

F Y Z I K Á L N Í M O D E L
V N I T Ě R N Í S T R U K T U R Y P Ě Ě Z E

(kandidátská dizertační práce)

Liberec, 1975

Autor : Ing. Bohuslav Neckář

Školitel : Prof. Ing. Jaroslav Simon

Mateřské pracoviště : Státní výzkumný ústav textilní, Liberec

Školící pracoviště : Fakulta textilní VŠST, Liberec

Resumé

V práci je formulován fyzikální model vnitřní struktury zakroucené příze, založený na interpretaci soustavy vláken jako orientovaného kontinua. Respektují se konečné deformace a nelinearita; navržený vztah mezi napětím a deformací je použit při řešení diferenciální rovnice rovnováhy elementu příze. Odvozuje se výpočet radiálního průběhu koeficientu zaplnění příze.

Je navržena metoda zjišťování průběhu koeficientu zaplnění a experimentálně realizována na bavlněných a viskóзовé přízi.

Vzájemné porovnání teoretických a experimentálních výsledků ukazuje dobrou shodu a vysvětluje některé procesy, které pravděpodobně probíhají při tvorbě příze.

Předmluva

Podle Engelse /33/ : "Empirické bádání o přírodě nakupilo tak ohromné množství pozitivních poznatků, že se stalo přímo nezbytnou nutností uspořádat je v každé jednotlivé oblasti bádání soustavně a podle jejich vnitřní souvislosti".

Základním smyslem citovaných vnitřních souvislostí, t.j. základním smyslem vědeckého poznání vůbec je dle Kapicy /75/ : "... poskytnout nutné poznatky, aby bylo možné přetvořit přírodu tak, aby tato sloužila člověku v jeho kulturním rozvoji."

Dokladem aktuálnosti těchto tvrzení je též současná úroveň znalosti materiálů, které jsou hlavním předmětem zájmu textilní technologie. Je možno je nazvat "vlákenné soustavy". S vlákennými soustavami, zejména textilními, je kulturní vývoj společnosti odedávna úzce spjat a jejich vědecké poznání a optimální využívání má pro společnost značný význam.

V oblasti aplikované fyziky jsou proto v poslední době kladeny základy nového, relativně samostatného oboru - fyziky vlákenných soustav. Také tato práce je svým celkovým pojetím zaměřena na řešení a využití některých částí fyziky, resp. mechaniky vlákenných soustav. Výchozí impuls pro její zpracování byl dán praktickou potřebou objasnit v souvislosti s výzkumnými úkoly SVÚT některé stránky chování textilních materiálů, speciálně přízí a na tomto základě textilní výrobu optimalizovat.

V procesu řešení výzkumných úkolů se ukázala nutnost opřít konkrétní řešení o potřebné teoretické základy.

Bylo proto mou snahou vyřešit touto prací alespoň fragment fyziky vláknenných soustav (resp. její aplikace) a zaměřit řešení tak, aby jeho závěry mohly tvořit východisko některých částí textilně-technologického výzkumu.

Při zpracovávání přispěli svou radou a pomocí mnozí odborníci. Je mou milou povinností poděkovat především prof.ing. J.Simonovi za zájem, s jakým přistupoval k mé práci v celém procesu jejího řešení. Díky pochopení SVŮT, zejména ing.B.Hořeního, jsem mohl práci realizovat v dobrých podmínkách a s využitím značné kapacity výpočetní techniky. Svou radou mi byli nápomocni spolupracovníci ing.Salaba, ing.Švehla, RNDr Koldinský, ing.Stoklasa, ing.Militký a mnozí další. Můj dík patří též doc.RNDr Strážovi CSc z VŠST, ing.Fiřtovi CSc z MÚ ČSAV za obětavé konzultace některých speciálních problémů. Práci v laboratoři přispěli k ověření teoretických závěrů v rámci svých diplomových prací ing.Částek, ing.Poláček, ing.Hoduková a ing.Militká. Na přepsání rukopisu a rozmnožení práce se podílely s.Lochmanová, Vrbatová a Steinerová. Všem upřímně děkuji.

V Liberci, 11.6.1975

Autor

O B S A H

	str.
Titulní list	1
Resumé	2
Předmluva	3
Obsah	5
Použité symboly	10
1 Úvodní část	15
1.1 Úvodní charakteristika problému	16
1.2 Uspořádání práce a poznámky k použité terminologii	21
2 Charakteristika historického vývoje a současných koncepcí teorie struktury příze	23
2.1 Nástin historického vývoje	24
2.2 Charakteristika základních myšlenek o vnitřní struktuře příze	26
2.3 Koncepční východiska práce	30
3 Orientované vlákené kontinuum	32
3.1 Vlákený svazek a kontinuum	33
3.2 Vysoce orientovaný vlákený svazek jako speciální případ ortotropního kontinua	34
3.3 Napětí a deformace vysoce orientovaného vlákeného svazku	37
3.3.1 Výchozí předpoklady	37
3.3.2 Vlákený svazek namáhaný normálovými silami kolmými ke směru orientace	39
3.3.2.1 Efektivní pružná vazba mezi vlákny	39
3.3.2.2 Geometrie efektivní pružné vazby v rovině	46
3.3.2.3 Normálová napětí	49
3.3.2.4 Některé matematické vlastnosti odvozených vztahů	57

	str.
3.3.3 Vláknenný svazek namáhaný normálovými silami v prostoru	66
3.3.3.1 Normálové zatížení a prodloužení svazku ve směru $\vec{v}$ orientace	66
3.3.3.2 Úprava vzorců pro normálová napětí, počáteční moduly	72
3.3.4 Smyková napětí; tenzor napětí a deformace	76
3.3.4.1 Charakteristika napjatosti vláknenného svazku tenzorem napětí; ortogonální transformace	76
3.3.4.2 Smyková napětí	82
3.3.4.3 Tenzor napětí a tenzor deformace; deformační zákon	86
4 Stavba příze z hlediska vláknenného kontinua	93
4.1 Tvorba příze	94
4.2 Rovnováha elementu příze	98
4.3 Řešení diferenciální rovnice radiální rovnováhy v přízi	106
4.3.1 Deformační zákon v rovnici radiální rovnováhy	106
4.3.2 Parametry diferenciální rovnice	109
4.3.3 Okrajové podmínky	118
4.3.4 Numerické řešení	123
5 Experimentální metody a experimenty	131
5.1 Volba měřených veličin a vztahů	132
5.2 Teorie použitých experimentálních metod a vyhodnocení jejich výsledků	133
5.2.1 Radiální průběh koeficientu zaplnění na přístroji OMEST	133
5.2.1.1 Princip metody	133
5.2.1.2 Teorie metody	135
5.2.1.3 Experimentální postup	147
5.2.2 Průměr příze	150
5.2.2.1 Princip metody	150

	str.
5.2.2.2	Teorie vyhodnocení 152
5.2.3	Ostatní vlastnosti příze 155
5.3	Naměřené experimentální výsledky 155
5.3.1	Experimentálně zjišťovaný radiální průběh koeficientu zaplnění 155
5.3.2	Výsledky měření průměrů bavlněných přízí mykaných 162
6	Porovnání teorie s experimenty; diskuze 164
6.1	Volba konstant pro aplikaci teorie na bavlněné příze mykané 165
6.2	Porovnání výsledků teorie a experimentů pro experimentální příze H a M 168
6.3	Porovnání teorie s experimentálními hodnotami průměrů přízí 172
6.4	Diskuze 176
7	Závěr 183
Literatura	185

Seznam příloh

str.

Příloha	I : program DIROP	P 1
Příloha	II : program VSOP	P 12
Příloha	III : teoretické a experimentální hodnoty příze H	P 17
Příloha	IV : teoretické a experimentální hodnoty příze M	P 22
Příloha	V : teoretické a experimentální hodnoty příze V	P 25
Příloha	VI : teoretické hodnoty příze 100 tex, 5000 m ⁻¹ tex ^{2/3}	P 28
Příloha	VII : teoretické hodnoty příze 100 tex, 6000 m ⁻¹ tex ^{2/3}	P 31
Příloha	VIII : teoretické hodnoty příze 100 tex, 7000 m ⁻¹ tex ^{2/3}	P 34
Příloha	IX : teoretické hodnoty příze 100 tex, 8000 m ⁻¹ tex ^{2/3}	P 37
Příloha	X : teoretické hodnoty příze 50 tex, 5000 m ⁻¹ tex ^{2/3}	P 40
Příloha	XI : teoretické hodnoty příze 50 tex, 6000 m ⁻¹ tex ^{2/3}	P 43
Příloha	XII : teoretické hodnoty příze 50 tex, 7000 m ⁻¹ tex ^{2/3}	P 46
Příloha	XIII : teoretické hodnoty příze 50 tex, 8000 m ⁻¹ tex ^{2/3}	P 49
Příloha	XIV : teoretické hodnoty příze 25 tex, 5000 m ⁻¹ tex ^{2/3}	P 52
Příloha	XV : teoretické hodnoty příze 25 tex, 5500 m ⁻¹ tex ^{2/3}	P 55
Příloha	XVI : teoretické hodnoty příze 25 tex, 6000 m ⁻¹ tex ^{2/3}	P 58
Příloha	XVII : teoretické hodnoty příze 25 tex, 7000 m ⁻¹ tex ^{2/3}	P 61
Příloha	XVIII : teoretické hodnoty příze 25 tex, 8000 m ⁻¹ tex ^{2/3}	P 64
Příloha	XIX : teoretické hodnoty příze 16,66 tex, 5000 m ⁻¹ tex ^{2/3}	P 67
Příloha	XX : teoretické hodnoty příze 16,66 tex, 6000 m ⁻¹ tex ^{2/3}	P 70
Příloha	XXI : Tabulka hodnot K	P 73

Seznam tabulek

	str.
Tab. 3.1	61
Tab. 3.2	62
Tab. 4.1	123
Tab. 5.1	156
Tab. 5.2	157
Tab. 5.3	159
Tab. 5.4	160
Tab. 5.5	161
Tab. 6.1	165
Tab. 6.2	167
Tab. 6.3	168
Tab. 6.4	169
Tab. 6.5	172
Tab. 6.6	174

Seznam vyobrazení

Obr. 3.1	37
Obr. 3.2	39
Obr. 3.3	40
Obr. 3.4	45
Obr. 3.5	46
Obr. 3.6	66
Obr. 3.7	76
Obr. 3.8	83
Obr. 4.1	95
Obr. 4.2	96
Obr. 4.3	98
Obr. 4.4	101
Obr. 5.1	135

Použité symboly

- A ... konstanta
 a ... konstanta
 a_{ki} ... směrový kosinus ortog.transformace
 a_m ... zákrutový koeficient vztažený k (čm)
 a_t ... zákrutový koeficient vztažený k T v /tex/
 b ... konstanta
 C ... konstanta
 c ... konstanta
 $\check{m}$... číslo metrické
 d ... průměr příze
 E_1, E_2, E_3 ... počáteční moduly ve směru souřadných os
 e_1, e_2, e_3 ... poměrná prodloužení ve směru souřadných os po přiložení smykových napětí
 E_{3tah}, E_{3tlak} ... E_3 v tahu a tlaku
 f ... funkce; frekvenční funkce
 F_1, F_{r3}, F_{23} ... funkce
 F_v ... plocha řezu vláknem
 G ... váha příze
 h ... vzdálenost
 $I(a, b, c, m)$... integrál definovaný (3.60)
 I_1, I_2 ... integrál definovaný (3.64)
 j ... reálné číslo, index
 $J(a, b, n)$... integrál definovaný (3.61)
 J_1, J_2 ... integrál definovaný (3.64)

- k ... reálné číslo; konstanta; index
 k_q ... podíl deformace
 k_1 ... podíl deformace
 K ... počáteční konstanta; konstanta
 K^* ... tečná konstanta
 L ... vzdálenost středů vláken
 L_0 ... výchozí vzdálenost středů vláken
 L_σ ... "nedostatek" délky
 L_c ... přebytek délky
 L_i ... délka vláken v i -té třídě
 l ... vzdálenost mezi vlákny
 l_0 ... výchozí vzdálenost mezi vlákny
 dl ... diferenciál délky vlákna
 m ... konstanta
 n ... konstanta; celé číslo; počet vláken
 dn ... diferenciální počet vláken
 σ ... osa přize
 P ... síla
 P_1, P_2 ... síly ve směru souřadných os
 P_{01}, P_{02} ... síly deformující svazek vláken ve směru souřadných os
 q ... podíl "přebytku" délky účastníků se kompenzace; konstanta; exponent definující
 R ... poloměr elementu ve výchozím válci
 R^* ... největší R válce
 r ... poloměr elementu v přízi

- r^* ... největší r příze
 r_n ... neutrální poloměr
 r_e ... hranice třídy poloměru
 r_1 ... polovina průměru z rovnice (5.56)
 r_2 ... polovina průměru z rovnice (5.57)
 $r_{0,14}$... poloměr pro $\mu = 0,14$
 Δr^2 ... rozdíl kvadrátů poloměru
 Δr ... rozdíl poloměrů
 T ... lineární hmotnost příze
 T_t ... T v jednotkách tex
 T_{ij} ... síla ve směru napětí σ_{ij}
 t ... integrační proměnná
 V ... objem
 V_f ... objem vláken
 x ... souřadnice
 x_1, x_2, x_3 ... souřadné osy, souřadnice
 y ... souřadnice
 Z ... zákrut
 Z_d ... zákrut z OMESTU (diferenciální definice)
 Z_p ... zákrut příze dle ČSN
 z ... souřadnice
 α ... směrový úhel; výchozí úhel efektivní vazby
 α' ... konečný úhel efektivní vazby
 α_{ij} ... smykový úhel
 α_z ... zákrutový koeficient

- β ... směrový úhel; úhel, který svírá šroubovice s osou
 β_n ... β na poloměru r_n
 β_d ... β na průměru příze
 δ ... průměr vlákna; úhel
 δ_{ij} ... Kroneckerovo delta
 η ... poměrné prodloužení
 ε ... poměrné prodloužení
 $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$... poměrné prodloužení ve směru souřadných os
 ε_p ... poměrné prodloužení příze zákrutem
 ε_v ... poměrné prodloužení vlákna v přízi
 ε_{ij} ... tenzor deformace
 φ ... úhel
 $\Delta\varphi$... rozdíl souřadnic
 $\mathcal{P}$... úhel
 $\mathcal{K}$... pomocná veličina, definovaná (5.36)
 λ ... poměr délek
 μ ... koeficient zaplnění
 μ^0 ... koeficient zaplnění výchozí
 μ_0 ... koeficient zaplnění v ose příze
 μ_{lin} ... koeficient zaplnění plástové struktury
 μ_c ... celkový koeficient zaplnění příze
 $\vec{D}$... vektor směru orientace
 ν_m ... m-tá složka vektoru
 ν ... podíl značených vláken
 ψ ... úhel
 ρ ... poloměr křivosti; korelační koeficient

- ρ_m ... měrná hmotnost vláken
 σ, σ_{jk} ... definiční obor
 τ_{ij} ... tenzor napětí
 τ_x ... tahové napětí ve vlákně
 ϱ ... poloměr křivosti
 V ... objem
 V_v ... objem vláken
 ξ ... pomocná veličina
 ξ ... souřadnice
 $\Delta \xi$... rozdíl souřadnic

1. ÚVODNÍ ČÁST

1.1 Úvodní charakteristika problému

Soudobé úkoly vědecko-technického rozvoje vytýčil 14.sjezd KSČ, podrobně rozpracovalo květnové plénum ÚV KSČ (1974) a znovu zdůraznilo listopadové plénum ÚV KSČ (1974). Hlavním cílem je, stručně řečeno, využít maximálně v životě společnosti dialektickou jednotu teorie a praxe. Realizace těchto záměrů vyžaduje na úseku teorie vyhledávat, objevovat a propracovávat teoretické zákonitosti v oblastech s perspektivou aplikace a předávat je praxi; na úseku praxe pak přebírat a využívat výsledky teorie a podněcovat praktickými zkušenostmi další vývoj teorie.

Pozn.: 1) Podrobněji z hlediska filozofického je toto téma rozpracováno v /25/.

2) Vzájemná komunikace mezi vědou (teorií) a výrobou (praxí) je zprostředkována výzkumem a vývojem; proto bývá též používán řetězec věda-výzkum-vývoj-výroba a spotřeba.

Při plnění stanovených cílů je možno narazit na tři okruhy problémů :

- a) nepřípravenost vědecké teorie, (která obvykle vede k nahrazování vědy ve výzkumu nedosti exaktními nesystematickými poznatky).
- b) nepřípravenost výzkumu a vývoje (t.j. neschopnost v krátké době transformovat teorii do praxe a naopak praxi do teorie)
- c) nepřípravenost praktické výroby (značně ztěžující realizaci výzkumu - viz též Kapica /75/)

Pozn.: Srovnej též Keldyš : "Naší první a nejdůležitější úlohou je rozvoj perspektivní vědy. Náš druhý hlavní úkol spočívá v tom, abychom pokud možno viděli, co tato perspektivní věda dává praxi a životu a abychom ukazovali, jak prakticky využít vědeckých poznatků". (Citováno dle /41/).

