběhu deformování při zanedbání protažení samotné nitě. Jedním z důvodů by právě mohla být rovnoměrná biaxiální deformace s hlavními směry sloupků a řádků, protože při ní tvar oček orientovaných napravo a nalevo zůstává téměř „totožný“ (očka jsou zrcadlově symetrická).

V [45] je uvedeno, že nedochází ke zkosení čtvercového vzorku o rozměrech 10×10 cm a tím k nerovnoměrnosti struktury. Původní čtvercový vzorek osnovní pleteniny se deformuje stejně velkým vnějším zatížením na obdélník. (Ve směru sloupků je struktura více protažená.) K tomuto jevu dochází pravděpodobně v důsledku větší jednoosé tažnosti této osnovní pleteniny v podélném směru. Síla připadající na jeden sloupek je řádově větší než na řádek v důsledku vlivu strukturálních parametrů vzorku. To vysvětluje protažení struktury při rovnoměrné dvouosé deformaci.

Při jiné **orientaci pleteniny** (např. směr sklonu řádků byl 30°) nastává **zkosení** čtvercového vzorku pleteniny (kosodélník) a změna úhlu sklonu oka a spojovací kličky. To znamená, že všechna oka nadále nezůstávají symetrická, ale délka nitě v nich obsažená zůstává stejná (liší se délka částí oka). Deformací struktury se **porušuje kolmost sloupků na řádky** v pletenině. Ke zkosení dochází vlivem konstrukce základní jednotky skládající se z oček a spojovacích kliček. Jedna strana opakujícího se elementu je tvořena dvěma nitěmi a protilehlá jednou. Dalším důvodem je rozdílná hustota sloupků a řádků osnovní pleteniny.

Ve směru sloupků při biaxiální deformaci za působení vnější zatěžovací síly o velikosti 10,3 N dochází k téměř 70-ti % prodloužení osnovní pleteniny [45] (uzavřený trikot PESH – II, jeho parametry jsou uvedeny v kap. 8.2). Naopak ve směru řádků bude asi 10-ti % příčná kontrakce. Tato skutečnost je dána provázáním, protože poměrně jednoduchá struktura trikotu umožňuje snadný přesun nitě z oka do spojovací kličky a obráceně.

Graf závislosti rozteče sloupků w a řádků c a jejich součinu ($c \cdot w$) na vnější zatěžující síle při zkoušce biaxiální deformace trikotu je zobrazen na obr. 7.14. (Parametry pleteniny II: $H_s = 540 \text{ m}^{-1}$, $H_r = 1840 \text{ m}^{-1}$. Z toho lze vypočítat zatížení silou 10,3 N pouze na jeden sloupek $F_{lsl} = 0,1907 \text{ N}$ a řádek $F_{lř} = 0,056 \text{ N}$. Ze struktury trikotu je vidět, že v podélném směru se podílí na pevnosti v jednom sloupku tři nitě, narozdíl od příčného směru, kde je podíl na řádek střídavě dvou a jedné nitě). Tažnost nitě z PESH při přetrhu (kap. 5.4, obr. 5.12) je 18 % při působení tahové síly 9,5 N. Hodnota tažnosti nitě při působení sil na jeden sloupek a řádek $F_{lsl} = 0,1907 \text{ N}$ a $F_{lř} = 0,056 \text{ N}$ nedosahuje hodnoty 1% (i když existují určité vazby mezi nitěmi provázanými ve struktuře a mechanické vlastnosti pleteniny nelze brát jako pouhou sumaci vlastností jednotlivých nití).



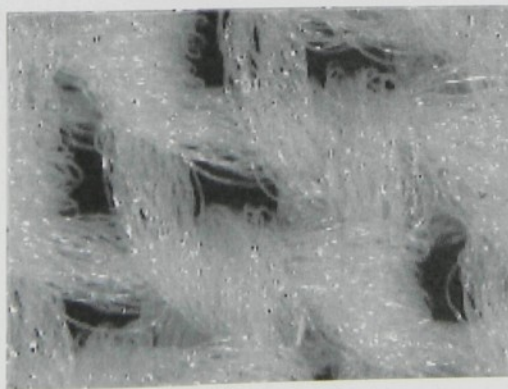
Obr. 7.14 Rovnoměrná biaxiální deformace vazby uzavřeného trikotu

Z grafu na obr. 7.14 je vidět prudká změna obou roztečí mezi volným stavem pleteniny a prvním krokem (zatížení 2,67 N). Zprohýbaná nit ve struktuře se přesouvá tak, aby se zvýšila rozteč řádků na úkor c rozteče sloupků w . Při dalším zatěžování se rozteč řádků c nepatrně zvyšuje na úkor zmenšení rozteče sloupků w . Ovšem ke konci zatěžování dochází k růstu obou sledovaných veličin. Klesající závislosti hodnot rozteče sloupků w lze také vysvětlit **příčnou kontrakci struktury** osnovní pleteniny ve vazbě uzavřený trikot při uvedeném způsobu deformování. Lze také konstatovat, že předpoklad narůstání plochy oka vyjádřený součinem roztečí se potvrdil. Uvedené závěry nezávisí na hustotách pletenin, všechny pleteniny (jejich geometrické parametry jsou uvedeny v kap. 8.2) ve vazbě uzavřený trikot se při zkouškách chovaly stejným způsobem.

7.4 Vliv průměru nitě na délku nitě v modelu deformovaného oka pleteniny

V kap. 7.3.2.3 na obr. 7.9 je znázorněn graf lineární závislosti roztečí řádků c a sloupků w na délce nitě v oku l_c u modelů pletenin při jednoosé maximální deformaci a především je vidět zjednodušení úseku oka CD tvořící její stěnu (kap. 7.3.2.2). Úsek je vypočítaný z rozteče sloupků w , který je zmenšen o hodnotu průměru nitě d . Zjednodušením se dosáhlo snížení hodnoty rozteče sloupků w a tím i menší tažnosti osnovní pleteniny.

Při skutečné **maximální jednoosé deformaci pleteniny** bude docházet k velké deformaci průřezu nitě, který převážně v uzlovém bodě nebude mít pravidelně kruhový charakter. Bude záviset na tahu v nitích pleteniny, projeví se ve větší míře nerovnoměrnost struktury. Dále může docházet k natočení oček a tím k různým tvarům řezů vazných bodů. Tažnost jednotlivých nití se projeví zvýšením tažnosti celé struktury pleteniny. U použitého materiálu PESh se jejím tvarováním (nepravým zákrutem) dosáhne větší tažnosti a většího průměru nitě v tzv. „volném stavu“ než u rotorové příze 65PES/35ba. Pletenina vypadá více „objemově“, viz. obr. 7.15. v detailu provázání uzavřeného trikotu.



Obr. 7.15 Detail provázání vazby uzavřeného trikotu z PESh (2 x 167 dtex)

Lze zkonstatovat, že představenými modely se nedosáhne maximální úrovně jednoosé deformace. Očko je zjednodušeno, stalo se 2D modelem, u kterého se neuvažovalo stlačování nití sousedními očky. Také v jehelním oblouku se vlastně v prostoru kříží tři nitě a ne jako v modelu vazného bodu (kap. 5.2.2) pouze dvě.

Vliv na celkovou míru deformace bude mít i **způsob upnutí vzorku**. Je-li osnovní pletenina upnuta v pevných čelistech, které neumožňují změnu struktury v místě uchycení, bude protažení vzorku pleteniny záviset také na upínací délce. Na ní bude také záviset **příčná kontrakce pleteniny**, která bude menší v případě kratší upínací délky. U pletenin s menší hustotou (řidší struktura) bude při stejných upínacích délkách příčná kontrakce větší než u hustších pletenin.

Celkově lze říci, že v případě **maximálně deformovaných pletenin** se projeví správné určení průměru nitě větší měrou ve vztazích pro výpočet délky nitě v očku než v **relaxovaných strukturách**. Ovšem průřez nitě není kruhový, za který je v těchto modelech považován. Navíc jeho hodnota se bude v jednotlivých částech oka patrně lišit. Dochází proto ke zkreslení a menším hodnotám výsledné jednoosé tažnosti ve směru sloupků a řádků. Větší vliv na přesnější teoretický výpočet délky nitě v očku bude mít vliv specifikace velikosti jehelního oblouku, který se většinou definuje jako n -násobek průměru nitě. V navržených modelech v této disertační práci (kap. 7.3.2.1 a 7.3.2.2) je průměr jehelního oblouku navržen jako dvojnásobek průměru nitě, tzn., že nit jehelního oblouku je opásána kolem jednoho průměru nitě. Ačkoli ve skutečnosti je opásána kolem dvou nití, které jsou stlačovány. Dále je od průměru nitě odvozena minimální rozteč řádků nebo sloupků, což také ovlivní přesnost výpočtu délky nitě v očku.

Jak už bylo uvedeno, od deformovaného průměru nitě je odvozena velikost jehelního oblouku. **Deformovaný průměr nitě** stěny oka bude odlišný a pro výpočty zde uvedené není potřeba. Na významu tudíž bude proto důležitější analýza vazného bodu, určení příčného řezu a odvození velikosti průřezu vazného bodu. Následně určení velikosti jehelního oblouku oka osnovní pleteniny. Otázky související s průměrem nitě v pletenině jsou nedořešeným a poměrně složitým problémem k jehož zkoumání zřejmě bude potřeba navrhnout experimentální metodu.

Dosáhnout přesnějšího popisu geometrie oka lze nejspíše také docílit zahrnutím vlivu mechanických, především ohybových vlastností, nití. Popř. užitím empirických konstant, jejichž nevhodou bude ale omezení podle druhu a technologie výroby délkového materiálu.

8 Geometrické vlastnosti pletenin

8.1 Geometrické parametry pletenin a jejich změna

Jak už bylo uvedeno v kap. 3, prochází pletenina od svého vzniku řadou stavů, z nichž většina je nestabilních. Z toho vyplývá, že dochází ke změně jejích rozměrových parametrů. Z hlediska technologického mohou být tyto strukturální parametry oka, tj. šířka A a výška B oka nebo rozteč sloupků w a řádků c , ovlivněny:

- tahem (napnutím) nití osnovy,
- klesnutím hlavy jehly pod úroveň horního okraje stvolu platiny,
- velikostí uzavírání platiny.

8.1.1 Hustota osnovní pleteniny

Teoretická* hustota řádků osnovní vazby je dána seřazením a nastavením konstrukce stroje. Je známo, že délka nitě v oku osnovní pleteniny zhotovené na rašlovém stroji závisí především na velikosti odtahu. **Velikost odtahu** se reguluje změnou poměru ozubených kol odtahových válců. Tím se mění jejich otáčky a následně se ovlivňuje hustota řádků pleteniny. Její závislost na způsobu provázání - struktuře pleteniny tudíž neexistuje (pro všechny vazby, které lze na daném stroji vyrobit, je teoretická hustota řádků konstantní). Výrobce rašlových strojů dodává tabulkovou hodnotu $H_{f\text{teor}}$ [cm^{-1}].

Po upletení se parametry celkové hustoty textilie výrazně mění. Vliv na tuto změnu mají především vlastnosti použitého délkového materiálu. A to jsou:

- deformační,
- ohybové,
- třecí.

Experimentálně bylo zjištěno, že u vyšších hodnot H_f se hodnoty teoretické od skutečných (relaxovaných) skoro vůbec nelišily. Je to dáno tím, že délka nitě v oku je vysoká (zakrytí pleteniny je větší) oproti roztečím řádků a sloupků a vlastnosti nitě se nemohou tak projevit jako u řidší pleteniny. Velikosti strukturální jednotky jsou omezeny ohybové deformačními vlastnostmi nitě.

Změnu hustoty sloupků proto lze dosáhnout pouze změnou hustoty řádků, a to především odtahem pleteniny a napnutím přiváděné osnovy. Hustota sloupků je závislou veličinou, tj. $H_s = f(H_{f\text{teor}}, l, d, \dots)$. Nelze říci, že změnou odtahu vzroste nebo se naopak zmenší rozteč řádků a sloupků (zjištěná z obou hustot) o stejnou délku – přírůstek.

* Hustota je označena jako teoretická. Tento termín je převzat z literatury a není přesný, protože s teorií nemá nic společného. Je to hustota, která je nastavena a daná konstrukcí stroje.

8.2 Vliv mechanicko-fyzikálních vlastností nitě na strukturální parametry osnovní pleteniny

Struktura a vlastnosti pleteniny jsou ovlivňovány vlastnostmi nitě prostřednictvím technologie zpracování. V průběhu pletení je nit deformována. Obecně je známo, že **pletenina** po zhotovení **vlivem relaxačních procesů mění své rozměry** a dochází ke srážení kladnému nebo zápornému.

Při stejném výběru vazby osnovní pleteniny, stejném seřízení a nastavení stroje, tzn. dělení stroje (tedy stejných roztečí sloupků) a poměru ozubených kol odtahových válců došlo při použití různého délkového materiálu k odlišným hodnotám srážení pleteniny. Z toho vyplývá, že se bude lišit i geometrie očka.

Předpoklad stejného „pouta“ z hlediska tažnosti mezi délkovým materiálem a zhotovenou osnovní pleteninou se plně neprokázal. Rozdílnost mezi tažnostmi nití z PESH a 65PES/35ba není příliš velká (kap. 5.4). Geometrické parametry pletenin ovlivňují také ohybové vlastnosti nitě, které zapříčiní změnu mechanických vlastností pletenin. Proto byla odzkoušena nejprve série 6-ti hustot vazby uzavřeného trikotu z PESH a srovnána se sérií tří hustot osnovní pleteniny se stejnou vazbou vyrobenou z rotorové příze 65PES/35ba.

V následující tab. 8.1 jsou uvedeny základní geometrické parametry osnovní pleteniny ve vazbě uzavřený trikot (PESH o jemnosti 2 x 167 dtex f 36 sz/v) vyrobené na rašlovém stroji typu RML – 6 – F, 42“, ER 24 fy Karl Mayer.

Tab. 8.1 Základní geometrické parametry osnovní pleteniny z PESH

Č.	H_{teor} [m ⁻¹]	H_{f} [m ⁻¹]	H_s [m ⁻¹]	l [mm]	k_h [1]	w [mm]	c [mm]	l/w [1]	l/c [1]	ρ_s [g.m ⁻²]
I	1800	1880	540	4,44	3,481	1,851	0,532	2,399	8,346	150,55
II	1480	1840	540	4,69	3,407	1,851	0,543	2,534	8,637	155,64
III	920	1460	460	5,30	3,174	2,174	0,685	2,438	7,737	118,89
IV	730	1360	380	5,88	3,579	2,632	0,735	2,234	7,997	101,50
V	600	1280	360	6,73	3,555	2,778	0,781	2,423	8,617	103,58
VI	410	960	280	8,77	3,429	3,571	1,042	2,456	8,417	78,74

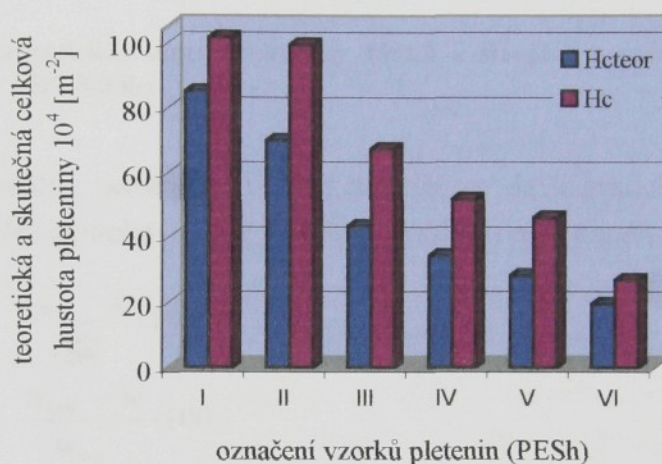
Tab. 8.2 Základní geometrické parametry osnovní pleteniny z 65PES/35ba

Č.	H_{teor} [m ⁻¹]	H_{f} [m ⁻¹]	H_s [m ⁻¹]	l [mm]	k_h [1]	w [mm]	c [mm]	l/w [1]	l/c [1]	ρ_s [g.m ⁻²]
II	1480	1840	550	4,55	3,345	1,818	0,543	2,503	8,379	115,12
IV	730	1060	440	5,56	2,409	2,273	0,943	2,446	5,896	64,83
VI	410	600	320	8,70	1,875	3,125	1,667	2,784	5,219	41,76

Vzorky z PESH jsou v tab. 8.1 a v následujících tabulkách a grafech v disertační práci uspořádány tak, že římskou číslicí I je značena nejhustší osnovní pletenina (má nejvyšší

hodnoty všech hustot) s nejvyšší plošnou hmotností. Pro srovnání byly zhotoveny vzorky osnovní pleteniny ve vazbě uzavřený trikot vyrobené z rotorové příze 65PES/35ba o jemnosti 25 tex a jejich geometrické parametry jsou zapsány do tab. 8.2. Je vidět, že i při stejném nastavení poměru ozubených kol odtahu se naměřená délka nitě v očku l trochu liší.

Jak už bylo dříve zmíněno, délku nitě v očku osnovní pleteniny vyráběné na rašlovém stroji lze ovlivňovat velikostí odtahu (mění se hustota řádků). Změnu celkové hustoty pletenin ve stavu na stroji H_{cteor} a po relaxaci H_c je možno sledovat v grafu na obr. 8.1. Relaxačními procesy muselo samozřejmě docházet ke zvyšování skutečné celkové hustoty pleteniny (PESh) oproti teoretické v důsledku napjatosti, ovšem jejich přírůstek není konstantní. V případě „ideální“ relaxace by měl být.



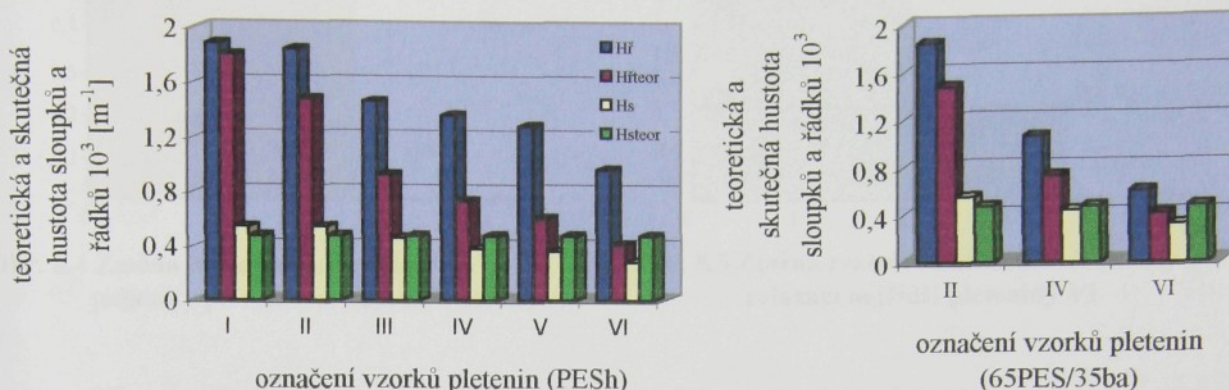
Obr. 8.1 Srovnání hodnot celkových hustot všech vzorků pleteniny z PESh

Teoretická hustota sloupků na stroji měla hodnotu $H_{steor} = 472 \text{ m}^{-1}$, H_{rteor} je ovlivňována podle poměru ozubených kol odtahových válců.

Předpokládá se, že po uvolnění odtahových sil dojde ke **změně parametrů** obou hustot (roztečí). **Hustota řádků** by se měla **zvětšit** (rozteč řádků zmenšit), protože pletenina při fázi zatahování je napjatá. **Hustota sloupků** právě naopak **zmenšit** na úkor hustoty řádků. H_f se oproti H_{rteor} u všech pletenin zvýšila, tzn., že předpoklad byl dokázán, ovšem u hustot sloupků stejný závěr říci nelze. U hustší pleteniny (vzorek I - PESh) se H_s oproti své teoretické hodnotě zvýšila. Z toho vyplývá, že pletenina byla napnutá více v příčném směru, délka nitě v očku je malá a došlo ke srážení. Při hustotě $H_s = 460 \text{ m}^{-1}$ (vzorek III) nedochází téměř k žádným změnám rozměrů v příčném směru. Dále, se snižující se hodnotou H_c (také H_{rteor}) se zvětšuje zaplétaná délka nitě v očku, která „odtlačuje“ očka od sebe a pletenina s.e roztáhne do šířky (zmenší se hustota sloupků). Obdobný „trend“ je i u druhého grafu na obr. 8.2. Avšak hodnoty všech hustot u vzorku VI - 65PES/35ba se více vyrovnávají.

V grafu na obr. 8.2 lze sledovat hodnoty teoretických a skutečných hustot H_f a H_s . Na x-ové ose směrem doprava je pletenina řidší. U „extrémně hustých“ pletenin (vzorek I - PESh)

velmi zprohýbaná a také stlačovaná poměrně krátká nit nemá možnost projevit v takové míře své ohybově deformační vlastnosti, proto zřejmě rozdíl obou hustot řádků klesá.

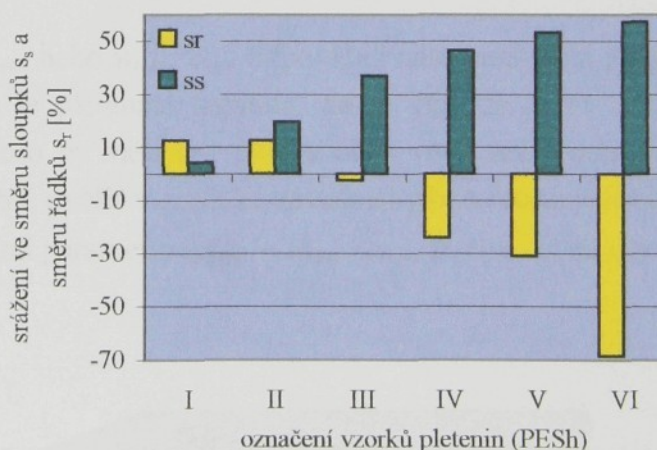


Obr. 8.2 Graf závislosti teoretické a skutečné hustoty řádků a sloupků u vzorků osnovních pletenin a) z PESH a b) 65PES/35ba

Ještě lépe je změnu parametrů pleteniny vidět na další grafické závislosti (obr. 8.3) hodnost srážení ve směru sloupků s_s [%] a řádků s_r [%], které je dané vztahem 8.1:

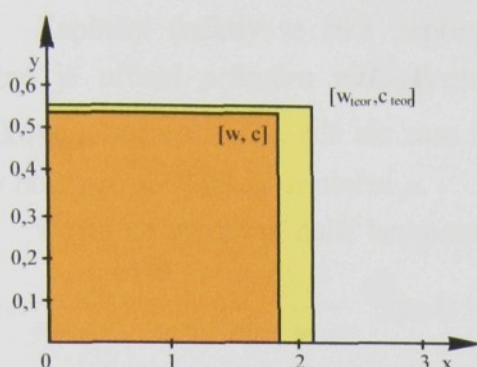
$$s_s = \frac{c_{teor} - c}{c_{teor}} \cdot 100, \quad (8.1)$$

$$s_r = \frac{w_{teor} - w}{w_{teor}} \cdot 100.$$

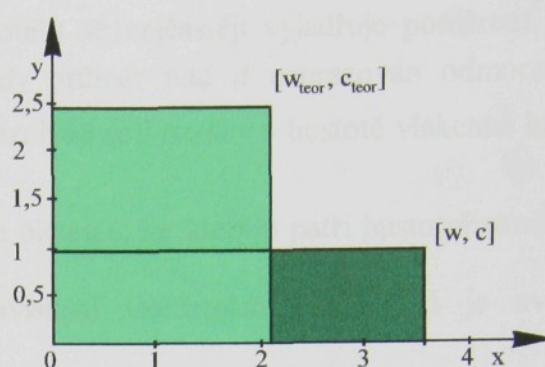


Obr. 8.3 Závislost hodnot srážení pleteniny PESH ve směru sloupků a řádků

Obr. 8.4, 8.5 ukazují změnu strukturálních parametrů pleteniny, tj. rozteče řádků a sloupků oka osnovní pleteniny (vzorek I a VI - PESH) při pletení a po relaxaci. U vzorku VI (obr. 8.5) dochází k výrazné změně rozteče sloupků (šířky pleteniny), což lze také zjistit z velikosti srážení, které je záporné a téměř 70-ti procentní.



Obr. 8.4 Změna roztečí strukturální jednotky po relaxaci nejhustší pleteniny I

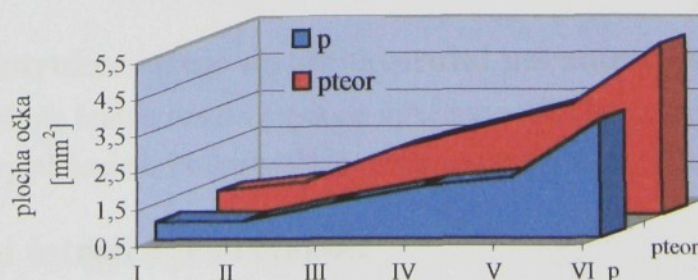


Obr. 8.5 Změna roztečí strukturální jednotky po relaxaci nejřidší pleteniny VI

Při srovnávání hustot u zhotovených vzorků osnovních pletenin ve vazbě uzavřený trikot (PESh) je možné vyvodit tyto skutečnosti:

- pro „extrémně hustou“ pleteninu (nejbližší je vzorek I, $H_c = 1,0152 \cdot 10^6 \text{ m}^{-2}$) vychází:
 - $w_{teor} > w$ a srážení ve směru příčném je $s_r = 12,6 \%$,
 - $c_{teor} > c$ a srážení ve směru podélném je $s_s = 4,3 \%$,
 - v obou případech se rozměry pletenin zmenšují.
- pro „extrémně řídkou“ pleteninu (nejbližší je vzorek VI, $H_c = 2,688 \cdot 10^5 \text{ m}^{-2}$) vychází:
 - $w_{teor} < w$ a srážení ve směru příčném je $s_r = -68,6 \%$,
 - $c_{teor} > c$ a srážení ve směru podélném je $s_s = 57,3 \%$,
 - ve směru příčném se pletenina protáhne, a to podstatně, na rozdíl od podélného směru.

Hodnoty H_{steor} , H_{fteor} nebo w_{teor} , c_{teor} odpovídají nastavení rašlu při pletení. Při procesu zatahování oka na rašlu je pletenina napnutá, dá se říci, že je to určitý způsob víceosé deformace pleteniny, a proto by měla být plocha oka větší než plocha oka v relaxovaném stavu. Toto tvrzení je možné ověřit v grafické závislosti ploch tvořených okem se skutečnými a teoretickými strukturálními parametry ($p_{teor} = w_{teor} \cdot c_{teor}$, $p = w \cdot c$) na obr. 8.6.



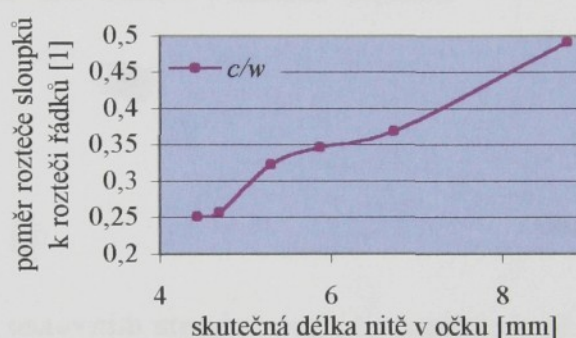
označení vzorků pletenin (PESH)

Obr. 8.6 Graf ploch tvořených okem osnovní pleteniny ve vazbě trikot PESH

Zaplnění (někdy se říká nepřesně „hustota“) se nejčastěji vyjadřuje poměrem l/d , obtížné je určení průměru nitě. Proto je někdy průměr nitě d nahrazován odmocninou z délkové hmotnosti $\sqrt{T}$, zde ale zase hrají nepříznivou roli rozdíly v hustotě vlákenné hmoty ρ a v hodnotě součinitele zaplnění μ .

Proto se využívají další bezrozměrná čísla pletenin, ke kterým patří hustotní součinitel $\frac{w}{c} = \frac{H_f}{H_s}, \frac{l}{w}, \frac{l}{c}, \frac{l^2}{w \cdot c}$ apod. (Graf závislosti uvedených koeficientů je uveden v kap. 5.3.1 na obr. 5.11.) Odchytky těchto čísel od teoretické nebo ze zkušenosti známé hodnoty signalizují nestabilitu struktury (tendenci k rozměrovým změnám), která může být u pletenin nepříjemná.

V případě „ideálních“ relaxačních procesů vzorků osnovních pletenin (PESh) s různou hustotou (proti nim působí třecí síly) by průběh křivky $c/w = f(l)$ na obr. 8.7 měl být lineární.



Obr. 8.7 Závislost hustotního součinitele c/w na skutečné délce nitě v očku l u PESH

Protože však ani použitý délkový materiál, ani relaxační procesy nejsou „ideální“, lze dostat představenou nelineární závislost. (I v některých předcházejících grafech lze vysledovat nerovnoměrnost relaxačních procesů, kdy zřejmě na nit působí třecí odpory, které způsobují nelineárnost procesů a odchytky naměřených geometrických veličin od předpokládaných.) Nepřesnosti mohou být také zapříčiněny tažností délkového materiálu, protože při odtahu je pletenina namáhána tahem okolo odtahových válců, dále opotřebením strojních součástí a dalšími vnějšími vlivy (klimatizace, ...).