Potřeba rychlého vědecko-technického rozvoje se promítá též na úseku textilní technologie, kde je východzí impuls dán soudobými potřebami jak výrobní, tak spotřebitelské sféry.

Je obecně známo, že historicky se tradiční textilní výroba rozvíjela na empirické bázi, důsledkem čehož byl nedostatek závažných podnětů pro rozvoj speciálních vědních disciplin. Současnost si však (vzhledem k nutnosti řešit problémy užité hodnoty, surovin, pracovních sil apod.) vynucuje komplexní, vědecky podložené zpracování celé problematiky. A zde je stále ještě možno narazit na nedostatečnou připravenost teoretických základů. Nositel Nobelovy ceny, H.Theorell, v této souvislosti říká /165/ : "Veškerý aplikovaný výzkum je postaven na výzkumu základním. Než jsou známa základní fakta, je naprostým mrháním peněz podporovat aplikace dosud neexistujícího teoretického poznání". Toto konstatování platí bezesporu i pro textilní struktury.

Textilní útvary jsou poměrně složité soustavy, složené ze základních jednotek - vláken. Fyzika vláken, jako specifická součást fyziky polymerů, dosahuje přes mnohá úskalí v současné době úrovně, jež dovoluje významným způsobem aplikovat vědecké poznání při výrobě che-

mických vláken. Podstatně méně prozkoumanou oblastí je fyzika soustav, vytvořených z vláken. Zde je chování závislé jak na vlastnostech vláken samotných, tak i na vzájemné mezivláčenné interakci. Tradiční způsob řešení analyzuje existující, resp. možné interakce a vytváří modelové představy, vedené snahou vyjádřit co nejlépe reálně existující mezivláčenné souvislosti. Neobyčejná různorodost a mnohotvárnost skutečných interakcí však často způsobuje značné rozdíly mezi modelovým s skutečným chováním textilií. Vede mnohdy k nesprávnému závěru o principiální nemožnosti či společenské neefektivnosti zpracování fyzikální teorie vláčenných soustav. Uvážili-li se však, že textilní útvary jsou složeny z poměrně velkého počtu vláken a navíc úseky ("segmenty") každého vlákna existují a projevují se relativně samostatně, pak je zřejmé, že konkrétní znalost každé skutečné interakce mezi vlákny není pro řešení nezbytně nutná. Vlákenná soustava může být dobře modelována na principu efektivních interakcí zavedených fenomenologicky. Rozhodujícím kriteriem je, do jaké míry modelové chování vláčenné soustavy navenek (jako celek) koresponduje se skutečností. Přitom není nezbytně nutné, aby efektivní interakce odpovídaly skutečným.

Pozn.: Analogii lze nalézt v řadě oborů; připomeňme např. modely viskoelastického chování polymerů apod.

Řešení fyzikálních problémů vláčenných soustav naznačeným myšlenkovým principem dovoluje nalézt potřebné exaktní zákonitosti v přijatelných časových a kapacitních nárocích. (Mnohé důkazy tohoto tvrzení jsou m.j. obsaženy v interních materiálech SVÚT). Tím je dána reálná možnost k dobudování příslušných úseků teorie.

V návaznosti na vývoj teorie je nutno připravovat ve výzkumu a vývoji též cesty k jejímu širokému využití. Současná praxe se někdy ještě přiklání k izolovaným formám aplikace jednotlivých teoretických poznatků. Tím vznikají jednak rizika neuvažovaných (sekundárních) negativních dopadů ve výrobě a na druhé straně nejsou poznatky využívány dostatečně efektivně. Nepříznivým dopadům lze zabránit systémovým řešením úkolů výzkumu a vývoje. Proto je středem zájmu řady pracovišť zpracování vhodných systémů optimalizace (projektování) textilií a jejich výroby.

Pozn.: V ČSSR se řešením zabývá zejména SVÚT Liberec. Dosažené výsledky a rostoucí zájem textilní výroby jen dokumentují principiální správnost, aplikabilitu a perspektivu této cesty.

Potřeba naplnit konkrétní varianty systému optimalizace exaktními poznatky však přímo formuluje požadavky na vědeckou teorii a podněcuje tak její intenzivní rozvoj. Dialektika tohoto sepětí se v současné době projevuje m.j. ve formě polární kategorie : fyzika vláknenných soustav - systém optimalizace textilií.

Z předchozího nástinu lze učinit následující rámcový závěr : intenzivní rozvoj fyziky vláknenných soustav a její aplikace (prostřednictvím budování systému optimalizace textilií a textilní výroby) do praxe je nutnou součástí úspěšného plnění úkolů na úseku zkvalitnění a zrychlení cyklu věda-výzkum-vývoj-výroba a spotřeba v textilním průmyslu.

Dílčím odrazem této skutečnosti je i tato práce. Vznikla jako součást potřeby zpracovat některé úseky fyziky vláknenných soustav pro použití v systémech optima-

lizace textilií a jejich výroby (řešených v rámci výzkumných úkolů SVÚT). Vlastní zpracování tématu nebylo sice zahrnuto jmenovitě do plánu výzkumu SVÚT; ukázalo se však nutné řešit postupně též teoretickou základnu optimalizačních systémů textilií, v tomto případě vyráběných ze staplových přízí (tkanin, pletenin i textilií vyráběných novými technologiemi). Příze v plné míře určuje užité vlastnosti a užitnou hodnotu z ní vyrobené textilie. (Tkanina či pletenina je pak v podstatě soustava pravidelně uspořádaných na sebe vzájemně působících přízí.) Aby bylo možné exaktně popsat změny, ke kterým v přízi dochází působením vnějších vlivů (např. působením okolních přízí ve tkanině či pletenině), je především nutné znát její výchozí stav (výchozí strukturu). Proto se zde speciálně zabývám fyzikálním modelem výchozí struktury staplových přízí, a to z hlediska geometrického a mechanického. Některé prvky použitého řešení (zejména orientované vlákenné kontinuum - část 3) však mohou mít obecnější charakter a bylo by pravděpodobně možné aplikovat nalezené poznatky či alespoň zvolenou metodu i na řešení některých jiných vlákenných útvarů (rouna). To ovšem již není náplní této práce.

Charakter získaných poznatků neumožňuje jejich bezprostřední aplikaci v textilní výrobě. Vytváří však, společně s novými poznatky z ostatních prací a úseků, nezbytné zázemí a podklady pro exaktní naplnění systému optimalizace textilií a jejich výroby.

1.2 Uspořádání práce a poznámky k použité terminologii

Jak již bylo řečeno, zabývá se práce návrhem a experimentálním ověřením struktury staplové zakroucené příze, a to zejména vzhledem k radiálnímu průběhu koeficientu zaplnění.

Prvním krokem řešení je odvození mechanického chování vláknenné hmoty. Jedná se o formulaci představy o vzájemné souvislosti mezi napjatostí a zdeformováním vláknenného materiálu. Po zvážení poznatků obsažených v literatuře (část 2) je problém řešen zavedením efektivních pružných vazeb mezi vlákny a zpracován poté do formy funkčního přiřazení tenzorů napětí a deformace (část 3).

Vlastní struktura příze je charakterizována výsledky, vyplývajícími z požadavku statické rovnováhy každého elementu příze. Řešení vychází z principů mechaniky kontinua a je vedeno až do fáze numerického výpočtu na výpočetní technice (část 4).

Pro stanovení potřebných charakteristických konstant a posouzení teoretických výsledků se navrhuje a provádí experiment na bavlněných a viskóзовé přízi, založený na vyhodnocení souřadnic bodů značených vláken, jejichž prostorová trajektorie se fotograficky zjišťuje na přístroji OMEST. Dále jsou zachyceny experimentální hodnoty příčných rozměrů (průměrů) bavlněných přízí ve formě regresní funkce. Teorie použitých experimentálních metod, provedené experimenty a jejich zpracované výsledky jsou obsaženy v části 5.

Teoretické a experimentální výsledky jsou vzájemně porovnány v části 6, kde se též diskutuje míra souhla-

su teoretického modelu se skutečností a pravděpodobné příčiny nalezených rozdílů.

Při řešení modelu struktury příze bylo třeba používat řadu obecně známých pojmů. Jejich význam, z intuitivního hlediska zdánlivě jednoznačný, vede při hlubší úvaze k nejednoznačnostem. Problémy vznikají zejména u termínů, jejichž významev ý obsah souvisí s geometrickou topologií textilních útvarů. (Pojmy jako vlákenný svazek, orientace vláken, osa vlákna a příze, průměr příze, zákrut apod.).

Pozn.: Vzhledem k fyzikální potřebě přesně vymezit používané pojmy se postupně začínají topologií zabývat i pracovníci textilního zaměření /100/. (Některé problémy charakteristické i pro textilní útvary, jsou naznačeny též v úvodní části knihy /3/).

V této práci nejsou topologické definice používaných pojmů uvedeny. (Pokud již existují, nejsou širší odbornou veřejností prozatím považovány za závazně platné a některé vlastní návrhy autora by bylo nutné podrobit oponentuře specialistů.)

Bylo však snahou autora formulovat textovou a matematickou část práce tak, aby nejednoznačnost možné interpretace použitých termínů byla omezena na minimum.

2. CHARAKTERISTIKA HISTORICKÉHO VÝVOJE
A SOUČASNÝCH KONCEPCÍ TEORIE
STRUKTURY PŘÍZE

2.1 Nástin historického vývoje

Souběžně s historickým vývojem textilní výroby probíhal také vývoj snah o co nejdokonalejší a nejúplnější proniknutí do podstaty textilních útvarů, který by bylo možné orientačně rozdělit do tří časových údobí /82, 153/ :

1. Empirické údobí - přibližně do 80.let minulého století,
2. údobí nesystematického výzkumu - přibližně do konce první poloviny tohoto století a
3. současné údobí - druhá polovina tohoto století.

V nejstarším empirickém údobí sledovali textilní výrobky a tedy i příze jejich tehdejší výrobci a poznatky intuitivního charakteru se ústně tradovaly. Význam empirického údobí spočívá zejména v tom, že byl vytvořen základní, výchozí soubor odpozorovaných poznatků.

Rozvoj průmyslové výroby ve společnosti způsobil, že se fyzikálně-matematický styl myšlení z původně ryze akademických oblastí dostával stále více do technické sféry lidské činnosti. To se na přelomu století projevilo v problematice struktury příze vznikem prvních prací "nového" typu, k nimž patří např. publikace Müllera (1880) - cituje /153/, Marschika (1904) - /113/, Gegaufa (1902 a 1907) - cituje /19, 54/. V těchto pracích jsou formulovány elementy strukturální teorie přízí, zejména nástin šroubovicové geometrie vláken a statické rovnováhy působících sil.

Základní otázky byly pak dále zpracovávány autory hlavně z Anglie, Sovětského svazu a Německa. Problematiku zkoumali např. Staub - cituje /74, 102/, Balls (1928) - cituje /54/, Budnikov (1939), Afončikov (1934, 1941) - cituje /19/, Obuch (1936) - /134/, Pierce (1926, 1937), Schwarz (1933, 1934, 1936) - cituje /54/, Johansen - /74/ a jiní.

Na bázi šroubovicové geometrie příze se zkoumal zákrutový koeficient (Staub), seskání (Afončikov, Budnikov, Obuch), mechanické chování příze (Pierce, Schwarz). Tvorba příze byla již v roce 1928 (Balls) uvažována z dvojího pohledu: jako zkrucování válce i jako zkrucování stužky. Pravděpodobně nejpropracovanější a nejkomplexnější model struktury příze je obsažen v publikaci Braschlera (1935) - /16/. Celkově lze říci, že práce této doby objasnily principiální zákonitosti stavby příze a definovaly základní strukturální veličiny, používané dodnes.

Některé zjištěné rozdíly mezi teorií a skutečností přiměly textilní odborníky v letech čtyřicátých k podrobnějšímu studiu morfologie zakroucených přízí. Studium příčných řezů prokázali nejprve Bělicin, Pejsachov a Pavlov - cituje /77, 99, 146, 153, 156/, že příze je tvořena vlákny, jejichž trajektorie se výrazně liší od teoreticky předpokládané šroubovice. Morton /117, 118/ navrhnul novou experimentální metodu sledování těchto trajektorií ("tacer-fibre" technika) v přízi a nazval pozorované změny poloměru vlákna "migrací".

Tak byla ve své původní podobě definitivně vyvrácena hypotéza o šroubovicové a vrstevnaté struktuře vláken v přízi.

Pozn.: Pojem "migrace" je používán v literatuře též ve smyslu vzájemného rozložení (promísení) vlákených komponent ve směšové přízi /31, 149, 150/. V této práci je však použit výhradně ve významu zvađeném Mortonem.

Do posledního čtvrtstoletí vstupovala problematika struktury příze ovlivněna m.j. dvěma významnými fakty. Přelévším to byl prudký nástup chemických vláken, který podstatně

rozšířil perspektivu využití všech poznatků a začal klást řadu specifických úkolů. Postup dalších prací ovlivnila i moderní přístrojová technika, která umožnila např. měřit a vyhodnocovat hmotnou a později též optickou nestejnoměrnost příze (přístroje firmy Zellweger-Uster).

Výzkum problémů struktury příze se výrazně zintenzivnil a začal být řešen celými výzkumnými týmy. Z tématického hlediska se postupně oddělily dva základní směry :

- a) výzkum vlastní vnitřní struktury příze, zastoupený v současné době především anglickou školou (Hearle, Treloar, Gupta a.j.), a
- b) výzkum v oblasti hmotové nestejnoměrnosti příze vztažený k procesům jejího vzniku. Tento směr je reprezentován sovětskou školou (Sevosťjanov) a některými dalšími pracemi.

Pozn.: Uvedené dělení není zcela výstižné, neboť existují poznatky na rozhraní obou směrů. Je možné se domnívat, že v budoucnu dojde k jejich syntéze a vznikne tak strukturální teorie příze vyšší úrovně.

2.2 Charakteristika základních myšlenek o vnitřní struktuře příze

Soudobé koncepce výzkumu vnitřní struktury příze jsou založeny na několika základních ideích.

První z nich je již zmiňovaný problém migrace. Základem vyhodnocování trajektorií vláken v přízi je původní metoda Mortona /118/, později modifikovaná Kašpárkem /76/. Morton také navrhnul fyzikální vysvětlení migrace vycházející z rozdílů délek vláken v povrchové a osově části příze. Dle něho jsou povrchová vlákna v přízi značně napjata a tato síla je vtlačuje dovnitř, odkud jsou pak málo napjatá vlák-

na vytlačována k povrchu. Riding - cituje /54/ - podrobil trajektorie vláken analýze na bázi autokorelačních funkcí a určil periodu migrace, jejíž fyzikální vysvětlení vycházející z úvah o kroucení stužky /40, 52/ podali Hearle a Bose /47/ (druhý, geometrický mechanismus migrace). Souhrn obou navržených mechanismů analyzovala pak práce /50/. Pro vyhodnocování migrace Hearle, Gupta a Merchant /46/ navrhli tři charakteristiky : střední polohu vláken, amplitudu migrace a rychlost migrace. Z hlediska tvorby příze na doprácím stroji je možno formulovat též další geometrický (úhlový) mechanismus migrace, který spočívá v tom, že vlákno je v zákrutovém trojúhelníku (pojem je objasněn např. v /84/) přiváděno na daný poloměr pod "nesprávným" úhlem. (S touto úvahou autora koresponduje schéma zakrucování uvedené v /32/). Protože trajektorie vlákna v přízi, resp. její průmět je výsledkem náhodných procesů, vyskytují se v poslední době též studie založené na využití Fourierových řad /61/ či teorie Markovských řetězců /1/. Z českých autorů se analýzou tvaru vláken v přízi zabýval zejména Kašpárek /77, 78, 81/, který využil přístroje OMEST /159/. Ve svých pracech objasnil význam tzv. "koeficientu zapředení" pro mechanické vlastnosti vyráběné příze.

Pozn.: Mnohé další poznatky jsou obsaženy např. v publikacích /21,28,29,37,38,39,45,48,49,55,57/.

Také myšlenka šroubovicového modelu příze je stále východiskem prací mnoha autorů. Základní varianta byla v návaznosti na starší práce zformulována Treloarem /166/. Čistě geometrické využití tohoto modelu se nejčastěji vyskytuje při výpočtech seskání a dalších geometrických veličin příze, či zakrouceného hedvábí (např. /119, 105, 112, 121, 135, 136, 156/). Podstatně větší význam má však jeho aplikace pro řešení otázek mechaniky struktury příze. V této souvislosti lze citovat celou řadu prací, např. /12, 13, 18,

35, 42, 44, 51, 68, 70, 72, 83, 106, 108, 145, 168, 170, 172/ a jiné.

Jsou známy (např. dle /92/) v podstatě dvě metody řešení mechaniky příze. První z nich by bylo možné nazvat metodou energetickou. Její princip (popsaný s příslušnými citacemi v /116/) vychází z ekvivalence vnitřní a vložené energie. Tímto způsobem byly popsány "vnější" mechanické vlastnosti příze (souhrnně viz např. /54/). Pro poznání vnitřní mechaniky příze (ale nejen příze - viz např. /56/) se uplatňuje zejména postup založený na bázi mechaniky kontinua /17/. Příze je v tomto případě interpretována jako kontinuum a vychází se z požadavku statické rovnováhy jejího obecného elementu. Pravděpodobně první komplexnější publikací tohoto typu je, dosud stále ještě nedoceněná, práce Budnikova /18/. Rovnováha elementu byla poté studována v pracích /42, 44, 68, 70, 129/ a j. Otevřeným problémem však zůstává vztah mezi napjatostí a zdeformováním elementu kontinua, a to zejména při tlakovém namáhání. Speciálně touto otázkou se teoreticky a experimentálně zabývali Baljasov /5 až 10/, Dunlop /30/, Hearle /43/, Komarov /87, 88, 89/, Mikut /114, 115/ Terasaki /164/, ale i mnozí jiní. Obecné řešení bude pravděpodobně možné až po objasnění vzájemného spolupůsobení mezivláknových kontaktů, tření, orientace vláken apod. (viz např. /69, 104, 157/) a do té doby bude třeba zavádět vhodné zjednodušující podmínky /42, 167/ a fenomenologické modely deformačního chování (/129/a v analogickém, i když netextilním problému též např. /34/).

Pozn.: Součástí mechaniky příze jsou samozřejmě i specifické problémy rázového namáhání /103/, torze /111, 112/, ohybu /26, 90, 91, 110/ a pod. Zde však podrobněji charakterizovány nejsou.

Cestou k poznávání zákonitostí mechaniky příze je též využití vhodných rheologických modelů chování vláken a vláknenných soustav /2, 64/. Je pravděpodobné, že v budoucnosti budou ještě intenzivněji využívány poznatky a myšlenkové principy rozpracovávané dnes pro řešení mechaniky a rheologie polymerů i kompozitních materiálů /62, 63, 66, 97, 98, 138, 171/.

Z geometrických a mechanických zákonitostí vláknenných soustav vyplývá konečná struktura příze a její chování. Mnohé vlastnosti přízových útvarů jsou však též předmětem přímého experimentálního zjišťování. Pozornost je v tomto směru věnována jak geometrickým vlastnostem příze (tvaru příze /27, 79, 132, 133/, průměru příze /např. 131, 122, 162, 123, 174/, zákrutovému koeficientu /109, 121, 147/, povrchové geometrii a chlupatosti - např. /11/ a mnoho dalších prací Barelly), tak také vlastnostem mechanickým, zejména tahovému namáhání (např. /65/ a j.).

V poslední době se podrobněji zkoumá koeficient zaplnění příze ("fibre packing density", "koeficient plotnosti") /60, 93, 122, 123, 142/, neboť jeho hodnota, resp. radiální průběh ovlivňuje významně mnoho vlastností (platí pro textilní útvary obecně - viz např. /175, 85/).

Poznatky o struktuře a chování příze i ostatních textilních útvarů jsou zpracovávány a vyjadřovány nejčastěji prostřednictvím matematického aparátu, což dovoluje využívat soudobé prostředky výpočetní techniky. Zcela přirozeně se tak nabízí možnosti optimalizace (projektování) textilií a jejich výroby v dílčích částech i v rozsáhlejších systémovém řešení /20, 24, 59, 73, 86, 120, 124, 128/.

Pozn.: Zajímavou metodickou úvahu na toto téma publikoval Sevošťjanov /151/.

Lze předpokládat, že právě optimalizační systémy budou v budoucnu efektivním prostředkem pro využití poznatků vědy v textilní výrobní sféře.

Pozn.: Souhrnně lze nalézt mnohé z uvedených úvah a řešení strukturálních problémů příze v knižních publikacích /54, 94, 95, 156, 176/.

2.3 Koncepční východiska práce

Východiskem koncepce řešení této práce jsou poznatky o struktuře příze, citované v předchozích kapitolách.

Poznatky o trajektorii vláken v přízi ukazují její složitý a náhodný charakter a modely, založené na její idealizaci nevystihují dobře chování zkoumaných struktur (šroubovicový, ideálně-migrační model). Na druhé straně je však jednoznačně prokázán šroubovicový trend vláken či vlákených svazků, který je tedy nutné do úvah zahrnout.

Chování vlákené hmoty, ze které je příze vytvořena, je závislé na vlastnostech jednotlivých vláken a jejich vzájemných interakcích. Diskrétní řešení (pro každé vlákno a každý kontakt mezi vlákny) není prozatím dnešními prostředky možné. Použitý alternativní postup proto interpretuje přízi jako mechanické kontinuum a chování vláken včetně interakcí se souhrnně promítá ve formě charakteristik tohoto kontinua. Vhodné charakteristiky je možno stanovit z v podstatě fenomenologického přechodu od diskrétních úvah ke kontinuu. Známé rovnice rovnováhy elementu v přízi pak umožňují řešit model vnitřního rozložení sil a hmoty.

"Čistá" koncepce kontinua však nedovoluje předpokládat přesuny hmoty z jednoho elementu do elementu jiného (určitý "tok" části hmoty z centra příze k jejímu okraji). Migrační charakter vlákněných trajektorií však takový posuv (prokluz) připouští. Proto je "čistá" koncepce kontinua pro přízi v tomto smyslu zde korigována.

Vnitřní silové poměry v přízi nelze prozatím přímo experimentálně zkoumat. Teoretické závěry však lze porovnat s rozložením hmoty v přízi, (zjišťovaným laboratorně, především na přístroji OMEST) a na tomto základě dospět k modelu, který koresponduje se skutečností.

Znalost takového modelu nevede sice bezprostředně k přímé aplikaci v textilní výrobě; vytváří však nutný základ pro poznání plošných textilií (z přízí) a tím i pro optimalizaci jejich výroby.

3. ORIENTOVANÉ VLÁKENNÉ KONTINUUM

3.1 Vláknenný svazek a kontinuum

Vláknenné útvary jsou systémy elementárních partikulí - vláken, jejichž vzájemná interakce je v reálných strukturách neobyčejně složitá a vymyká se tak (s výjimkou ideálních modelových stavů) současným možnostem jak teoretického, tak experimentálního poznání.

Při budování teoretického systému popisu struktury a zejména mechanického chování vláknenných útvarů je proto nutné vycházet nikoliv přímo z vláken a jejich vzájemné interakce, ale zavést do jisté míry nový pojem "vláknenného svazku". Vláknenný svazek si lze představit jako "malý" objem myšleně vyjmutý z vláknenného útvaru. Uvnitř vláknenného svazku se nalézají vlákna se vší rozmanitostí vlastností, vzájemných poloh a interakcí; tato skutečnost je nazvána vnitřní struktura vláknenného svazku. Jejím vnějším projevem jsou pak zákonitosti chování vláknenného svazku (ve zde sledovaném smyslu mechanické).

Celý vláknenný útvar jako celek (např. přízi) lze nyní interpretovat jako souhrn (sjednocení) na sebe vzájemně působících vláknenných svazků, kde vzájemné působení je důsledkem zákonitosti jejich chování, tj. jejich vnějších projevů.

Důsledkem této koncepce je následující hierarchie pojmů:

VLÁKNO	- jehož vlastnosti jsou důsledkem vlastností a struktury vláknenné hmoty
VLÁKENNÝ SVAZEK	- s vlastnostmi určenými vnitřní (vláknennou) strukturou a vlastnostmi vláken
VLÁKENNÝ ÚTVAR	- jehož vlastnosti jsou určeny vnějšími zákonitostmi chování vláknenných svazků a způsobem jejich uspořádání v útvaru

Pozn.: Zavedením pojmu vlákenného svazku se problematika struktury vlákenného útvaru rozpadá do dvou částí:

- a) uspořádání a interakce vláken ve svazcích
- b) uspořádání a interakce svazků ve vlákenném útvaru

Jelikož vlákenný svazek je vzhledem k dimenzím celého vlákenného útvaru definován jako objem "dostatečně malý", nabízí se přirozeně možnost interpretovat jej limitní představou elementu kontinua.

Oprávněnost takové interpretace je ovšem modelová a může být z praktického hlediska potvrzena pouze korespondencí teoretických výsledků s praxí.

V této práci je naznačená modelová představa použita jako východisko teoretické koncepce a v tomto smyslu jsou nadále používány pojmy "vlákenné kontinuum", "vnitřní struktura elementu kontinua" atp. Pojmy "element kontinua" a "vlákenný svazek" jsou v dalším textu považovány za identické; "vlákenný svazek" je používán v souvislosti s představami o vnitřní struktuře, pojmu "element kontinua" je dáována přednost tam, kde jsou zdůrazňovány diferenciální dimenze, resp. mechanické vlastnosti, jež se k nim váží.

3.2 Vysoce orientovaný vlákenný svazek jako speciální případ ortotropního kontinua

Vlákenný svazek jako element kontinua je tvořen určitou prostorovou konfigurací vláken (resp. přesněji úseků vláken), obecně v rozmanitém uspořádání.

Pro popis některých stránek tohoto uspořádání je vhodné zavést pojem orientace.

Výraz "orientace" je v této práci důsledně používán jako speciální případ obecnějšího pojmu "ortotropie" (který sám je zvláštním případem anisotropie; definice např./163 /)

Nechť je rozložení vláken (resp. elementů vláken) co do směru v 3-dimenzionálním eukleidovském prostoru popsáno spojitou frekvenční funkcí $f(\alpha, \beta)$, kde α, β jsou směrové úhly vzhledem k osám x_1, x_2 pravouhlého kartézského souřadného systému (x_1, x_2, x_3) . Definičním oborem G této frekvenční funkce je libovolný obor $G_{j,k}$, pro nějž platí

$$G_{j,k} \equiv \left\{ \begin{array}{l} \alpha \in \langle k, k+\pi \rangle \\ \beta \in \langle j, j+\pi \rangle \\ \cos^2 \beta + \cos^2 \alpha \leq 1 \\ k, j \dots \text{lib. reál. čísla} \end{array} \right. \quad (3.1)$$

Takže

$$\iint_{G_{j,k}} f(\alpha, \beta) \cdot d\alpha \cdot d\beta = 1 \quad (3.2)$$

Je-li zkoumané rozložení vláken ortotropní a roviny symetrie jsou totožné se souřadnými rovinami $(x_1 x_2)$, $(x_2 x_3)$, $(x_3 x_1)$, potom vzhledem k této symetrii platí

$$\left. \begin{array}{l} f(\alpha, \beta) = f(|\alpha|, |\beta|) \\ \text{pokud: } \alpha \in G, |\alpha| \in G \\ \beta \in G, |\beta| \in G \end{array} \right\} \quad (3.3)$$

Použije-li se v (3.1) $k=0, j=0$, plyne z (3.3) možnost redukovat úvahy o frekvenční funkci uvažovaného ortotropního systému na 1. kvadrant. Integrál $f(\alpha, \beta)$ přes

1.kvadrant pak vzhledem k (3.1, 3.2, 3.3) nabývá hodnoty 1/4. V rámci této podmínky však může být $f(\alpha, \beta)$ u ortotropních systémů zcela libovolná. Proto je užitečné definovat podskupinu "jednoduchých" ortotropních soustav.

Definice: Nechť pro ortotropní systém platí :

a) $f(\alpha, \beta)$ je na $\mathcal{G}$ hladká

b) existuje právě jeden jednotkový vektor $\bar{v}$, pro který platí

$$\bar{v} \equiv (\cos \alpha_v, \cos \beta_v, \sqrt{1 - \cos^2 \alpha_v - \cos^2 \beta_v}); (\alpha_v, \beta_v) \in \mathcal{G}$$

$$f(\alpha_v, \beta_v) \geq f(\alpha, \beta); (\alpha, \beta) \in \mathcal{G}$$

c) pro všechny vektory

$$\bar{r} \equiv (\cos \alpha_r, \cos \beta_r, \sqrt{1 - \cos^2 \alpha_r - \cos^2 \beta_r}); (\alpha_r, \beta_r) \in \mathcal{G}$$

$$\bar{s} \equiv (\cos \alpha_s, \cos \beta_s, \sqrt{1 - \cos^2 \alpha_s - \cos^2 \beta_s}); (\alpha_s, \beta_s) \in \mathcal{G}$$

pro něž platí $|\bar{v} \cdot \bar{r}| = \text{konst.} > |\bar{v} \cdot \bar{s}|$

platí též $f(\alpha_r, \beta_r) = \text{konst.} \geq f(\alpha_s, \beta_s)$

pak tento systém je nazýván orientovaný a vektor $\bar{v}$ je vektor směru orientace.

Ve speciálním případě, kdy platí $f(\alpha, \beta) = 0$ pro

$$(\alpha, \beta) \in [\mathcal{G} \setminus (\alpha_v, \beta_v)], f(\alpha_v, \beta_v) = \infty$$

bude systém nazýván dokonale orientovaný.

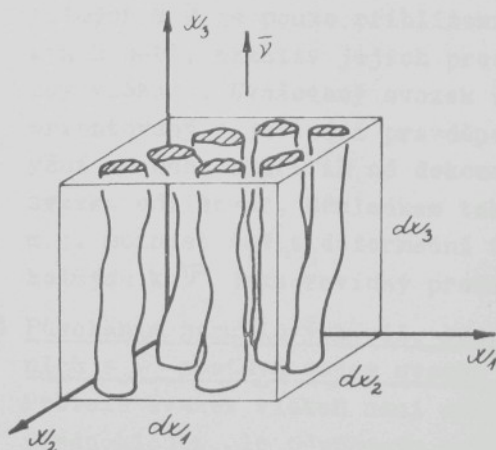
V těch případech, kdy orientovaný systém se z fyzikálního a technického pohledu přibližuje dokonale orientovanému systému, bude používán termín vysoce orientovaný systém (vlákenný svazek, kontinuum).

Pozn.: 1) Zavedené pojmy jsou geometrické. Existuje ovšem též fyzikální ortotropie / 34 / resp. orientace; tyto pojmy budou zavedeny později.

2) Pro zaměření práce postačuje zde uvedený výčet pojmů. Případná zobecnění do jiných struktur (pojené textilie) by ovšem vyžadovala podrobnější rozbor tvaru a uspořádání partikulí (vláken, pojiva atp.) např. cestou ortogonálních modelů vícefázových látek / 155 / apod.

3.3 Napětí a deformace vysoce orientovaného vláknenného svazku

3.3.1 Výchozí předpoklady



Mějme souřadný systém (x_1, x_2, x_3) a v něm element vysoce orientovaného vláknenného kontinua umístěný tak, že směr orientace $\vec{v}$ je kolineární se souřadnou osou x_3 (obr.3.1). Je-li na tento element působeno silami, dochází k jeho deformaci.

Obr. 3.1

Pro popis mechanických zákonitostí je nutno vyslovit několik předpokladů :

- 1) Existuje na čase nezávislé jednoznačné přiřazení tenzoru napětí a tenzoru deformace

Tento předpoklad vylučuje z dalších úvah problémy viskoelastických a plastických toků, které v reálných vlákenných strukturách existují. Při tvorbě příze nedochází k cyklickému namáhání vlákenné hmoty a proces vzniku (klasicky předené) příze je velmi rychlý (řádově 10^{-3} s). Proto je uvedený předpoklad modelově přijatelný. Z formálního hlediska pak jeho zavedení výrazně usnadňuje řešení celého problému, neboť vylučuje z modelové úvahy složitý problém času.

- 2) Působením sil resp. napětí kolmých k $\vec{v}$ nevzniká deformace ve směru $\vec{v}$.

U dokonale orientovaného svazku vláken je tento předpoklad založen na představě, že důsledkem sil kolmých k $\vec{v}$ je pouze přiblížení (paralelních) vláken k sobě, nikoliv jejich prodloužení (ve směru osy vláken). Uvažovaný svazek vláken je vysoce orientovaný a je tudíž pravděpodobné, že jeho chování se nebude příliš od dokonale orientovaného svazku odlišovat. Důsledkem tohoto předpokladu je m.j. možnost řešit deformační účinky sil a napětí kolmých k $\vec{v}$ jako rovinný problém.

- 3) Působením normálových sil, resp. napětí, kolineárních s $\vec{v}$ zůstává objem svazku zachován.