8.3 Vliv konstrukce stroje na strukturální parametry osnovní pleteniny

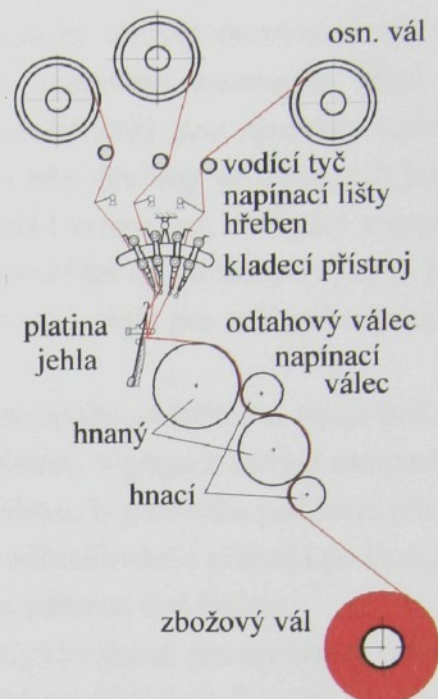
V této kapitole budou uvedeny pouze informace týkající se vlivu technologie výroby na geometrii struktury pleteniny. Podrobnější popis pracovního ústrojí lze nalézt např. v [6, 33].

8.3.1 Pracovní ústrojí a jeho činnost

Jak uvádí DANĚK [6], rašly jsou osnovní pletařské stroje s pracovními jehlami jazýčkovými nebo dvoudílnými a pevnými odhazovacími platinami. Stejně jako u osnovních stávků, i u těchto strojů nejsou jehly jednotlivě pohyblivé, ale pohybuje se celá jehelní řada najednou. Kladení nití na jehly zajišťují kladecí jehly upevněné v kladecím přístroji. (Schéma

pracovního ústrojí skládajícího se z platiny, jazýčkové jehly a kladecího přístroje je součástí obr. 8.8.)

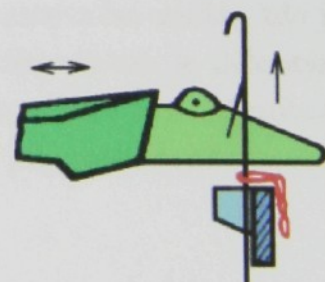
Pro zabezpečení polohy oka při uzavírání je stroj vybaven hřebenem pohyblivých uzavíracích platin. Při zvedání jehel by mohlo dojít vlivem tření mezi jehlou a nití k pohybu oček, proto se při pohybu jehelního lůžka vzhůru hřeben uzavíracích platin vsune mezi jehly a přidržuje starý řádek do doby, než jehly dosáhnou uzavírací polohy. Po uzavření starého řádku se uzavírací hřeben vrací do základní polohy. Pro zamezení překlopení jazýčku, nebo-li uzavření háčku jehly po sklouznutí oka z otevřeného jazýčku na stvol, je na uzavíracích platinách umístěn srážecí drát (obr. 8.9).



Obr. 8.8 Schéma rašlového stroje

Tvorbu oka na osnovním stroji podrobněji popisuje např. DANĚK [6], MATÁSEK [33]. Na strukturu pleteniny bude mít také vliv poslední fáze tvorby oka, tj. odhoz a zatahování. Po klesnutí hlavy jehly pod horní hranu platin dojde k odhozu oka z hlavy jehly do nové kličky. Odhozem vzniká nové oko z nitě, jejíž jeden konec vychází z předcházejícího řádku a druhý přichází z kladecí jehly a osnovního válu. Po odhazování se platina pohybuje dopředu a provádí se zatahování se současným posouváním pleteniny pod spodní stranou platiny, aby se v následujícím okamžiku mohly jehly opět zvednout. Zhotovený řádek osnovní pleteniny se vyrovnává a formuje.

Vzhledem k tomu, že se odhoz starého oka provádí pomocí pevného hřebene **odhazovacích platin** (obr. 8.9), má pohyblivá platina pouze funkci uzavírací. Platiny spodní hranou drží starý řádek a brání tak jeho případnému pohybu vzhůru.



Obr. 8.9 Postavení platiny

Pohyb platinového lůžka, stejně jako pohyb jehelního lůžka, je odvozen od vaček nebo excentrů umístěných ve spodní části stroje. Platinové lůžko koná vodorovný, mírně obloukový pohyb dopředu a zpět. Ramena s platinovým lůžkem jsou uložena na hřídeli. Otáčivý pohyb vaček nebo excentrů se přenáší pomocí vahadel na kývavý pohyb ramene, a tím i platinového lůžka.

8.3.1.1 *Privádění materiálu k pracovnímu ústrojí a odvádění pleteniny*

1. **Privádění.** Ve většině případů se pro pletení používá uložení osnovních nití na osnovních válech. Na osnovních strojích se zpracovává nasnovaná osnova, u které je rovnoměrnost podávání jednotlivých nití dána kvalitou nasnování. Nítě jsou zpravidla vedeny přes jednu nebo několik vodicích tyčí k napínacím lištám a přes hřebeny do kladecích jehel kladecích přístrojů (KP) (obr. 8.8). Napínací lišty mají za úkol vyrovnávat výchylky v napětí nití na stroji při změnách polohy KP. Jedná se hlavně o vyrovnávání napětí nití při výkyvu KP mezi jehlami. Zároveň se velmi často používá napínací lišty jako čidla pro zařízení regulující podávání osnovy.

Pro získání kvalitní pleteniny je nezbytné zajistit u osnovního pletařského stroje pokud možno **konstantní tahovou sílu všech nití** po celou dobu pletení. V případě návinnu osnovních nití na vál se provádí regulace pasivním nebo aktivním způsobem. U pasivního podávání nití je osnovní vál přibrzděn a osnova si vlastním tahem provádí odbrzdění a přitom i podávání.

Mechanismus odvádějící hotovou pleteninu musí zabezpečovat dvě funkce:

- vytváření tahové síly pleteniny, která je technologicky nutná pro správnou tvorbu oka. Konstantní tahová síla má vliv na stejnoměrnost struktury. (Složka odtahové síly působí proti zvedání jehel.),
- odvádění pleteniny od pracovního ústrojí,
- vytváření zásoby zboží na stroji.

Zajistit stejné podmínky pro pletení na celém lůžku není snadné. V důsledku srážlivosti pleteniny v příčném směru ihned po opuštění pracovního prostoru dochází k zešíkmení a prohnutí řádků v okrajových částech pletené metráže. Aby řádky byly kolmé na sloupky, musela by délka sloupků oček být po šířce pleteniny rozdílná. V krajích jsou sloupky odtahovány šikmo.

2. **Odvádění.** Osnovní stroje - rašly mají uzavírací a odhozové platiny, které plně nezajišťují správnou polohu a uchycení, vedení oka (jako např. u osnovního stávků, kde je oko uzavřeno v hrdle platiny), proto nemohou pracovat bez odtahu. Odtah je důležitým činitelem pro tvorbu pleteniny se stejnou hustotou. Je-li pletenina odtahována intenzivně, vzniknou delší řádky oček a pletenina je řidší. V opačném případě, tj. při volnějším odtahování, vznikají menší řádky oček a pletenina je hustší.

Vytváření tahové síly osnovy [25]

Tahová síla může být pro všechny osnovní nitě současně určena třeba opásáním osnovy přes brzděný nebo poháněný válec nebo soustavu válců, dominuje ale určování tahu osnovy prostřednictvím otáčení osnovního válů.

Pozitivní odtah

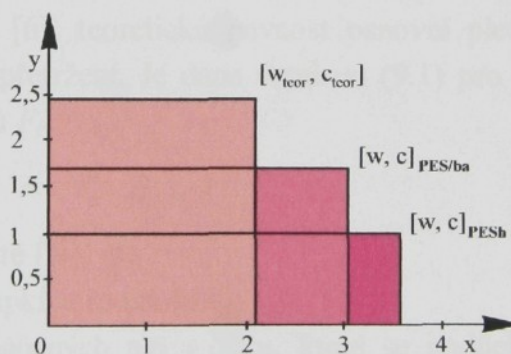
Umožňuje konstantní odvádění vytvořené pleteniny. Např. DANĚK [6] ho popisuje následovně. Pletenina je vedena od pracovního ústrojí přes soustavu odtahových a napínacích válců k navíjecímu válů (obr. 8.8). Přitom dva válce jsou hnané (pozitivně) přes převodovku

s výměnnými ozubenými koly. Vzájemný poměr zubů hnacích a hnaných ozubených kol bývá udáván tabulkou, kterou dodává výrobce stroje. Další dva válce jsou válce napínací a jejich nastavením lze seřadit velikost opásání pleteniny kolem odtahových válců. Aby odtahový válec neprokluzoval, je potažen drsným povlakem (plst'). Navijecí (zbožový) vále dostává pohon prostřednictvím ozubeného nebo třecího převodu. S narůstajícím průměrem navinuté pleteniny se musí rychlost otáčení zbožového válu snižovat. To je zajištěno prostřednictvím pružinové třecí spojky, u které se s přibývajícím průměrem navinuté pleteniny zvětšuje přítlak třecí spojky a navijecí válec prokluzuje. Odtahové válce se umísťují co nejblíže k pracovnímu ústrojí, čímž se zabezpečí dokonalé vedení pleteniny.

Vzorky osnovních pletenin byly vyrobeny na rašlovém stroji typu RML – 6 – F, 42“, ER 24 fy Karl Mayer. Je to laboratorní stroj, počet kladecích přístrojů je 6, F znamená, že na stroji je srážecí plech, který při výrobě nebyl použit. Dělení stroje je 24 E.

8.4 Shrnutí

Jak už bylo mnohokrát uvedeno, geometrické vlastnosti osnovních pletenin závisí na použitém materiálu, což závěrem také dokazuje obr. 8.10, kde je zakreslena velikost strukturální jednotky PESh a 65PES/35ba vzorku VI (nejnižší hustota), které bylo dosaženo relaxačními procesy. Zatím nelze před zhotovením vzorků osnovních pletenin stanovit, jaké rozměry bude mít strukturální jednotka a potom z toho odvodit směrovou tažnost pleteniny, která souvisí s jejím srážením.



Obr. 8.10 Změna velikosti strukturální jednotky (VI) trikotu z PESh a 65PES/35ba po relaxaci

Za logičtější bylo považováno uvést srovnání skutečné délky nitě v očku s délkou nitě v očku ve vlastních návrzích modelů struktury typu A a B v kap. 6.4 za těmito navrženými modely. Proto zde není větší zmínka o strukturálním parametru délka nitě v očku.

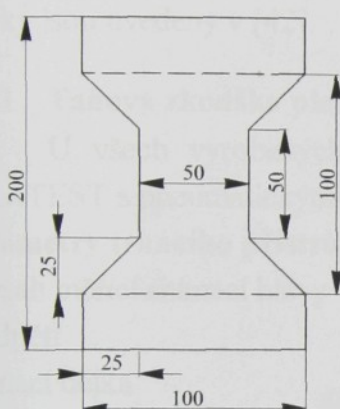
Je nutno také souhlasit s tvrzením DUŠKA [9], že hustota řádků osnovních pletenin nastavená na stroji $H_{f_{teor}}$ neodpovídá hustotám naměřeným na vyráběné pletenině ve stroji. V tomto případě je hustota v průměru v prostoru mezi jehlami a odváděcími válečky o 10 – 15 řádků vyšší než teoretická hustota udávaná výrobcem rašlového stroje.

Je třeba doplnit, že hustota osnovních pletenin kolísá asi o 5 %, proto není účelné vyžadovat od teoretického geometrického modelu struktury pleteniny větší přesnost pro stanovení délky nitě v očku / než $\pm 5 \%$.

9 Mechanicko-fyzikální vlastnosti osnovních pletenin

9.1 Definice pevnosti a tažnosti

Podle charakteru namáhání se rozlišuje pevnost směrová, kdy je zatížení jednosměrné (obvykle ve směru sloupků nebo řádků) a plošná (KOČÍ [21]). **Pevnost** je dána zatížením [N] potřebným k přetržení daného vzorku. Pro směrovou pevnost je stanoven vzorek podle obr. 9.1. Pevnost se vztahuje na užší část vzorku, rozšíření u čelistí je proto, aby v tomto místě nedocházelo k přetrhu.



Tab. 9.1 Vypočítané hodnoty pevnosti pleteniny (trikot - PESh)

Č.	H_f [m ⁻¹]	H_s [m ⁻¹]	k (sloupek)	k (řádek)	F_f [F m ⁻¹]	Fsl [F m ⁻¹]
I	1880	540	3	1	5130	53580
II	1840	540	3	1	5130	52440
III	1460	460	3	1	4370	41610
IV	1360	380	3	1	3610	38760
V	1280	360	3	1	3420	36480
VI	960	280	3	1	2660	27360

Obr. 9.1 Tvar vzorku pro zjišťování pevnosti a tažnosti pletenin

Jak uvádí DANĚK [6], teoretická pevnost osnovní pleteniny se vyjadřuje sumární pevností nití odolávajících přetržení. Je dána vztahem (9.1) pro pevnost pleteniny ve směru sloupků F_s a ve směru řádků F_f ,

$$F_{s,f} = F_n \cdot H_{s,f} \cdot k, \quad (9.1)$$

kde F_n je pevnost použité nitě [N],

H_s, H_f jsou hustoty sloupků a řádků [m⁻¹],

k vyjadřuje počet namáhaných nití v očku, které se podílejí na pevnosti pleteniny (ve směru sloupků je roven 3, ve směru řádků 1).

V tab. 9.1 jsou uvedeny vypočítané hodnoty pevnosti pleteniny ve směru řádků a sloupků podle vztahu (9.1). Jak bude uvedeno dále, neodpovídají experimentálním hodnotám

Podle ČSN 80 0700 je **tažnost** dána prodloužením vzorku zjištěném při přetržení a vyjádřeném v [%] upínací délkou. Směrová tažnost je ve směru sloupků a řádků vyjádřena vztahem (9.2)

$$\varepsilon_{pr} = \frac{l - l_u}{l_u} \cdot 100, \quad (9.2)$$

kde ε_{pr} je tažnost při přetrhu [%],

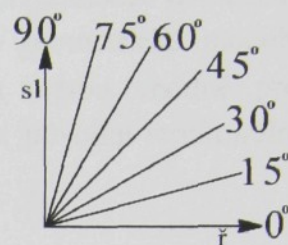
l_u značí původní (upínací) délku [mm],

l vyjadřuje délku vzorku při přetrhu [mm].

Tažnost osnovních pletenin je výrazně závislá na druhu vazby a lze ji snadno ovlivnit. Směrová tažnost je dána především orientací jednotlivých úseků nití zúčastněných na struktuře pleteniny.

9.2 Zjišťování směrové pevnosti a tažnosti pletenin ve vazbě uzavřený trikot

U vzorků (PESh) uvedených a označených I - VI v kap. 8.2 tab. 8.1 byly provedeny tahové zkoušky na trhacím přístroji TIRATEST. Směr orientace vzorků byl zvolen s úhlovým krokem 15°, tedy 0°, 15°, 30°, 45°, 60°, 75°* a 90°. Všechny jednotlivé tahové křivky jsou uvedeny v [42].



9.2.1 Tahová zkouška pletenin

U všech vyrobených vzorků byla provedena tahová zkouška na trhacím přístroji TIRATEST s pneumatickými čelistmi.

Parametry trhacího přístroje:

Rozsah měřicí snímací hlavy	1 kN
Předpětí	0 N
Upínací délka	$l_u = 100 \text{ mm}$
Doba do přetrhu vzorku	$t = 50 \pm 10 \text{ s}$

9.2.2 Obecný popis tahových křivek při zkoušce 1-osého namáhání

Deformace pleteniny ve směru sloupků - 90°:

Orientace nitě v očku a ve spojovací kličce způsobí, že při deformaci po sloupcích se nejprve skloněné očko a spojovací klička narovnávají ve směru působících sil. Při tom probíhá „malá“ tvarová změna geometrie osy nitě v očku (ve srovnání s 1-osou deformací ve směru řádků je menší) se vzájemným posuvem nití ve vazných bodech, jejichž poloha se na niti nemění tak zásadně. U reálných pletenin je průběh tahové deformační křivky plynulejší, neboť je možná i určitá deformace i před překonáním třecích odporů (nepřekonávají se skokem) a třecí síly mezi nitěmi začínají působit plynule. Tudíž počátek nárůstu křivky je pozvolný a velmi blízký ose x.

Deformace pleteniny ve směru řádků - 0°:

Při 1-osé deformaci v příčném směru vnější síly způsobí, že ihned začne docházet k výraznému přesunu nitě z části očka do spojovací kličky. Tím se mění poloha vazných bodů (míst překřížení), a to podstatně. Zmenšuje se sklon spojovací kličky (stává se téměř rovnoběžnou se směrem působících sil) a rovněž rozteč řádků.

Při úvaze variačních koeficientů je rozložení tahových křivek osnovní vazby uzavřeného trikotu obecně v této uvedené posloupnosti od nejmenších hodnot tažnosti: 0°, 15°, 30°, 45°, 75°, 60° a 90°. Tzn., že **největší** hodnoty **tažnosti** a nejmenší hodnoty pevnosti byly zjištěny ve směru 90° - **v podélném směru** (směr sloupků). Tuto skutečnost lze vysvětlit

* 75° znamená, že úhel mezi řádky pleteniny a vnější působící tahovou silou je 75°.

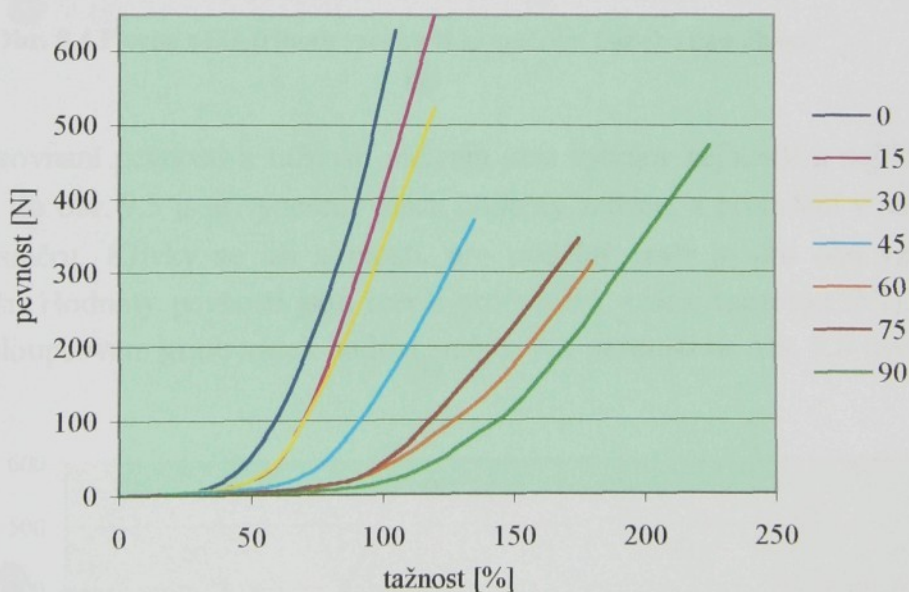
tím, že sice dochází k největší změně tvaru strukturální jednotky a rozměru rozteče v příčném směru (0°), ale hustota sloupků pleteniny je mnohem menší než hustota řádků, proto bude i menší počet strukturálních jednotek na upínací délku ve směru řádků, a tím bude prodloužení nebo tažnost ve směru 0° menší.

Z toho vyplývá, že pouze znalost tvaru strukturálních jednotek při jednoosé deformaci nepostačuje pro srovnání směrových tažností. Rovněž také obecné geometrické modely struktury, které neodráží skutečné geometrické parametry pletenin nejsou vhodné pro vyslovení tvrzení, ve kterém směru bude vazba tažnější. Je nutno znát původní strukturální parametry pletenin.

9.2.2.1 Pracovní křivky osnovní pleteniny a jejich vyhodnocení

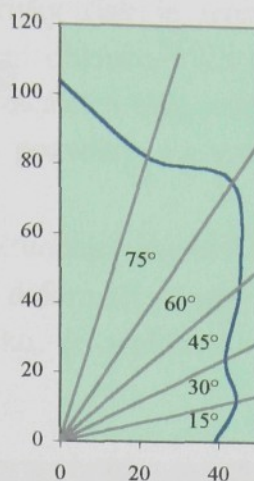
Experimentální vyhodnocení. U všech vyrobených vzorků zavřeného trikotu o rozměrech předepsaných ČSN byly provedeny zkoušky 5-ti vzorků na trhačím přístroji TIRATEST. Byl proveden grafický záznam tahových zkoušek, vyhodnocené hodnoty směrové pevnosti a tažnosti byly zpracovány (střední hodnota, směrodatná odchylka, variační koeficient) a tabulky jejich hodnot jsou uvedeny v příloze 2.

Pro ukázkou jsou vybrány tahové křivky vzorku II. Pracovní diagramy jsou zobrazeny na obr. 9.2, kde je vidět jejich rozložení a je také možné sledovat směrovou závislost mechanicko - fyzikálních vlastností vazby uzavřeného trikotu (PESh).



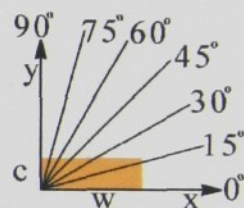
Obr. 9.2 Tahové křivky pleteniny II ve vazbě uzavřený trikot (PESh)

Na obr. 9.3 jsou do polárního diagramu pro jednodušší srovnání vyneseny hodnoty tažnosti osnovní pleteniny v definovaných směrech při konstantní tahové síle $F = 25$ N (lineární oblast tahových křivek). Graf ukazuje rozdílnost směrové tažnosti trikotu a výraznou anizotropii tažnosti danou vlastnostmi délkového materiálu nebo druhem (volbou) vazby. **Ve směru sloupků je pletenina podstatně tažnější** a lépe se bude přizpůsobovat prostorovým tvarům.



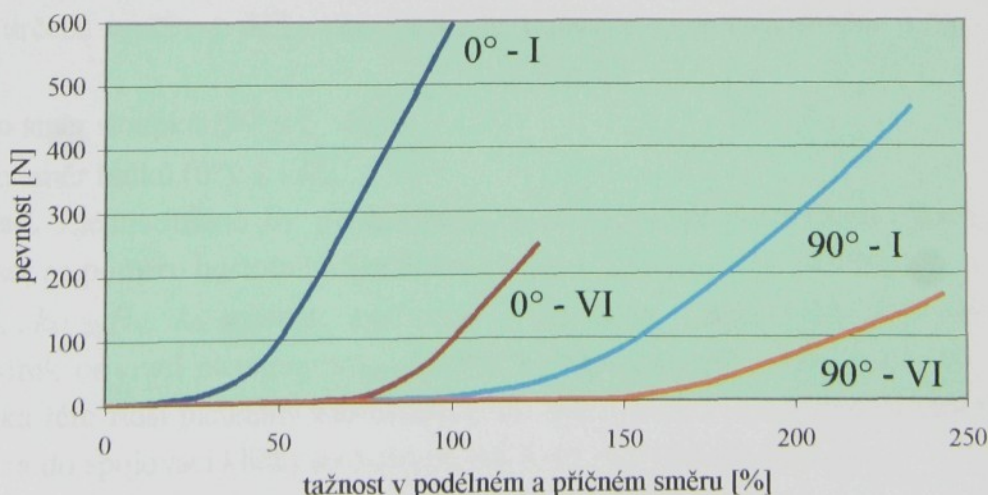
Obr. 9.3 Polární diagram směrové tažnosti [%] osnovní pleteniny ve vazbě uzavřený trikot (vzorek II - PESh) při konstantním zatěžování $F = 25 \text{ N}$

Dalším zdůvodněním rozložení tahových křivek může být vliv počtu opakujících se elementů ve směru namáhání. Na obr. 9.4 je znázorněna plocha strukturální jednotky vzorku II (PESh) daná roztečemi sloupků w a řádků c . Je vidět jejich poměr a také, v kterém směru bude největší počet opakujících se elementů na jednotku délky. Směrem k 90° stupňům (směr sloupků) bude vzrůstat. Proto tažnost bude také vzrůstat.



Obr. 9.4 Plocha oka trikotu vzorku II se směrem 1-osého namáhání

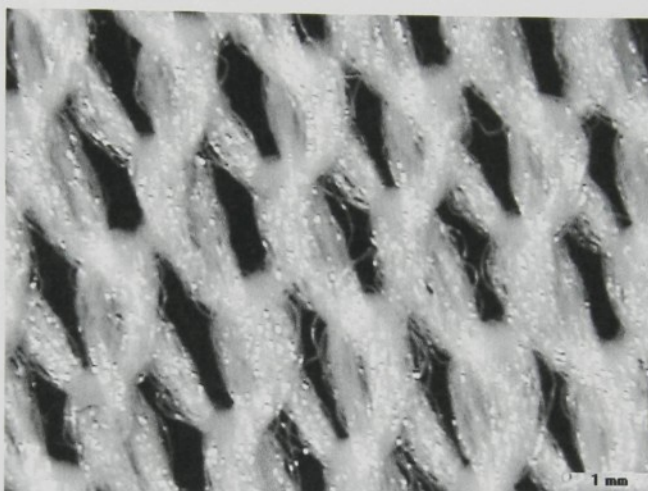
Pro srovnání pevnosti a tažnosti pletenin jsou vybrány nejhustší a nejřidší vzorky I a VI – PESh a do obr. 9.5 jsou vyneseny jejich hodnoty zatížení a protažení v podélném 90° a příčném 0° směru. Křivky se liší strmostí, pro podélný směr je pro oba vzorky pletenin strmost menší. Hodnoty pevnosti jsou menší pro vzorek s nižší hustotou (VI), což lze také sledovat na sloupcovém grafu všech hodnot směrových pevností na obr. 9.8 uvedeném v další kap. 9.2.4.



Obr. 9.5 Tahové křivky osnovní pleteniny ve vazbě uzavřený trikot (vzorky I a VI – PESh)

V prvním úseku tahové křivky (jak je označen v kap. 7.2.1, obr. 7.1) dochází k narovnání sklonu oka, k napřímení obloukovitých částí, tím se posouvají vazné body a místa překřížení nitě. V samotných začátcích deformačního diagramu je nárůst síly potřebný pro deformaci všech vzorků hodně pozvolný. Ke změně hodnoty strukturálních parametrů (roztečí) postačí minimální síla < 1 N.

Na obr. 9.6 je vidět tvar strukturálních jednotek trikotu při 1-osé deformaci zjištěné na obrazové analýze LUCIA. Např. při deformaci ve směru 30° lze pozorovat, že délka nitě ve strukturální jednotce, kterou je oko, je v ploše **konstantní**, ale je rozdílná délka jejich jednotlivých částí.



Obr. 9.6 Struktura trikotu při 1-osé deformaci ve směru 30° (PESh)

9.2.3 Vlastní teoretické předpoklady pro odvození tažnosti vzorků trikotu s různou hustotou (PESh, 65PES/35ba)

Pro vazbu osnovní pleteniny trikot vyrobenou z různých materiálů s „podobnou“ charakteristikou zatížení – protažení je navržena tato hypotéza: Velikost tažnosti pletenin bude kromě jiného záviset na množství – spotřebě zapletené nitě na jednotku délky (např. 10 cm) ve směru 1-osého namáhání (lze určit jen pro směr řádků a sloupků). Spotřeba nitě může být určena součinem délky nitě v oku l_i^* a počtem oček na jednotku délky – příslušnou hustotou:

- pro směr sloupků (90°): $l_i \cdot H_s$,
- pro směr řádků (0°): $l_i \cdot H_r$.

Předpoklad. Zjednodušeně lze předpovídat, že směrová tažnost vybrané osnovní pleteniny bude záviset na poměru hustotního koeficientu $w_i/c_i = H_{ri}/H_{si} = k_{hi}$. Jestliže:

- $H_{si} \cdot k_{hi} = H_{ri}$, $k_{hi} \approx konst.$, potom se snižující se hustotou (řádků i sloupků) bude vzorek osnovní pleteniny vždy tažnější v obou směrech (větší délka nitě v oku). U oka této řidší pleteniny s konstantou k_{hi} může dojít k většímu přeskupení nitě z části oka do spojovací kličky a obráceně, může se měnit jejich sklon, atd.

* Indexy jsou podle označení vzorků pleteniny, tj. $i = \text{II, IV, VI}$.