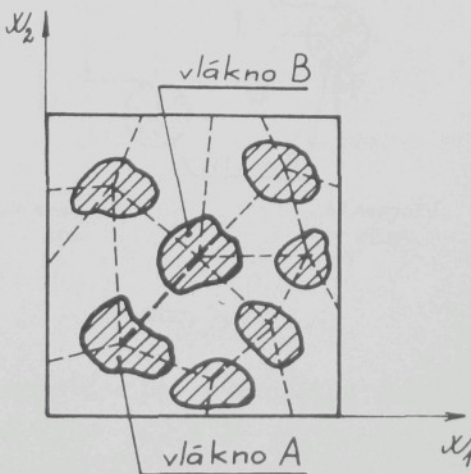
Protože svazek vláken není orientován dokonale, lze předpokládat, že působením uvedených sil či napětí dochází ke "zúžení", t.j. ke zmenšování jeho rozměrů dx_1, dx_2 . Zachování objemu je ovšem již předpoklad ryze modelový.

- 4) Nenapjatý vláknenný svazek má ve všech směrech kolmých k $\vec{\nu}$ stejné vlastnosti,
t.j. je v rovinách kolmých k $\vec{\nu}$ isotropní. Uvedený předpoklad znamená, že výchozí uspořádání svazku nepreferuje žádný směr v rovině kolmé k $\vec{\nu}$; to značně usnadňuje řešení rovinného problému, který vzniká dle předpokladu 2.

3.3.2 Vláknenný svazek namáhaný normálovými silami kolmými ke směru orientace

3.3.2.1 Efektivní pružná vazba mezi vlákny

Vzhledem k předpokladu 2 lze uvedený problém řešit bezesbýtku v libovolné rovině kolmé k $\vec{\nu}$. Řez vláknenného svazku takovou rovinou je znázorněn na obr. 3.2. Působí-li se na svazek (tlakovými) silami, dochází bezesporu k jeho deformaci (stlačování), což se v řezu (obr.3.2) projeví přiblížením vláknenných řezů (vyšrafované plochy) k sobě navzájem. Skutečnost, že toto přiblížení vyžaduje silové působení, je v reálné vláknenné struktuře způsobena velmi složitou soustavou interakčních vztahů mezi vlákny.

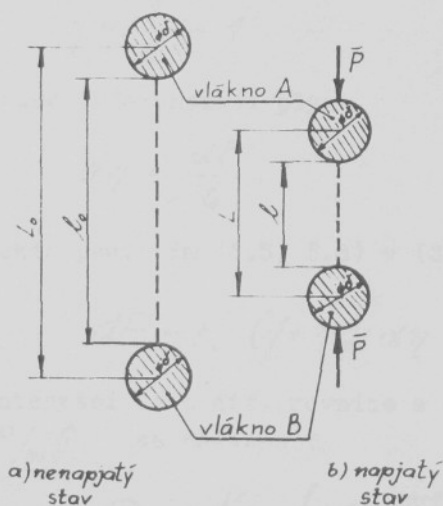


Obr. 3.2

V rovinném řešení lze existenci interakčních vztahů nahradit zavedením představy pružných vazeb (čárkované spojnice - obr.3.2) mezi vlákny. O těchto vazbách však lze hovořit pouze jako o efektivních vazbách; jejich reálnou existenci není nutno předpokládat.

Pozn.: V dalším textu je "efektivní pružná vazba" nazývána též zkráceně pouze "vazba".

Prvním krokem modelového řešení je tak analýza jedné vazby. Nechť ve vlákněném svazku existují vlákna A, B spjatá navzájem efektivní pružnou vazbou (obr. 3.3).



Obr.3.3

Nechť vazba AB vykazuje v nenapjatém stavu délku L_0 , v napjatém stavu pak délku L . Předpokládejme, že vlákna A,B jsou tuhá (rovinná) tělesa s průměrným příčným rozměrem δ ; pro následující úvahy jsou proto nahrazena kruhy s průměrem δ . Vzhledem k této představě je deformovatelná délka vazby v nenapjatém

stavu $l_0 < L_0$, v napjatém stavu $l < L$. (Zřejmě $l \geq 0, \Rightarrow L \geq \delta$)

Mezi zatěžující silou P a délkou l nechť platí :

- 1) dP je přímo úměrné $d\ell$
- 2) $\frac{dP}{d\ell}$ je nepřímo úměrné ℓ
- 3) $\frac{dP}{d\ell}$ roste s obecnou mocninou poměru $\frac{\ell}{\ell_0}$

Uvedeným požadavkům vyhovuje vztah :

$$dP = K \cdot \frac{d\ell}{\ell_0} \cdot \left(\frac{\ell}{\ell_0}\right)^A \quad (3.4)$$

K, A reálné konstanty

Poměrné prodloužení η výchozí délky ℓ_0 je

$$\eta = \frac{\ell}{\ell_0} - 1 \quad (3.5)$$

odkud diferenciací plyne

$$d\eta = \frac{d\ell}{\ell_0} \quad (3.6)$$

takže použitím (3.5, 3.6) v (3.4) plyne

$$dP = K \cdot (1 + \eta)^A \cdot d\eta \quad (3.7)$$

Integrací této dif. rovnice s okrajovou podmínkou

$P|_{\eta=0} = 0$ se nalezne :

$$P = \frac{K}{A+1} \cdot \left[(1+\eta)^{A+1} - 1 \right] \quad (3.8)$$

Speciální případy (3.8) :

a) $A=0, \Rightarrow P=K\eta$ (linearita)

b) $A=-1, \Rightarrow P=K \cdot \ln(1+\eta)$

c) $A > -1, \Rightarrow \lim_{\eta \rightarrow (-1)^+} P = -\frac{K}{A+1}$

d) $A \leq -1, \Rightarrow \lim_{\eta \rightarrow (-1)^+} P = -\infty$

Vzhledem k logicky očekávanému $\lim_{\eta \rightarrow (-1)^+} P = -\infty$ by pro popis vazby přicházelo v úvahu pouze $A \leq -1$, t.j. případ ad d).

Z rovnice (3.3) plyne $\left(\frac{dP}{d\eta}\right)_{\eta=0} = K$; K tedy charakterizuje průběh funkce $P=P(\eta)$ v okolí počátku a lze ji nazvat počáteční konstanta (analogicky pojmu "počáteční modul"). Diferenciací (3.7)

$$d^2P = A \cdot \frac{d\eta}{1+\eta}$$

a vydělením tohoto výrazu (3.7) se nalezne

$$\frac{d^2P}{dP} = A \frac{d\eta}{1+\eta} \quad (3.9)$$

Zavedením tečné konstanty K^* (pojem analogický "tečnému modulu") z (3.7) :

$$K^* = \frac{dP}{d\eta} = K(1+\eta)^A \quad (3.10)$$

a diferencováním tohoto výrazu

$$\begin{aligned} dK^* &= K \cdot A \cdot (1+\eta)^{A-1} \cdot d\eta = K^* \cdot A \cdot \frac{d\eta}{1+\eta} \\ \frac{dK^*}{K^*} &= A \frac{d\eta}{1+\eta} \end{aligned} \quad (3.11)$$

nalezne se z (3.9) nebo (3.11)

$$A = \frac{\frac{d^2P}{dP}}{\frac{d\eta}{1+\eta}} = \frac{\frac{dK^*}{K^*}}{\frac{d\eta}{1+\eta}} \quad (3.12)$$

Ze vztahu (3.12) je zřejmý logický význam konstanty A, jenž vyjadřuje podíl relativní změny tečné konstanty ku relativní změně okamžité délky. Ze vztahu (3.10) pak plyne :

$A > 0$ K^* s rostoucí P roste
 $A = 0$ $K^* = K$ nezávisle na P
 $A < 0$ K^* s rostoucí P klesá

Pro další řešení je třeba zavést hodnocení pracovní křivky vzhledem k délkám L_0 , L (obr. 3.3).

Zavede-li se poměrné prodloužení

$$\varepsilon = \frac{L}{L_0} - 1 \quad (3.13)$$

lze též psát

$$L = L_0 + L_0 \varepsilon \quad (3.14)$$

Z obr. 3.3 dále plyne

$$L_0 - \delta = l_0 \quad (3.15)$$

$$L - \delta = l \quad (3.16)$$

Dosazením do vztahu (3.5) a použitím (3.14) se získá výraz pro η ve tvaru

$$\eta = \frac{L - \delta}{L_0 - \delta} - 1 = \frac{L_0 + L_0 \varepsilon - \delta}{L_0 - \delta} - 1$$

$$\eta = \frac{\varepsilon}{1 - \frac{\delta}{L_0}} \quad (3.17)$$

Použitím (3.15) do (3.17) a úpravou se pak nalezne

$$\eta = \frac{L_0}{l_0} \varepsilon \quad (3.18)$$

Poměr délek označený

$$\lambda = \frac{l_0}{L_0} \quad (3.19)$$

vede na konečný tvar

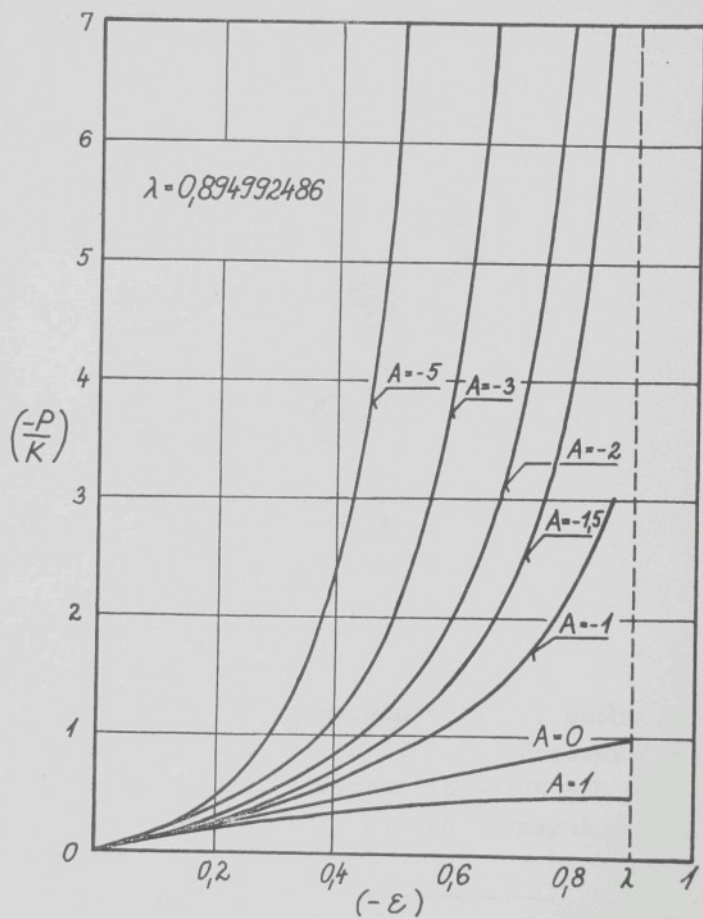
$$\eta = \frac{\varepsilon}{\lambda} \quad (3.20)$$

Pracovní křivka popsaná rovnicí (3.8) může být zavedením (3.20) vyjádřena ve formě

$$P = \frac{K}{A+1} \left[\left(1 + \frac{\varepsilon}{\lambda} \right)^{A+1} - 1 \right] \quad (3.21)$$

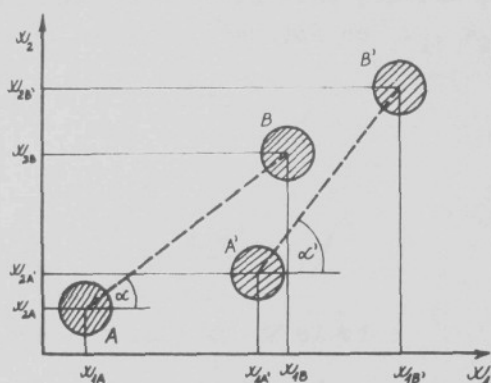
Pro ilustraci jsou na obr. 3.4 znázorněny průběhy několika variant této závislosti.

Závěrem této kapitoly je třeba poznamenat, že tvar (3.21) je pouze modelový návrh popisu pracovní křivky efektivní pružné vazby; oprávněnost jeho použití je v podstatě dána empirií.



Обр. 3.4

3.3.2.2 Geometrie efektivní pružné vazby v rovině



Obr. 3.5

Nechť v rovině $x_1 x_2$ existuje (vedle mnoha jiných) nenapjatá vazba AB dle obr. 3.5. Působením vnějších sil přejdou vlákna z výchozích poloh A, B do poloh A', B'. Z geometrických poměrů znázorněných na obr. 3.5 plyne

$$L_0 = \sqrt{(x_{1B} - x_{1A})^2 + (x_{2B} - x_{2A})^2} \quad (3.22)$$

$$L = \sqrt{(x_{1B'} - x_{1A'})^2 + (x_{2B'} - x_{2A'})^2} \quad (3.23)$$

a ve shodě s (3.13)

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{(\kappa_{1B'} - \kappa_{1A'})^2 + (\kappa_{2B'} - \kappa_{2A'})^2}{(\kappa_{1B} - \kappa_{1A})^2 + (\kappa_{2B} - \kappa_{2A})^2}} - 1 \quad (3.24)$$

Dále nechť jsou definována poměrná prodloužení $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ vazby ve směru souřadných os x_1, x_2 vztahy :

$$\varepsilon_1 = \frac{\kappa_{1B'} - \kappa_{1A'}}{\kappa_{1B} - \kappa_{1A}} - 1 \quad (3.25)$$

$$\varepsilon_2 = \frac{\kappa_{2B'} - \kappa_{2A'}}{\kappa_{2B} - \kappa_{2A}} - 1 \quad (3.26)$$

Konečně pro úhly α, α' platí :

$$\cos \alpha = \frac{\kappa_{1B} - \kappa_{1A}}{\sqrt{(\kappa_{1B} - \kappa_{1A})^2 + (\kappa_{2B} - \kappa_{2A})^2}} \quad (3.27)$$

$$\sin \alpha = \frac{\kappa_{2B} - \kappa_{2A}}{\sqrt{(\kappa_{1B} - \kappa_{1A})^2 + (\kappa_{2B} - \kappa_{2A})^2}} \quad (3.28)$$

$$\cos \alpha' = \frac{\kappa_{1B'} - \kappa_{1A'}}{\sqrt{(\kappa_{1B'} - \kappa_{1A'})^2 + (\kappa_{2B'} - \kappa_{2A'})^2}} \quad (3.29)$$

$$\sin \alpha' = \frac{\kappa_{2B'} - \kappa_{2A'}}{\sqrt{(\kappa_{1B'} - \kappa_{1A'})^2 + (\kappa_{2B'} - \kappa_{2A'})^2}} \quad (3.30)$$

Ze vztahů (3.24) až (3.30) plyne

$$\cos \alpha' = \frac{1 + \varepsilon_1}{1 + \varepsilon} \cos \alpha \quad (3.31)$$

$$\sin \alpha' = \frac{1+\varepsilon_2}{1+\varepsilon} \sin \alpha \quad (3.32)$$

Úpravou (3.24) a použitím (3.25) až (3.28) se získá vztah

$$(1+\varepsilon)^2 = (1+\varepsilon_1)^2 \cdot \cos^2 \alpha + (1+\varepsilon_2)^2 \cdot \sin^2 \alpha \quad (3.33)$$

Z tohoto vztahu mimo jiné vyplývá, že platí vždy některá z následujících relací

$$(1+\varepsilon_1) \geq (1+\varepsilon) \geq (1+\varepsilon_2) \quad (3.34)$$

Z (3.33) dále plyne :

$$\cos \alpha = \sqrt{\frac{(1+\varepsilon)^2 - (1+\varepsilon_2)^2}{(1+\varepsilon_1)^2 - (1+\varepsilon_2)^2}} \quad (3.35)$$

$$\sin \alpha = \sqrt{\frac{(1+\varepsilon)^2 - (1+\varepsilon_1)^2}{(1+\varepsilon_2)^2 - (1+\varepsilon_1)^2}} \quad (3.36)$$

přičemž nevýhodou těchto tvarů je, že výrazy nejsou přímo definovány pro případ rovnosti v relaci (3.34).

Sílu P nutnou k deformaci vazby AB lze rozepsat do složek :

$$P_1 = P \cdot \cos \alpha' \quad (3.37)$$

$$P_2 = P \cdot \sin \alpha' \quad (3.38)$$

což po dosazení (3.21, 3.31, 3.32) vede na vztahy

$$P_1 = \frac{K}{A+1} \left[\left(1 + \frac{\varepsilon}{\lambda} \right)^{A+1} - 1 \right] \frac{1+\varepsilon_1}{1+\varepsilon} \cos \alpha \quad (3.39)$$

$$P_2 = \frac{K}{A+1} \left[\left(1 + \frac{\varepsilon}{\lambda} \right)^{A+1} - 1 \right] \frac{1+\varepsilon_2}{1+\varepsilon} \sin \alpha \quad (3.40)$$

3.3.2.3 Normilová napětí

V reálných vlákenných strukturách existují velmi rozmanité vztahy mechanického působení vláken navzájem. V modelu efektivních pružných vazeb (obr.3.2) by bylo nutno respektovat takovou skutečnost zavedením individuálních (vzájemně různých) charakteristik K, A, ℓ, λ pro každou vazbu (čárkovanou spojnicí - obr.3.2).