- jestliže $l_i \cdot H_f > l_i \cdot H_s$, potom tažnost $\varepsilon_s > \varepsilon_f^*$,
- jestliže $l_i \cdot H_f < l_i \cdot H_s$, potom tažnost $\varepsilon_s < \varepsilon_f^*$,
- $H_{si} \cdot k_{hi} = H_{fi}$, $k_{hi} \neq \text{konst.}$, potom se snižujícím se koeficientem k_{hi} musí klesat rozdíl mezi oběma hustotami.
 - Klesá-li hustota řádků více (roste rozteč řádků), bude v uvažovaném vzorku menší počet strukturálních jednotek, bude se zmenšovat zapletená délka nitě ve směru sloupků, což se projeví menší tažností v podélném směru (90°).
 - Klesá-li hustota sloupků méně (menší rozteč sloupků), bude ve vzorku větší počet strukturálních jednotek. Tažnost vzorků v příčném směru (0°) se snižující hustotou bude vzrůstat (větší délka nitě v očku), protože zprohýbaná nit je na menší délce.

U poměrně velkých hodnot hustot H_c nemusí hypotéza úplně platit. Při úvaze pleteniny jako 2D útvaru bude zkreslení délky nitě v očku u hustších pletenin větší v důsledku vlivu zprohýbání nitě ve směru tloušťky pleteniny a přeskupení nitě a posun vazných bodů nebude tak velký v souvislosti se strukturálními parametry.

Touto hypotézou při úvaze koeficientu k_{hi} lze jednoduchým způsobem přibližně předpovídat (pozor! ne velikostně) a srovnávat směrové tažnosti osnovní pleteniny ve směrech sloupků a řádků, popř. srovnávat tažnosti dvou osnovních vazeb z různého druhu materiálu. Dále nelze zkonstatovat, že směrová tažnost pro směr různý od 0° , 90° bude ležet v intervalu mezi hodnotami tažnosti v podélném a příčném směru.

9.2.3.1 Experimentální vyhodnocení směrové pevnosti a tažnosti osnovní pleteniny

V následující tab. 9.2 je uvedeno srovnání naměřených hodnot tažností a pevností osnovní pleteniny ve vazbě uzavřený trikot.

Tab. 9.2 Hodnoty pevnosti a tažnosti vzorků z PESH a65PES/35ba

TRIKOT	PESH		65PES / 35ba	
	PEVNOST[N]		PEVNOST[N]	
Č.	ve směru sloupků (90°)	ve směru řádků (0°)	ve směru sloupků (90°)	ve směru řádků (0°)
II	472	628	208	304
IV	277	499	169	193
VI	164	247	108	123
Č.	TAŽNOST[%]		TAŽNOST[%]	
	ve směru sloupků (90°)	ve směru řádků (0°)	ve směru sloupků (90°)	ve směru řádků (0°)
II	224	105	142	87
IV	218	110	58	83
VI	242	126	43	106

* ε_s - tažnost ve směru sloupků souvisí s počtem oček v podélném směru, tj. s hustotou řádků H_f (obdobně pro tažnost ve směru řádků).

U obou materiálů je vidět rozdíl v posloupnosti hodnot tažností (nejvyšší barvou je označena buňka s nejvyšší hodnotou). Na rozdíl od trikotu (PESh), který je nejtažnější ve směru sloupků (90°) s nejnižší hustotou (nejřidší), vazba trikotu vyrobená z 65PESh/35ba je v tomto směru s odpovídajícím nastavením stroje nejméně tažná. To však odpovídá teoretickému předpokladu. Podílem hustot z tab. 9.3 lze zjistit velikosti hustotních koeficientů k_{hi} pro oba materiály. U materiálu 65PES/35ba k_{hi} není konstantní, proto by měla tažnost ve směru 90° (sloupky) se snižující hustotou klesat a ve směru 0° obráceně. U vzorku trikotu z PESH označeného IV je tažnost menší než u II. Je to zřejmě způsobeno nestejnou hustotou pleteniny, možná i odchylkou naměřených hodnot, když v některých případech variační koeficient tažnosti při přetrhu dosahoval vyšších hodnot (příloha 2).

Tab. 9.3 Hustotní součinitel pletenin z PESH a 65PES/35ba

Č.	PESH			65PES / 35ba		
	$H_f [m^{-1}]$	$H_s [m^{-1}]$	k_{hi}	$H_f [m^{-1}]$	$H_s [m^{-1}]$	k_{hi}
II	1840	540	3,41	1840	550	3,35
IV	1360	380	3,58	1060	440	2,41
VI	960	280	3,43	600	320	1,88

Dále:

- obecně je větší rozdíl ve směrové tažnosti 90° a 0° u všech vzorků vyrobených z PESH (hodnoty 242 % a 126 %),
- se snižující hustotou tažnost ve směru 90° u vzorku z 65PESH/35ba klesá téměř o 60 % (hodnoty 142 % a 43 %), u ostatních vzorků a v jiném směru pokles není tak výrazný.

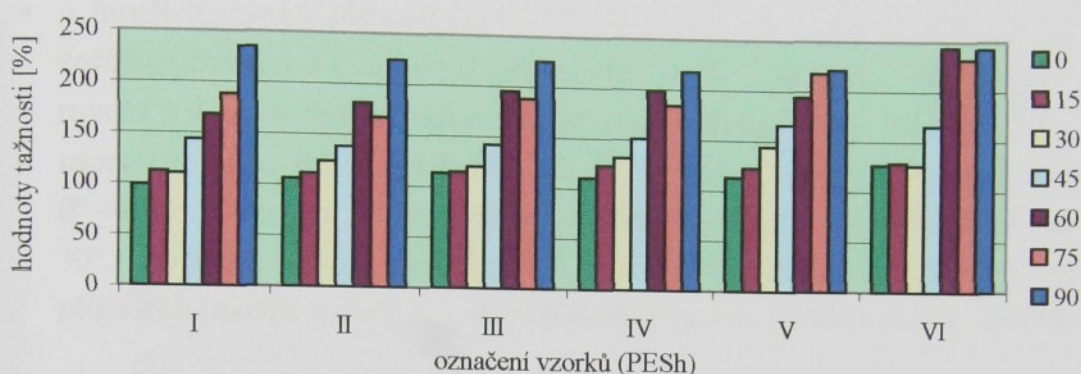
Výrazná rozdílnost tažnosti u materiálů PESH a 65PES/35ba (stejný způsob provázání) a její anizotropie tažnosti nemůže být daná pouze druhem použité vazby. Protože jsou strukturální parametry pletenin ovlivněny vlastnostmi délkového materiálu, budou i jím ovlivněny vlastnosti deformační.

V tab. 9.2 jsou také zaznamenány hodnoty pevnosti osnovní pleteniny. Předpoklad, že se zvyšující hustotou bude pevnost vzrůstat, se potvrdil. U obou použitých materiálů je pevnost vyšší ve směru řádků, ačkoli se na ní podílejí střídavě dvě a jedna nit očka, jak je obecně uváděno v odborné literatuře. Oproti tkanině, kde je přímé namáhání nitě na tah, v pletenině na nit působí kombinované namáhání dané geometrií nitě v její struktuře. Proto bude mít pravděpodobně vliv pevnost nitě ve smyčce, která dosahuje podle [62] hodnoty pevnosti v tahu u PESH technického typu 60 – 70 % pevnosti za sucha nebo pevnost v uzlu – 70 % pevnosti za sucha. Dále počet vazných bodů a další charakteristiky vazby.

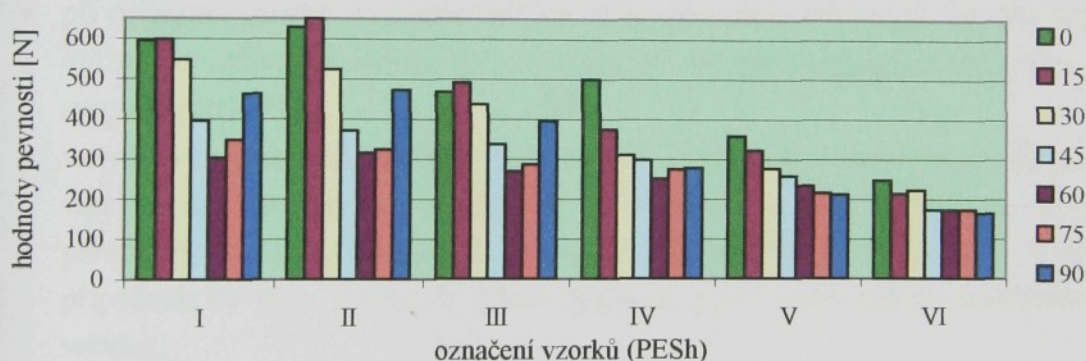
Směrová závislost pevnosti je opět výraznější u pleteniny vyrobené z PESH. Vzorky zhotovené z 65PESH/35ba mají obecně nižší hodnoty pevnosti, což bude pravděpodobně způsobeno samotnou pevností délkového materiálu (kap. 5.4).

9.2.4 Experimentální hodnoty 1-osé směrové pevnosti a tažnosti pleteniny (PESh) ve směrech 0° , 15° , 30° , 45° , 60° , 75° a 90°

V grafu na obr. 9.7 jsou znázorněny hodnoty směrové tažnosti vzorků osnovní pleteniny v definovaných směrech. Je vidět, že u nejřidší pleteniny (VI) je díky volné struktuře možnost většího přesunu nitě, proto je tažnost vyšší a také proto jsou bližší hodnoty „blízkého“ směru namáhání, tj. 0° , 15° , 30° a 60° , 75° , 90° . Hodnota tažnosti při přetrhu ve směru 45° je někde mezi oběma hodnotami uvedených skupin.



Obr. 9.7 Směrová závislost tažnosti vzorků s vazbou uzavřený trikot (PESH)



Obr. 9.8 Směrová závislost pevnosti vzorků s vazbou uzavřený trikot (PESH)

Na dalším obr. 9.8 je graf směrových hodnot pevnosti osnovní pleteniny vyrobené z PESH na rašlovém stroji. Nelze poměrně jednoduše vysledovat závislost pevnosti na směru namáhání. U nejřidší pleteniny jsou hodnoty pevnosti vyrovnanější (zřejmě důsledek přesunu nitě). Obecně lze konstatovat, že vazba trikot je nejméně odolná pevnosti ve směru 45° – 60° , kdy k přetrhu stačí přerušit jednu nit spojovací kličky.

Není zrovna nejvhodnější sledovat pouze hodnoty pevnosti a tažnosti pletenin. Jsou to hodnoty mezní a „dovolené“ hodnoty zatížení se obvykle volí menší. Je důležitější zaznamenat a vyhodnotit tvar (průběh) tahové křivky, protože dva vzorky mohou mít stejnou hodnotu pevnosti, ale rozdílný tvar tahové křivky, jak je uvedeno v kap. 7.2.1.

Při experimentálním provedení tahové zkoušky bylo zjištěno, že získané hodnoty pevnosti neodpovídají vztahu (9.1). Dochází zřejmě k působení dalších faktorů a vazeb mezi

délkovým materiálem a textilií (ke kombinaci pevnosti nitě v tahu a ve smyčce), které zatím nejsou známe a které ovlivňují naměřené výsledné hodnoty.

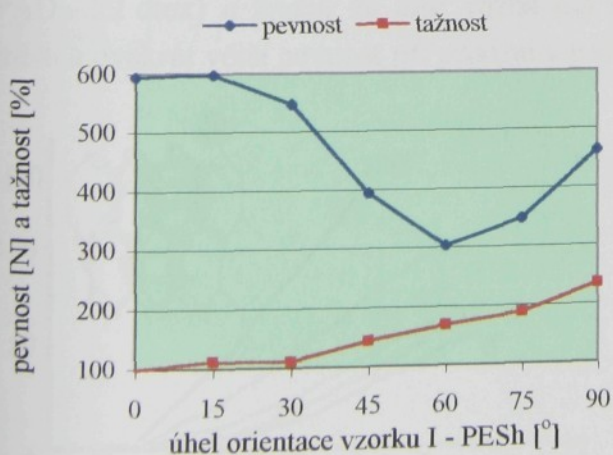
Pro lepší názornost jsou z hodnot pevnosti a tažnosti sestaveny na obr. 9.9 – 9.14 jejich závislosti na směrové orientaci vzorků $0^\circ \rightarrow 90^\circ$ při úhlovém kroku 15° . Je možné vysledovat následující závislosti.

Pro pevnost:

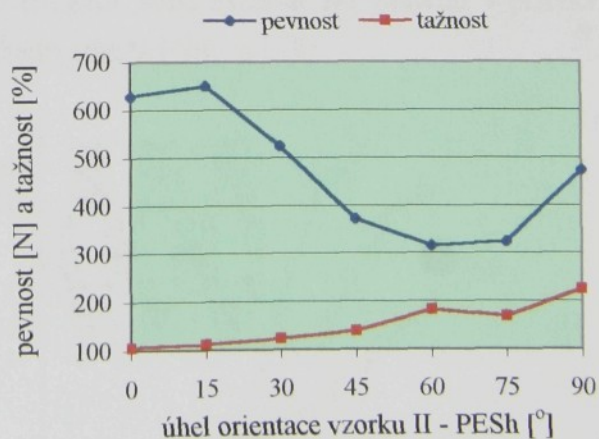
- u hustších vzorků pletenin (I, II, III) je pokles pevnosti ve směru $0^\circ \rightarrow 60^\circ$ ze začátku pozvolný a v některých případech je pevnost ve směru 15° největší,
- rovněž u této skupiny vzorků je patrný menší nárůst pevnosti ve směru $60^\circ \rightarrow 90^\circ$,
- naproti tomu u řidších pletenin (IV, V, VI) klesá pevnost nepřetržitě ve směru $0^\circ \rightarrow 90^\circ$. U vzorku VI jsou zřejmě patrné nerovnoměrnosti v hodnotě pevnosti ve 30° , kdy nelze snadno proložit křivku naměřenými hodnotami jako v předchozích případech (možná v důsledku vyšších hodnot variačních koeficientů – příloha 2).

Pro tažnost:

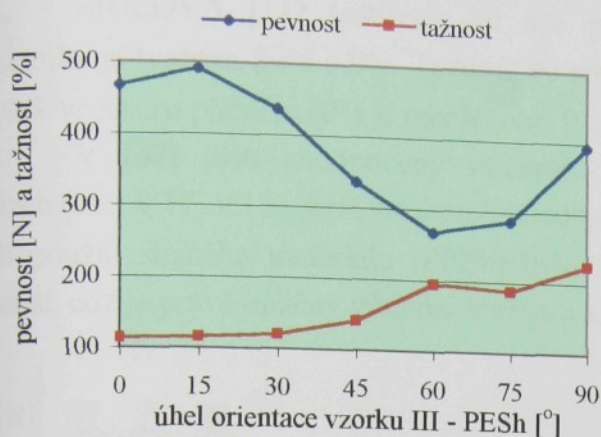
- lze vysledovat nárůst hodnot tažnosti při přetrhu ve směru $0^\circ \rightarrow 90^\circ$ téměř u všech vzorků,
- při orientaci vzorků ve směru 60° lze zjistit nerovnoměrnost (II, III, IV, VI), která může být ovlivněna deformací struktury při jednoosém zatěžování (sklon oček a spojovacích kliček),
- vzorek VI vykazoval náhlou změnu při 60° . U pletenin s menší hustotou je třeba se více věnovat manipulaci a přípravě vzorků, která může ovlivňovat strukturální parametry a tudíž následně hodnoty mechanických vlastností. V některých případech by bylo vhodnější přímo zjišťovat počet elementů na testovanou délku vzorku.



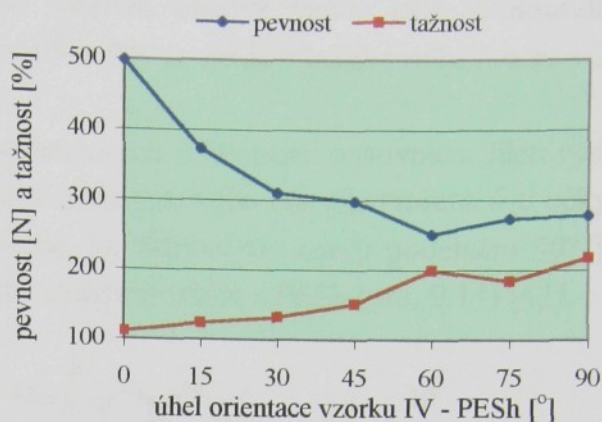
Obr. 9.9 Směrová závislost pevnosti a tažnosti vzorků (PESh- I)



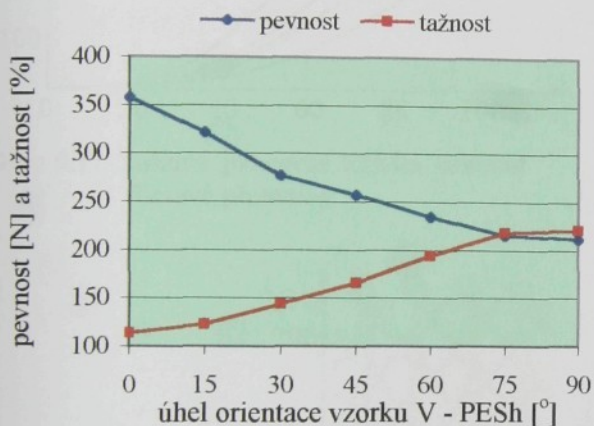
Obr. 9.10 Směrová závislost pevnosti a tažnosti vzorků (PESh- II)



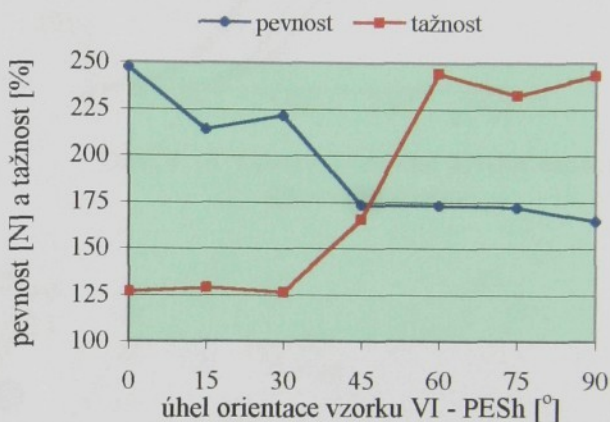
Obr. 9.11 Směrová závislost pevnosti a tažnosti vzorků (PESh- IIII)



Obr. 9.12 Směrová závislost pevnosti a tažnosti vzorků (PESh- IV)



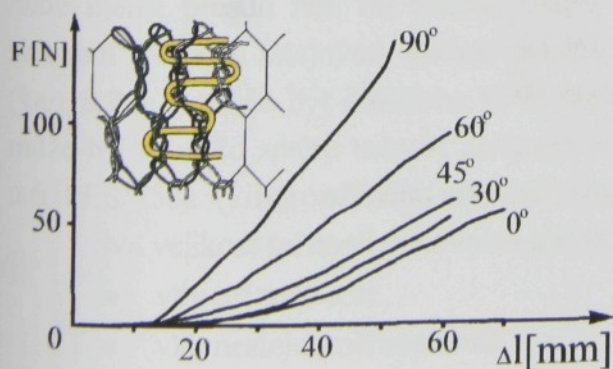
Obr. 9.13 Směrová závislost pevnosti a tažnosti vzorků (PESh- V)



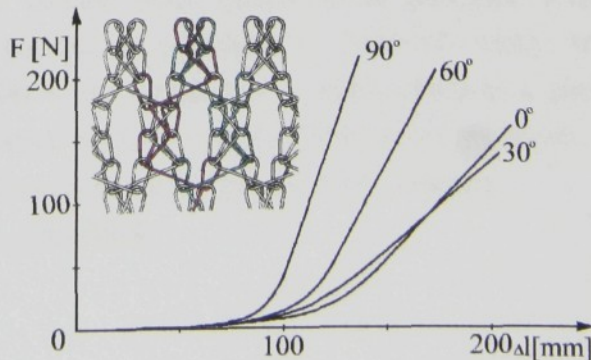
Obr. 9.14 Směrová závislost pevnosti a tažnosti vzorků (PESh- VI)

9.2.5 Shrnutí poznatků především o tažnosti osnovních pletenin

Tažnost osnovních pletenin je silně závislá na konkrétní **vazbě**, lze ji snadno ovlivnit. LASIĆ [32] zjišťoval tažnost osnovní pleteniny – jednoočkový tyl s kladením jen pod jehlami (PAD – 22 dtex) a zjistil, že tato vazba má asi dvakrát větší tažnost při přetrhu v příčném směru a dvakrát větší pevnost při přetrhu v podélném směru (obr. 9.15).



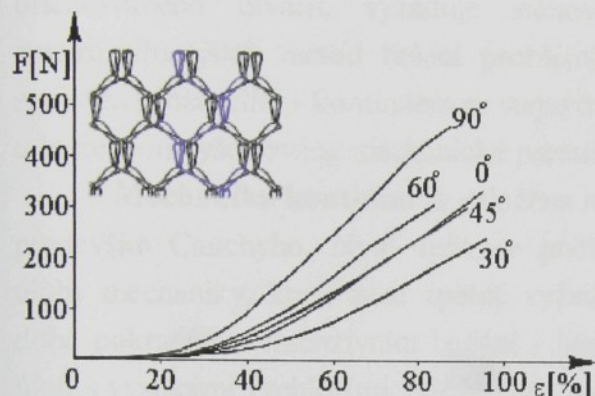
Obr. 9.15 Tahová pracovní křivka osnovní filetové pleteniny



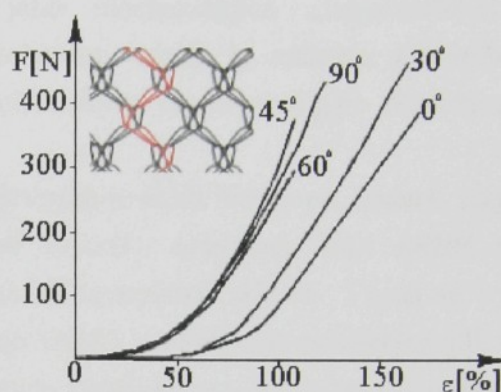
Obr. 9.16 Tahová pracovní křivka osnovní filetové pleteniny

EIGLOVÁ [11] testovala ve své práci osnovní filetové vazby jejíž strukturální jednotka je tvořena 8-mi očky. Tažnost ve směru $0^\circ \rightarrow 90^\circ$ se neliší v takové míře pro $k_h \approx 2$, avšak ve směru příčném (0°) je menší (obr. 9.16).

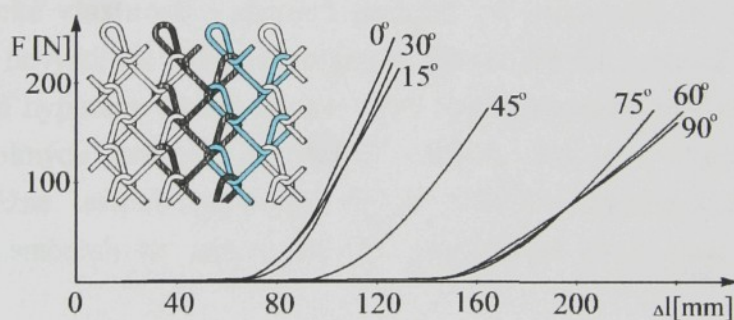
V [47] jsou zhodnoceny výsledky mechanických vlastností osnovních filetových vazeb (obr. 9.17, 9.18), jejíž strukturální jednotka 6-ti úhelníkového tvaru je tvořena 6-ti očky. Při použití stejného materiálu (PESh) bylo zjištěno, že tažnost ve směru podélném 90° je menší, což je právě opačný výsledek než je u vazby uzavřený trikot z PESh (obr. 9.19) [43].



Obr. 9.17 Tahová pracovní křivka osnovní filetové pleteniny



Obr. 9.18 Tahová pracovní křivka osnovní filetové pleteniny



Obr. 9.19 Tahová pracovní křivka osnovní pleteniny trikot (PESh - VI)

Směrová tažnost je dána především orientací úseků nití (např. spojovacích klíčků) zúčastněných na struktuře pleteniny, které jsou důsledkem vybrané vazby, ale také i druhu **délkového materiálu** (jím budou ovlivněny rozměry strukturálních jednotek). Např., čím menší úhel bude svírat osa oka s podélným směrem, ve kterém je sledována tažnost, tím bude menší přesun nitě do tohoto směru a tažnost bude menší oproti pletenině s větším sklonem oka a stejnými geometrickými parametry pletenin. U osnovní vazby **trikot** (kap. 9.2.3.1) může být dosažena **větší tažnost v podélném směru** než v příčném a zároveň může být v tomto směru tažnost pleteniny s menší hustotou větší (PESh) nebo obráceně, jako u 65PES/35ba (**vliv rozdílného srážení** pleteniny ve stavu při pletení a po relaxaci).

Na velikost tažnosti osnovních pletenin má účinek:

- vliv tažnosti nitě,
- vliv nestejnoměrnosti nitě,
- vliv nestejnoměrnosti pleteniny,
- souvislost mezi tažností nitě a strukturou pleteniny.

10 Určování mechanických parametrů osnovních pletenin

Jak uvádí STRÍŽ [55], mechaniku textilií lze založit na aplikaci rovnic mechaniky kontinua. Každý materiál má svou strukturu, nelze říci, že by mohla být považována za homogenní. Některé soustavy jsou blíže k představě spojitosti prostředí, jiné méně. Platí to i o textilních materiálech.

Výzkum chování textilií [57], jako geometricky i fyzikálně nelineárního, směrově orientovaného útvaru, vyžaduje stanovení jeho mechanických charakteristik. Jednou z nejrozsáhlejších metod řešení problémů mechaniky textilií je náhrada textilního útvaru spojitým prostředím - kontinuem se stejnými mechanickými vlastnostmi jako zkoumaná textilie, u které jsou vyšetřovány mechanické parametry.

Mechanika kontinua je založena na objevných pracích Newtona, Eulera, Lagrangea a především Cauchyho. Nyní aplikace počítačové techniky umožňuje řešit složité nelineární úlohy mechaniky, které zase zpětně vyžadují hlubší teoretické základy. Proto se v současné době pokračuje v intenzivním bádání - hledají se vztahy a závislosti použitelné při formulaci úloh s vysokými rychlostmi zatěžování, vazby mezi různými typy deformací a odpovídajícími různě definovanými napětími apod.

Většina textilních útvarů typu tkanin [54], pletenin, netkaných textilií má zpravidla **rozdílné mechanické vlastnosti** v různých směrech při jednoosém namáhání. Na rozdíl od pevných těles však nevystihuje jednoosá napjatost textilie její mechanické vlastnosti. Proto pro ni nemají pevnostní hypotézy žádný význam. Pro textilií namáhanou dvouosou napjatostí ve dvou vzájemně kolmých směrech je zásadní stanovit, zda tyto směry jsou hlavní i pro deformace. Předběžné testování ukazuje, že při takovém namáhání nedochází v osnovní pletenině v těchto směrech ke zkosu. Za dva ortogonální směry jsou považovány směry sloupků a řádků.

10.1 Matematický popis nelineárního chování pletenin při deformování

Předpokládá se, že všechny sledované vlastnosti materiálu obsaženého uvnitř vytčeného infinitesimálního elementu jsou popsány spojitými funkcemi prostorových souřadnic a jsou stejné jako ty, které se dají experimentálně zjistit u vzorků konečných velikostí.

Model kontinua, přijatý pro řešení určité třídy úloh, bude dávat „správné“ výsledky, bude-li použit v rámci oboru své platnosti. To však nelze matematicky dokázat. Jediným kritériem je experiment. Pokud výsledky experimentu nejsou v rozporu s tím, co model předpovídá, **považuje se model za přijatelný** [56].

Matematický popis nelineárních dějů je složitý a efektivní zápis vyžaduje použití tenzorového počtu. Podrobněji např. v [54, 57].

Při namáhání textilie známými silami m_1 , m_2 působícími v rovině textilie dochází často k velkým přetvořením, jak je uvedeno v [55] a dokazují to také experimentální zkoušky biaxiální deformace (kap. 7.3.3) a zkoušky pevnosti a tažnosti pletenin. To vede k nutnosti **aplikovat nelineární mechaniku kontinua** z důvodů geometrických i fyzikálních. Pro stanovení pružných vlastností textilie lze vyjít z Hookeova zákona pro rovinnou napjatost

anizotropního kontinua. Pro jeho konkrétní zápis je třeba zvolit konjugovanou dvojici tenzorů napětí (v tomto případě poměrných sil) a deformace. Jak uvádí STRÍŽ [57], je známo nejméně pět konjugovaných dvojic. Nejznámější je dvojice symetrického druhého Piola-Kirchhoffa tenzoru napětí a Greenova tenzoru přetvoření, využívaná v materiálové konfiguraci pro technické výpočty, zvláště v softwarech metody konečných prvků. Je obtížné rozhodnout se a jednoznačně určit konkrétní dvojici vhodnou pro určitou aplikaci. Proto byla provedena série – 3 vzorky - experimentů jednoose (ve směru řádků a sloupků) a dvouose namáhaných osnovních pletenin ve vazbě uzavřený trikot PESh. Bylo postupně aplikováno v Hookeově zákoně všech pět konjugovaných dvojic [59]. Zvolené pletenině vyhovovaly pouze dvě dvojice a splňovaly podmínku, aby na celém intervalu hodnot zatěžujících sil byly moduly pružnosti konečné. Vzhledem k tomu, že v lineární pružnosti se využívají pro určení modulů pružnosti smluvní napětí, byla zvolena dvojice **Bioův tenzor napětí** (poměrných sil) a jemu odpovídající energeticky konjugovaný **tenzor protažení**. Oba je nutno vyjádřit prostřednictvím posuvů elementu a známého vnějšího zatížení textilie.