K takovému řešení, i když by bylo co do obecnosti nejspřímnější, však neexistují exaktní podklady, a proto je třeba volit jednodušší, speciálnější variantu řešení. Takovou může být postup, založený na předpokladu, že všechny vazby ve svazku jsou popsány stejnými (průměrnými) charakteristikami K, A, ℓ, λ .

Nenapjatá reálná vlákenná struktura vykazuje určitou konkrétní prostorovou konfiguraci, takže při představení rovinných vazeb (obr.3.2) vede řešení obecně na úlohu staticky neurčitě rovinné příhradové konstrukce. Výchozí geometrie uspořádání vláken (vlákenných řezů) však není známa a je pravděpodobně velmi různorodá. V důsledku toho je řešení na principu příhradové konstrukce obtížné a závislé na zjednodušujících předpokladech, jež musí být pro řešení formulovány.

Pozn.: Tato varianta řešení se údajně osvědčila při řešení mechaniky některých sypkých hmot, např. písku / 154 /.

Pro účely této práce byla však volena jiná, dále podrobněji popsaná forma zjednodušení.

Mějme výchozí nenapjatý svazek (např. dle obr.3.2). Působením normálových napětí dojde k jeho deformaci, přičemž označme ε_{1s} , ε_{2s} jeho poměrná prodloužení ve směrech souřadných os x_1 , x_2 . Jedna, libovolně vybraná vazba (např. mezi vlákny A,B - obr.3.2) se v důsledku tohoto působení na celý svazek prodlouží o poměrné prodloužení ε , přičemž vlákna se přemístí (analogicky obr.3.5) tak, že vazba vykáže ve směrech koordinat poměrná prodloužení ε_1 , ε_2 (viz. kap.3.3.2.2, rovnice (3.25) a (3.26)). Zde se naskytá otázka vztahu mezi ε_{1s} , ε_{2s} svazku a ε_1 , ε_2 libovolné vazby ve svazku.

Při úvaze o modelovém popsání těchto závislostí se vychází z předpokladu, že žádná efektivní pružná vazba v procesu deformace svazku nevzniká ani nezaniká.

Nechť ve studovaném svazku vláken existuje m vazeb s poř.čísly $1, 2, 3, \dots, i, \dots, m$. (Rovnice z předchozích kapitol budou doplněny v dalším použití o indexy $i=1, 2, 3, \dots, m$ všude tam, kde je veličina obecně závislá na vazbě). V napjatém svazku je průměrná délka průmětu vazby do osy x_1 :

$$\bar{L}_1 = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m L_i \cos \alpha_i \quad (3.41)$$

Použitím (3.14) a (3.31) se nalezne (za předpokladu, že L_0 není závislé na poř.čísle vazby) :

$$\bar{L}_1 = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m L_0 \cdot \cos \alpha_i \left(1 + \frac{\sum_{i=1}^m \varepsilon_{1i} \cos \alpha_i}{\sum_{i=1}^m \cos \alpha_i} \right) \quad (3.42)$$

Zde však

$$\bar{L}_{0,1} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m L_0 \cdot \cos \alpha_i \quad (3.43)$$

vyjadřuje průměrnou délku průmětu vazby do osy x_1 v nenapjatém svazku. Odtud plyne, že existuje průměrné ε_{1i} , jež musí být rovno ε_{1s} , tedy

$$\varepsilon_{1s} = \sum_{i=1}^m \left(\frac{\cos \alpha_i}{\sum_{i=1}^m \cos \alpha_i} \right) \cdot \varepsilon_{1i} \quad (3.44)$$

Analogickou úvahou pro osu x_2 lze nalézt

$$\varepsilon_{2s} = \sum_{i=1}^m \left(\frac{\sin \alpha_i}{\sum_{i=1}^m \sin \alpha_i} \right) \cdot \varepsilon_{2i} \quad (3.45)$$

Z předpokladu 4 (kap.4.3.1) plyne možnost zapsat předchozí vztahy v integrálním tvaru :

$$\varepsilon_{1s} = \frac{1}{2} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \varepsilon_{1\alpha} \cdot \cos \alpha \cdot d\alpha \quad (3.46)$$

$$\varepsilon_{2s} = \frac{1}{2} \int_0^{\pi} \varepsilon_{2\alpha} \cdot \sin \alpha \cdot d\alpha \quad (3.47)$$

kde $\varepsilon_{1\alpha}$, $\varepsilon_{2\alpha}$ vyjadřuje prodloužení vazeb, jež se vyskytují ve svazku pod úhlem α .

Platí-li speciálně $\varepsilon_1 = \varepsilon_{1\alpha} \neq f(\alpha)$, $\varepsilon_2 = \varepsilon_{2\alpha} \neq f(\alpha)$, plyne z předchozích vztahů

$$\epsilon_{1S} = \epsilon_1 \quad (3.48)$$

$$\epsilon_{2S} = \epsilon_2 \quad (3.49)$$

Tyto rovnosti vyjadřují vztah mezi poměrným prodloužením svazku a vazby. Posledně zavedenou podmínku jejich platnosti lze slovně formulovat takto : poměrná prodloužení ϵ_1 , ϵ_2 vazby nejsou závislá na poloze (ne-napjaté) vazby (tj. na α).

Pozn.: 1) Předpoklad 4 (kap.3.3.1), jenž byl použit při odvození vztahů (3.46) a (3.47) je interpretován v geometrickém smyslu, t.j. předpokládá se, že frekvenční funkce rozložení vazeb v nezátíženém svazku v závislosti na úhlu α je konstanta

2) Protože se důsledně vychází z platnosti rovností (3.48), (3.49), je v dalším textu používána jednotně symbolika ϵ_1 , ϵ_2 , a to jak ve vztahu k jedné vazbě, tak i ve vztahu ke svazku.

Pro síly P_{a1} , P_{a2} potřebné ke zdeformování svazku ve směrech x_1 , x_2 o poměrná prodloužení ϵ_1 , ϵ_2 lze za všech výše zavedených předpokladů formulovat následující relace :

$$P_{a1} \sim \frac{1}{\pi} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} P_1 d\alpha \quad (3.50)$$

$$P_{a2} \sim \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} P_2 d\alpha \quad (3.51)$$

a vzhledem k symetrii dle souřadných os

$$P_{01} \sim \frac{2}{\pi} \int_0^{\frac{\pi}{2}} P_1 d\alpha \quad (3.52)$$

$$P_{02} \sim \frac{2}{\pi} \int_0^{\frac{\pi}{2}} P_2 d\alpha \quad (3.53)$$

Dosazením (3.39) a (3.40)

$$P_{01} \sim \frac{2K}{\pi(A+1)} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \left[\left(1 + \frac{\epsilon}{\lambda} \right)^{A+1} - 1 \right] \frac{1+\epsilon_1}{1+\epsilon} \cos \alpha \cdot d\alpha \quad (3.54)$$

$$P_{02} \sim \frac{2K}{\pi(A+1)} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \left[\left(1 + \frac{\epsilon}{\lambda} \right)^{A+1} - 1 \right] \frac{1+\epsilon_2}{1+\epsilon} \sin \alpha \cdot d\alpha \quad (3.55)$$

Poslední relaci lze zavedením substituce

$$\sin \beta = \cos \alpha \quad (3.56)$$

do funkce i mezí upravit :

$$P_{02} \sim \frac{2K}{\pi(A+1)} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \left[\left(1 + \frac{\epsilon}{\lambda} \right)^{A+1} - 1 \right] \frac{1+\epsilon_2}{1+\epsilon} \cos \beta \cdot d\beta \quad (3.57)$$

Vztahy (3.54) a (3.57) je možno upravit použitím (3.33), (3.56) a vztahem

$$\frac{\left(1 + \frac{\varepsilon}{\lambda}\right)^{A+1}}{(1+\varepsilon)} = \frac{1}{\lambda^{A+1}} \cdot \frac{[(1+\varepsilon) - (1-\lambda)]^{A+1}}{(1+\varepsilon)}$$

do tvaru

$$P_{\square 1} \sim \frac{2K}{\pi^{(A+1)}} \left\{ \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{1}{\lambda^{A+1}} \frac{[\sqrt{(1+\varepsilon_1)^2 \cos^2 \alpha + (1+\varepsilon_2)^2 \sin^2 \alpha} - (1-\lambda)]^{A+1}}{\sqrt{(1+\varepsilon_1)^2 \cos^2 \alpha + (1+\varepsilon_2)^2 \sin^2 \alpha}} \cdot \right. \\ \left. \cdot (1+\varepsilon_1) \cos \alpha d\alpha - \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{(1+\varepsilon_1) \cos \alpha d\alpha}{\sqrt{(1+\varepsilon_1)^2 \cos^2 \alpha + (1+\varepsilon_2)^2 \sin^2 \alpha}} \right\} \quad (3.58)$$

$$P_{\square 2} \sim \frac{2K}{\pi^{(A+1)}} \left\{ \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{1}{\lambda^{A+1}} \frac{[\sqrt{(1+\varepsilon_2)^2 \cos^2 \beta + (1+\varepsilon_1)^2 \sin^2 \beta} - (1-\lambda)]^{A+1}}{\sqrt{(1+\varepsilon_2)^2 \cos^2 \beta + (1+\varepsilon_1)^2 \sin^2 \beta}} \cdot \right. \\ \left. \cdot (1+\varepsilon_2) \cos \beta d\beta - \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{(1+\varepsilon_2) \cdot \cos \beta d\beta}{\sqrt{(1+\varepsilon_2)^2 \cos^2 \beta + (1+\varepsilon_1)^2 \sin^2 \beta}} \right\} \quad (3.59)$$

Pro snazší manipulaci s výrazy (3.58) a (3.59) je výhodné definovat následující integrál :

$$I(a, b, c, m) = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{[\sqrt{a \cos^2 \varphi + b \sin^2 \varphi} - c]^m}{\sqrt{a \cos^2 \varphi + b \sin^2 \varphi}} \cos \varphi d\varphi \quad (3.60)$$

pro $c \geq 0$, $\sqrt{a} \geq c$, $\sqrt{b} \geq c$.

Speciální případ $c=0$ vede na tvar, jenž při náhradě $(m-1)=2n$ lze zapsat :

$$J(a, b, n) = \int_0^{\frac{\pi}{2}} [a \cos^2 \varphi + b \sin^2 \varphi]^n \cos \varphi d\varphi = I(a, b, c=0, m=2n+1) \quad (3.61)$$

Zavedením substituce $\sin \varphi = t$ se nalezne :

$$I(a, b, c, m) = \int_0^1 \frac{[\sqrt{a+t^2(b-a)}-c]^m}{\sqrt{a+t^2(b-a)}} dt \quad (3.62)$$

$$J(a, b, n) = \int_0^1 [a+t^2(b-a)]^n dt \quad (3.63)$$

Pro zkrácení zápisu je speciálně označeno

$$\begin{aligned}
 I(a=(1+\varepsilon_1)^2, b=(1+\varepsilon_2)^2, c=1-\lambda, m=A+1) &= I_1 \\
 I(a=(1+\varepsilon_2)^2, b=(1+\varepsilon_1)^2, c=1-\lambda, m=A+1) &= I_2 \\
 J(a=(1+\varepsilon_1)^2, b=(1+\varepsilon_2)^2, n=-1/2) &= J_1 \\
 J(a=(1+\varepsilon_2)^2, b=(1+\varepsilon_1)^2, n=-1/2) &= J_2
 \end{aligned}
 \tag{3.64}$$

Nyní lze úpravou (3.58) a (3.59) za použití (3.60) a (3.61) nalézt :

$$P_{01} \sim \frac{2K}{\pi(A+1)} \left[\frac{(1+\varepsilon_1)}{\lambda^{A+1}} I_1 - (1+\varepsilon_1) J_1 \right] \tag{3.65}$$

$$P_{02} \sim \frac{2K}{\pi(A+1)} \left[\frac{(1+\varepsilon_2)}{\lambda^{A+1}} I_2 - (1+\varepsilon_2) J_2 \right] \tag{3.66}$$

Pro normálová napětí τ_{11}, τ_{22} ve směru souřadných os x_1, x_2 však platí

$$\tau_{11} \sim \frac{P_{01}}{1+\varepsilon_2} \tag{3.67}$$

$$\tau_{22} \sim \frac{P_{02}}{1+\varepsilon_1} \tag{3.68}$$

Dosazením a úpravou, při zavedení konstanty úměrnosti k se konečně naleznou výrazy :

$$\tau_{11} = \frac{2hK}{\pi(A+1)} \cdot \frac{1+\varepsilon_1}{1+\varepsilon_2} \cdot \left[\frac{I_1}{\lambda^{A+1}} - J_1 \right] \tag{3.69}$$

$$\tau_{22} = \frac{2kK}{\pi(A+1)} \cdot \frac{1+\varepsilon_2}{1+\varepsilon_1} \left[\frac{L_2}{\lambda^{A+1}} - J_2 \right] \quad (3.70)$$

což jsou funkce, přiřazující poměrným prodloužením ε_1 , ε_2 hodnoty normálových napětí τ_{11} , τ_{22} .

Pozn.: O smykových napětích bude pojednáno později komplexně.

3.3.2.4 Některé matematické vlastnosti odvozených vztahů

Konvergence integrálu $I(a, b, c, m)$ pro $a=c^2$:

Dosažením

$$a = c^2 \quad (3.71)$$

do (3.62) a úpravou se získá pro případ $c > 0$

$$I(a=c^2, b, c, m) = c^{m-1} \int_0^1 \frac{[\sqrt{1+t^2(\frac{b}{c^2}-1)}-1]^m}{\sqrt{1+t^2(\frac{b}{c^2}-1)}} dt \quad (3.72)$$

Nyní definujeme :

$$f(t) = |f(t)| = \frac{[\sqrt{1+t^2(\frac{b}{c^2}-1)}-1]^m}{\sqrt{1+t^2(\frac{b}{c^2}-1)}} \quad (3.73)$$

$$\varphi(t) = |\varphi(t)| = [\sqrt{1+t^2(\frac{b}{c^2}-1)}-1]^m \quad (3.74)$$

Dále :

$$\lim_{t \rightarrow 0+} \frac{|f(t)|}{|\varphi(t)|} = \lim_{t \rightarrow 0+} \frac{1}{\sqrt{1+t^2(\frac{b}{c^2}-1)}} = 1 \neq 0 \quad (3.75)$$

Dle / 144 / str.467, je-li limita (3.75) $\neq 0$, pak konverguje-li (diverguje-li) integrál $\varphi(t)$, konverguje (diverguje) integrál $f(t)$.

Zbývá řešit konvergenci integrálu

$$\int_0^1 [\sqrt{1+t^2(\frac{b}{c^2}-1)} - 1]^m dt \quad (3.76)$$

Vztah (3.76) pro $b > c^2$ evidentně konverguje, je-li $m \geq 0$. Úpravou integrálu (3.76) do tvaru

$$\int_0^1 [\sqrt{1+t^2(\frac{b}{c^2}-1)} - 1]^m dt = \int_0^1 \frac{[t^2(\frac{b}{c^2}-1)]^m}{[\sqrt{1+t^2(\frac{b}{c^2}-1)} + 1]^m} dt \quad (3.77)$$

a zavedením :

$$F(t) = |F(t)| = \frac{[t^2(\frac{b}{c^2}-1)]^m}{[\sqrt{1+t^2(\frac{b}{c^2}-1)} + 1]^m} \quad (3.78)$$

$$\phi(t) = |\phi(t)| = [t^2(\frac{b}{c^2}-1)]^m \quad (3.79)$$

plyne :

$$\lim_{t \rightarrow 0^+} \frac{|F(t)|}{|\phi(t)|} = \frac{1}{2^m} \neq 0 \quad (3.80)$$

Z téžé věty jako u limity (3.75) vyplývá závislost konvergence (3.76) na konvergenci integrálu

$$\int_0^1 \left[t^2 \left(\frac{b}{c^2} - 1 \right) \right]^m dt \quad (3.81)$$

Jeho řešení je (stále za podmínky $b > c^2$) :

$$\int_0^1 \left[t^2 \left(\frac{b}{c^2} - 1 \right) \right]^m dt = \begin{cases} \left(\frac{b}{c^2} - 1 \right)^m \cdot \left(\frac{1}{2m+1} - \lim_{t \rightarrow 0^+} \frac{t^{2m+1}}{2m+1} \right) \text{ pro } m \neq -\frac{1}{2} \\ \left(\frac{b}{c^2} - 1 \right)^m \cdot \left(-\lim_{t \rightarrow 0^+} \ln t \right) \text{ pro } m = -\frac{1}{2} \end{cases} \quad (3.82)$$

Integrál (3.81) tedy konverguje pro $m > -\frac{1}{2}$ a diverguje pro $m \leq -\frac{1}{2}$ (přičemž se uvažuje $b > c^2$).