10.1.1 Realizace biaxiálního zatěžování osnovní pleteniny

Prosté zatěžování pleteniny je možno např. simulovat v **přípravku RAKON 1999/2** (obr. 10.1) se závislým zatěžováním ve dvou vzájemně kolmých směrech [52, 53]. Na jednotlivé boční části křížového tvaru vzorku obr. 10.2 působí stejně velké vnější síly vyvolané závaží. Jejich změna je docílena použitím nakloněné roviny, po které se odvaluje závaží. **Osnovní pletenina se deformuje**, přičemž se mění její struktura a dochází k posuvu vyznačených bodů na pletenině (jsou snímány obrazovou analýzou LUCIA a jejich souřadnice jsou vyhodnoceny). Přičemž rozměry a konstrukce přípravku neomezuje deformaci vzorku osnovní pleteniny.

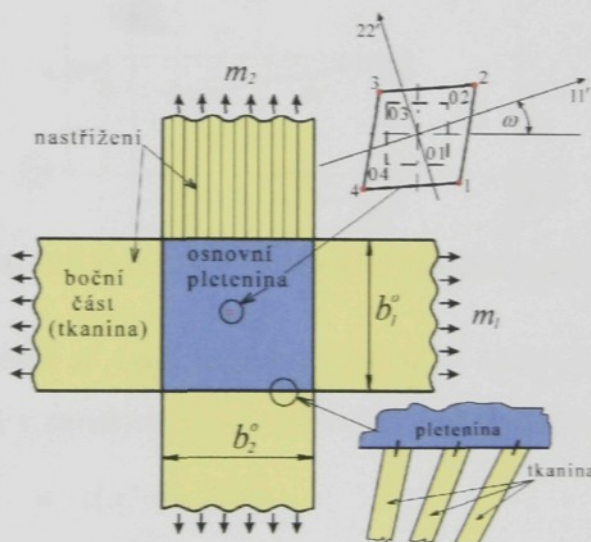


Obr. 10.1 Přípravek pro biaxiální deformaci textilií [55]

Postupně byla vyvíjena metoda, tvar vzorku (obr. 10.2) a její uchycení [45], aby byla umožněna případná kontrakce a prodloužení pleteniny v místě jejího uchycení v čelistech. Šev vzniklý pevným přišitím čtvercového vzorku pleteniny k bočním částem omezoval biaxiální deformaci. Prerušením švu a protažením osnovní pleteniny docházelo k nežádoucímu páráni

stehu. Rovněž přišívání čtyř jednotlivých bočních částí u každého zkoušeného vzorku bylo velmi náročné. Proto byla boční část tvořená tkaninou rozdělena na pásy, na které byly přišity háčky pro upevnění pleteniny. Tak mohlo docházet k oddálení proužků tkaniny a biaxiální deformaci střední části křížového vzorku (detail v obr. 10.2). Mohlo tudíž nastávat protažení vzorku ve všech částech rovnoměrně a téměř bez omezení (pouze rozměry přípravku ovlivňovaly velikost vzorku). Metoda se osvědčila. Párání osnovní pleteniny v důsledku uchycení háčky nenastávalo. V místě uchycení pletenina nebyla deformací jakkoliv porušena. Rovněž v práci [3] jsou rozebírány tvary vzorků pro testování mechanických vlastností.

Případná tažnost boční části křížového vzorku byla ve všech čtyřech pásech stejná. Pro tyto části bylo nutné použít jinou plošnou textilií, protože v případě vystřížení celého křížového vzorku pouze z pleteniny byla střední (zkoumaná) část ovlivněna rozdílnými směrovými mechanickými vlastnostmi pleteniny z bočních částí. Vzorek pleteniny má rozměry maximálně 12 x 12 cm podle konstrukce přípravku a stojanu obrazové analýzy LUCIA. Vyznačený snímaný čtyřúhelníkový element na osnovní pletenině (trikot – PESH) ve volném stavu nepředstavuje plochu ani 1 cm².



Obr. 10.2 Tvar vzorku pro biaxiální deformaci

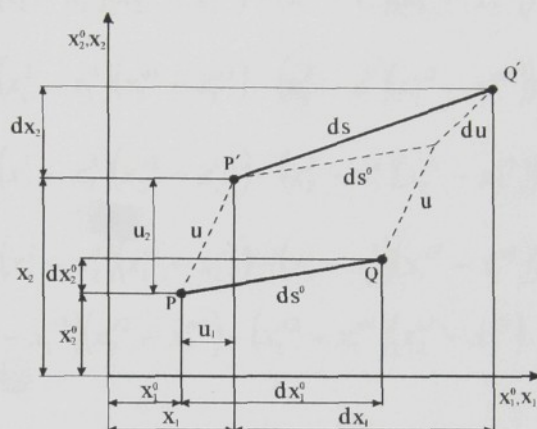
Cílem nebylo vyznačit čtvercový element, což ani při struktuře osnovní pleteniny nelze. Rovněž v důsledku nestejnosti pleteniny docházelo k tomu, že se rozměry elementu mohly lišit. Vyznačení bylo zvoleno podle počtu oček ve sloupcích a řádcích. Jeden vrchol elementu měl vždy s druhým sousedním společný řádek nebo sloupek. Přičemž bod byl vyznačen na stěně oka (kvůli jednoduchosti).

Nestejností osnovní pleteniny byl také ovlivněn způsob zpracování naměřených dat. Nejdříve byly vždy vyhodnoceny souřadnice pro jednotlivé vzorky zvlášť a vypočítávány posuny vrcholů elementu. Pro usnadnění množství výpočtů bylo zavedeno vyznačení „hodně podobných“ bodů na pletenině, jak je to popsáno v předchozím odstavci. Potom mohly být z dat (5 vzorků) vypočítány průměrné hodnoty rozdílů souřadnic, které jsou uvedeny v kap. 10.1.4. Přesto proměření představuje určitou pracnost zejména v závislosti na množství vzorků a zatěžujících kroků podle předpokládaného protažení.

10.1.2 Matematické závislosti pro experimentální určení posuvů při zkoušce biaxiální deformace textilie

Vychází se z přetvoření kontinua v rovině (obr. 10.3). Za předpokladu **ekvivalentnosti** deformací textilie a deformací náhradního homogenního rovinného prostředí lze stanovit postup výpočtu tenzoru deformace pro konečnou malou oblast textilie. Poloha obecného bodu P rovinného kontinua je v Lagrangeově (materiálovém) souřadném systému určena jeho průměty (x_1^o, x_2^o) . V důsledku přetvoření kontinua vlivem silových účinků působících na ně se posune do bodu P' . Toto posutí bude označováno u_1, u_2 . V prostorových (Eulerových) souřadnicích je bod P' určen závislostí [57]:

$$x_i = x_i^o + u_i, \quad i = 1, 2. \quad (10.1)$$



Obr. 10.3 Tvar části elementu před a po deformaci [51]

Blízký bod Q o souřadnicích $x_i^o + dx_i^o$ se přitom posune do bodu Q' o souřadnicích $x_i + dx_i$. Diferenciál rovnice (10.1) v závislosti na materiálových souřadnicích x_i^o má tvar:

$$dx_i = dx_i^o + u_{ij} dx_j^o, \quad (10.2)$$

kde je označeno $u_{ij} = \frac{\partial u_i}{\partial x_j^o}, \quad i, j = 1, 2. \quad (10.3)$

Nebo využitím Kroneckerova symbolu δ_{ij} rovnice (10.2) vychází:

$$dx_i = (\delta_{ij} - u_{ij}) dx_j^o. \quad (10.4)$$

Pro **určení čtyř bezrozměrných posuvů** u_{ij} malého čtyřúhelníkového elementu pleteniny je možné vyjádřit rovnici (10.2) v diferenčním tvaru

$$\Delta x_i^r = \Delta x_i^{or} + u_{ij} \Delta x_j^{or}, \quad (10.5)$$

kde $i, j = 1, 2$, pro $r = 1$ je $\Delta x_i^1 = x_i^1 - x_i^3$, $\Delta x_i^{o1} = x_i^{o1} - x_i^{o3}$;
pro $r = 2$ je $\Delta x_i^2 = x_i^2 - x_i^4$, $\Delta x_i^{o2} = x_i^{o2} - x_i^{o4}$. *

* Horní index „o“ označuje souřadnice před deformací pleteniny, další horní index je označení vrcholu elementu.

Diference z rovnice (10.4) lze určit jako rozdíly souřadnic vrcholů elementu v úhlopříčném směru (obr. 10.3) Vzdálenosti bodů PQ a P'Q', a to před a po deformaci:

$$\begin{aligned}(1 + u_{11})(x_1^{o1} - x_1^{o3}) + u_{12}(x_2^{o1} - x_2^{o3}) &= x_1^1 - x_1^3, \\(1 + u_{11})(x_1^{o2} - x_1^{o4}) + u_{12}(x_2^{o2} - x_2^{o4}) &= x_1^2 - x_1^4, \\u_{21}(x_1^{o1} - x_1^{o3}) + (1 + u_{22})(x_2^{o1} - x_2^{o3}) &= x_2^1 - x_2^3, \\u_{21}(x_1^{o2} - x_1^{o4}) + (1 + u_{22})(x_2^{o2} - x_2^{o4}) &= x_2^2 - x_2^4.\end{aligned}\tag{10.6}$$

Ze soustavy algebraických rovnic (10.6) lze určit složky materiálového deformačního gradientu F , který definuje změnu plochy elementu, a to:

$$\begin{aligned}u_{11} &= \frac{1}{J}((x_1^1 - x_1^3)(x_2^{o2} - x_2^{o4}) - (x_1^2 - x_1^4)(x_2^{o1} - x_2^{o3})) - 1, \\u_{12} &= \frac{1}{J}((x_1^2 - x_1^4)(x_1^{o1} - x_1^{o3}) - (x_1^1 - x_1^3)(x_1^{o2} - x_1^{o4})), \\u_{21} &= \frac{1}{J}((x_2^1 - x_2^3)(x_2^{o2} - x_2^{o4}) - (x_2^2 - x_2^4)(x_2^{o1} - x_2^{o3})), \\u_{22} &= \frac{1}{J}((x_2^2 - x_2^4)(x_1^{o1} - x_1^{o3}) - (x_2^1 - x_2^3)(x_1^{o2} - x_1^{o4})) - 1, \\J &= (x_1^{o1} - x_1^{o3})(x_2^{o2} - x_2^{o4}) - (x_1^{o2} - x_1^{o4})(x_2^{o1} - x_2^{o3}).\end{aligned}\tag{10.7}$$

Nyní je možno zjistit materiálový deformační gradient $F = \frac{\Delta x_i^r}{\Delta x_i^{or}}$ pomocí rovnic (10.7) a (10.32) a určit tenzor deformace.

10.1.3 Stanovení mechanických charakteristik osnovní pleteniny

Textilie je obecně **anizotropní** vláknenný **útvár**. Při jeho hodnocení z hlediska mechanických vlastností jej lze nahradit kontinuem, o kterém se předpokládá, že má stejné vlastnosti jako textilie. Proto se mohou aplikovat rovnice kontinua i k textiliím.

Rovinná napjatost, ve které se textilie zpravidla nachází, se za předpokladu lineární závislosti (v úzkém intervalu platnosti) mezi složkami tenzoru poměrných sil (vztažených ke tloušťce textilie) a tenzoru deformace popisuje tenzorem pružných modulů

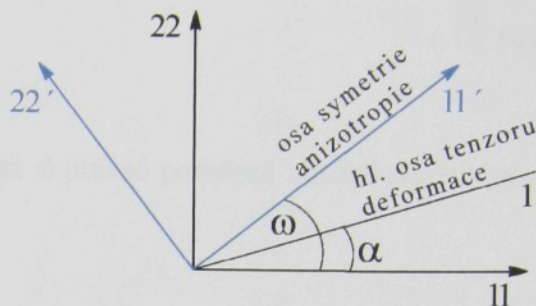
$$\overline{E}_{ij} = \begin{pmatrix} \overline{E}_{11} & \overline{E}_{12} & \overline{E}_{14} \\ \overline{E}_{12} & \overline{E}_{22} & \overline{E}_{24} \\ \overline{E}_{14} & \overline{E}_{24} & E_4 \end{pmatrix},\tag{10.8}$$

kde pruhem jsou označeny moduly $\overline{E}_{ij}$ vztažené k rovinné napjatosti. Modul pružnosti ve smyku E_4 se neliší od rovinného přetvoření (je stejný pro rovinnou a prostorovou napjatost), proto se pruhem neoznačuje.

V mechanice kontinua jsou využívány transformační vazby mezi pružnými moduly v různých souřadných soustavách. Označí-li se moduly vztažené k pootočené soustavě souřadnic (obr. 10.4) o úhel ω jako $\bar{B}_{ijkl}$, obecně platí [59]:

$$\bar{B}_{ijkl} = E_{\alpha\beta\gamma\delta} \cdot q_{\alpha i} \cdot q_{\beta j} \cdot q_{\gamma k} \cdot q_{\delta l}, \quad (10.9)$$

kde $q_{\alpha n}$ jsou kosiny úhlů pootočení vztažené k osám 11', 22', 33'. Dále je využit zjednodušený zápis indexů: 11 → 1, 22 → 2, 33 → 3, 12 → 4, 21 → 4, 23 → 5, 32 → 5, 13 → 6, 31 → 6, 44 → 4, 55 → 5, 66 → 6. Pro pootočení souřadných os 11, 22 vzhledem k ose 33 ≡ 33' o úhel ω bude označeno:



Obr. 10.4 Zavedení souřadných systémů

$$b_1 = \cos\omega, \quad a_1 = \sin\omega, \quad b_2 = \cos 2\omega, \quad a_2 = \sin 2\omega. \quad (10.10)$$

Po tomto zjednodušení lze rovnici (10.10) vyjádřit soustavou:

$$\begin{aligned} \bar{B}_{11} &= \bar{E}_{11}b_1^4 + \bar{E}_{22}a_1^4 + \left(E_4 + \frac{1}{2}\bar{E}_{12}\right)a_2^2 + 4(\bar{E}_{14}b_1^2 + \bar{E}_{24}a_1^2)a_1b_1, \\ \bar{B}_{22} &= \bar{E}_{11}a_1^4 + \bar{E}_{22}b_1^4 + \left(E_4 + \frac{1}{2}\bar{E}_{12}\right)a_2^2 - 4(\bar{E}_{14}a_1^2 + \bar{E}_{24}b_1^2)a_1b_1, \end{aligned} \quad (10.11)$$

$$\begin{aligned} \bar{B}_{12} &= (\bar{E}_{11} + \bar{E}_{22})a_1^2b_1^2 + \bar{E}_{12}(a_1^4 + b_1^4) - E_4a_2^2 - 2(\bar{E}_{14} - \bar{E}_{24})(a_1b_1^3 - a_1^3b_1), \\ \bar{B}_{14} &= -\bar{E}_{11}a_1b_1^3 + \bar{E}_{22}a_1^3b_1 - (2E_4 + \bar{E}_{12})(a_1^3b_1 - a_1b_1^3) + \bar{E}_{14}b_1^2(b_1^2 - 3a_1^2) + \bar{E}_{24}a_1^2(3b_1^2 - a_1^2), \\ \bar{B}_{24} &= -\bar{E}_{11}a_1^3b_1 + \bar{E}_{22}a_1b_1^3 - (2E_4 + \bar{E}_{12})(a_1b_1^3 - a_1^3b_1) + \bar{E}_{14}a_1^2(3b_1^2 - a_1^2) + \bar{E}_{24}b_1^2(b_1^2 - 3a_1^2), \\ B_4 &= (\bar{E}_{11} + \bar{E}_{22} - 2\bar{E}_{12})a_1^2b_1^2 + E_4b_2^2 - 2(\bar{E}_{14} - \bar{E}_{24})(a_1b_1^3 - a_1^3b_1). \end{aligned}$$

Anizotropní materiály mají zpravidla určitou strukturu, která vede k symetrii vlastností textilie. U pletenin jsou to sloupky a řádky, a je to dáno pravidelně se opakujícím elementem v ploše textilie. Potom lze hovořit o osách symetrie anizotropie. Na těchto osách jsou smyková napětí nulová, což vede k závislostem (10.12):

$$\bar{B}_{14} = \bar{B}_{24} = 0. \quad (10.12)$$

Po využití těchto podmínek vychází ze čtvrté a páté rovnice soustavy (10.11) po úpravě závislosti:

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} 2\omega &= \frac{2(\bar{E}_{14} + \bar{E}_{24})}{\bar{E}_{11} - \bar{E}_{22}}, \\ \operatorname{tg} 4\omega &= \frac{4(\bar{E}_{14} - \bar{E}_{24})}{\bar{E}_{11} + \bar{E}_{22} - 2\bar{E}_{12} - 4E_4}, \end{aligned} \quad (10.13)$$

Úhel ω je úhel (obr. 10.4), který svírá osa symetrie anizotropie s osou 11 – jedním ze směrů tahového zatížení pleteniny (např. řádky). Stanovení úhlu ω je obtížné u materiálů, které se vnějším vzhledem a složitostí struktury (vazby pleteniny) nedají rozlišit. Necht' $\operatorname{tg} 2\omega = t$. Z druhé rovnice vztahu (10.13) lze na základě hodnot modulů určit jeho velikost, jak uvádí STRÍŽ [59].

V obecném případě při úvaze **anizotropního materiálu** nejsou hlavní osy tenzorů poměrných sil a deformace totožné. Je-li tento úhel, který svírá hlavní osa tenzoru deformace (protažení) se směrem 11, označen α (obr. 10.4), platí:

$$\operatorname{tg} 2\alpha = \frac{2\varepsilon_{12}}{\varepsilon_{11} - \varepsilon_{22}}. \quad (10.14)$$

Pro element pootočený od osy 11 o úhel α lze stanovit skutečné poměrné normálové síly m_1 , m_2 . Platí pro ně vztahy:

$$\begin{aligned} m_1 &= \frac{m_z \cdot g}{b_1^o} \cdot x \cdot \frac{1}{\varepsilon_{22}}, \\ m_2 &= \frac{m_z \cdot g}{b_2^o} \cdot x \cdot \frac{1}{\varepsilon_{11}}, \end{aligned} \quad (10.15)$$

kde x je sklon nakloněné roviny ($\sin \beta$), m_z je hmotnost závaží vyvozující zatížení a b_i^o je rozměr boční části vzorku pleteniny. Složky tenzoru deformace ε_{ij}' k osám symetrie anizotropie jsou určeny závislostmi (10.16):

$$\begin{aligned} \varepsilon_{11}' &= \frac{1}{2}(\varepsilon_{11} + \varepsilon_{22}) + \frac{1}{2}(\varepsilon_{11} - \varepsilon_{22})\cos 2\alpha + \varepsilon_{12}\sin 2\alpha, \\ \varepsilon_{22}' &= \frac{1}{2}(\varepsilon_{11} + \varepsilon_{22}) - \frac{1}{2}(\varepsilon_{11} - \varepsilon_{22})\cos 2\alpha - \varepsilon_{12}\sin 2\alpha, \\ \varepsilon_{12}' &= -\frac{1}{2}(\varepsilon_{11} - \varepsilon_{22})\sin 2\alpha + \varepsilon_{12}\cos 2\alpha. \end{aligned} \quad (10.16)$$

Pro vyjádření složek skutečných poměrných sil s_{ij} vztažených k osám 11, 22 bude platit:

$$\begin{aligned} m_1 &= \frac{1}{2}(s_{11} + s_{22}) + \frac{1}{2}(s_{11} - s_{22})\cos 2\alpha + s_{12}\sin 2\alpha, \\ m_2 &= \frac{1}{2}(s_{11} + s_{22}) - \frac{1}{2}(s_{11} - s_{22})\cos 2\alpha - s_{12}\sin 2\alpha, \\ m_{12} &= -\frac{1}{2}(s_{11} - s_{22})\frac{t}{\sqrt{1+t^2}} + s_{12}\frac{1}{\sqrt{1+t^2}} = 0. \end{aligned} \quad (10.17)$$

Složka poměrných sil $m_{12} = 0$, protože zatěžování vzorku osnovní pleteniny je ve dvou na sebe kolmých směrech (obr. 10.3). Jsou to směry 11, 22 a jsou hlavními směry zatěžování textilie. Vyloučením složek s_{ij} lze dostat rovnice (10.17), kterými je určen tenzor skutečných

poměrných sil $\Sigma = \begin{pmatrix} s_{11} & s_{12} \\ s_{12} & s_{22} \end{pmatrix},$

$$\begin{aligned}
s_{11} &= \frac{1}{2} \frac{m_1(1 + \cos 2\alpha + t \sin 2\alpha) - m_2(1 - \cos 2\alpha - t \sin 2\alpha)}{\cos 2\alpha + t \sin 2\alpha}, \\
s_{22} &= \frac{1}{2} \frac{m_2(1 + \cos 2\alpha + t \sin 2\alpha) - m_1(1 - \cos 2\alpha - t \sin 2\alpha)}{\cos 2\alpha + t \sin 2\alpha}, \\
s_{12} &= \frac{(m_1 - m_2)t}{2 \cos 2\alpha + t \sin 2\alpha}, \\
t &= \operatorname{tg} 2\omega.
\end{aligned} \quad (10.18)$$

Bioův tenzor poměrných sil označený jako $S_B = \begin{pmatrix} c_{11} & c_{12} \\ c_{12} & c_{22} \end{pmatrix}$ lze získat ze závislosti [59]:

$$S_B = \frac{J}{2} \left[F^{-1} \Sigma R + R^T \Sigma (F^{-1})^T \right], \quad (10.19)$$

kde J je jakobián stanovený pomocí počátečních souřadnic vrcholů elementu podle páté rovnice (10.7), kap. 10.1.2 před zkouškou biaxiální deformace. R je tenzor rotace s prvky r_{11} , r_{12} , r_{21} , r_{22} určený podle rovnice

$$R = F \cdot \Delta^{-1} \quad (10.20)$$

na základě znalosti tenzoru protažení $\Delta = \begin{pmatrix} \varepsilon_{11} & \varepsilon_{12} \\ \varepsilon_{12} & \varepsilon_{22} \end{pmatrix}$ (vztah 10.33) a deformačního gradientu F (10.32) v kap. 10.1.3.1 vycházejícího z posuvů u_{ij} . Dosazením lze získat rovnice (10.21):

$$\begin{aligned}
r_{11} &= \frac{\varepsilon_{22}(1 + u_{11}) - \varepsilon_{12}u_{12}}{\varepsilon_{11}\varepsilon_{22} - \varepsilon_{12}^2}, & r_{22} &= \frac{\varepsilon_{11}(1 + u_{22}) - \varepsilon_{12}u_{21}}{\varepsilon_{11}\varepsilon_{22} - \varepsilon_{12}^2}, \\
r_{12} &= -\frac{\varepsilon_{12}(1 + u_{11}) - \varepsilon_{11}u_{12}}{\varepsilon_{11}\varepsilon_{22} - \varepsilon_{12}^2}, & r_{21} &= -\frac{\varepsilon_{12}(1 + u_{22}) - \varepsilon_{22}u_{21}}{\varepsilon_{11}\varepsilon_{22} - \varepsilon_{12}^2}.
\end{aligned} \quad (10.21)$$

Po dosazení vztahů (10.18), (10.21) a deformačního gradientu (10.32) do rovnice (10.19) a po úpravě lze vyjádřit složky **Biova tenzoru poměrných sil**, tj:

$$\begin{aligned}
c_{11} &= (1 + u_{22})(r_{11}s_{11} + r_{21}s_{12}) - u_{12}(r_{11}s_{12} + r_{21}s_{22}), \\
c_{22} &= (1 + u_{11})(r_{22}s_{22} + r_{12}s_{12}) - u_{21}(r_{22}s_{12} + r_{12}s_{11}), \\
c_{12} &= \frac{1}{2}(1 + u_{22})(r_{12}s_{11} + r_{22}s_{12}) - \frac{1}{2}u_{12}(r_{12}s_{12} + r_{22}s_{22}) + \\
&\quad + \frac{1}{2}(1 + u_{11})(r_{11}s_{12} + r_{21}s_{22}) - \frac{1}{2}u_{21}(r_{11}s_{11} + r_{21}s_{12}).
\end{aligned} \quad (10.22)$$

Hookeův zákon bude vyjádřen v obou souřadných soustavách soustavou rovnic (10.23) a (10.24). V souřadných soustavách 11, 22:

* Tenzoru protažení odpovídá tenzor deformace definovaný vztahem $\Delta = \varepsilon - I$.

$$\begin{aligned}
c_{11} &= \bar{E}_{11}(\varepsilon_{11} - 1) + \bar{E}_{12}(\varepsilon_{22} - 1) + 2\bar{E}_{14}\varepsilon_{12}, \\
c_{22} &= \bar{E}_{12}(\varepsilon_{11} - 1) + \bar{E}_{22}(\varepsilon_{22} - 1) + 2\bar{E}_{24}\varepsilon_{12}, \\
c_{12} &= \bar{E}_{14}(\varepsilon_{11} - 1) + \bar{E}_{24}(\varepsilon_{22} - 1) + 2\bar{E}_4\varepsilon_{12}.
\end{aligned} \tag{10.23}$$

Pro zápis **Hookeova zákona** v souřadném systému $11', 22'$ lze využít vztah (10.12). Potom rovnice (10.24)

$$\begin{aligned}
c_{11}' &= \bar{B}_{11}\varepsilon_{11}' + \bar{B}_{12}\varepsilon_{22}' + 2\bar{B}_{14}\varepsilon_{12}', \\
c_{22}' &= \bar{B}_{12}\varepsilon_{11}' + \bar{B}_{22}\varepsilon_{22}' + 2\bar{B}_{24}\varepsilon_{12}', \\
c_{12}' &= \bar{B}_{14}\varepsilon_{11}' + \bar{B}_{24}\varepsilon_{22}' + 2\bar{B}_4\varepsilon_{12}',
\end{aligned} \tag{10.24}$$

jsou ještě více zjednodušeny:

Budou-li složky tenzoru deformace a tenzoru poměrných sil ve směrech svírajících s osami 11, 22 úhel např. $\omega_l = \pi/3$ označeny ε_{ij}'' a c_{ij}'' , bude jejich vyjádření dáno vztahy (10.25), (10.26) obdobně jako u rovnic (10.16):

$$\begin{aligned}
\varepsilon_{11}'' &= \frac{1}{2}(\varepsilon_{11} + \varepsilon_{22}) + \frac{1}{2}(\varepsilon_{11} - \varepsilon_{22})\cos 2\omega_l + \varepsilon_{12}\sin 2\omega_l, \\
\varepsilon_{22}'' &= \frac{1}{2}(\varepsilon_{11} + \varepsilon_{22}) - \frac{1}{2}(\varepsilon_{11} - \varepsilon_{22})\cos 2\omega_l - \varepsilon_{12}\sin 2\omega_l, \\
\varepsilon_{12}'' &= -\frac{1}{2}(\varepsilon_{11} - \varepsilon_{22})\sin 2\omega_l + \varepsilon_{12}\cos 2\omega_l.
\end{aligned} \tag{10.25}$$

$$\begin{aligned}
c_{11}'' &= \frac{1}{2}(c_{11} + c_{22}) + \frac{1}{2}(c_{11} - c_{22})\cos 2\omega_l + c_{12}\sin 2\omega_l, \\
c_{22}'' &= \frac{1}{2}(c_{11} + c_{22}) - \frac{1}{2}(c_{11} - c_{22})\cos 2\omega_l - c_{12}\sin 2\omega_l, \\
c_{12}'' &= -\frac{1}{2}(c_{11} - c_{22})\sin 2\omega_l + c_{12}\cos 2\omega_l.
\end{aligned} \tag{10.26}$$

Neznámé veličiny, tj. 6 složek tenzoru $\bar{E}_{ij}$ (10.8) a úhel symetrie anizotropie ω lze získat řešením soustavy sedmi rovnic (10.27).

Soustava (10.27) se skládá ze tří rovnic Hookeova zákona (10.23). Další dva vztahy jsou získány rovněž z Hookeova zákona, ale pro potočenou soustavu souřadnic o úhel např. $\omega_l = \pi/3$ a s využitím rovnic (10.11), je-li úhel ω ve těchto vztazích nahrazen úhlem ω_l . (První z rovnic Hookeova zákona je pro tenzor poměrných sil c_{11}'' a druhá je dána součtem zbývajících dvou rovnic, tj. $c_{22}'' + c_{12}''$.) Šestým a sedmým vztahem je podmínka pro úhel symetrie anizotropie ω (10.13) vyjádřená ze vztahů (10.11) pro výpočet modulů $\bar{B}_{ij}$.

$$\begin{aligned}
1) \quad c_{11} &= \bar{E}_{11}(\varepsilon_{11} - 1) + \bar{E}_{12}(\varepsilon_{22} - 1) + 2\bar{E}_{14}\varepsilon_{12}, \\
2) \quad c_{22} &= \bar{E}_{12}(\varepsilon_{11} - 1) + \bar{E}_{11}(\varepsilon_{22} - 1) - 2\bar{E}_{14}\varepsilon_{12}, \\
3) \quad c_{12} &= \bar{E}_{14}(\varepsilon_{11} - 1) - \bar{E}_{14}(\varepsilon_{22} - 1) + 2E_4\varepsilon_{12}, \\
4) \quad c_{11}'' &= \bar{B}_{11}(\varepsilon_{11}'' - 1) + \bar{B}_{12}(\varepsilon_{22}'' - 1) + 2\bar{B}_{14}\varepsilon_{12}'', \\
5) \quad c_{22}'' + c_{12}'' &= \bar{B}_{12}(\varepsilon_{11}'' - 1) + \bar{B}_{22}(\varepsilon_{22}'' - 1) + \bar{B}_{24}(2\varepsilon_{12}'' + \varepsilon_{22}'' - 1) + \\
&\quad + \bar{B}_{14}(\varepsilon_{11}'' - 1) + 2B_4\varepsilon_{12}'', \\
6) \quad \operatorname{tg} 2\omega &= \frac{2(\bar{E}_{14} + \bar{E}_{24})}{\bar{E}_{11} - \bar{E}_{22}}, \\
7) \quad \operatorname{tg} 4\omega &= \frac{4(\bar{E}_{14} - \bar{E}_{24})}{\bar{E}_{11} + \bar{E}_{22} - 2\bar{E}_{12} - 4E_4}.
\end{aligned} \tag{10.27}$$

Řešením soustavy rovnic (10.27) mohou nastat tyto varianty [59]:

- $\alpha \neq 0, \omega \neq 0,$
- $\alpha = 0, \omega \neq 0,$
- $\alpha = 0, \omega = 0.$

V případě a) $\alpha \neq 0, \omega \neq 0$ vyjdou obecně všechny prvky tenzoru (10.8) nenulové. Anizotropie mechanických vlastností pleteniny má charakter jednoklonné krystalografické soustavy. Zvláštním případem může být $\omega \approx 0$, který vede k hodnotám $\bar{E}_{14} \approx 0, \bar{E}_{24} \approx 0$. Jmenovatel ve vztahu pro úhel symetrie anizotropie (10.13) je výrazně vyšších hodnot než čísel. Anizotropie mechanických vlastností pleteniny je **přibližně ortotropní**.

V případě b) $\alpha = 0, \omega \neq 0$ jsou hlavní osy tenzorů poměrných sil a deformací totožné. Z toho vyplývá nezávislost modulu E_4 na směru a z poslední rovnice (10.11) pro B_4 lze dostat:

$$E_4 = B_4 = \frac{1}{4}(\bar{E}_{11} + \bar{E}_{22} - 2\bar{E}_{12}) + (\bar{E}_{14} - \bar{E}_{24}) \cotg 2\omega. \tag{10.28}$$

z nezávislosti E_4 na směru plyne $\bar{E}_{14} = \bar{E}_{24}$ a z třetí rovnice (10.23) Hookeova zákona v souřadných soustavách 11, 22 (pro $\varepsilon_{12} = 0$ a $c_{12} = 0$) plyne $\bar{E}_{14} = \bar{E}_{24} = 0$. Na základě rovnice pro úhel symetrie anizotropie ω (10.13) musí být také splněno:

$$\bar{E}_{11} = \bar{E}_{22}. \tag{10.29}$$

Modul E_{12} mohu dopočítat např. z první rovnice Hookeova zákona (10.23). Anizotropie mechanických vlastností pleteniny je **transverzálně izotropní** [59].

V případě c) $\alpha = 0, \omega = 0$ je směr zatěžování 11 osou symetrie anizotropie. Pro poměrné síly a deformace se z Mohrových kružnic (jejich podobnosti) určí

$$E_4 = \frac{c_{11} - c_{22}}{2(\varepsilon_{11} - \varepsilon_{22})}, \quad \bar{E}_{14} = \bar{E}_{24} = 0. \quad (10.30)$$

Z nezávislosti smykového modulu E_4 na směru je možné dostat vztah (10.31):

$$\bar{E}_{12} = \frac{1}{2}(\bar{E}_{11} + \bar{E}_{22} - 4E_4) \quad (10.31)$$

Moduly $\bar{E}_{11}$, $\bar{E}_{22}$ je možné určit z prvních dvou rovnic Hookeova zákona (10.23). Anizotropie mechanických vlastností textilie má charakter **ortotropie**.

10.1.3.1 Postup výpočtu modulů pružnosti na základě stanovení typu anizotropie

1. Ve směrech zatěžování textilie jsou nejprve proloženy osy 11, 22. V těchto směrech působí poměrné síly m_1, m_2 , ($m_{12}=0$) k počátečním rozměrům vzorku osnovní pleteniny b_1^0 a b_2^0 . K **Biovu tenzoru poměrných sil** c_{ij} [Nm^{-1}] je **konjugovaný tenzor protažení** Δ . Ten je možno určit pomocí materiálového deformačního gradientu F [58]. Tenzor F bude přibližně symetrický. Jeho složky, materiálové derivace posuvů $u_{11}, u_{22}, u_{12}, u_{21}$, budou mít malé hodnoty a budou vypočítány pomocí rovnic (10.7), kap. 10.1.2. Gradient F je určen maticí:

$$F = \begin{pmatrix} 1 + u_{11} & u_{12} \\ u_{21} & 1 + u_{22} \end{pmatrix}, \quad (10.32)$$

kde jeho složky se určují na základě experimentálního měření posuvů vrcholových bodů 1, 2, 3 a 4 čtyřúhelníkového elementu pleteniny před a po rovnoměrné biaxiální deformaci a na základě rovnic uvedených v kap. 10.1.2.

Tenzor protažení $\Delta = \begin{pmatrix} \varepsilon_{11} & \varepsilon_{12} \\ \varepsilon_{12} & \varepsilon_{22} \end{pmatrix}$ je definován:

$$\Delta = \sqrt{F^T \cdot F}. \quad (10.33)$$

Postup výpočtu tenzoru protažení:

$$\text{Označí-li se } L = F^T \cdot F \quad (10.34)$$

a lze určit jeho hlavní hodnoty (vlastní čísla), které jsou označeny l_1, l_2 . Jsou-li od sebe různé, jak je uvedeno v [59], pak lze pro stanovení tenzoru protažení využít tzv. metodu projektorů. Jsou definovány tenzory:

$$E_1 = \frac{(L - l_2 \cdot I)L}{(l_1 - l_2)l_1}, \quad E_2 = \frac{(L - l_1 \cdot I)L}{(l_2 - l_1)l_2}, \quad (10.35)$$

kde I je jednotkový tenzor. **Tenzor protažení** Δ se určí ze vztahu:

$$\Delta = \sqrt{l_1} \cdot E_1 + \sqrt{l_2} \cdot E_2. \quad (10.36)$$

Také u tenzoru Δ lze určit hlavní hodnoty a jejich směry vzhledem k osám 11, 22. Platí:

$$\begin{vmatrix} \varepsilon_{11} - \varepsilon_i & \varepsilon_{12} \\ \varepsilon_{12} & \varepsilon_{22} - \varepsilon_i \end{vmatrix} = 0. \quad (10.37)$$

Řešením kvadratické rovnice (10.37) je možné najít hlavní hodnoty ε_1 , ε_2 . Pro hlavní směry lze napsat soustavu dvou rovnic (Cauchyho vztahy):

$$\begin{aligned}(\varepsilon_{11} - \varepsilon_1)\cos\alpha + \varepsilon_{12}\sin\alpha &= 0, \\ \varepsilon_{12}\cos\alpha + (\varepsilon_{22} - \varepsilon_1)\sin\alpha &= 0,\end{aligned}\tag{10.38}$$

kde úhel α (úhel mezi tenzorem poměrných sil a tenzorem deformace) byl zaveden ve vztahu (10.14) pro úhel směru 1 s osou 11 (obr.10.4). Vyloučením ε_1 z rovnice (10.38) je možno dostat vztah (10.14).

2. **Další postup závisí na hodnotě úhlu α** (tzn., je-li různý od nuly nebo nulový) a také na tom, zda je zatěžování ve hlavních směrech struktury pleteniny (ve směru sloupků a řádků) nebo v obecném směru. To rozhoduje, zda je třeba postupovat podle varianty a), b) nebo c).

10.1.4 Experimentální určení posuvů elementů a určení hodnot mechanických parametrů osnovní pleteniny ve vazbě uzavřený trikot

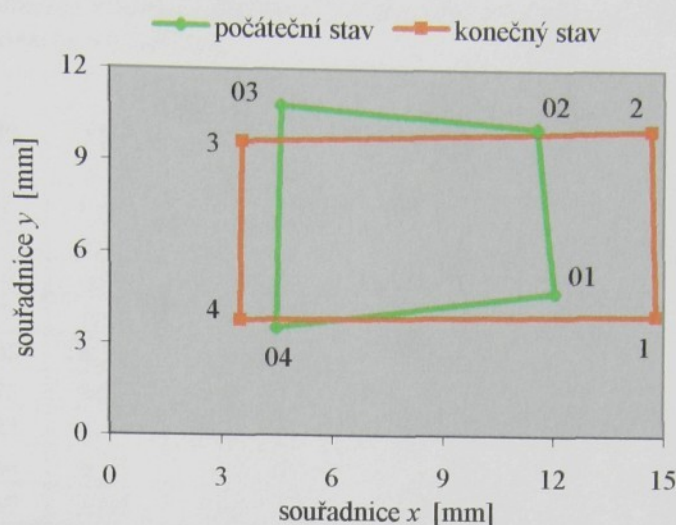
Pro testování byla vybrána **osnovní pletenina - PESH** – vzorek III s uvedenými strukturálními parametry (viz. tab. 10.1, také kap. 8.2) především v důsledku velikosti strukturálních jednotek a také obrazového okna LUCIE G na monitoru počítače, které odpovídá zornému poli objektivu. Dalším faktorem omezení bylo předpokládané zvětšení čtyřúhelníkového elementu vyznačeného na osnovní pletenině v relaxovaném stavu (zvětšení přibližně 1 : 0,022 mm).

Tab. 10.1 Parametry testované pleteniny – trikot PESH

Č.	H_f [m ⁻¹]	H_s [m ⁻¹]	l [mm]
III	1460	460	5,30

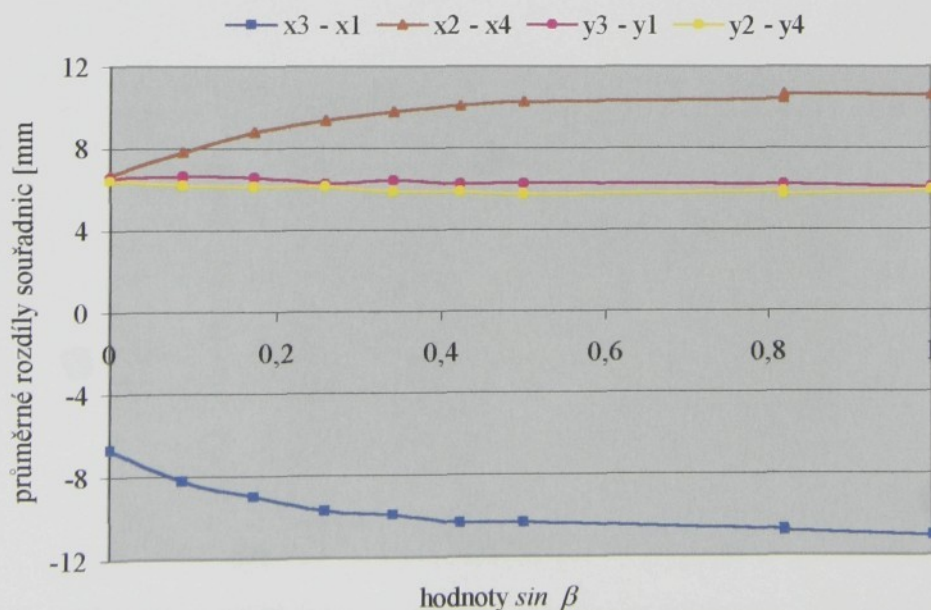
Provedla jsem zkoušky **biaxiální deformace** se zatěžováním vyvolaným vnější silou (max. 20,3 N) v jednotlivých krocích podle konstrukce přípravku a předpokládané biaxiální deformace. V těchto krocích byly snímány jednotlivé stavy napjatosti pleteniny – uzavřený trikot PESH a vyhodnoceny rozdíly souřadnic vrcholů čtyřúhelníkového elementu tak, aby byly získány úzké intervaly změn jejich hodnot. Na obr. 10.5 je zobrazena jedna ukázka přesunu vyznačených bodů na pletenině mezi jejím počátečním stavem (beznapětový stav) a stavem s **maximální napjatostí ve směru sloupků a řádků**, která byla vnějšími tahovými silami v ramenech křížového vzorku dosažena. (Z experimentálně získaných souřadnic nelze zjistit průměr, jen z jejich rozdílů. Proto je na obr. 10.5 pouze jeden příklad vyznačeného elementu ve skutečné velikosti, ne průměrný element z jehož rozdílů souřadnic se vycházelo při zjišťování modulů pružnosti.)

Při samotném testování a vzhledem k označení vrcholů na pletenině a na obr. 10.5 je možné konstatovat, že struktura u zkoušek biaxiální deformace se stejným zatížením v obou směrech se více protahovala ve směru sloupků než řádků, tzn., že rozdíl souřadnic x – ových byl větší. Je to způsobeno velikostí strukturálních parametrů pleteniny a vazbou, jak je uvedeno také např. v kap. 9.



Obr. 10.5 Tvar elementu vyznačeného na osnovní pletenině před (značeno 01, 02, 03, 04) a po biaxiální deformaci (1, 2, 3, 4) v hlavních směrech *

Na obr. 10.6 jsou vyneseny průměrné hodnoty (5 měření) rozdílů souřadnic v úhlopříčném směru elementu v jednotlivých 9 + 1 - krocích při **biaxiální deformaci ve směru sloupků a řádků** (vzorek PESH – III) v závislosti na úhlu sklonu nakloněné roviny $\sin \beta$, ve které působí zatěžovací síly. U všech jednotlivých vzorků vycházel rozdíl x – ových souřadnic větší než y – ových a jejich hodnoty jsou podobné. V tab. 10.2 jsou uvedeny vypočítané průměrné hodnoty rozdílů souřadnic označených podle obr. 10.5 a v tab. 10.3 jsou hodnoty jejich variačních koeficientů získaných z 5–ti měření. (V příloze 3 jsou uvedeny rozdíl souřadnic elementů zjištěných z 5-ti vzorků osnovní pleteniny.)



Obr. 10.6 Průměrné hodnoty rozdílů souřadnic elementu před a po deformaci pleteniny (hlavní směr)

* V systému obrazová analýza lucia je jiná volba souřadnic (obraz je zrcadlově obrácený podle osy x).

Tab. 10.2 Průměrné hodnoty rozdílů souřadnic elementu v zatěžujících krocích

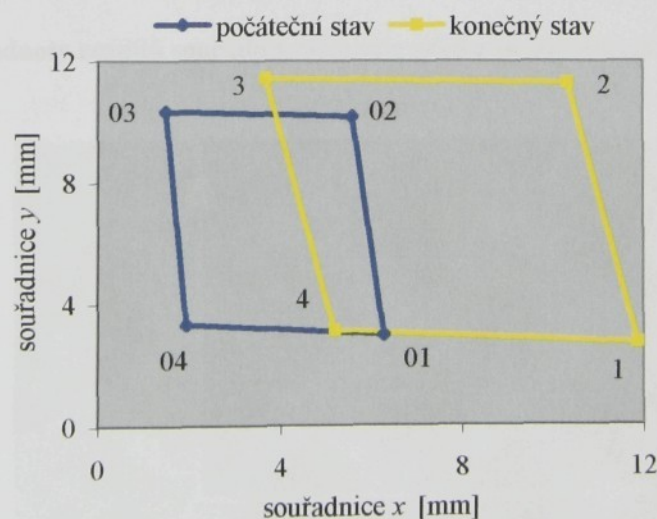
Úhel sklonu β	$x^3 - x^1$ [mm]	$x^2 - x^4$ [mm]	$y^3 - y^1$ [mm]	$y^2 - y^4$ [mm]
sin 0°	-6,71	6,67	6,56	6,43
sin 5°	-8,21	7,81	6,64	6,18
sin 10°	-8,98	8,77	6,57	6,11
sin 15°	-9,70	9,34	6,24	6,11
sin 20°	-9,92	9,77	6,40	5,86
sin 25°	-10,35	10,08	6,21	5,87
sin 30°	-10,34	10,25	6,26	5,74
sin 40°	-10,73	10,41	6,17	5,85
sin 55°	-10,81	10,64	6,19	5,74
sin 90°	-11,04	10,62	6,04	5,94

Tab. 10.3 Variační koeficienty rozdílů souřadnic elementu

Úhel sklonu β	v_1 [%]	v_2 [%]	v_3 [%]	v_4 [%]
sin 0°	3,93	5,53	1,35	1,78
sin 5°	8,36	10,26	3,76	4,73
sin 10°	2,38	4,79	2,93	3,96
sin 15°	2,13	4,83	2,77	3,50
sin 20°	2,66	4,52	1,87	2,96
sin 25°	2,24	4,06	1,04	1,90
sin 30°	1,46	3,24	3,64	4,55
sin 40°	1,20	4,56	1,28	1,82
sin 55°	1,98	3,66	3,94	3,29
sin 90°	2,27	3,16	2,98	2,97

Na obr. 10.7 je vidět další ukázka přesunu vyznačených bodů na osnovní pletenině mezi jejím počátečním stavem a stavem s **maximální napjatostí při biaxiální deformaci v obecném směru - 30°***, která byla dosažena. Směr byl zvolen z hlediska obecnosti. Předpokládalo se, že v případě volby směru 45° se může dostat zvláštní případ souměrnosti struktury.

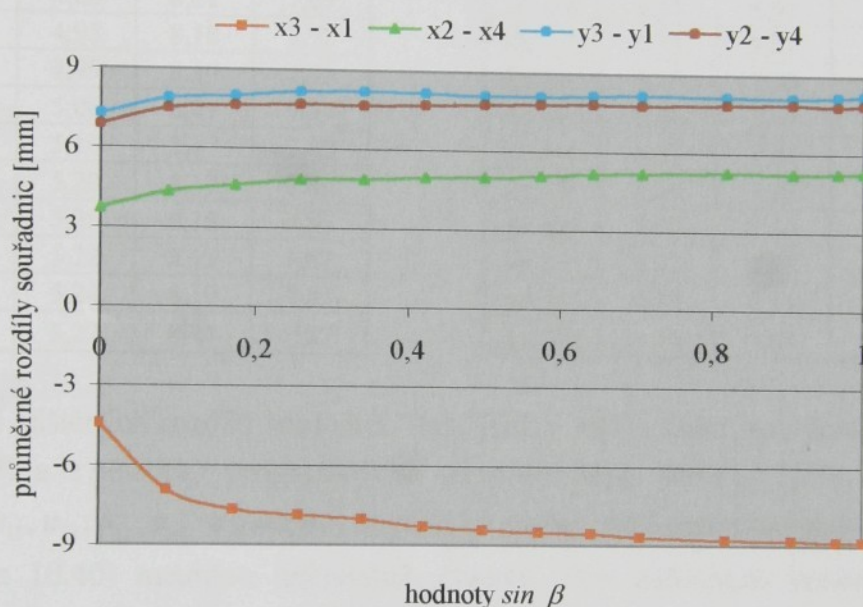
Je možné konstatovat, že struktura se více protahovala ve směru sloupků (podélný směr) při rovnoměrné biaxiální deformaci, tzn., že v zavedené orientaci elementu byl rozdíl souřadnic x – ových větší. Dále docházelo k mírnému zkosu celého vzorku osnovní pleteniny, který byl způsoben orientací sloupků a řádků (sklon řádků) ve zkoušeném čtvercovém vzorku. Dalším vlivem zkosu pleteniny byla její rozdílná směrová jednoosá pevnost a tažnost. S ohledem na možné předpokládané nerovnoměrnosti jsem proměřila více stavů napjatosti pleteniny (14 + 1 kroků).



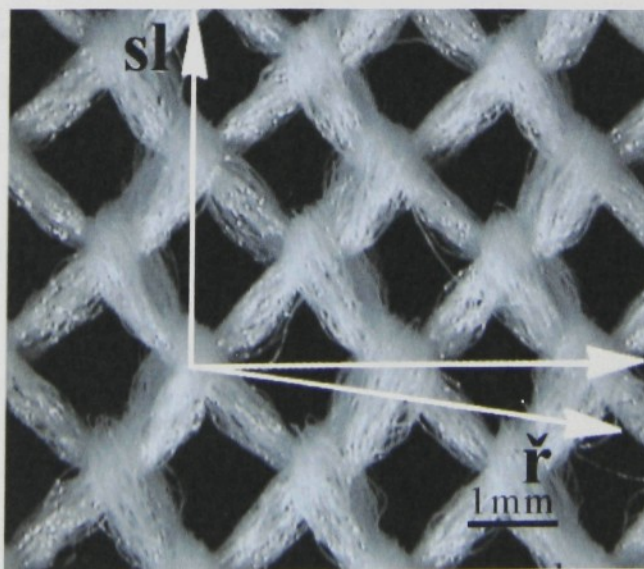
Obr. 10.7 Tvar elementu vyznačeného na osnovní pletenině před (značeno 01, 02, 03, 04) a po biaxiální deformaci (1, 2, 3, 4) v obecném směru -30°

* Sklon 30° je úhel, který svírá řádek osnovní pleteniny se směrem působících sil m_1 a m_2 , obr. 10.2.

Taktéž byly z 5-ti měření vypočítány průměrné hodnoty rozdílů souřadnic v úhlopříčném směru elementu v jednotlivých 14 + 1 - krocích při biaxiální deformaci v obecném směru 30° (vzorek PESH – III) v závislosti na úhlu sklonu nakloněné roviny $\sin \beta$ (obr. 10.8). U předchozího případu vycházely absolutní rozdíly x-ových a y-ových souřadnic téměř stejné. Ovšem nyní při obecném sklonu vzorku osnovní pleteniny se zvyšuje rozdíl souřadnic $x^3 - x^1$ více na úkor hodnoty $x^2 - x^4$, kde je nárůst menší. Pletenina se deformuje „nerovnoměrně“, jak je možno také sledovat na snímku struktury uzavřeného trikotu na obr. 10.9. Působením vnějších zatěžujících sil se mění původně kolmý směr řádků a sloupků. Hodnoty variačních koeficientů (tab. 10.5) rozdílů souřadnic uvedených v tab. 10.4 získaných z 5-ti měření se při zkoušce biaxiální deformace pleteniny v obecném směru zvýšily. V příloze 4 jsou zaznamenány hodnoty rozdílů souřadnic elementů všech testovaných vzorků.



Obr. 10.8 Průměrné hodnoty rozdílů souřadnic elementu před a po deformaci pleteniny (obecný směr)



Obr. 10.9 Struktura trikotu při zkoušce biaxiální deformace v obecném směru 30°

Na obr. 10.9 je vidět změna osy symetrie strukturální jednotky trikotu (podle pohledu je změna úhlu v kladném nebo záporném smyslu). Poměrně „volná“ struktura pleteniny dovoluje přesun nitě a změnu vzájemného sklonu oček a spojovacích kliček, které vytvořily nové „uspořádání“ působením stejných vnějších sil v obou směrech zatěžování.

Tab. 10.4 Průměrné hodnoty rozdílů souřadnic elementu v zatěžujících krocích

úhel sklonu β	$x^3 - x^1$ [mm]	$x^2 - x^4$ [mm]	$y^3 - y^1$ [mm]	$y^2 - y^4$ [mm]
sin 0°	-4,41	3,70	7,28	6,87
sin 5°	-6,94	4,36	7,91	7,53
sin 10°	-7,68	4,59	8,00	7,65
sin 15°	-7,88	4,82	8,17	7,69
sin 20°	-8,03	4,86	8,21	7,67
sin 25°	-8,32	4,95	8,18	7,72
sin 30°	-8,45	4,99	8,10	7,77
sin 35°	-8,51	5,06	8,11	7,79
sin 40°	-8,56	5,16	8,17	7,82
sin 45°	-8,69	5,20	8,17	7,80
sin 55°	-8,79	5,25	8,15	7,85
sin 65°	-8,81	5,22	8,13	7,87
sin 75°	-8,87	5,24	8,19	7,83
sin 90°	-8,88	5,27	8,24	7,87

Tab. 10.5 Variační koeficienty rozdílů souřadnic elementu

úhel sklonu β	v_1 [%]	v_2 [%]	v_3 [%]	v_4 [%]
sin 0°	6,46	6,76	5,80	7,64
sin 5°	12,68	10,70	6,36	6,26
sin 10°	10,13	8,80	6,68	6,41
sin 15°	8,56	8,25	5,28	6,85
sin 20°	8,11	8,01	5,74	6,56
sin 25°	6,25	8,01	5,04	6,08
sin 30°	6,15	7,78	5,37	5,25
sin 35°	6,86	7,37	4,66	4,61
sin 40°	6,52	7,61	5,47	4,93
sin 45°	7,05	7,27	5,27	4,83
sin 55°	7,07	7,34	5,43	4,50
sin 65°	7,02	7,23	5,05	4,78
sin 75°	6,34	7,16	5,17	4,99
sin 90°	6,74	6,67	5,12	4,81

Pomocí zjištěných rozdílů souřadnic (tab. 10.2 a 10.4), které jsou dosazeny do rovnic (10.6) a (10.7) a s použitím programového prostředí např. MAPLE [59], jsou určovány posuvy bodů $u_{11}, u_{22}, u_{12}, u_{21}$ a intervaly rozdílů souřadnic jsou aproximovány funkcemi f_1, f_2, f_3, f_4 (10.39 a 10.40) metodou nejmenších čtverců. Pro testovanou osnovní pleteninu s parametry (tab. 10.1) při zkoušce biaxiální deformace v hlavních směrech vycházejí následující polynomy (10.39):

$$\begin{aligned}
 f_1 &= -6,6067 - 20,6076x + 55,1721x^2 - 89,3025x^3 + 77,1429x^4 - 26,6858x^5, \\
 f_2 &= 6,7085 + 14,6658x - 14,3241x^2 - 15,0262x^3 + 36,5387x^4 - 17,8534x^5, \\
 f_3 &= 6,6143 + 1,9585x - 20,5242x^2 + 52,66x^3 - 54,2298x^4 + 19,6097x^5, \\
 f_4 &= 6,4444 - 2,1344x + 2,3169x^2 - 0,2566x^3 - 1,8775x^4 + 1,4817x^5.
 \end{aligned} \quad (10.39)$$

Pro biaxiální deformaci pleteniny s obecným směrem 30° jsou polynomické funkce proložené naměřenými daty následující:

$$\begin{aligned}
 f_1 &= -6,5449 - 37,4896x + 187,4431x^2 - 351,9896x^3 + 287,7471x^4 - 85,9364x^5, \\
 f_2 &= 6,8985 + 32,2063x - 170,0075x^2 + 345,2214x^3 - 307,7231x^4 - 100,2705x^5, \\
 f_3 &= 5,6869 - 2,1278x + 8,3486x^2 - 18,4059x^3 + 19,6348x^4 - 8,062x^5, \\
 f_4 &= 7,6269 - 15,8176x + 101,2699x^2 - 288,8818x^3 + 329,275x^4 - 128,6745x^5.
 \end{aligned} \quad (10.40)$$

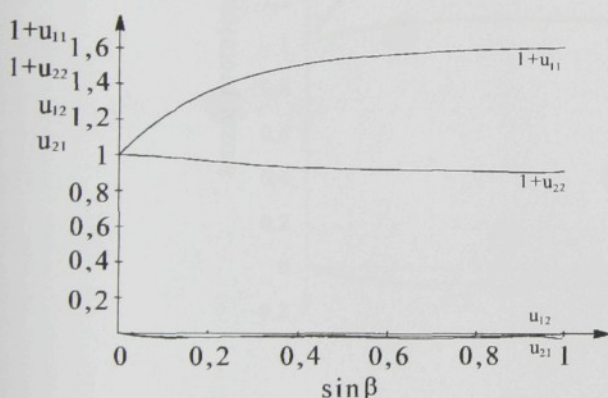
Posuvy u_{ij} pro biaxiální deformaci pleteniny ve směru sloupků a řádků jsou vyjádřeny funkcí (10.41):

$$\begin{aligned} u_{11} &= 2,6430x - 5,1789x^2 + 5,4757x^3 - 2,9381x^4 + 0,6197x^5, \\ u_{22} &= -0,0110x - 1,4075x^2 + 4,0434x^3 - 4,3268x^4 + 1,6256x^5, \\ u_{12} &= -0,4756x + 3,1684x^2 - 8,0319x^3 + 8,7283x^4 - 3,4155x^5, \\ u_{21} &= -0,3075x + 1,6974x^2 - 3,9225x^3 + 3,8766x^4 - 1,3407x^5. \end{aligned} \quad (10.41)$$