Jestliže však $b \rightarrow c^2$, pak integrál (3.72) přejde na tvar

$$\lim_{b \rightarrow c^2} I(a=c^2, b, m) = c^{m-1} \int_0^1 \lim_{k \rightarrow 0^+} \left[\sqrt{1+k t^2} - 1 \right]^m dt \quad (3.83)$$

Z (3.83) plyne, že integrál konverguje pro $m > 0$, diverguje pro $m < 0$ a nelze z (3.83) přímo rozhodnout o konvergenci pro $m = 0$. V tomto případě plyne

z (3.72)

$$I(a=c^2, b, c, m=0) = c^{m-1} \int_0^1 \frac{dt}{\sqrt{1+t^2(\frac{b}{c^2}-1)}} \quad (3.84)$$

a tento integrál pro $b \rightarrow c^2$ evidentně konverguje. Konečně je-li $c = 0$ lze (3.62) převést (při $a = c^2 = 0$) úpravou na tvar

$$I(a=0, b, c=0, m) = \int_0^1 [t/b]^{m-1} dt \quad (3.85)$$

a integrací se nalezne

$$\int_0^1 [t/b]^{m-1} dt = \begin{cases} b^{\frac{m-1}{2}} \left(\frac{1}{m} - \lim_{t \rightarrow 0+} \frac{t^m}{m} \right) & \text{pro } m \neq 0 \\ b^{\frac{-1}{2}} \left(- \lim_{t \rightarrow 0+} \ln t \right) & \text{pro } m = 0 \end{cases} \quad (3.86)$$

Odtud plyne, že při $b > 0$ integrál konverguje při $m > 0$ a diverguje při $m \leq 0$. Jestliže $b \rightarrow 0$, potom integrál konverguje pro $m \geq 0$ a diverguje pro $m < 1$.

Souhrnně jsou vlastnosti integrálu $I(a, b, c, m)$, který je určen rovnicí (3.62) uspořádány v tabulce 3.1.

Tabulka 3.1

a	b	c	m	I (a,b,c,m)
$a \rightarrow c^2$	$b > c^2$	$c > 0$	$m > \frac{1}{2}$	konv.
			$m \leq \frac{1}{2}$	div.
	$b \rightarrow c^2$		$m \geq 0$	konv.
			$m < 0$	div.
	$b > c^2$	$c = 0$	$m > 0$	konv.
			$m \leq 0$	div.
	$b \rightarrow c^2$		$m \geq 1$	konv.
			$m < 1$	div.

Konvergence integrálu $J(a,b,n)$ pro $a=c^2$

Jestliže $c = 0$, pak vzhledem k odvození (3.61) z (3.60), (t.j. $I(a,b,c=0,m=2n+1) = J(a,b,n)$), lze pro vlastnosti $J(a,b,n)$ použít druhou polovinu tabulky 3.1, kde $m=2n+1$. Je-li $c^2 > 0$, nalezne se dosazením $a = c^2$ do (3.63) tvar

$$J(a=c^2, b, n) = c^{2n} \int_0^1 \left[1 + t^2 \left(\frac{b}{c^2} - 1 \right) \right]^n dt \quad (3.87)$$

Protože však také $J(a,b,n)$ je definováno pro $\sqrt{b} \geq c$, je zřejmé, že integrál (3.87) konverguje pro všechna reálná n . Souhrnně lze vlastnosti integrálu $J(a,b,n)$ shrnout do tabulky 3.2

Tabulka 3.2

a	b	n	J(a,b,n)
$a = c^2 > 0$	$b \geq c^2$	reálné	konv.
$a = c^2 = 0$	$b > 0$	$n > -\frac{1}{2}$	konv.
		$n \leq -\frac{1}{2}$	div.
	$b = 0$	$n \geq 0$	konv.
		$n < 0$	div.

Hodnoty integrálů $I(a,b,c,m)$, $J(a,b,n)$ pro $a=b=1$

Je-li $a=b=1$, lze integrály (3.6.2), (3.6.3) vyjádřit tvary :

$$I(a=1, b=1, c, m) = \int_0^1 (1-c)^m dt = (1-c)^m \quad (3.88)$$

$$J(a=1, b=1, n) = \int_0^1 dt = 1 \quad (3.89)$$

Hodnoty integrálů $I(a,b,c,m)$, $J(a,b,n)$ pro $a=b$

Integrály (3.62), (3.63) lze v tomto případě vyjádřit tvary :

$$\bar{J}(a=b, b, c, m) = \int_0^1 \frac{[\sqrt{a}-c]^m}{\sqrt{a}} dt = \frac{[\sqrt{a}-c]^m}{\sqrt{a}} \quad (3.90)$$

$$J(a=b, b, n) = \int_0^1 a^n dt = a^n \quad (3.91)$$

Integrál $J(a, b, n)$ pro $n = -\frac{1}{2}$

Z (3.63) plyne

$$J(a, b, n=-1/2) = \int_0^1 \frac{dt}{\sqrt{a+t^2(b-a)}} \quad (3.92)$$

Řešením tohoto integrálu je

$$\frac{1}{\sqrt{b-a}} \cdot \ln \frac{1 + \sqrt{\frac{a}{b-a}} + 1}{\sqrt{\frac{a}{b-a}}} \quad \text{pro } b > a \quad (3.93)$$

$$\frac{1}{\sqrt{a-b}} \cdot \arcsin \sqrt{\frac{a-b}{a}} \quad \text{pro } b < a \quad (3.94)$$

$$\frac{1}{\sqrt{a}} \quad \text{pro } b = a \quad (3.95)$$

Pozn.: Tyto výsledky jsou využity v numerickém řešení.

Divergence napětí τ_{11} , τ_{22} - -

Maximální tlaková deformace ve směru "1" je ve shodě s obr. 3.3 a vztahy (3.5), (3.13), (3.19) dána vztahem

$$1 + \varepsilon_1 = 1 - \lambda \quad (3.96)$$

Dále nechť $(1 + \varepsilon_2) > (1 + \varepsilon_1)$. Aby τ_{11} ve vztahu (3.69) divergovalo, musí divergovat alespoň jeden z integrálů I_1 , J_1 . V souhlasu s (3.64) nyní platí :

$$a = (1 + \varepsilon_1)^2 = (1 - \lambda)^2 = c^2 > 0$$

$$b = (1 + \varepsilon_2)^2 > c^2$$

$$c = (1 - \lambda)$$

$$m = A + 1$$

$$n = -\frac{1}{2}$$

Za těchto podmínek J_1 dle tab. 3.2 konverguje. Integrál I_1 diverguje za uvedených podmínek pouze tehdy, jestliže dle tab. 3.1 platí $m \leq -\frac{1}{2}$, tedy

$$A \leq -1,5 \quad (3.97)$$

Analogicky lze dokázat totéž pro maximální tlakovou deformaci ve směru "2".

Tedy souhrnně : Je-li $A \leq -1,5$, pak napětí τ_{11} (resp. τ_{22}) limituje pro ε_1 (resp. ε_2) blížíící se k $(-\lambda)$ k nekonečnu.

Napětí τ_{11} , τ_{22} při nulových deformacích

Po dosazení (3.88), (3.89) s použitím symboliky (3.64) do vztahů (3.69), (3.70) se nalezne :

$$\tau_{11} = \tau_{22} = \frac{2kK}{\pi(A+1)} \left[\frac{(1-(1-\lambda)^{A+1})}{\lambda^{A+1}} - 1 \right] = 0 \quad (3.89)$$

což je předpokládaný výsledek.

Tedy při nulových deformacích jsou napětí nulová

Napětí τ_{11} , τ_{22} při ekvivalenci deformací $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \varepsilon$

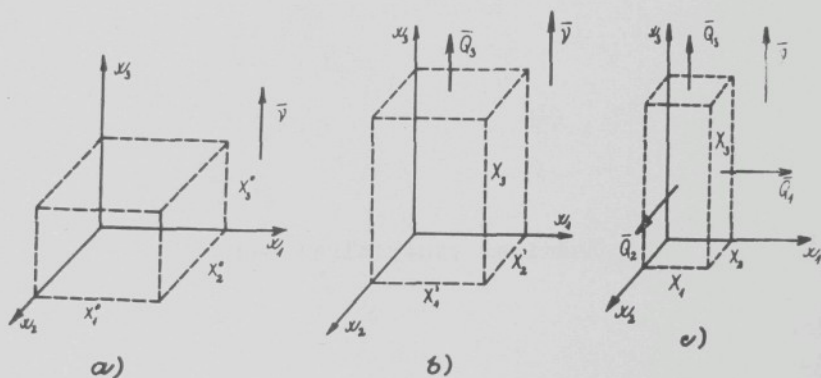
Po dosazení (3.90), (3.91) s použitím symboliky (3.64) do vztahů (3.69) (3.70) se nalezne po úpravě :

$$\tau_{11} = \tau_{22} = \frac{2kK}{\pi(A+1)} \left[\frac{(1+\frac{\varepsilon}{\lambda})^{A+1}}{1+\varepsilon} - 1 \right] \quad (3.99)$$

Pozn.: Vztah (3.99) lze stanovit též přímo, vycházejí z varianty rovnosti v relaci (3.34); potom v (3.33) není $(1+\varepsilon)$ závislé na α , výraz (3.54) se integruje pouze ve vztahu ke $\cos \alpha$, takže po integraci se nalezne výraz (3.99) až na konstantu úměrnosti k a a jmenovatel $(1+\varepsilon^A)$, který je zaveden v definici (3.67) normálového napětí.

3.3.3 Vláknenný svazek namáhaný normálovými silami v prostoru

3.3.3.1 Normálové zatížení a prodloužení svazku ve směru $\vec{v}$ orientace



Obr. 3.6

Vysoce orientovaný vláknenný svazek v přirozeném (nenapjatém) stavu je naznačen na obr. 3.6.a). Jeho rozměry jsou x_1^0, x_2^0, x_3^0 (přičemž se předpokládá, že tyto rozměry jsou velmi, v limitě diferenciálně, malé). Působením normálové síly $\vec{Q}_3 \parallel \vec{v}$ přejde vláknenný svazek do tvaru 3.6.b). Konečně přiložením sil $\vec{Q}_1$ a $\vec{Q}_2$ se svazek zdeformuje do tvaru dle obr. 3.6.c). (Rovněž síly $\vec{Q}_1, \vec{Q}_2, \vec{Q}_3$ jsou velmi, t.j. v limitě diferenciálně malé).

Pozn.: Pro odlišení jsou použity indexy takto :

obr.3.6.a) ... index 0 vpravo nahoře (má smysl indexu, nikoliv exponentu !)

obr. 3.6.b) index ' vpravo nahoře

obr. 3.6.c) bez indexu

Pro další úvahy je výhodné zavést koeficienty zaplnění vláknenných svazků ve všech třech naznačených stavech. V této úvaze se předpokládá, že objem V_m vláknenné hmoty ve svazku se deformací nemění. Pro objemy vláknenného svazku platí dle obr.3.6.

$$V^0 = X_1^0 \cdot X_2^0 \cdot X_3^0 \quad (3.100)$$

$$V' = X_1' \cdot X_2' \cdot X_3 \quad (3.101)$$

$$V = X_1 \cdot X_2 \cdot X_3 \quad (3.102)$$

takže pro příslušné koeficienty zaplnění platí

$$\mu^0 = \frac{V_m}{V^0} \quad (3.103)$$

$$\mu' = \frac{V_m}{V'} \quad (3.104)$$

$$\mu = \frac{V_m}{V} \quad (3.105)$$

Dále je pro úvahu třeba předpokládat :

- nejmenší možný koeficient zaplnění vláknenného svazku je μ^0 . Představa vychází z názoru, že svazek má přirozenou snahu zachovávat alespoň minimální úroveň interakce mezi vlákny. Pokud takové chování není svazku umožněno a "násilím" se minimální sepětí ("propletení") vláken poruší (např. vložení kladných sil $\bar{Q}_1, \bar{Q}_2$ na svazek dle obr. 3.6.c.), dojde k destrukci svazku na jeho elementární partikule - vlákna, mezi kterými již neexistuje (významná) interakce; svazek by pak nebylo možno interpretovat jako element kontinua.

- minimum deformační energie vláknenného svazku napjatého silou $Q_3 \neq 0$ (obr.3.6.b) je určeno podmínkami

$$\left. \begin{array}{l} Q_1 = Q_2 \\ \mu' = \mu^0 \end{array} \right\} \Rightarrow Q_1 - Q_2 = 0 \quad (3.106)$$

Zde se vychází z názoru, že při daném $Q_3 \neq 0$ a při $Q_1 = Q_2$ je deformační práce tím větší, čím větší je koeficient zaplnění. Vůbec nejmenší hodnoty tak nabude při nejmenším koeficientu zaplnění, t.j. při $\mu' = \mu^0$.

Z (3.103), (3.104) vyplývá tedy dle předchozího předpokladu :

$$V^0 = V' \quad (3.107)$$

Pozn.: Naznačená úvaha je podrobněji diskutovaný předpoklad 3, kap. 3.3.1

Konečně definujeme poměrná prodloužení z obr. 3.6 :

$$\left. \begin{array}{l} \varepsilon_1 = \frac{X_1}{X_1^0} - 1 \\ \varepsilon_2 = \frac{X_2}{X_2^0} - 1 \\ \varepsilon_3 = \frac{X_3}{X_3^0} - 1 \end{array} \right\} \quad (3.108)$$

$$\left. \begin{array}{l} \varepsilon'_1 = \frac{X'_1}{X_1^0} - 1 \\ \varepsilon'_2 = \frac{X'_2}{X_2^0} - 1 \\ \varepsilon'_3 = \frac{X'_3}{X_3^0} - 1 \end{array} \right\} \quad (3.109)$$

Za použití (3.100), (3.101), (3.109) lze (3.107) zapsat též výrazem

$$1 = (1 + \varepsilon_1')(1 + \varepsilon_2')(1 + \varepsilon_3') \quad (3.110)$$

Vzhledem k isotropii svazku v rovině x_1, x_2 (kap. 3.3.1, podmínka 4) však musí platit $\varepsilon_1' = \varepsilon_2'$ a z (3.110) poté vyplývá

$$1 + \varepsilon_1' = 1 + \varepsilon_2' = \frac{1}{\sqrt{1 + \varepsilon_3}} \quad (3.111)$$

Přiloží-li se nyní na svazek dle obr. 3.6.b) normálové síly Q_1, Q_2 (obr. 3.6.c)), pak toto působení nevyvolá změnu hodnoty ε_3 (dle podmínky 2, kap. 3.3.1). Jde tedy nadále o rovinný problém, zpracovaný v kap. 3.3.2.

Na rozdíl od kap. 3.3.2 je však v tomto případě $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ důsledkem nejenom sil Q_1, Q_2 , ale též síly Q_3 . Pouze důsledkem působení sil Q_1, Q_2 jsou poměrná prodloužení $\varepsilon_1'', \varepsilon_2''$ definována takto :

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_1'' &= \frac{x_1}{x_1'} - 1 = (1 + \varepsilon_1) \sqrt{1 + \varepsilon_3} - 1 \\ \varepsilon_2'' &= \frac{x_2}{x_2'} - 1 = (1 + \varepsilon_2) \sqrt{1 + \varepsilon_3} - 1 \end{aligned} \right\} \quad (3.112)$$

Pozn.: Při úpravě bylo použito vztahů (3.108), (3.109), (3.111); logický význam $\varepsilon_1'', \varepsilon_2''$ je patrný z obr. 3.6.b)-c).

Pro výpočet vztahu mezi napětími

$$\tau_{22} = \frac{Q_2}{x_1 x_3}$$

$$\tau_{11} = \frac{Q_1}{x_2 x_3} ,$$

a deformacemi lze

tedy použít rovnice (3.69), (3.70), avšak místo $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ je třeba dosadit $\varepsilon_1'', \varepsilon_2''$ do všech potřebných vztahů (včetně (3.64)).

Zbývá stanovit normálové napětí τ_{33} ve směru osy x_3 . K tomuto účelu je zvoleno, při předpokladu malých tahových deformací vláken :

$$\tau_{33} = E_{vl} \cdot \varepsilon_{vl} \quad (3.113)$$

kde : τ_{33} ... osově napětí v (reálném, konečně velkém) vlákně

ε_{vl} ... poměrné prodloužení vlákna

E_{vl} ... modul pružnosti vlákna

Protože uvažovaný vlákenný svazek je vysoce orientovaný platí (přibližně) pro každé vlákno

$$\varepsilon_{vl} = \varepsilon_3 \quad (3.114)$$

Plocha vláken obsažená v ploše $X_1 X_2$ (obr.3.6.c)) je $\mu \cdot X_1 \cdot X_2$. Pokud by nyní veškerá deformace ε_3 byla realizována prodloužením vláken, byla by síla Q_3 určena vztahem

$$Q_3 = \mu \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot \tau_{33} = E_{vl} \cdot \varepsilon_3 \cdot \mu \cdot X_1 \cdot X_2 \quad (4.115)$$

Ve skutečnosti se část deformace ε_3 realizuje posunutím a přemístěním (ne ideálně orientovaných, zčásti zkadeřených) vláken.