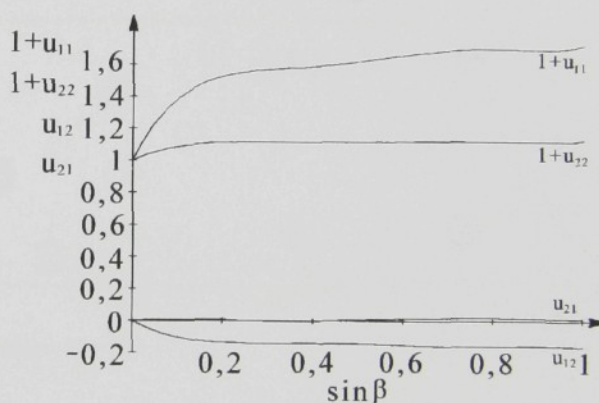
Pro biaxiální deformaci v obecném případě budou posuvy vyjádřeny rovnicemi:

$$\begin{aligned} u_{11} &= 1 + 5,3014x - 27,2942x^2 + 53,505x^3 - 45,8834x^4 + 14,3944x^5, \\ u_{12} &= -0,6348x + 3,3884x^2 - 7,6484x^3 + 7,387x^4 - 2,5574x^5, \\ u_{21} &\equiv 0, \\ u_{22} &= 1 - 1,3288x + 8,1114x^2 - 22,7465x^3 + 25,8244x^4 - 10,118x^5. \end{aligned} \quad (10.42)$$

Na obr. 10.10 a 10.11 jsou funkce posuvů u_{ij} (10.41) a (10.42), tj. složek deformačního gradientu F , znázorněny graficky:

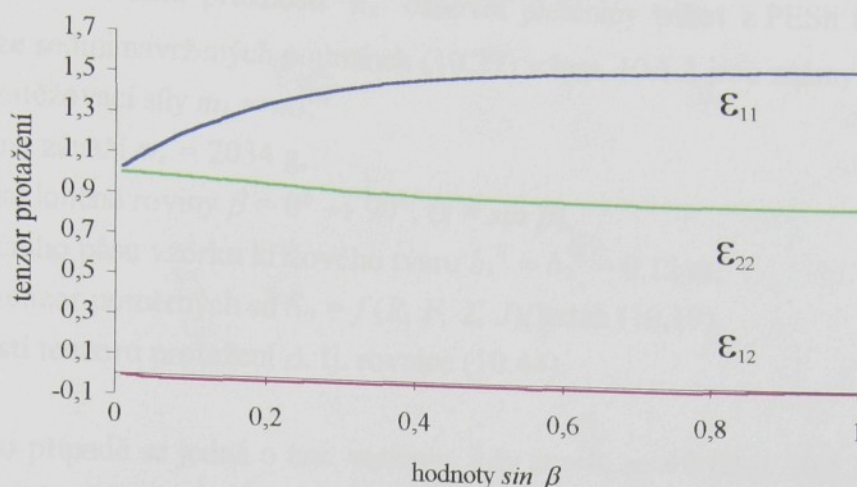


Obr. 10.10 Závislost posuvů u_{ij} při biaxiální deformaci ve směru sloupků a řádků

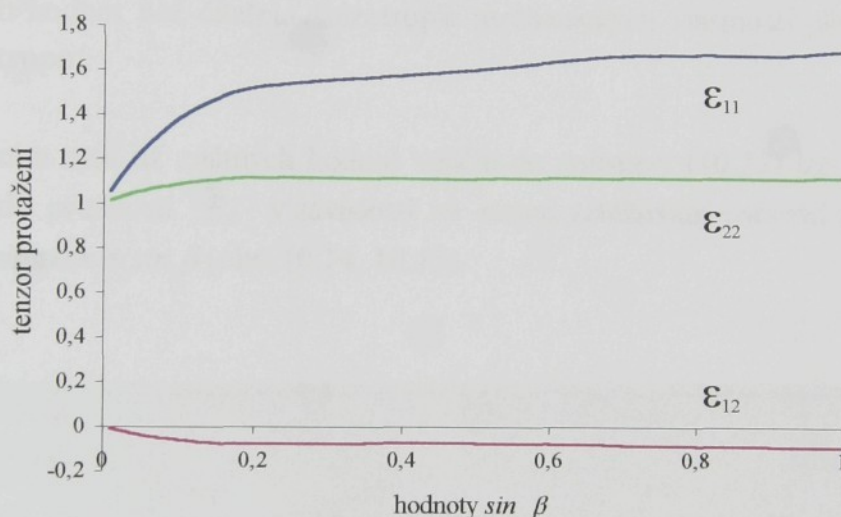


Obr. 10.11 Závislost posuvů u_{ij} při biaxiální deformaci v obecném směru - 30°

Dosazením těchto funkcí do rovnice (10.32) pro výpočet deformačního gradientu F a pomocí rovnic (10.33) až (10.36) lze určit **tenzor protažení** Δ se složkami ε_{ij} . Jeho grafické závislosti jsou na obr. 10.12 a 10.13. Na nich je možné zjistit, že protažení struktury vyvolané stejně velkým zatížením „není příliš rozdílné“, jak by se dalo očekávat v důsledku různé orientace zkoušeného vzorku (rozdíl sklonu je 30°). Došlo sice ke zkosení struktury trikotu, jak ukazuje obr. 10.9, ale volná struktura „dovolila“ přesun nitě, a to se odrazilo na nepříliš velké rozdílnosti grafů na obr. 10.12 a 10.13. Ve všech složkách tenzoru protažení ε_{ij} se u biaxiální deformace v obecném směru oproti hlavnímu směru projevil nárůst se zvyšujícím se zatížením (zatížení lineárně závisí na $\sin \beta$). U zkoušky biaxiální deformace pleteniny v hlavním směru je složka ε_{12} téměř nulová (vztah 10.43), obr. 10.12. Proto pro další výpočet modulů pružnosti pleteniny byly použity pouze výsledky biaxiální deformace v obecném směru.



Obr. 10.12 Závislost tenzoru protažení Δ při zatěžujících krocích biaxiální deformace osnovní pleteniny v hlavních směrech



Obr. 10.13 Závislost tenzoru protažení Δ při zatěžujících krocích biaxiální deformace v obecném směru

Grafické závislosti tenzoru protažení Δ vyjádřené matematicky jsou určeny pro deformaci v hlavních směrech rovnicemi (10.43) a pro deformaci v obecném směru rovnicemi (10.44):

$$\begin{aligned}\varepsilon_{11} &= 0,9999 + 2,6464x - 5,2021x^2 + 5,5334x^3 - 2,9999x^4 + 0,6441x^5, \\ \varepsilon_{22} &= 1 - 0,0127x - 1,3985x^2 + 4,0261x^3 - 4,3118x^4 + 1,6208x^5, \\ \varepsilon_{12} &= -0,0003 - 0,3732x + 2,2802x^2 - 5,5486x^3 + 5,7837x^4 - 2,1493x^5,\end{aligned}\quad (10.43)$$

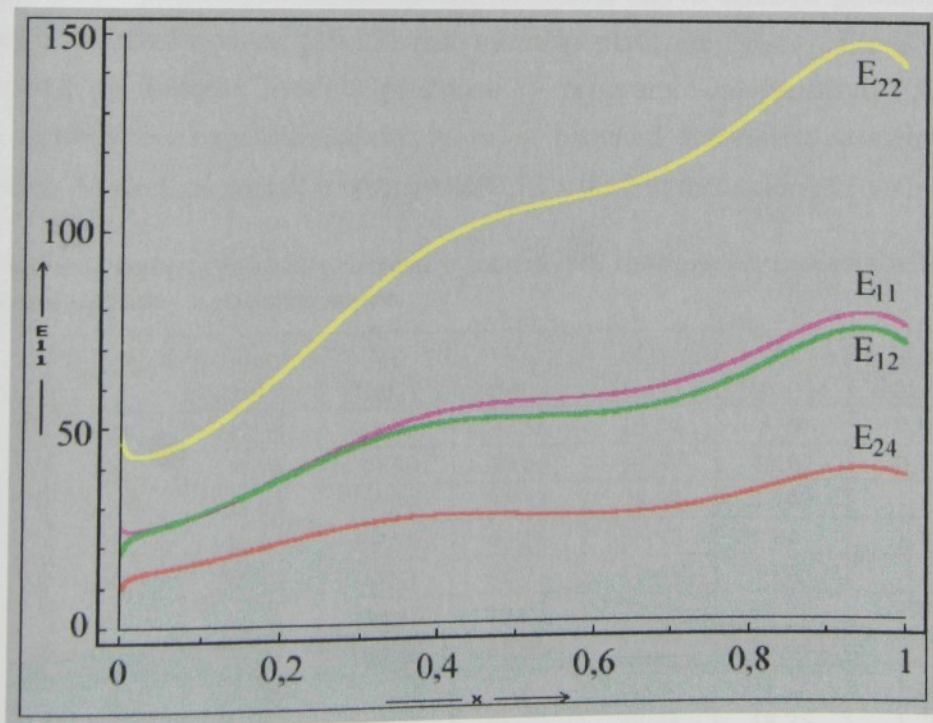
$$\begin{aligned}\varepsilon_{11} &= 1 + 5,7606x - 23,223x^2 - 45,7433x^3 - 41,8808x^4 + 14,3274x^5, \\ \varepsilon_{22} &= 0,9998 + 1,4171x - 6,0747x^2 + 12,1132x^3 - 11,1737x^4 + 3,8624x^5, \\ \varepsilon_{12} &= -0,0023 - 0,9634x + 4,0552x^2 - 7,5114x^3 + 6,2768x^4 - 1,9514x^5.\end{aligned}\quad (10.44)$$

Pro výpočet modulů pružnosti $\bar{E}_{ij}$ osnovní pleteniny trikot z PESH a úhlu symetrie anizotropie ω ze sedmi navržených podmínek (10.27) v kap. 10.1.3 jsou známy tyto parametry:

- vnější zatěžovací síly $m_1 = m_2$,
- hmotnost závaží $m_z = 2034$ g,
- sklon nakloněné roviny $\beta = 0^\circ \rightarrow 90^\circ$, ($x = \sin \beta$),
- šíře bočního pásu vzorku křížového tvaru $b_1^0 = b_2^0 = 0,12$ m,
- Bioův tenzor poměrných sil $S_B = f(R, F, \Sigma, J)$, vztah (10.19),
- závislosti tenzoru protažení Δ , tj. rovnice (10.44).

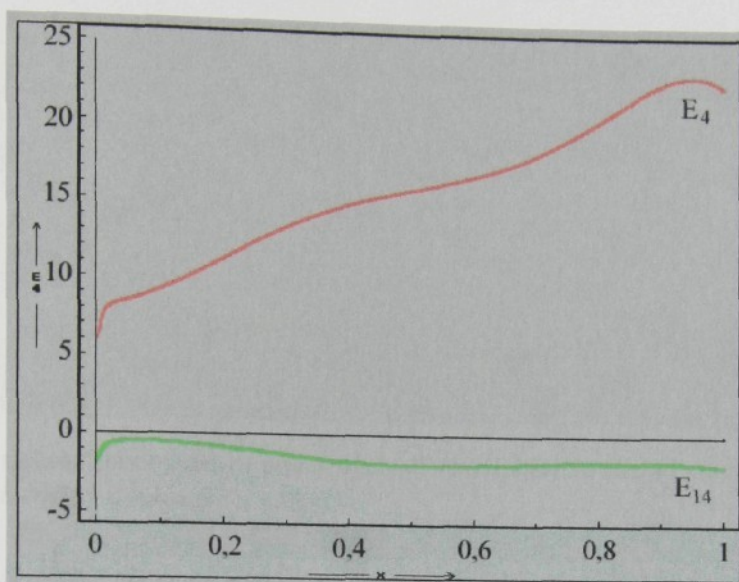
V tomto případě se jedná o tzv. variantu, kdy $\alpha \neq 0$, $\omega \neq 0$ (kap. 10.1.3), protože úhel α je nenulový (obr. 10.16). Proto všechny prvky tenzoru (10.8) budou nenulové stejně jako úhel symetrie anizotropie ω . Anizotropie mechanických vlastností pleteniny má charakter jednoklonné krystalografické soustavy. Zvláštním případem může být $\omega \approx 0$, který vede k hodnotám $\bar{E}_{14} \approx 0$, $\bar{E}_{24} \approx 0$. Jmenovatel ve vztahu pro úhel symetrie anizotropie (10.13) je výrazně vyšších hodnot než číselník. Anizotropie mechanických vlastností pleteniny je potom **přibližně ortotropní**.

Dosažením nyní už známých hodnot veličin do soustavy (10.27) lze získat grafickou závislost modulů pružnosti $\bar{E}_{ij}$ v závislosti na stupni zatěžování osnovní pleteniny daným hodnotou proměnné $x = \sin \beta$ (obr. 10.14, 10.15).



Obr. 10.14 Závislost modulů pružnosti zjištěných při biaxiální deformaci osnovní pleteniny – trikot v obecném směru

Podle rovnic Hookeova zákona (10.23) vychází za podmínek stejného zatěžování ve dvou kolmých směrech (zatížení max. 20,3 N), jak je vidět ze závislosti složek Biova tenzoru poměrných sil c_{ij} na dalším obr. 10.16, je hodnota modulu pružnosti $\bar{E}_{22}$ největší.

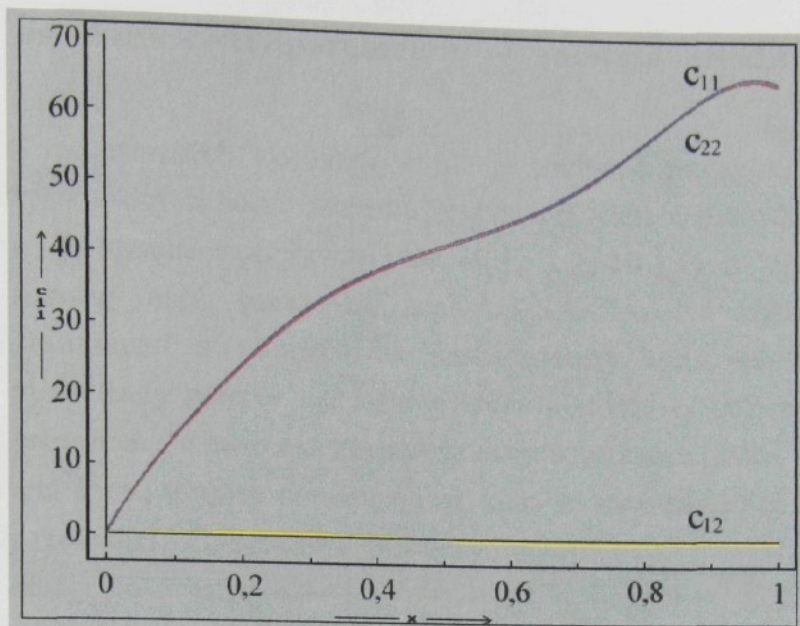


Obr. 10.15 Závislost modulů pružnosti zjištěných při biaxiální deformaci osnovní pleteniny – trikot v obecném směru

Zjednodušeně by se dalo říci, že, je-li složka tenzoru protažení ε_{22} menší než ε_{11} (obr. 10.13), potom modul pružnosti $\bar{E}_{22}$ by měl být větší než $\bar{E}_{11}$. Z první rovnice Hookeova zákona (10.23) dále bude vycházet modul $\bar{E}_{14}$ minimální a může dosahovat záporných hodnot. Z grafické závislosti poměrných sil lze zjistit, že složka Biova tenzoru poměrných sil c_{12} je téměř nulová a ze třetí rovnice (10.23) pak by mělo platit, že $\bar{E}_{24} > \bar{E}_4$. V tab. 10.6 jsou uvedeny vypočítané hodnoty modulů pružnosti (v programovém prostředí FAMULUS) na základě dat zjištěných z experimentálních zkoušek biaxiální deformace se stejným zatížením v obou směrech. Vzorek pleteniny o rozměrech 0,12 x 0,12 m měl sklon 30° vůči řádkům.

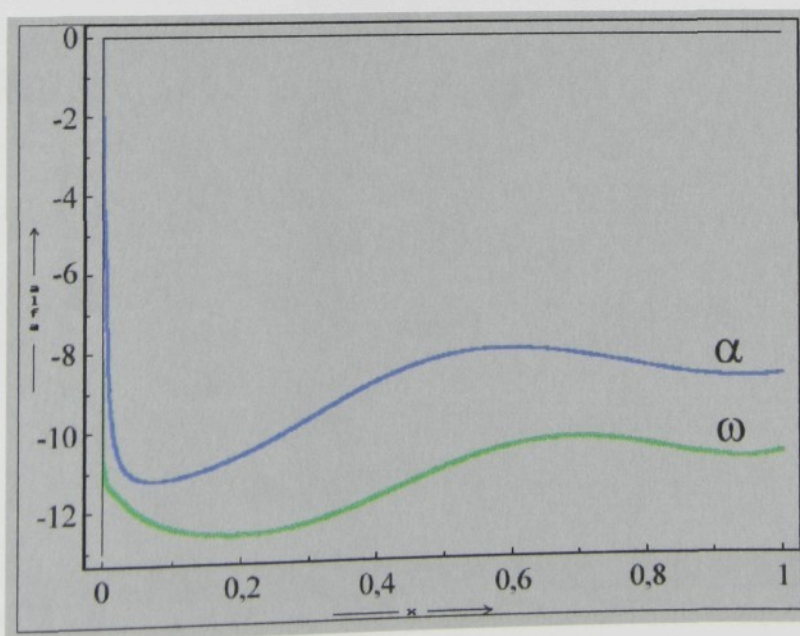
Tab. 10.6 Vypočítané hodnoty modulů pružnosti v jednotlivých zatěžovacích krocích biaxiální deformace osnovní pleteniny v obecném směru

$x = \sin \beta$	E_{11} [Nm ⁻¹]	E_{22} [Nm ⁻¹]	E_{12} [Nm ⁻¹]	E_{24} [Nm ⁻¹]	E_4 [Nm ⁻¹]	E_{14} [Nm ⁻¹]
0,082	27,59	47,36	27,56	15,74	8,98	-0,53
0,174	34,76	59,59	34,66	19,69	10,64	-0,75
0,259	43,04	74,99	42,34	23,69	12,49	-1,12
0,342	50,01	89,38	48,25	26,43	14	-1,51
0,422	54,17	99,52	51,21	27,41	15,05	-1,8
0,5	55,9	105,15	52,03	27,26	15,77	-1,91
0,574	56,73	108,46	52,35	27,02	16,43	-1,9
0,643	58,08	112,01	53,55	27,4	17,22	-1,83
0,707	60,73	117,31	56,26	28,73	18,25	-1,76
0,819	69,42	132,88	65,39	33,58	20,84	-1,66
0,906	77,03	145,98	73,32	37,94	22,88	-1,68
0,966	78,05	147,63	74,14	38,49	23,23	-1,8
1	75,17	142,58	70,88	36,81	22,6	-1,91



Obr. 10.16 Závislost složek Biova tenzoru poměrných sil v závislosti na stupni zatěžování daného sklonem nakloněné roviny $x = \sin \beta$

Závislost úhlu α , tj. úhlu mezi tenzorem poměrných sil a tenzorem deformace lze získat dosazením do rovnice (10.14). Úhel ω je úhel, který svírá osa symetrie anizotropie s osou 11 (směr zatížení pleteniny). Úhel je nazýván úhlem symetrie anizotropie ω , je možné ho určit jako jednu neznámou ze soustavy rovnic (10.27). Vychází z určité symetrie vlastností materiálu (krystalografické soustavy), která zmenšuje počet nezávislých pružných modulů. Stanovení úhlu ω pouze pozorováním, např. pomocí obrazové analýzy LUCIA je obtížné. U osnovní pleteniny dochází k velkému přesunu nitě z oka do druhého oka a pravděpodobně by se docílilo poměrně dosti velké nepřesnosti. Také protože úhel vychází dosti malý, jak je možno vidět na obr. 10.17.



Obr. 10.17 Závislost úhlů symetrie anizotropie ω a úhlu mezi tenzorem deformace a tenzorem poměrných sil α v závislosti na stupni zatěžování daného sklonem nakloněné roviny $x = \sin \beta$

10.2 Shrnutí mechanických parametrů – modulů pružnosti osnovních pletenin

Pro určení mechanických vlastností textilií je nezbytné provedení experimentálního měření posuvů čtyř zvolených bodů elementu textilie při jejím vnějším biaxiálním zatížení. Osnovní pletenina je upnutá v přípravku (obr. 10.1, kap. 10.1.1) a její jednotlivé stavy napjatosti jsou snímány např. obrazovou analýzou LUCIA. **Na základě vazeb mezi počátečními souřadnicemi a okamžitými souřadnicemi bodů kontinua (nahrazuje pleteninu) jsou vypočítány posuvy u_{ij} .** Dále je určen materiálový deformační gradient F a vypočítán tenzor protažení. Z Hookeova zákona ve dvou soustavách (jedna je potočena) jsou na základě stanovení Biova tenzoru poměrných sil, který je konjugovaný k tenzoru protažení, stanoveny moduly pružnosti $\bar{E}_{ij}$ zkoumané pleteniny.

Textilie namáhaná rovnoměrným dvouosým tahem **neklade deformacím zkoso žádný odpor**, jak uvádí STŘÍŽ v [53]. Lze tedy předpokládat, že navržená metoda platí pro obecné dvouosé tahové namáhání textilie. **Potvrdit** pro různé druhy textilií a různé vazby je to však nutno **experimentálně**.

Použitím zvláštního případu biaxiální deformace, tzv. rovnoměrné, se navrhlo řešení neobecného případu, ve kterém jsou smluvní poměrné síly m_1 a m_2 působící na vzorek osnovní pleteniny stejné. Další experimentální zkoušky tzv. **nerovnoměrné biaxiální deformace**, tj. kdy zatěžování ve dvou kolmých směrech je závislé, prozatím na použitém zařízení nelze provádět. Nové zařízení na tuto deformaci je nyní už připraveno a ve zjišťování mechanických charakteristik osnovních pletenin se bude nadále pokračovat. Lze použít také jiné vazby pletenin, jiné materiály, aj. Bude zajímavé sledovat např. vliv geometrických parametrů na mechanické charakteristiky, ale to je práce ve větším i časovém rozsahu.

11 Závěr

Disertační práce je orientována do oblasti **struktury osnovní pleteniny** – trikot a zjišťování jejich geometrických a mechanických vlastností, jak experimentálně, tak teoreticky. Její text není členěn na řešeršní a experimentální část. S ohledem na řešenou oblast jsou vlastní předpoklady, poznatky a závěry uváděny postupně spolu s jednotlivými experimentálními výsledky. Toto uspořádání práce bylo voleno z hlediska lepší souvislosti a srozumitelnosti. Na první pohled se proto může jevit, že původní práce začíná teprve od kap. 6.3. Ovšem např. v kap. 2.2.1, 2.2.3, 4.3 a 4.4 jsou uvedeny vlastní teoretické souvislosti týkající se struktury pletenin. V kap. 5 je obsaženo experimentální měření průměrů nití a vyhodnocení jejich tahových zkoušek, vliv průměru nitě na zakrytí pleteniny, aj.

11.1 Geometrické vlastnosti délkových textilií a pletenin

V kap. 8 jsou vyhodnoceny geometrické vlastnosti osnovních pletenin vyrobených z délkových textilií, jejichž geometrické vlastnosti (především průměr nitě a zaplnění) jsou popsány v kap. 5.

Obecně je známo, že pleteniny, osnovní nevyjímaje, jsou paratelné. Nicméně experimentální zjišťování délky nitě v očku (někdy se udává veličina – spotřeba nitě na očko) ze zhotovené pleteniny není prakticky realizovatelné. Bez experimentálního měření během výroby osnovní pleteniny lze veličinu, délku nitě v očku, stanovit pouze výpočtem na základě navržených např. **geometrických modelů**, které jsou součástí a tématem této práce (kap. 6.3). Modely pletenin mají obecně omezenou platnost a vycházejí pouze z geometrických parametrů nitě a pletené struktury, kterými je obvykle pletenina popisována. Tj.: průměr nitě a rozteč sloupků a řádků. Při použití uvedených veličin bez dosazení empirických korekcí nejspíše není možné dospět k přesnějšímu výpočtu délky nitě v očku, tj. rektifikaci křivky tvořící očko. Jeho dosažení by vyžadovalo:

- použití dalšího parametru jako je sklon očka nebo spojovací kličky (stanovení pomocí např. obrazové analýzy LUCIA) – běžně se nezjišťuje,
- zahrnutí vlivu deformačních (ohybových) vlastností nitě,
- zahrnutí vlivu prostorového zprohýbání nitě v pletenině, aj.

Při „vyhovujícím“ výsledku vypočtené délky nitě v očku vzhledem k její experimentální hodnotě může nastat situace, že celkové délky nitě v očku modelu a pleteniny budou odpovídat, ale délky jeho jednotlivých částí ne. Tzn., že přesnost návrhu délky individuálních úseků osy nitě v očku může být rozdílná, ale na celkové délce se to nemusí nutně projevit (např. jehelní oblouk očka = n -násobek průměru nitě).

K výpočtu je nutné stanovit průměr pletařských nití, které bývají tvarovány (např. nepravý zákrut, aj.). V experimentálně provedených příčných řezech multifilu PESh (kap. 5.2.3) je vidět „rozsypaní“ jednotlivých vláken. Zaplétáním nitě do tvaru očka se změnil tvar průřezu nitě u PESh – 2 x 167 dtex pravděpodobně více než u rotorové příze 65PES/35ba – 25 tex.

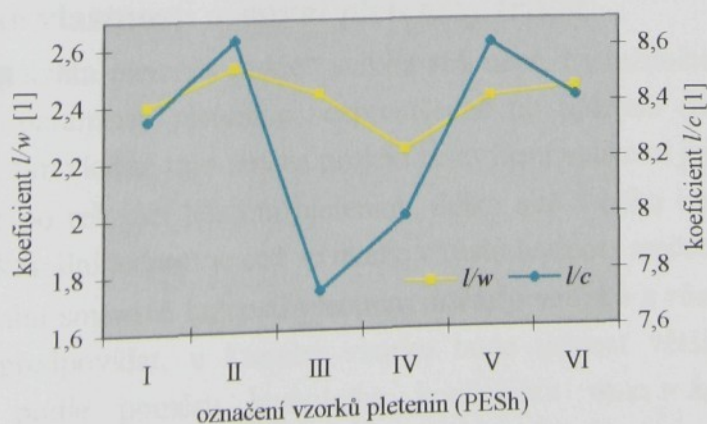
V kap. 5.2.3 je provedeno **vyhodnocení** experimentálního měření **průměru nitě** z PESH – 2 x 167 dtex tvarovaného nepravým zákrutem a rotorové příze 65PES/35ba – 25 tex pomocí metody příčných řezů. U rotorové příze byly realizováno měření průměru příze také metodou podélného pohledu na přízi. Výrazné rozdíly mezi oběma experimentálními hodnotami průměru BD příze nebyly zjištěny, jak uvádí kap. 5.2.3.

Kromě deformace tvaru průřezu nitě při jejím zapletení se navíc deformací nitě ve struktuře pleteniny při **jednoosém zatěžování** se v případě použití druženého PESH (jako v této disertační práci) jednotlivé jednoduché nitě od sebe „oddělí“. Vliv má ochranný zákrut nitě, který způsobí, že fibrily na povrchu multifilu budou vyvolávat dostředné tlaky. Jednotlivé fibrily obou družených nití se tak nebudou navzájem prostupovat. Proto nemůže mít řez družené nitě při deformaci kruhový tvar. Pravděpodobně se bude skládat z více kruhových částí podle počtu družených multifilů. Na tvar průřezu nitě bude mít vliv dále velikost oblasti, na které je nit zprohýbána, použitá vazba pleteniny, aj.

Kap. 5.4 obsahuje **experimentální zjišťování pevnosti a tažnosti** délkových textilií. Tažnosti délkové textilie (PESH – 18 %, 65PES/35ba – 12 %) se také odrazí v tažnosti osnovní pleteniny. Nicméně tažnost osnovní pleteniny trikot (PESH 100 – 240 %, 65PES/35ba 40 – 240 % podle směru 1-osého zatěžování), jak bylo zjištěno (kap. 9.2.3.1, 9.2.4), je především způsobena možností přesunu nitě ve strukturální jednotce.

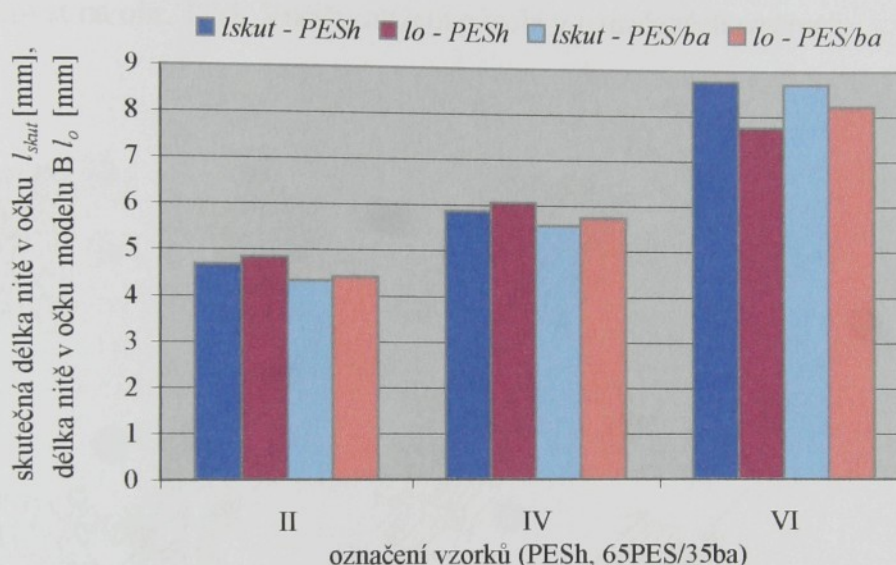
Z uvedeného vyplývá, že je důležité zabývat se zkoumáním nití a **projevem mechanicko-fyzikálních vlastností nití ve struktuře pleteniny**. V konečném důsledku jsou to zejména délkové materiály, které zapříčiňují velikost geometrických parametrů pletenin. Ty mají pak spolu s mechanicko-fyzikálními vlastnostmi nití následně vliv na mechanické vlastnosti pletenin.

Vliv na přesnější **výpočet délky nitě v očku** (geometrické modely očka jsou navrženy v kap. 6.3) budou mít také jeho experimentálně zjištěné geometrické parametry pleteniny po relaxaci. Na obr. 11.1 jsou vidět závislosti bezrozměrných čísel dávající do poměru délku nitě v očku a rozteče sloupků a řádků pro vzorek osnovní pleteniny z PESH. V odborné literatuře je udáváno, že tyto koeficienty jsou konstantní. Vypočítaný rozdíl mezi největší a nejmenší hodnotou obou koeficientů je procentuálně přibližně stejný (na osách jsou jiná měřítka). Graf ukazuje vliv „nerovnoměrné“ relaxace osnovní pleteniny po jejím zhotovení. Označení vzorků I – VI od nejvyšší hodnoty celkové hustoty H_c , jak je uvedeno v kap. 8.2.



Obr. 11.1 Závislosti bezrozměrných čísel u vzorků osnovní pleteniny vyrobené z PESH

Na obr. 11.2 je ukázáno srovnání experimentálně zjištěných délek nitě v očku osnovní pleteniny trikot z PESH a 65PES/35ba při stejném nastavení stroje a teoreticky vypočítaných délek nitě v očku podle navrženého **geometrického modelu typu B** (kap. 6.3.3). Výpočtem došlo u vyšších hodnot hustot pleteniny (vzorek II) k „nadhodnocení“ délky nitě v očku oproti její experimentální hodnotě (větší stlačení a ovlivnění průměru nitě ve vazných bodech, které jsou blíže sebe). U nižších hodnot hustot vypočítané hodnoty délek nitě v očku byly menší oproti skutečným. Nit je volněji provázána a především u PESH geometrie nitě v očku není stejná. Tvarově se očko liší, ale délky nitě v očku osnovní pleteniny ve vazbě trikot jsou přibližně odpovídající (viz. kap. 6.3.3 a 6.4). (U skupin vzorků II, IV a VI nelze srovnávat délku nitě v očku pleteniny z PESH a 65PES/35ba, protože jejich parametry w a c se liší.)



Obr. 11.2 Srovnání skutečných a teoretických délek nitě v očku trikotu (PESH, 65PES/35ba)

Druhý navržený **model typu A** (kap. 6.3.2) zcela nevyhovoval především s ohledem na konstrukci oka a spojovací kličky, která byla navržena pouze obloukovými částmi. Jejich poloměr byl odvozen pouze od rozteče sloupků. Nevýhodou tohoto modelu je vzájemná závislost geometrických parametrů pleteniny, a to rozteče sloupků w a řádků c .

11.2 Mechanické vlastnosti osnovní pleteniny trikot

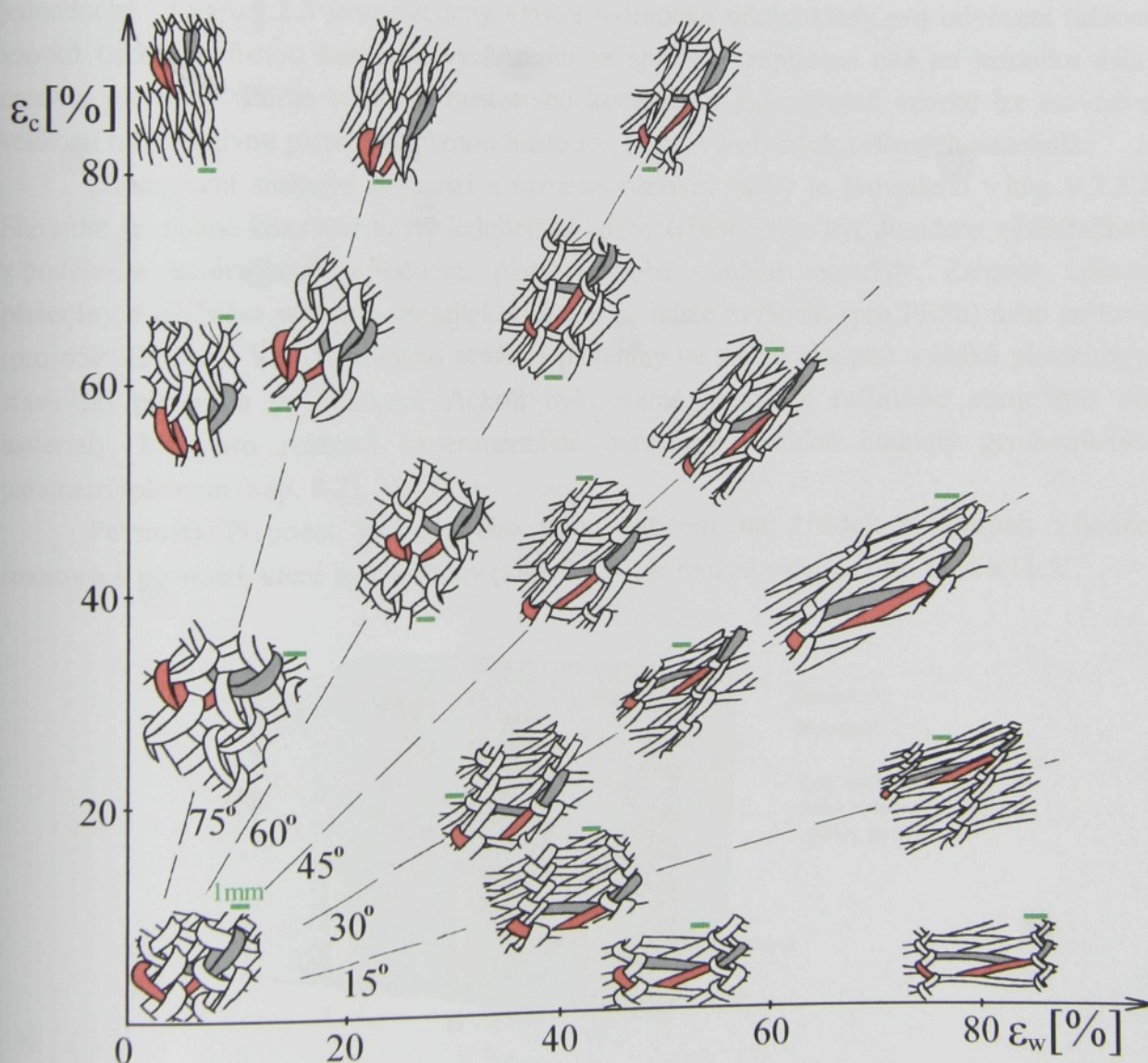
Rozměrová stabilita pletenin „hraje“ velkou roli např. i v tažnosti textilie. Čím více se zmenší geometrické parametry pleteniny bezprostředně po upletení (nebo před dosažením relaxovaného stavu), tím více se tato změna projeví ve zvýšení velikosti její směrové tažnosti.

- Zvýší-li se po relaxaci hustota pleteniny, délka nitě v očku bude obsažena v menší ploše strukturální jednotky, což se ukáže v růstu hodnoty směrové tažnosti.
- Při zjišťování směrové tažnosti pleteniny u **řady vzorků s různými hustotami** lze přibližně předpovídat, u kterého vzorku bude tažnost větší – menší (ne jejich hodnoty) podle poměru hustotního koeficientu $w_i/c_i = k_{hi}$, jak je uvedeno v kap. 9.2.3.

11.2.1 Zhodnocení pevnosti a tažnosti osnovní pleteniny – trikot

Vyhodnocení experimentálních hodnot pevnosti a tažnosti pleteniny je podrobněji zpracováno v kap. 9.2.3.1 a 9.2.4 a jeví se nadbytečné ho stejným způsobem znovu prezentovat. Proto je v této závěrečné kapitole kromě obecných poznatků týkajících se změny struktury při jednoosé směrové deformaci trikotu provedeno srovnání parametrů mechanických vlastností pletenin pomocí jiných veličin.

Jak už bylo v předchozích kapitolách uvedeno, **směrová tažnost** je výrazně **závislá** na **hustotě pleteniny**, tzn. že na jednotkovou délku v různých směrech připadne různý počet strukturálních jednotek. Každá strukturální jednotka se v definovaném směru při jednoosém směrovém namáhání (v tomto případě s úhlovým krokem 15°) chová odlišným způsobem, což je možno sledovat na obr. 11.3. Vnější zatížení působí v označených směrech.



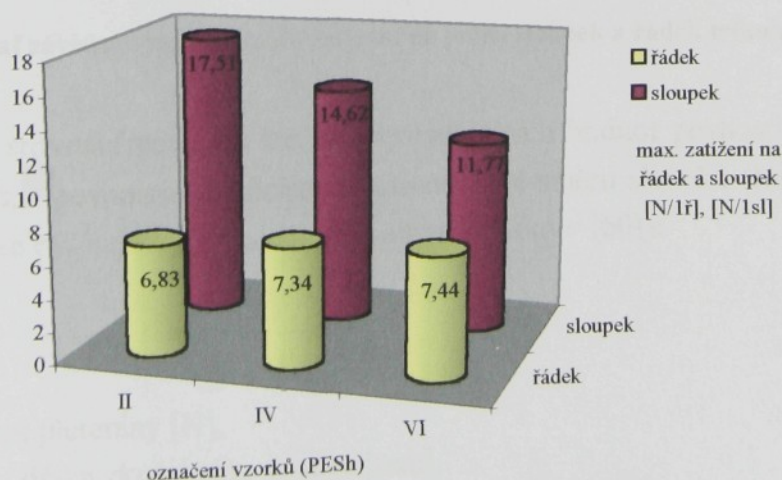
Obr. 11.3 „Diagram“ struktury trikotu při 1-osé deformaci (PESh - VI)

Umístění deformované struktury pleteniny v „polárním diagramu“ (obr. 11.3) souvisí s hodnotou protažení pleteniny při 1-osé směrové deformaci. Prodloužení strukturální jednotky závisí na jejích původních rozměrech, které jsou v obou směrech (podélný, příčný) různé. K **největšímu prodloužení strukturální jednotky** vzorku PESH VI – 2 x 167 dtex (rozměry vzorku - 10 x 10 cm) dochází při jednoosé deformaci ve **směru příčném – 0°**, jak je možno také vidět na obr. 11.3. Ovšem právě v důsledku nízké hodnoty hustoty sloupků (menší počet jednotek ve směru příčném) je **tažnost celého vzorku pleteniny v tomto směru nejmenší**. Je zřejmé, že jednoosou deformací v příčném směru se struktura „dříve napíná“ (obr. 11.3). V obecném směru, tj. různém od 0°, 90°, zatížení vnějšími silami způsobí různé tvary oček. Struktura se bude modelovat dvěma tvarově rozdílnými očky. Délka nitě v očku bude v celé struktuře stejná (je opominuta nerovnoměrnost textile). Odlišovat se budou úseky jednotlivých částí dvou různých oček. Na obr. 11.3 je to např. směr 30°, oka jsou označeny barevně. Délka úsečky (zeleně) u provázání představuje 1 mm pleteniny ve skutečnosti.

V této fázi formulovat jednoznačný závěr pro velikost tažnosti trikotu není jednoduché. V kap. 9.2.3 jsou uvedeny vlastní teoretické předpoklady pro odvození tažnosti vzorků trikotu s různou hustotou vycházející ze spotřeby zapletené nitě na jednotku délky osnovní pleteniny. Podle velikosti hustotního koeficientu jednotlivých vzorků lze srovnávat velikosti tažnosti dvou pletenin s různou hustotou, popř. vyrobených z různých materiálů.

Zhodnocení směrové pevnosti a tažnosti osnovní vazby je provedeno v kap. 9.2.3.1. Shrnutím je možné konstatovat následující: U vazby **trikot** může být dosažena **větší tažnost v podélném směru** než v příčném, platí pro oba použité materiály. Zároveň **tažnost pleteniny v příčném směru** s klesající hustotou se může zvyšovat (pro PESH) nebo snižovat (pro 65PES/35ba). **Vliv rozdílného srážení** pleteniny ve směru sloupků a řádků pleteniny ve stavu při pletení a po relaxaci. Ačkoli bylo stejné nastavení rašlového stroje pro oba materiály, byly pro relaxaci experimentálně naměřeny rozdílné hodnoty geometrických parametrů pletenin (kap. 8.2).

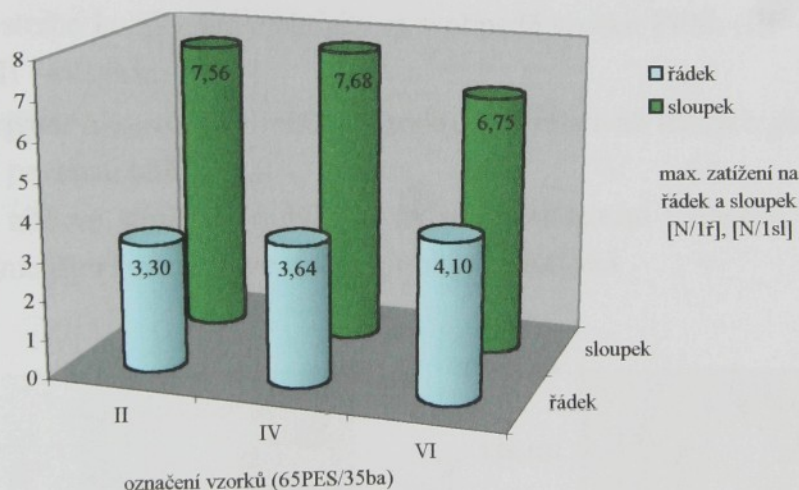
Pevnost: Přepočet **průměrného max. zatížení na 1 řádek a sloupek** z hodnot směrových pevností, které byly zjištěny (kap. 9.2.4), je možné vidět na obr. 11.4 a 11.5.



Obr. 11.4 Graf závislosti maximálního zatížení na 1 sloupek a řádek trikotu (PESH)

U osnovní pleteniny trikot z PESH a 65PES/35ba následující:

- u obou materiálů je vypočítaná pevnost podle vztahu (9.1) v kap. 9.1 větší ve směru sloupků. Naproti tomu se experimentální zkouškami pevnosti zjistilo, že **pevnost ve směru řádků je vyšší** (kap. 9.2.3.1 a příloha 2). **Pevnost připadající na 1 sloupek** je vyšší než na řádek, ačkoli vyšší hodnoty pevnosti pleteniny jsou ve směru řádků 0° (při přepočtu absolutních hodnot pevností na $F_{1sl,\bar{r}}$ se výsledky „obrátily“. Není to způsobeno tím, že ve sloupku jsou dvě stěny a v řádku jedna spojovací klička, ale počtem oček ve struktuře.),
- se zvyšující se hustotou (VI → II) roste také zatížení připadající na 1 sloupek (jiné využití pevnosti nitě),
- naopak se zvyšující hustotou nepatrně klesá zatížení připadající na 1 řádek. I když tento předpoklad nebyl dříve vysloven, může to být způsobeno jinou délkou zapletené nitě a počtem vazných bodů na jednotku délky. Také **využití pevnosti nitě ve směru řádků a sloupků** bude zřejmě rozdílné podle geometrie nitě v deformovaném očku. Pro zjištění tohoto využití pevnosti nitě bude potřeba uskutečnit podstatně větší soubor měření pevnosti pleteniny z různých materiálů při různých geometrických parametrech pleteniny.



Obr. 11.5 Graf závislosti maximálního zatížení na jeden sloupek a řádek trikotu (65PES/35ba)

Pro další srovnání pevnosti lze z experimentálních hodnot pevnosti osnovní pleteniny trikot vypočítat tzv. pevnostní koeficient efektivnosti ve směru sloupků (řádků) $\eta_{s,\bar{r}}$ [Nmm/g]. Jeho definice může být navržena následovně (obdobně jako v [60]):

$$\eta_{s,\bar{r}} = \frac{F_{\bar{r},s} L}{p_s \cdot p_{\bar{r}} \cdot m_o}, \quad (11.1)$$

kde : $F_{\bar{r},s}$ – pevnost pleteniny [N],

L – původní délka zkušební vzorku [mm],

$p_{s,\bar{r}}$ – počet sloupků (řádků) ve zkušebním vzorku [1],

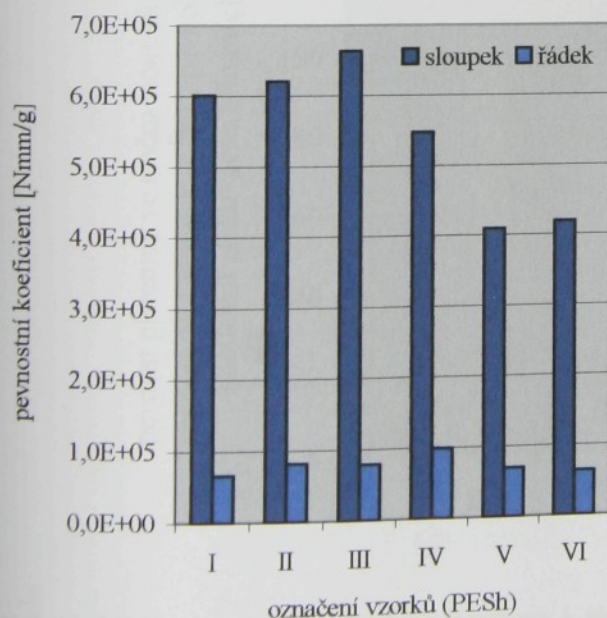
m_o – hmotnost nitě v očku [g].

Pevnostní koeficient efektivnosti ve sloupku η_s respektuje počet sloupků v šířce vzorku (5 cm), závisí na počtu řádků ve vzorku pleteniny (10 cm), které také ovlivňují hodnotu pevnosti prostřednictvím počtu vazných bodů (souvisí s provázáním). Rozměry a tvar vzorku pro tahovou zkoušku pletenin jsou uvedeny na obr. 9.1 v kap. 9.1.

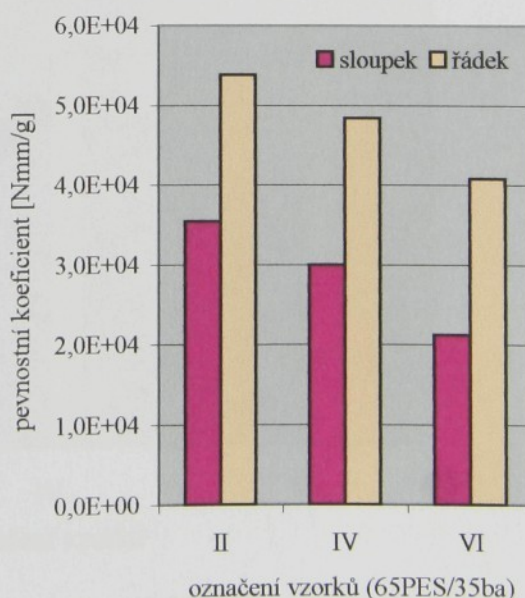
Ve srovnání s poklesem maximálního zatížení na 1 sloupek při 1-osé deformaci se snižující se hustotou (viz. obr. 11.4 a 11.5), je **pokles pevnostního koeficientu efektivnosti η_s ve směru sloupků** (obr. 11.6 a 11.7) **podstatně vyšší**, obzvláště u PESh. Může to být vysvětleno uvažováním vlivu hmotnosti délky nitě v očku m_o , jenž souvisí s měrnou hmotností textilie. Prohloubí se rozdíl mezi hodnotami pevnostního koeficientu efektivnosti ve sloupku u obou materiálů (PESh a 65PES/35ba). Srovnáním grafů na obr. 11.6 a 11.7 lze zjistit, že hodnoty η_s pro PESh jsou vyšší než η_f . Naproti tomu u 65PES/35ba je situace opačná. Hodnoty pevnostních koeficientů efektivnosti se příliš neliší tak jako u PESh. Vyšší pevnostní koeficient efektivnosti ve směru řádků lze vysvětlit s velikostí hustotního součinitele, kdy hustoty řádků a sloupků nejsou tak rozdílné, jako u PESh.

Předpokladem je, že pevnostní koeficient efektivnosti s klesající hustotou bude rovněž klesat. Graf na obr. 11.6 ukazuje dvě „odchytky“ od tohoto předpokladu. Charakteristické vlivy poklesu pevnostního koeficientu efektivnosti η_s v případě vzorku PESh (III $\rightarrow$ II $\rightarrow$ I) a η_f PESh (VI $\rightarrow$ III $\rightarrow$ II $\rightarrow$ I) jsou:

- větší zakřivení a zprohýbání nitě ve struktuře u relativně hustých pletenin (ovlivní se využití pevnosti nitě),
- orientace nitě ve struktuře s ohledem na směr zatěžování v případě vyšších hustot podléhá „menším změnám“ ve směru působícího zatížení.



Obr. 11.6 Graf závislosti pevnostního koeficientu efektivnosti $\eta_{s,f}$ trikotu (PESh)



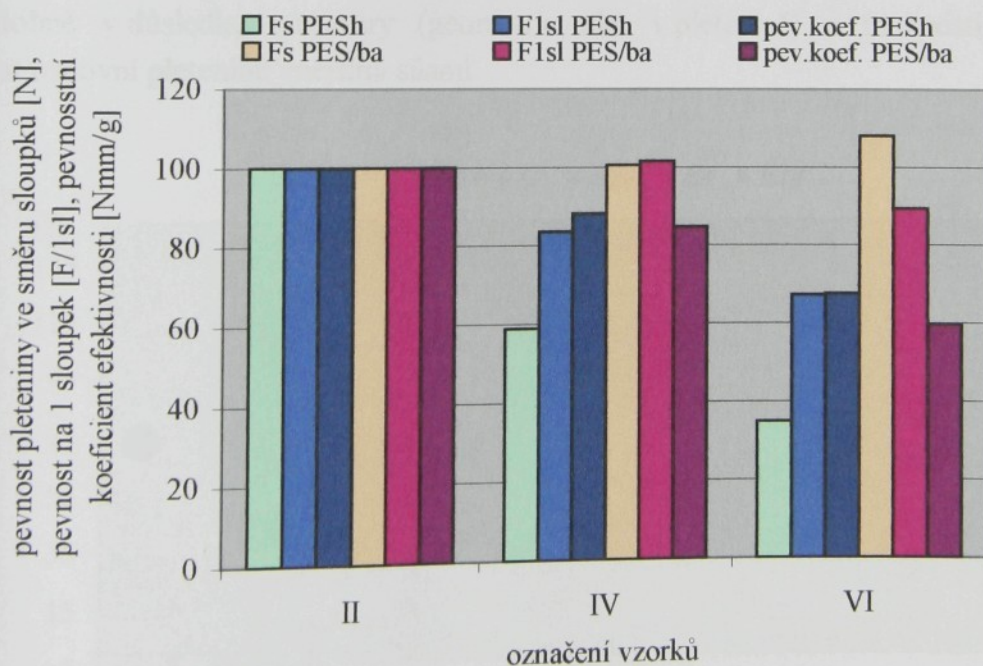
Obr. 11.7 Graf závislosti pevnostního koeficientu efektivnosti $\eta_{s,f}$ trikotu (65PES/35ba)

Na obr. 11.8 lze srovnat procentuelní vyjádření tří veličin vzorků IV a VI osnovní pleteniny vzhledem ke vzorku II (nejhustší), a to: Pevnosti osnovní pleteniny, pevnosti připadající na 1 sloupek a pevnostního koeficientu efektivnosti ve směru sloupků vzhledem ke stejným veličinám osnovní pleteniny (pro oba materiály).

Se zvyšující hustotou pleteniny (VI $\rightarrow$ II) pevnost ve směru řádků u obou materiálů vzrůstala. Ve směru sloupků je situace odlišná. U PESh se snižující hustotou pevnost klesala, u druhého materiálu 65PES/ba pevnost vzrůstala (kap. 9.2.3.1, je to také možné vidět na obr. 11.8). Nárůst nebyl příliš vysoký a lze se domnívat, že s pokračujícím poklesem hustoty nebude hodnota pevnosti stále růst.

U obou vzorků je vyšší pevnost ve směru řádků než sloupků, ačkoli se na ní podílejí střídavě dvě a jedna nit očka. V odborné literatuře se obecně uvádí, že na pevnosti ve směru sloupků se budou podílet tři nitě, proto by měla být vyšší. Také vztah na výpočet pevnosti pleteniny ve směru řádků a sloupků uvedený v kap. 9.1 naměřeným výsledkům neodpovídá. Výsledky vypočítaných hodnot pevností podle tohoto vztahu jsou uvedeny v tab. 9.1, kap. 9.1. Tento vztah nezahrnuje vliv počtu strukturálních jednotek (oček) také na délku vzorku (nejen na šířku, kde je dán příslušnou hustotou). Délka vzorku souvisí s počtem vazných bodů, s příčnou kontrakcí závisující na geometrických parametrech zkoumané osnovní pleteniny.

Nebude snadné navrhnout všechny teoretické souvislosti a zahrnout nejen tyto uvedené vlivy do vztahu pro výpočet pevnosti pleteniny. Podrobnější popis a řešení problematiky týkající se pevnosti pleteniny by bylo nad rámec této disertační práce a vyžaduje samostatné řešení.



Obr. 11.8 Procentuelní závislost pevnosti na 1 sloupek a pevnostního koeficientu efektivnosti osnovní pleteniny - trikot

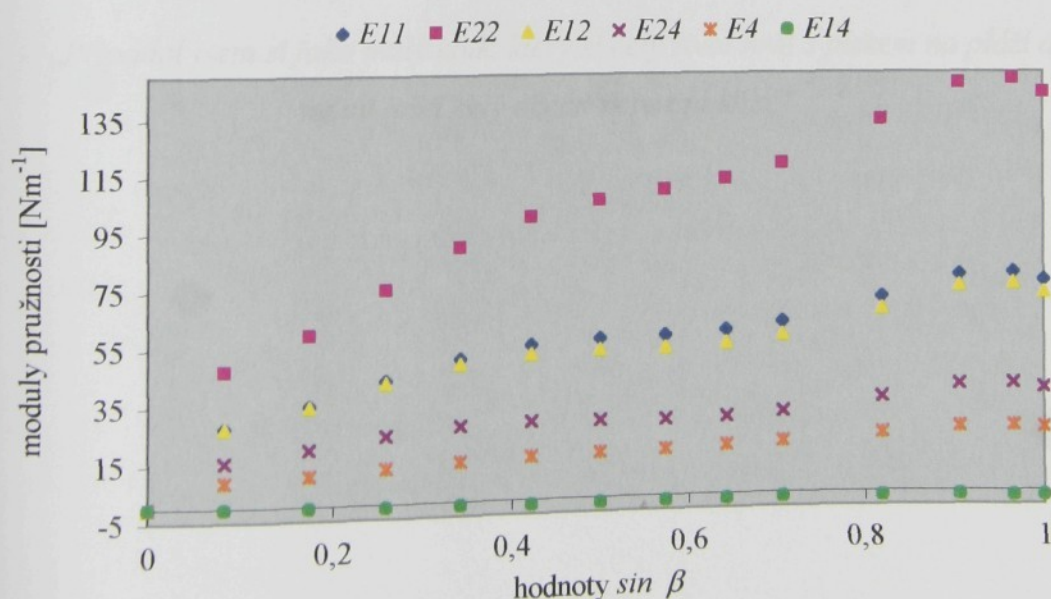
Je-li hustota sloupků a řádků méně rozdílná, tj. hustotní koeficient k_{hi} je menší, pevnost ve směru příčném a podélném bude vyrovnanější než v opačném případě (kap. 9.2.3). U řidších pletenin jsou pevnosti vyrovnanější (zřejmě důsledek hustotního koeficientu k_{hi} a také přesunu nitě). Vazba trikot je nejméně odolná pevnosti ve směru $45^\circ - 60^\circ$.

V osnovní pletenině je **kombinované namáhání nitě**, které je dáno strukturou pleteniny. Vzorky zhotovené z 65PES/35ba mají obecně nižší hodnoty pevnosti, což bude nejspíše způsobeno pevností délkového materiálu (kap. 5.4).