Lze však vyslovit předpoklad, že takové napětí $\tau_{33,skut.}$ ve vlákně je menší než τ_{33} , je však tomuto napětí úměrné s konstantou úměrnosti $C < 1$. Tedy :

$$\tau_{rel. skut.} = \tau_{rel} \cdot C \quad (3.116)$$

Pro sílu Q_3 nyní platí analogicky (3.115)

$$Q_3 = C \cdot E_{rel} \cdot \varepsilon_3 \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot \mu \quad (3.117)$$

Napětí $\tau_{33} = \frac{Q_3}{X_1 X_2}$ (viz obr.3.6.c)), takže

$$\tau_{33} = C \cdot E_{rel} \cdot \varepsilon_3 \cdot \mu \quad (3.118)$$

Protože však z (3.100) (3.102) (3.103) (3.105) (3.108) lze odvodit :

$$\mu = \frac{\mu^0}{(1+\varepsilon_1)(1+\varepsilon_2)(1+\varepsilon_3)} \quad (3.119)$$

platí

$$\tau_{33} = C E_{rel} \mu^0 \frac{\varepsilon_3}{(1+\varepsilon_1)(1+\varepsilon_2)(1+\varepsilon_3)} \quad (3.120)$$

Použije-li se konečně

$$E_3 = C \cdot E_{rel} \cdot \mu^0 \quad (3.121)$$

platí pro napětí τ_{33} závěrečný vztah

$$\tau_{33} = E_3 \frac{\varepsilon_3}{(1+\varepsilon_1)(1+\varepsilon_2)(1+\varepsilon_3)} \quad (3.122)$$

3.3.3.2 Úprava vzorců pro normálová napětí; počáteční moduly

$$\text{Derivace } \left(\frac{\partial}{\partial a} I(a, b=1, c, m) \right)_{a=1}$$

Z (3.62) plyne při $b=1$

$$\begin{aligned} \left(\frac{\partial I}{\partial a} \right)_{\substack{a=1 \\ b=1}} &= \left(\frac{\partial}{\partial a} \int_0^1 \frac{[\sqrt{a+t^2(1-a)}-c]^m}{\sqrt{a+t^2(1-a)}} dt \right)_{a=1} = \\ &= \left(\int_0^1 \frac{m[\sqrt{a+t^2(1-a)}-c]^{m-1} \frac{(1-t^2)\sqrt{a+t^2(1-a)}}{2\sqrt{a+t^2(1-a)}} - [\sqrt{a+t^2(1-a)}-c]^m \frac{1-t^2}{2\sqrt{a+t^2(1-a)}}}{a+t^2(1-a)} dt \right)_{a=1} = \\ &= \int_0^1 \left[\frac{m(1-c)^{m-1}}{2} (1-t^2) - \frac{(1-c)^m}{2} (1-t^2) \right] dt = (1-c)^m \left[\frac{m}{3(1-c)} - \frac{1}{3} \right] \quad (3.123) \end{aligned}$$

$$\text{Derivace } \left(\frac{\partial}{\partial a} J(a, b=1, n) \right)_{a=1}$$

Z (3.63) plyne při $b=1$:

$$\begin{aligned} \left(\frac{\partial J}{\partial a} \right)_{\substack{a=1 \\ b=1}} &= \left(\frac{\partial}{\partial a} \int_0^1 [a+t^2(1-a)]^n dt \right)_{a=1} = \\ &= \left(\int_0^1 n[a+t^2(1-a)]^{n-1} (1-t^2) dt \right)_{a=1} = \\ &= \int_0^1 n(1-t^2) dt = \frac{2}{3} n \quad (3.124) \end{aligned}$$

Počáteční moduly E_1, E_2, E_3

Počáteční modul je definován obecným vztahem

$$\left(\frac{\partial \mathcal{T}_{ii}}{\partial \varepsilon_i} \right)_{\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \varepsilon_3 = 0} = E_i \quad ; \quad i = 1, 2, 3 \quad (3.125)$$

Derivováním výrazu (3.122) pro $\mathcal{T}_{33}$ se snadno nalezne

$$\left(\frac{\partial \mathcal{T}_{33}}{\partial \varepsilon_3} \right)_{\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \varepsilon_3 = 0} = E_3 \quad (3.126)$$

takže konstanta E_3 v (3.122) je počáteční modul ve směru x_3 .

Dále je nutno řešit

$$\left(\frac{\partial \mathcal{T}_{11}}{\partial \varepsilon_1} \right)_{\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \varepsilon_3 = 0}$$

Protože $\varepsilon_3 = 0$ lze použít (3.69) bez úpravy (platí totiž $\varepsilon_1'' = \varepsilon_1$, $\varepsilon_2'' = \varepsilon_2$). Derivací se nalezne

$$\begin{aligned} \frac{\partial \mathcal{T}_{11}}{\partial \varepsilon_1} &= \frac{2kK}{\pi(A+1)} \frac{1}{(1+\varepsilon_2)} \left[\frac{I_1}{\lambda^{A+1}} - J_1 \right] + \frac{2kK}{\pi(A+1)} \frac{1+\varepsilon_1}{1+\varepsilon_2} \left[\frac{1}{\lambda^{A+1}} \cdot \frac{\partial I_1}{\partial \varepsilon_1} - \frac{\partial J_1}{\partial \varepsilon_1} \right] = \\ &= \frac{\mathcal{T}_{11}}{1+\varepsilon_1} + \frac{2kK}{\pi(A+1)} \left[\frac{1}{\lambda^{A+1}} \cdot \frac{\partial I_1}{\partial \varepsilon_1} - \frac{\partial J_1}{\partial \varepsilon_1} \right] \end{aligned}$$

Protože $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 0$, platí dle (3.64) $a=b=1$; za použití (3.19), (3.64), (3.98), (3.123), (3.124) se nalezne:

$$\begin{aligned} \left(\frac{\partial \mathcal{T}_{11}}{\partial \varepsilon_1} \right)_{\varepsilon_1=\varepsilon_2=\varepsilon_3=0} &= E_1 = \frac{2kK}{\pi(A+1)} \left[\frac{1}{\lambda^{A+1}} \left(\frac{\partial I_1}{\partial \varepsilon_1} \right)_{\substack{a=1 \\ b=1}} - \left(\frac{\partial J_1}{\partial \varepsilon_1} \right)_{\substack{a=1 \\ b=1}} \right] 2(1+\varepsilon_1)_{\varepsilon_1=0} = \\ &= \frac{2kK}{\pi(A+1)} \left[\frac{1}{\lambda^{A+1}} \cdot \lambda^{A+1} \left(\frac{A+1}{3\lambda} - \frac{1}{3} \right) + \frac{1}{3} \right] 2 \end{aligned}$$

$$E_1 = \frac{4kK}{3\pi\lambda} \quad (3.127)$$

Vzhledem k symetrii vztahů (3.69) a (3.70) platí nutně

$$E_1 = E_2 \quad (3.128)$$

Souhrn upravených vztahů

Dosazením $\varepsilon_1'', \varepsilon_2''$ z (3.112) a (3.127), (3.128) místo $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ a konstant do (3.69), (3.70), (3.64) nalezneme se

$$\left. \begin{aligned} \mathcal{T}_{11} &= E_1 \frac{3\lambda}{2(A+1)} \cdot \frac{1+\varepsilon_1}{1+\varepsilon_2} \cdot \left[\frac{I_1}{\lambda^{A+1}} - J_1 \right] \\ I_1 &= I(a, b, c, m) \\ J_1 &= J(a, b, n) \end{aligned} \right\} \quad \begin{aligned} &\text{kde: } a = (1+\varepsilon_1)^2(1+\varepsilon_3) \\ &\quad b = (1+\varepsilon_2)^2(1+\varepsilon_3) \\ &\quad c = 1-\lambda \\ &\quad m = A+1 \\ &\quad n = -1/2 \end{aligned} \quad (3.129)$$

$$\left. \begin{aligned} \tau_{22} &= E_2 \frac{3\lambda}{2(A+1)} \cdot \frac{1+\varepsilon_2}{1+\varepsilon_1} \left[\frac{\bar{I}_2}{\lambda^{A+1}} - J_2 \right] \\ \bar{I}_2 &= \bar{I}(a, b, c, m) \\ J_2 &= J(a, b, n) \end{aligned} \right\} \text{ kde: } \begin{aligned} a &= (1+\varepsilon_2)^2 (1+\varepsilon_3) \\ b &= (1+\varepsilon_1)^2 (1+\varepsilon_3) \\ c &= 1-\lambda \\ m &= A+1 \\ n &= -1/2 \end{aligned} \quad (3.130)$$

$$\tau_{33} = E_3 \frac{\varepsilon_3}{(1+\varepsilon_1)(1+\varepsilon_2)(1+\varepsilon_3)} \quad (3.131)$$

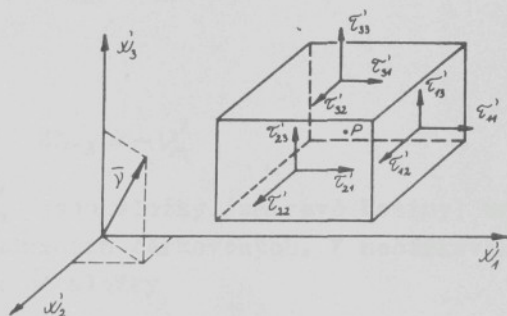
$$\left. \begin{aligned} \bar{I}(a, b, c, m) &= \int_0^1 \frac{[\sqrt{a+t^2(b-a)} - c]^m}{\sqrt{a+t^2(b-a)}} dt \\ J(a, b, n) &= \int_0^1 [a+t^2(b-a)]^n dt \\ E_1 &= E_2 \\ \lambda &= \frac{l_0}{L_0} \end{aligned} \right\} \quad (3.132)$$

Vztahy (3.129) až (3.132) vyjadřují vztah mezi normálovými napětími a deformacemi vláknenného svazku.

3.3.4 Smyková napětí; tenzor napětí a deformace

Pozn.: Indexování veličin v této kapitole respektuje Einsteinovo sumační pravidlo; symbol δ_{ij} označuje Kroneckerova delta.

3.3.4.1 Charakteristika napjatosti vláknenného svazku tenzorem napětí; ortogonální transformace



Obr. 3.7

Nechť v pravouhlých souřadnicích (x'_1, x'_2, x'_3) je v okolí bodu P element napjatého vláknenného kontinua (obr. 3.7). Směr orientace vláken svazku je určen vektorem $\bar{v}$ ($|\bar{v}|=1$), napjatost elementu je určena tenzorem napětí τ'_{AE} .

V obecně jiných pravouhlých souřadnicích (x_1, x_2, x_3) je napjatost v okolí bodu P určena tenzorem napětí

τ_{ij} pro nějž platí dle / 17, 96 / ortogonální transformace ve tvaru

$$\tau_{ij} = a_{ki} a_{lj} \cdot \tau'_{kl} \quad (3.133)$$

kde obecně :

$$a_{mn} = \cos(\widehat{x'_m, x_n}) \quad (3.134)$$

Zvolí-li se soustava (x_1, x_2, x_3) tak, aby osa x_3 byla kolineární s $\bar{v}$, musí platit :

$$a_{m3} = v'_m \quad (3.135)$$

nebo

$$a_{m3} = -v'_m \quad (3.136)$$

kde v'_m jsou složky (směrové kosiny) vektoru $\bar{v}$ v souřadnicích čárkovaných. V nečárkovaných souřadnicích má $\bar{v}$ složky

$$v_n = a_{mn} v'_m \quad (3.137)$$

Protože mezi směrovými kosiny platí obecný vztah

$$a_{ki} a_{kj} = \delta_{ij} \quad (3.137)$$

nalezne se dosazením (3.135) nebo (3.136) do (3.137):

$$v_n = a_{mn} \cdot a_{m3} = \delta_{n3} \quad (3.138)$$

$$v_n = a_{mn} \cdot (-a_{m3}) = -\delta_{n3} \quad (3.139)$$

Tedy směr orientace $\vec{v}$ je kolineární s osou x_3 jestliže souřadná soustava (x_1, x_2, x_3) vznikla ortogonální transformací ze souřadné soustavy (x'_1, x'_2, x'_3) tak, že prvky determinantu $\det(a_{mn})$ splňují podmínky (3.135) nebo (3.136).

Tenzor napětí je symetrický. Tento poznatek je sice některými autory, např. / 58 /, str.13 považován za na zcela obecně platný, avšak vzhledem k momentové podmínce rovnováhy elementu je důkaz, např. v / 17 / považován pro tuto práci za dostačující. Složkový zápis tenzoru napětí τ_{ij} je tedy

$$\tau_{ij} = \begin{pmatrix} \tau_{11} & \tau_{12} & \tau_{13} \\ & \tau_{22} & \tau_{23} \\ & & \tau_{33} \end{pmatrix} \quad (3.140)$$

Nechť platí :

$$\tau_{ij} = \tau_{ij}^* + \tau_{ij}^{**} \quad (3.141)$$

kde :

$$\tau_{ij}^* = \begin{pmatrix} \tau_{11} & \tau_{12} & 0 \\ & \tau_{22} & 0 \\ & & \tau_{33} \end{pmatrix} \quad (3.142)$$

$$\tau_{ij}^{**} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & \tau_{13} \\ & 0 & \tau_{23} \\ & & 0 \end{pmatrix} \quad (3.143)$$

Napjatost definovaná tenzorem τ_{ij}^* obsahuje pouze smykové napětí $\tau_{12} = \tau_{21}$, kolmé ke směru orientace $\vec{v}$. Protože však v rovinách kolmých k $\vec{v}$ se vláknenný svazek chová isotropně (předpoklad 4 kap. 3.3.1) lze nenulovou

hodnotu τ_{12} odstranit ortogonální transformací. K tenzor τ_{ij}^* příslušná sekulární rovnice má tvar :

$$\begin{vmatrix} \tau_{11} - \tau & \tau_{12} & 0 \\ \tau_{12} & \tau_{22} - \tau & 0 \\ 0 & 0 & \tau_{33} - \tau \end{vmatrix} = 0 \quad (3.144)$$

a úpravou se nalezne sekulární rovnice ve formě

$$(\tau_{33} - \tau) [(\tau_{11} - \tau)(\tau_{22} - \tau) - \tau_{12}^2] = 0 \quad (3.145)$$

Řešením (3.145) se naleznou 3 kořeny $\tau_{1,2,3}$ ve tvaru :

$$\tau_3 = \tau_{33} \quad (3.146)$$

$$\tau_{1,2} = \frac{\tau_{11} + \tau_{22}}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\tau_{11} - \tau_{22}}{2}\right)^2 + \tau_{12}^2} \quad (3.147)$$

Každý kořen sekulární rovnice určuje hlavní osu Cauchyho kvadriky napětí; směrové kosiny a_k hlavní osy jsou dány vztahem :

$$(\tau_{ij}^* - \delta_{ij} \tau) a_{ik} = 0 \quad (3.147)$$

kde : a_k ... směrový kosinus hlavní osy s k -tou osou souřadnic

τ ... kořen sekulární rovnice.

Použitím (3.142) do (3.147) lze v rozepsání získat soustavu :

$$\left. \begin{aligned} (\tau_{11} - \tau) a_1 + \tau_{12} a_2 &= 0 \\ \tau_{21} a_1 + (\tau_{22} - \tau) a_2 &= 0 \\ (\tau_{33} - \tau) a_3 &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (3.147)$$

Pro třetí hlavní osu $\tau = \tau_3 = \tau_{33}$ plyne z této soustavy $a_1 = 0$, $a_2 = 0$, $a_3 = 1$ (hlavní osa je totožná s osou x_3 souřadnic). Pro první a druhou hlavní osu ($\tau = \tau_1$ a $\tau = \tau_2$) musí vzhledem k třetí rovnici soustavy (3.147) platit $a_3 = 0$.