11.2.2 Zhodnocení zjištěných modulů pružnosti v závislosti na napjatosti osnovní pleteniny – trikot

Mechanické vlastnosti pletenin jsou závislé na okamžitém stavu namáhání textilie a na jejích deformacích. Ze zkoušek **rovnoměrné biaxiální deformace** (ve dvou kolmých směrech se stejným zatížením) osnovní pleteniny ve vazbě trikot, jejíž strukturální parametry jsou uvedeny v kap. 10.1.4, tab. 10.1, byly zjišťovány moduly pružnosti $\bar{E}_{ij}$ a úhel symetrie anizotropie ω . Např. autoři [3, 40, 54] se přiklání k používání termínu **modul pružnosti** i pro textilie, ačkoliv může být poněkud „zavádějící“.

Vypočítané hodnoty modulů pružnosti $\bar{E}_{ij}$ [Nm^{-1}] v jednotlivých krocích zatěžování jsou graficky znázorněny na obr. 11.9 v závislosti na stupni zatěžování, tj. $x = \sin \beta$. Parametr x je lineární závislý na zatěžování vyvolané vnějšími silami. Maximální absolutní tahová síla dosahuje hodnot 20,3 N. Jak je rovněž uvedeno v kap. 10.1.4, dosahují úhly α , tj. úhel mezi tenzorem poměrných sil a tenzorem deformace, a úhel ω (úhel, který svírá osa symetrie anizotropie s jedním směrem zatížení pleteniny), minimálních hodnot (max. -10°) pravděpodobně v důsledku struktury (geometrie nitě v pletenině) a možnosti „snadno“ deformovat osnovní pleteninu vnějšími silami.



Obr. 11.9 Hodnoty modulů pružnosti E_{ij} [Nm^{-1}] závislosti na stupni zatěžování $x = \sin \beta$

Ze závislosti na obr. 11.9 vyplývá tvrzení, že v tomto případě při namáhání pleteniny dvouosým tahem má **anizotropie mechanických vlastností charakter jednodílné krystalografické soustavy**. Bude-li $\omega \approx 0$, potom bude mít pletenina přibližně ortotropní vlastnosti. Toto tvrzení ovšem nelze zevšeobecnit pro jiné vazby pletenin s jinými strukturálními parametry.

Např. v práci [12] je zkoumána struktura triaxiální tkaniny a autoři uvádějí závěr, že v důsledku symetrie struktury bude se textilie chovat izotropně.

Mechanické vlastnosti pletenin jsou geometricky i fyzikálně nelineárními funkcemi jejich stavů napjatosti a deformace. Proto má anizotropie textilií specifický charakter, který vychází ze symetrie struktury textilie a se strukturou úzce souvisí.

11.3 Slovo závěrem

Již téma představené disertační práce **Charakteristika osnovní pleteniny – struktura a mechanické vlastnosti** naznačuje určitou obsáhlou, která se ještě více projevila při proniknutí do její problematiky a samotném zpracování. Také převážně z důvodů širokého pojmu jako je deformovatelnost pleteniny, není snadné vyslovit všeobecné závěry, které se budou týkat většiny osnovních vazeb. Proto byla pro teoretickou a experimentální část vybrána pouze jedna ze základních vazeb osnovních pletenin. Nejen to naznačuje další možné pokračování v práci a výzkumu s použitím jiných vazeb. V některých kapitolách jsou v textu naznačovány oblasti související s tématem práce, které se prozatím jeví jako nedořešené a vhodné ke zpracování.

Po zkušenostech, které byly získány během zpracování mé disertační práce, je možné uvést následující citát B. PASCALA, který vystihuje moji náladu po jejím dokončení:

„Připadal jsem si jako malý kluk, který si celý život hrál s pískem na pláži a přede mnou ležel celý oceán nepoznaného.“

PASCAL

Seznam použité literatury:

- [1] Backer, S. – Hearle, J.W.S. – Grosberg, P.: An Engineering Approach to Textile Structures. *In* Structural Mechanics of Fibers, Yarns, and Fabrics., London 1969,
- [2] Bartch, H.J.: Matematické vzorce. Mladá Fronta, Praha 1998,
- [3] Bassett, R. J. – Postle, R. – Pan, N.: Experimental Methods for Measuring Fabric Mechanical Properties: A Review and Analysis. Textile Res. J., No 11, 1999,
- [4] Dalidovič, A. S.: Osnovy teorii vjazanija. Legkaja industrija, Moskva 1970,
- [5] Dalidovič, A.S. – Šalov, I. I.: Technologija trikotažnovo proizvodstva. Moskva 1977
- [6] Daněk, V.: Osnovní pletení. VŠST, Liberec 1984,
- [7] Drašarová, J.: Geometrická struktura tkaniny (teorie a experiment). Interní zpráva KAS, TU Liberec 2000,
- [8] Drašarová, J.: Unstandard Experimental Methods of Fabric Geometrical Structure Detection. TEXSCI, TU Liberec 2000,
- [9] Dušek, Z.: Experimentální verifikace modelů oček osnovních pletenin. Informativní přehled VÚP, Brno 1980,
- [10] Dušek, Z.: Fotogrammetrická rekonstrukce geometrie textilních útvarů. Kandidátská disertační práce, SVÚT, Liberec 1978,
- [11] Eiglová, V.: Vliv konstrukce filetového otvoru na tažnost osnovní vazby. Diplomová práce, TU Liberec 1995,
- [12] Greenwood, K. - Zhao, L. - Porat, I.: The Computerised Weaving of Preforms for Composites. Part II: Feature Analysis of the Flattened Structures. J. Text. Inst., No.1 1996,
- [13] Heizlarová, H. - Palán, M.: Tření klasických a speciálních textilních materiálů. STRUTEX, TU Liberec 2000,
- [14] Grosberg, P.: The Geometry of Knitted Fabrics, in Structural Mechanics of Fibers, Yarns and Fabrics. London 1969,
- [15] Grosberg, P.: The Mechanics of Knitted Fabrics, in Structural Mechanics of Fibers, Yarns and Fabrics. London 1969,
- [16] Cherif, C. - Vincenti, M. - Wulfhorst, B.: Simulation of the Forming of Warp Knitted Multiaxial Layers by Means of Finite Element Method. ITA, Band 46/1997,
- [17] Cherif, C., Wulfhorst, B.: New Results in Drapeability Simulation of Reinforcement Textiles for Composites by Means of FEM. Texcomp 3. New Textiles for Composites, Aachen 1996,
- [18] Cherif, C. - Achnitz, R. - Wulfhorst, B.: Rechnergetützte Drapierbarkeitssimulation von technischen Textilien aus HL-Fasern für den Einsatz in Faserverbundkunststoffen mit Hilfe der Finite-Elemente-Methode. 3.Nationalen Symposiums der SAMPE Deutschland 1997,
- [19] Kawabata, S. - Inoue M. – Niwa, M.: Non-linear Theory of the Biaxial Deformation of a Triaxial-weave Fabric. J. Text. Inst., No 1, 1992,
- [20] Kobljakov, A. I.: Struktura i mehaničeskije svojstva trikotaža. Legkaja industrija, Moskva 1973,

- [21] Kočí, V.: Vazby pletenin. SNTL, Praha 1980,
- [22] Kovář, R.: Struktura a vlastnosti zátažných pletenin. Kandidátská disertační práce, VŠST 1981,
- [23] Kovář, R. – Štorová, R.: Vztahy mezi vlastnostmi nití a pleteniny. Dílčí výzkumná zpráva, VŠST 1983,
- [24] Kovář, R. - Štorová, R. – Daněk, V.: Vztahy mezi vlastnostmi nití a pleteniny. Dílčí výzkumná zpráva, VŠST 1984,
- [25] Kovář, R.: Kovář, R.: Teorie pletení. VŠST Liberec, 1986,
- [26] Kovář, R.: Klasifikace pletařských vazeb. VŠST Liberec, Textil, Roč. 42 1987,
- [27] Kovář, R.: Struktura a vlastnosti textilií 2. TU Liberec, 1998
- [28] Kovář, R. – Tvrdá, L.: Význam tření v pleteninách. TEXCO '99, Ružomberok,
- [29] Kovář, R.: Tření „ideální“ a reálné nitě. STRUTEX, TU Liberec 2000,
- [30] Křemenáková, D. – Patejdlová, D. – Wimmerová, K.: Vnitřní struktura rotorových přízí. STRUTEX, TU Liberec 1998,
- [31] Křemenáková, D. – Rubnerová, J. – Šoltésová, Z. – Janáčková, H.: Experimentální metody hodnocení zaplnění přízí. Interní zpráva Výzkumné Centrum Textil, TUL 2000,
- [32] Lasic, V.: Structural Parameters of Three-course Warp-knitted Tulle, 32nd International Symposium on Novelties Textiles, 1998,
- [33] Matásek, J.: Technologie pletařství – stávky. SNTL Praha, 1966,
- [34] Marko, J.: Jádrová skaná nit. Kandidátská disertační práce, Liberec 1999,
- [35] Morton, W.E. – Hearle, J.W.S.: Physical Properties of Fibres. The Textile Institute and Butterworths, Manchester and London 1967,
- [36] Neckář, B.: Příze. SNTL, Praha 1990,
- [37] Neckář, B.: Morfologie a strukturní mechanika obecných vláknenných útvarů. TU Liberec 1998,
- [38] Neckář, B. – Roček, V. – Voborová, J.: Chlupatost příze. Část 2: Metoda měření a vyhodnocení chlupatosti, STRUTEX, TU Liberec 2000,
- [39] Nosek, S.: Teorie tkacího procesu, 1. díl, Dům Techniky ČSVTS Pardubice 1988,
- [40] Pan, N. – Yoon, M.: Structural Anisotropy, Failure Criterion, and Shear Strength of Woven Fabric. Textile Research Journal, No. 3 1996,
- [41] Petránková, Z.: Měření příčných rozměrů přízí. Diplomová práce, TU Liberec 2000,
- [42] Plachá, I.: Výzkum tvarovatelnosti osnovních pletenin. Diplomová práce, TU Liberec 1995,
- [43] Plachá, I. – Stříž, B. – Daněk, V.: Three-Dimensional Deformation of Warp-Knitted Fabric. Young Textile Science, TU Liberec 1995,
- [44] Plachá, I. – Kovář, R. - Stříž, B.: Model of Warp-Knitted Structure Deformability. TEXSCI'98, TU Liberec,
- [45] Plachá, I.: Biaxiální deformace osnovní pleteniny. STRUTEX, TU Liberec 1998,
- [46] Plachá, I.: Geometrické modely oka osnovní pleteniny ve vazbě uzavřený trikot. STRUTEX, TU Liberec 1999,

- [47] Plachá, I.: Vliv provázání nitě na tažnost vybraných osnovních vazeb. STRUTEX, TU Liberec 2000,
- [48] Ramakrishna, S. - Cuong, N. K. - Hamada, H.: Tensile Properties of Plain Weft Knitted Glass Fiber Fabric Reinforced Epoxy Composites, Journal of Reinforced Plastics and Composites. No. 10/1997,
- [49] Scardino, F.: An Introduction to Textile Structures and their Behavior, in Textile Structural Composites. ELSEVIER 1989,
- [50] Staněk, J.: Nauka o textilních materiálech. Díl 1, část 3. Vlastnosti vláken. VŠST, Liberec 1986,
- [51] Stříž, B.: Závislosti mechaniky kontinua periodicky uspořádané sítě. STRUTEX, TU Liberec 1996,
- [52] Stříž, B.: Svěrné účinky plošných textilií, STRUTEX, TU Liberec 1996,
- [53] Stříž, B.: Transverzální izotropie plošných textilií při rovinné napjatosti, STRUTEX, TU Liberec 1997,
- [54] Stříž, B.: Identifikace mechanických vlastností plošných textilií. ENGINEERING MECHANICS' 98, Svratka,
- [55] Stříž, B.: Anizotropie vlastností dvouose namáhaných textilií. STRUTEX, TU Liberec 1998,
- [56] Stříž, B.: Svěrné účinky plošných textilií, STRUTEX, TU Liberec 1999,
- [57] Stříž, B.: Mechanika textilií, Část I: Základy mechaniky kontinua. TU Liberec 2000,
- [58] Stříž, B.: K výpočtu svěrného tlaku textilií, STRUTEX, TU Liberec 2000,
- [59] Stříž, B.: Mechanical Characteristics of Pre-Tension of Textiles. ENGINEERING MECHANICS 2001, Svratka (v tisku),
- [60] Stumpf H. - Lenz T. - Shulte K. - Andersson C. H.: Mechanical Behaviour of Single-tricot Warp-knitted Fabrics. Part I: An Experimental Investigation of Knitted Fabric of Varying Loop Geometry under Tensile Stress With Special Attention Given to Inter-yarn Friction. J. Text. Inst., No. 2 1999,
- [61] Stumpf, H. - Lenz, T. - Schulte, K.: Simulation eröffnet neue Wege im Design von Gewirkstrukturen. Kettenwirk-praxis, Oberhausen 2/1996,
- [62] Špalková, R.: Šíření poruchy v osnovní pletenině. Diplomová práce, TU Liberec 1999,
- [63] Tao, X. - Sirikasehlert, A.: A Three-Dimensional Analysis of Specular Reflection from Single-Jersey Knitted Fabrics, Textile Res. J., No 1, 1999,
- [64] Vékássy, A.: Hurkoló - és konfekciópar. Budapest 1960,
- [65] Wu, W. L. - Hamada H. - Kotaki. - Maekawa Z.,: Design of Knitted Fabric Reinforced Composites. J. of Reinforced Plastics and Composites 1995.

Počet měř.	Protažení [mm]	Pevnost F [N]	Tažnost ε [%]
1	84,63	8,982	16,926
2	80,67	9,127	16,134
3	88,34	9,578	17,668
4	85,89	9,412	17,178
5	77,54	8,99	15,508
6	83,8	8,735	16,76
7	89,01	9,782	17,802
8	91,91	9,756	18,382
9	90,79	9,782	18,158
10	88,1	9,506	17,62
11	96,76	9,627	19,352
12	98,28	9,573	19,656
13	90,69	9,353	18,138
14	90,27	9,62	18,054
15	88,74	9,793	17,748
16	92,11	8,95	18,422
17	88,22	8,948	17,644
18	86,98	9,138	17,396
19	94,61	9,431	18,922
20	95,56	9,548	19,112
21	93,7	9,852	18,74
22	78,46	9,165	15,692
23	97,76	9,227	19,552
24	93,96	9,327	18,792
25	102,8	9,981	20,56
26	92,86	9,401	18,572
27	95,08	9,246	19,016
28	93,34	9,647	18,668
29	90,3	9,756	18,06
30	83,8	9,482	16,76
31	90,48	9,525	18,096
32	88,12	9,35	17,624
33	93,13	9,452	18,626
34	86,38	9,173	17,276
35	94,84	9,702	18,968
36	92,27	9,6	18,454
37	85,9	9,616	17,18
38	93,75	9,229	18,75
39	90,74	9,75	18,148
40	94,31	9,663	18,862
41	88,54	9,192	17,708
42	99,24	10,48	19,848
43	90,52	9,884	18,104
44	92,96	9,654	18,592
45	88,59	9,122	17,718
46	90,98	9,552	18,196
47	94,63	9,815	18,926
48	87,36	9,766	17,472
49	97,26	10,31	19,452
50	94,64	10,07	18,928

Tab. P 1 až tab. P 4 Hodnoty pevnosti F [N] a tažnosti ε [%] použitého délkového materiálu a hodnoty jejich variačních koeficientů [%]

Počet měření : 50

multifil PESh 2 x 167 dtex	Pevnost F [N]	Tažnost ε [%]
Průměrná hodnota	9,50	18,16
Směr. Odchylka	0,37	1,01
Var. koeficient [%]	3,87	5,55

Počet měř.	Protažení [mm]	Pevnost F [N]	Tažnost ε [%]
1	59,83	4,256	11,966
2	56,06	4,212	11,212
3	64,68	4,749	12,936
4	53,49	3,813	10,698
5	64,98	4,54	12,996
6	64,6	4,182	12,92
7	62,21	4,204	12,442
8	62,11	3,97	12,422
9	58,2	3,899	11,64
10	65,58	4,161	13,116
11	60,6	4,274	12,12
12	59,67	4,265	11,934
13	58,49	4,086	11,698
14	57,99	3,909	11,598
15	65,21	4,376	13,042
16	62,6	4,336	12,52
17	58,27	4,156	11,654
18	62,52	4,121	12,504
19	61,64	4,327	12,328
20	60,57	4,268	12,114
21	60,53	3,913	12,106
22	66,22	4,099	13,244
23	62,8	3,905	12,56
24	62,2	3,852	12,44
25	61,83	4,054	12,366
26	57,3	4,15	11,46
27	57,28	4,003	11,456
28	60,23	4,303	12,046
29	59,29	4,33	11,858
30	63,54	4,937	12,708
31	59,66	4,306	11,932
32	59,4	3,995	11,88
33	61,61	3,87	12,322
34	58	3,434	11,6
35	60,13	3,519	12,026
36	65,64	4,016	13,128
37	63,39	3,976	12,678
38	61,85	4,209	12,37
39	58,62	4,238	11,724
40	57,87	4,239	11,574
41	60,08	3,866	12,016
42	66,55	4,104	13,31
43	59,66	3,968	11,932
44	65,52	4,199	13,104
45	58,58	3,962	11,716
46	63,23	4,333	12,646
47	61,1	4,289	12,22
48	65,27	4,189	13,054
49	62,5	4,148	12,5
50	59,82	4,236	11,964

rotorová příze 65PES/35ba 25 tex	Pevnost F [N]	Tažnost ε [%]
Průměrná hodnota	4,15	12,24
Směr. Odchylka	0,28	0,58
Var. koeficient [%]	6,65	4,72

Tab. P 5- až tab. P 10 Hodnoty

pevnosti F [N] a tažnosti ε [%] osnovní pleteniny (PESh I – VI) a hodnoty jejich variačních koeficientů ν [%]

Počet měření : 5

%III	F [N]	ν [%]	ε [%]	ν [%]
0°	466,94	6,82	113,46	5,40
15°	491,42	10,22	114,92	4,10
30°	436,48	13,26	119,84	5,42
45°	336,21	3,77	141,67	6,94
60°	268,38	17,87	195,40	8,68
75°	286,38	6,11	187,67	2,55
90°	394,43	5,72	225,16	5,43

%VI	F [N]	ν [%]	ε [%]	ν [%]
0°	247,48	18,80	126,79	2,93
15°	214,11	11,69	128,94	3,49
30°	221,73	19,06	126,13	7,24
45°	173,41	20,74	165,46	4,64
60°	172,98	14,83	244,13	5,69
75°	172,01	5,72	232,21	12,39
90°	164,84	8,70	242,99	6,18

%II	F [N]	ν [%]	ε [%]	ν [%]
0°	628,69	14,46	105,74	7,19
15°	649,34	6,53	111,23	2,20
30°	523,49	13,40	123,09	3,16
45°	370,98	7,15	138,16	3,30
60°	315,11	11,68	181,32	4,27
75°	323,02	2,77	167,59	6,39
90°	472,88	5,83	224,14	3,76

%V	F [N]	ν [%]	ε [%]	ν [%]
0°	357,35	11,45	113,59	4,85
15°	321,75	12,34	122,72	7,31
30°	276,75	12,83	143,86	2,50
45°	257,23	8,96	165,74	6,62
60°	234,23	11,40	194,14	8,42
75°	215,49	7,74	218,08	9,42
90°	211,90	13,44	221,34	6,35

%I	F [N]	ν [%]	ε [%]	ν [%]
0°	594,13	22,50	98,60	9,01
15°	597,08	7,82	111,84	5,80
30°	546,96	8,04	110,29	5,22
45°	393,57	8,83	143,34	3,64
60°	302,35	5,93	167,90	6,74
75°	347,42	9,37	187,80	10,26
90°	462,77	2,10	234,54	2,81

%IV	F [N]	ν [%]	ε [%]	ν [%]
0°	499,44	11,74	110,82	3,75
15°	373,51	14,38	123,03	8,49
30°	309,36	10,52	131,69	11,08
45°	297,69	19,30	150,57	6,50
60°	250,62	9,52	198,77	7,27
75°	273,48	7,42	184,04	6,29
90°	277,71	13,00	217,70	6,05

Tab. P 10- až tab. P 15 Hodnoty rozdílů souřadnic vrcholových bodů elementu v jednotlivých stavech napjatosti (závislost na $x = \sin \beta$, tj. sklonu nakloněné roviny) – max. vnější tahová síla je vyvozená závažím o hmotnosti 2034 g.

Biaxiální deformace v hlavním směru

Počet měření : 5

č.4	$x^3 - x^1$ [mm]	$x^2 - x^4$ [mm]	$y^3 - y^1$ [mm]	$y^2 - y^4$ [mm]
sin 0°	-6,60	6,01	6,47	6,47
sin 5°	-7,85	6,63	6,84	6,39
sin 10°	-8,74	8,14	6,70	6,36
sin 15°	-9,55	8,74	6,14	6,34
sin 20°	-9,80	9,28	6,41	6,00
sin 25°	-10,09	9,53	6,27	5,98
sin 30°	-10,11	9,75	6,05	5,96
sin 40°	-10,70	9,89	6,09	6,00
sin 55°	-10,49	10,13	5,78	6,00
sin 90°	-10,87	10,16	6,11	5,91

č.1	$x^3 - x^1$ [mm]	$x^2 - x^4$ [mm]	$y^3 - y^1$ [mm]	$y^2 - y^4$ [mm]
sin 0°	-6,93	6,61	6,63	6,36
sin 5°	-8,79	8,07	6,63	5,91
sin 10°	-9,15	8,57	6,84	5,80
sin 15°	-9,93	9,04	6,27	6,07
sin 20°	-10,38	9,44	6,32	6,02
sin 25°	-10,77	9,98	6,10	5,73
sin 30°	-10,54	10,22	6,54	5,42
sin 40°	-10,96	10,16	6,20	5,75
sin 55°	-11,12	10,52	6,41	5,51
sin 90°	-11,41	10,63	6,18	5,75

č.5	$x^3 - x^1$ [mm]	$x^2 - x^4$ [mm]	$y^3 - y^1$ [mm]	$y^2 - y^4$ [mm]
sin 0°	-6,40	7,08	6,60	6,56
sin 5°	-8,39	8,57	6,32	6,20
sin 10°	-8,92	9,42	6,36	6,05
sin 15°	-9,73	10,09	5,96	6,05
sin 20°	-9,91	10,56	6,23	5,75
sin 25°	-10,22	10,78	6,27	5,82
sin 30°	-10,47	10,76	6,02	6,02
sin 40°	-10,63	11,26	6,07	5,91
sin 55°	-10,94	11,30	6,05	5,87
sin 90°	-11,21	11,14	5,69	6,25

č.2	$x^3 - x^1$ [mm]	$x^2 - x^4$ [mm]	$y^3 - y^1$ [mm]	$y^2 - y^4$ [mm]
sin 0°	-6,51	6,71	6,64	6,50
sin 5°	-7,06	7,13	6,99	6,59
sin 10°	-8,79	8,79	6,61	6,41
sin 15°	-9,39	9,39	6,39	6,32
sin 20°	-9,57	9,80	6,52	5,96
sin 25°	-10,27	10,16	6,18	6,02
sin 30°	-10,27	10,40	6,16	5,87
sin 40°	-10,61	10,56	6,23	5,87
sin 55°	-10,70	10,78	6,30	5,80
sin 90°	-11,03	10,78	6,11	6,00

č.3	$x^3 - x^1$ [mm]	$x^2 - x^4$ [mm]	$y^3 - y^1$ [mm]	$y^2 - y^4$ [mm]
sin 0°	-7,10	6,94	6,43	6,24
sin 5°	-8,95	8,65	6,43	5,80
sin 10°	-9,30	8,92	6,34	5,91
sin 15°	-9,91	9,42	6,43	5,75
sin 20°	-9,96	9,75	6,54	5,57
sin 25°	-10,40	9,93	6,23	5,80
sin 30°	-10,31	10,11	6,52	5,44
sin 40°	-10,76	10,18	6,27	5,71
sin 55°	-10,78	10,47	6,41	5,55
sin 90°	-10,70	10,40	6,11	5,80

Tab. P 15- až tab. P 20 Hodnoty rozdílů souřadnic vrcholových bodů elementu v jednotlivých stavech napjatosti (závislost na $x = \sin \beta$, tj. sklonu nakloněné roviny) – max. vnější tahová síla je vyvozená závažím o hmotnosti 2034 g.

Biaxiální deformace v obecném směru

Počet měření : 5

č.3	$x^3 - x^1$ [mm]	$x^2 - x^4$ [mm]	$y^3 - y^1$ [mm]	$y^2 - y^4$ [mm]
sin 0°	-4,04	3,64	7,48	7,42
sin 5°	-5,98	4,11	8,47	8,18
sin 10°	-7,12	4,40	8,61	8,34
sin 15°	-7,39	4,70	8,74	8,36
sin 20°	-7,60	4,74	8,79	8,31
sin 25°	-7,87	4,90	8,76	8,36
sin 30°	-8,00	5,03	8,67	8,36
sin 35°	-8,00	5,24	8,43	8,29
sin 40°	-8,09	5,30	8,74	8,40
sin 45°	-8,25	5,55	8,65	8,34
sin 55°	-8,22	5,57	8,72	8,38
sin 65°	-8,16	5,57	8,61	8,38
sin 75°	-8,38	5,62	8,74	8,34
sin 90°	-8,36	5,48	8,76	8,40

č.1	$x^3 - x^1$ [mm]	$x^2 - x^4$ [mm]	$y^3 - y^1$ [mm]	$y^2 - y^4$ [mm]
sin 0°	-4,79	3,64	7,37	6,83
sin 5°	-5,98	4,88	8,43	7,82
sin 10°	-6,65	4,70	8,63	7,98
sin 15°	-7,03	4,67	8,65	8,11
sin 20°	-7,21	4,67	8,79	8,04
sin 25°	-7,78	4,83	8,61	8,07
sin 30°	-7,82	4,94	8,58	8,09
sin 35°	-7,82	4,85	8,70	8,11
sin 40°	-7,93	5,12	8,67	8,13
sin 45°	-7,98	5,12	8,72	8,11
sin 55°	-8,07	5,15	8,65	8,11
sin 65°	-8,20	5,10	8,65	8,20
sin 75°	-8,20	5,12	8,67	8,20
sin 90°	-8,20	5,15	8,74	8,16

č.4	$x^3 - x^1$ [mm]	$x^2 - x^4$ [mm]	$y^3 - y^1$ [mm]	$y^2 - y^4$ [mm]
sin 0°	-4,13	3,29	6,64	6,01
sin 5°	-7,49	3,79	7,17	6,79
sin 10°	-8,38	4,57	7,33	6,97
sin 15°	-8,34	5,17	7,78	6,90
sin 20°	-8,45	5,21	7,82	6,88
sin 25°	-8,52	5,37	7,87	7,01
sin 30°	-8,92	5,24	7,69	7,21
sin 35°	-8,83	5,30	7,75	7,30
sin 40°	-8,94	5,44	7,71	7,35
sin 45°	-8,94	5,37	7,69	7,28
sin 55°	-9,24	5,46	7,71	7,39
sin 65°	-9,30	5,39	7,71	7,35
sin 75°	-9,26	5,44	7,78	7,26
sin 90°	-9,17	5,55	7,87	7,33

č.2	$x^3 - x^1$ [mm]	$x^2 - x^4$ [mm]	$y^3 - y^1$ [mm]	$y^2 - y^4$ [mm]
sin 0°	-4,45	4,02	7,03	6,67
sin 5°	-6,99	4,95	7,55	7,30
sin 10°	-7,48	5,26	7,84	7,26
sin 15°	-7,71	5,35	7,82	7,33
sin 20°	-7,84	5,37	7,89	7,39
sin 25°	-8,22	5,35	7,82	7,46
sin 30°	-8,34	5,44	7,78	7,55
sin 35°	-8,45	5,46	7,87	7,62
sin 40°	-8,40	5,53	7,89	7,62
sin 45°	-8,54	5,44	7,98	7,69
sin 55°	-8,70	5,53	7,89	7,69
sin 65°	-8,65	5,51	7,93	7,73
sin 75°	-8,79	5,46	7,93	7,71
sin 90°	-8,81	5,53	7,96	7,78

č.5	$x^3 - x^1$ [mm]	$x^2 - x^4$ [mm]	$y^3 - y^1$ [mm]	$y^2 - y^4$ [mm]
sin 0°	-4,64	3,88	7,89	7,42
sin 5°	-8,25	4,07	7,93	7,55
sin 10°	-8,74	4,02	7,57	7,71
sin 15°	-8,92	4,22	7,87	7,73
sin 20°	-9,06	4,29	7,78	7,73
sin 25°	-9,21	4,29	7,87	7,69
sin 30°	-9,17	4,29	7,78	7,62
sin 35°	-9,44	4,43	7,82	7,64
sin 40°	-9,44	4,43	7,82	7,62
sin 45°	-9,73	4,49	7,82	7,60
sin 55°	-9,73	4,54	7,78	7,66
sin 65°	-9,73	4,54	7,78	7,66
sin 75°	-9,73	4,56	7,84	7,66
sin 90°	-9,87	4,63	7,87	7,66

U 588 T