Jsou-li po řadě první, druhá a třetí hlavní osa voleny jako souřadné osy (x_1^h, x_2^h, x_3^h) nového souřadného systému, pak z předchozího vyplývá, že matice kosinů ortogonální transformace má složky ve tvaru :

$$\begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & 0 \\ a_{21} & a_{22} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad \begin{array}{l} \dots \text{1. hlavní osa} \\ \dots \text{2. hlavní osa} \\ \dots \text{3. hlavní osa} \end{array} \quad (3.148)$$

V souřadné soustavě (x_1^h, x_2^h, x_3^h) má tenzor τ_{ij}^* složkový tvar :

$$\tau_{ij}^{*,h} = \begin{pmatrix} \tau_1 & 0 & 0 \\ 0 & \tau_2 & 0 \\ 0 & 0 & \tau_3 \end{pmatrix} \quad (3.149)$$

Do téže souřadné soustavy (x_1^h, x_2^h, x_3^h) je dále třeba transformovat tenzor $\tau_{ij}^{*,*}$ (viz rovnice (3.143)). Transformace je definována obecně platným předpisem (3.133), přičemž je nutno použít matici transformace (3.148). Při této ortogonální transformaci jsou v (Einsteinově) sumaci nulové pouze členy, které obsahují

jen veličiny $\tau_{13} = \tau_{31}$, $\tau_{23} = \tau_{32}$, a_{11} , a_{12} , a_{21} , a_{22} , a_{33} .

Provedením transformace se nalezne

$$\tau_{ij}^{*h} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & \tau_{13}^h \\ & 0 & \tau_{23}^h \\ & & 0 \end{pmatrix} \quad \text{kde:} \quad \begin{cases} \tau_{13}^h = a_{11}\tau_{13} + a_{12}\tau_{23} \\ \tau_{23}^h = a_{21}\tau_{13} + a_{22}\tau_{23} \end{cases} \quad (3.150)$$

Protože součet transformovaných tenzorů je transformovaný součet tenzorů, vyplývá pro transformaci tenzoru τ_{ij} (3.140) do souřadného systému (x_1^h, x_2^h, x_3^h) výsledný tvar (z (3.141)):

$$\tau_{ij}^h = \begin{pmatrix} \tau_{11}^h & 0 & \tau_{13}^h \\ & \tau_{22}^h & \tau_{23}^h \\ & & \tau_{33}^h \end{pmatrix} \quad \text{kde:} \quad \begin{cases} \tau_{11}^h = \tau_1 \\ \tau_{22}^h = \tau_2 \\ \tau_{33}^h = \tau_3 \\ \tau_{13}^h = a_{11}\tau_{13} + a_{12}\tau_{23} \\ \tau_{23}^h = a_{21}\tau_{13} + a_{22}\tau_{23} \end{cases} \quad (3.151)$$

Předchozí úvahy stanovují postup, jak obecně napjatý element vláknenného kontinua transformovat tak, aby směr orientace $\vec{v}$ byl kolineární s osou x_3 a tenzor napětí neobsahoval smykové síly kolmé k $\vec{v}$ (t.j. $\tau_{12}^h = 0$)

Pozn.: Pro další úvahy bude index "h" vynecháván; vychodiskem bude tedy souřadný systém (x_1, x_2, x_3) takový, že tenzor napětí τ_{ij} má ve složkách tvar

$$\tau_{ij} = \begin{pmatrix} \tau_{11} & 0 & \tau_{13} \\ & \tau_{22} & \tau_{23} \\ & & \tau_{33} \end{pmatrix} \quad (3.152)$$

a směr $\vec{v}$ orientace je kolineární s x_3 .

3.3.4.2 Smyková napětí

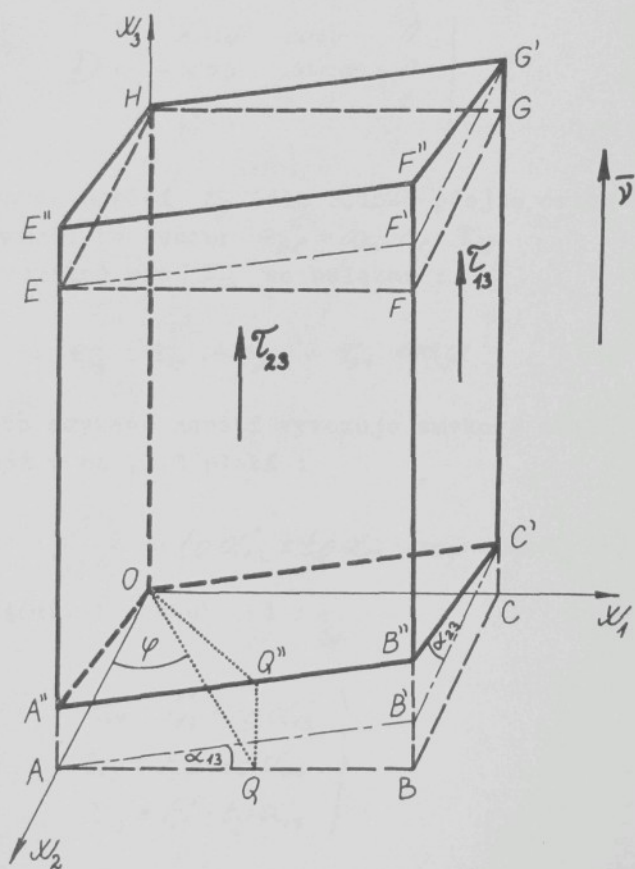
V tenzoru napětí τ_{ij} dle (3.152) se vyskytují normálová napětí $\tau_{11}, \tau_{22}, \tau_{33}$ a též smyková napětí τ_{13}, τ_{23} . Pokud by platilo $\tau_{13} = \tau_{23} = 0$, pak napjatost je vzhledem k deformacím popsána vztahy (3.129) až (3.132). Nenulové hodnoty smykových napětí τ_{13}, τ_{23} však způsobí další deformace uvažovaného elementu, a to obecně jak z hlediska smykových úhlů, tak i z hlediska poměrných prodloužení.

Pro zde použité modelové řešení však jsou použity následující předpoklady :

- 1) Jestliže se k elementu napjatému pouze normálovými napětími τ_{ii} ($\tau_{33} // \bar{\nu}$) přiloží smyková napětí τ_{13}, τ_{23} , vznikne další deformace taková, že body elementu se posunou po přímkách kolineárních s $\bar{\nu}$.
- 2) Vzdálenost libovolných dvou bodů, ležících na přímce kolineární s $\bar{\nu}$ se přiložením smykových napětí τ_{13}, τ_{23} , nezmění.

Pozn.: Pokud by byl element kontinua "dokonale" orientovaný, pak předpoklady znamenají, že "paralelní" vlákna se v důsledku smykových sil po sobě osově posunou, aniž se prodlouží či vzájemně přiblíží.

Zdeformování elementu je naznačeno na obr. 3.8., kde pouze (v obrázku nezakreslenými) normálovými napětími zatížený element ABCDEFGH přejde působením napětí τ_{13} do polohy AB'C'OEF'G'H a dalším přiložením τ_{23} do koncové polohy A"B"C'OE"F"G'H. Smykové úhly jsou označeny α_{13}, α_{23} .



Обр. 3.8

Pootočením souřadnic kolem osy x_3 přejde původní osa x_1 do nové osy x_1' , která svírá se starou osou x_2 úhel φ . Determinant této ortogonální transformace je

$$D = \begin{vmatrix} \sin\varphi & \cos\varphi & 0 \\ -\cos\varphi & \sin\varphi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \quad (3.153)$$

Tenzor napětí τ_{ij} (dle 3.152) přejde ortogonální transformací na tenzor $\tau'_{kl} = a_{ki} a_{lj} \tau_{ij}$.

Speciálně pro τ'_{13} se nalezne :

$$\tau'_{13} \equiv \tau_{13} \sin\varphi + \tau_{23} \cos\varphi \quad (3.154)$$

Toto smykové napětí vyvozuje smykový úhel α'_{13} , pro nějž z obr.3.8 platí :

$$\frac{\tau'_{13}}{\sigma_0} = \operatorname{tg} \alpha'_{13} \equiv \operatorname{tg} \alpha_{13} \cdot \sin\varphi + \operatorname{tg} \alpha_{23} \cdot \cos\varphi \quad (3.155)$$

Vyjádří-li se obecně :

$$\left. \begin{aligned} \tau_{13} &\equiv F_{13} \cdot \operatorname{tg} \alpha_{13} \\ \tau_{23} &\equiv F_{23} \cdot \operatorname{tg} \alpha_{23} \\ \tau'_{13} &\equiv F'_{13} \cdot \operatorname{tg} \alpha'_{13} \end{aligned} \right\} \quad (3.156)$$

kde F_{13} , F_{23} , F'_{13} jsou prozatím blíže neurčené funkce, lze dosazením do (3.154) psát :

$$F'_{13} \operatorname{tg} \alpha'_{13} \equiv F_{13} \operatorname{tg} \alpha_{13} \sin\varphi + F_{23} \operatorname{tg} \alpha_{23} \cos\varphi \quad (3.157)$$

a v případě $\alpha'_{r3} \neq 0$ pak

$$F'_{r3} \equiv F_{r3} \frac{\operatorname{tg} \alpha_{r3} \sin \varphi}{\operatorname{tg} \alpha'_{r3}} + F_{23} \frac{\operatorname{tg} \alpha_{23} \cos \varphi}{\operatorname{tg} \alpha'_{23}} \quad (3.158)$$

Jak je zřejmé z obr. 3.8, platí pro $\varphi = \frac{\pi}{2}$ rovnost $F'_{r3} = F_{r3}$, takže pro tento případ se za použití (3.155) nalezne z (3.158)

$$F'_{r3} = F_{r3} \equiv F_{r3} - (F_{r3} - F_{23}) \frac{\operatorname{tg} \alpha_{23} \sin \varphi}{\operatorname{tg} \alpha'_{r3}} = F_{r3} - (F_{r3} - F_{23}) \frac{\operatorname{tg} \alpha_{23}}{\operatorname{tg} \alpha_{r3}} \quad (3.159)$$

Odtud plyne :

$$F_{r3} \equiv F_{23} \quad (3.160)$$

Z (3.157) a (3.160) za použití (3.155) pak platí :

$$F'_{r3} \equiv F_{r3} \equiv F_{23} \quad (3.161)$$

Protože analogickou úvahu lze provést pro F'_{23} , platí relace :

$$F'_{r3} \equiv F'_{23} \equiv F_{r3} \equiv F_{23} \equiv F \quad (3.161)$$

Takže je-li $\vec{v}$ kolineární s osou x_3 , platí pro smyková napětí

$$\tau_{i3} = F \cdot \operatorname{tg} \alpha_{i3} \quad ; \quad i=1,2 \quad (3.162)$$

kde funkční hodnota F je nezávislá na pootočení kolem x_3 .

Pro normálová napětí tenzoru τ_{ij} (3.152) je zaveden následující předpoklad :

- normálová napětí tenzoru τ_{ij} dle (3.152) jsou nezávislá na smykových napětích τ_{12}, τ_{23} .

Za uvedeného předpokladu lze m.j. tvrdit, že F ve vztahu (3.162) je funkcí invariantů tenzoru napětí vzhledem k pootočení kolem x_3 (t.j. funkcí 3 invariantů tenzoru τ_{ij} a 2 invariantů tenzoru $\begin{pmatrix} \tau_{11} & 0 \\ 0 & \tau_{22} \end{pmatrix}$)

3.3.4.3 Tenzor napětí a tenzor deformace; deformační zákon

Jestliže v tenzoru napětí τ_{ij} (3.152) jsou $\tau_{13} = \tau_{23} = 0$ pak pro normálová napětí $\tau_{11}, \tau_{22}, \tau_{33}$ platí, jak bylo odvozeno v kap. 3.3.3, vztahy (3.129) až (3.131), přičemž v nich použité symboly $\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3$ vyjadřují poměrná prodloužení úseček, které byly v nenapjatém stavu (a stále jsou) rovnoběžné se souřadnými osami. Přiložením smykových napětí τ_{12}, τ_{23} však dojde k další deformaci těchto úseček (např. AB přejde do $A''B''$ - obr. 3.8). Poměrná prodloužení elementu zatíženého jen normálovými napětími budou značena původní symbolikou $\epsilon_{1,2,3}$, poměrná prodloužení elementu po přiložení smykových napětí budou označena e_1, e_2, e_3 (tedy $e_i = \epsilon_i$, $i = 1, 2, 3$ pouze pro $\tau_{12} = \tau_{23} = 0$). Jak vyplývá z obr. 3.8, platí mezi $e_{1,2,3}$ a $\epsilon_{1,2,3}$ následující relace :

$$\left. \begin{aligned} (1 + \epsilon_1) &= (1 + e_1) \cdot \cos \alpha_{13} \\ (1 + \epsilon_2) &= (1 + e_2) \cdot \cos \alpha_{23} \\ (1 + \epsilon_3) &= (1 + e_3) \end{aligned} \right\} \quad (3.163)$$

Z poslední podmínky předchozí kapitoly pak plyne výpočet normálových napětí, při kterém je třeba do vztahů (3.129) až (3.131) dosadit výrazy (3.162).

Veličiny α_{13} , α_{23} vyjadřují smykové úhly. Zbývá vyjádřit poslední smykový úhel α_{12} , pro nějž z obr. 3.8 evidentně plyne

$$\widehat{A''OC'} = \frac{\pi}{2} - \alpha_{12} \quad (3.164)$$

$$\cos(\widehat{A''OC'}) = \sin \alpha_{12} \quad (3.165)$$

Ze skalárního součinu vektorů $\overline{OA''}$, $\overline{OC'}$ plyne

$$\cos(\widehat{A''OC'}) = \sin \alpha_{12} = \sin \alpha_{13} \cdot \sin \alpha_{23} \quad (3.166)$$

Na základě znalostí poměrných prodloužení e_1, e_2, e_3 a smykových úhlů $\alpha_{12}, \alpha_{23}, \alpha_{13}$ lze jak známo definovat tenzor deformace ϵ_{ij} , jehož složky dle / 17 / jsou

$$\left. \begin{aligned} \epsilon_{11} &= e_1 \left(1 + \frac{1}{2} e_1\right) \\ \epsilon_{22} &= e_2 \left(1 + \frac{1}{2} e_2\right) \\ \epsilon_{33} &= e_3 \left(1 + \frac{1}{2} e_3\right) \\ \epsilon_{12} &= \sin \alpha_{12} \cdot \frac{1}{2} (1 + e_1)(1 + e_2) \\ \epsilon_{13} &= \sin \alpha_{13} \cdot \frac{1}{2} (1 + e_1)(1 + e_3) \\ \epsilon_{23} &= \sin \alpha_{23} \cdot \frac{1}{2} (1 + e_2)(1 + e_3) \end{aligned} \right\} \quad (3.167)$$

a ostatní složky jsou dány symetrií tenzoru ϵ_{ij} .

Jestliže je znám obecný tenzor napětí, pak mu lze přiřadit tenzor deformace následujícím postupem :

- na základě postupu dle kap. 3.3.4.1 se provedou potřebné ortogonální transformace, jejichž výsledkem je tenzor napětí ve tvaru (3.152)
- normálová napětí z tenzoru (3.152) se dosadí do vztahů (3.129) až (3.131) a vypočtou se hodnoty $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$ (3 rovnice pro 3 neznámé)
- smyková napětí tenzoru (3.151) se dosadí do vztahů (3.162), přičemž do analytického tvaru funkce F se dosadí potřebné invarianty tenzoru (3.151); ze vztahů (3.162) se poté vyčíslí smykové úhly α_{13}, α_{23}
- dosazením $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$ a α_{13}, α_{23} do (3.163) se vypočtou poměrná prodloužení e_1, e_2, e_3
- dosazením α_{13}, α_{23} do (3.166) se vypočte úhel α_{12}
- vypočtené hodnoty se použijí ve vztahu (3.167) pro výpočet prvků tenzoru deformace ϵ_{ij}

Je třeba poznamenat, že takto vzniklý tenzor deformace je "speciální" v tom smyslu, že koordináta x_3 je kolineární s $\bar{\nu}$ a smykové úhly splňují relaci (3.166).

Pro řešení inverzní úlohy, která požaduje přiřadit tenzor napětí k obecně zadanému tenzoru deformace, je proto třeba transformovat obecně zadaný tenzor do této "speciální" souřadné soustavy. Transformaci do soustavy, kde $x_3 // \bar{\nu}$ lze provést analogicky jako v kap. 3.3.4.1 u tenzoru napětí. Transformace, která vede dále ke splnění relace (3.166) je poněkud obtížnější.

Nechť je znám tenzor ϵ_{ij} deformace v souřadnicích (x_1, x_2, x_3) takových, že $x_3 // \bar{\nu}$. Dále nechť souřadná soustava (x_1, x_2, x_3) , jenž je vzhledem k (x_1, x_2, x_3) pootočena kolem osy x_3 je určena (analogicky

k (3.153)) determinantem transformace :

$$D = \begin{vmatrix} \sin \psi & \cos \psi & 0 \\ -\cos \psi & \sin \psi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} = \det(a_{ij}) = 1 \quad (3.168)$$

V čárkované souřadné soustavě nechť je splněna relace (3.166). Tenzor ϵ'_{ij} deformace musí mít tedy složky, pro něž (dosazením (3.167) do (3.166), přičemž se přidávají indexy) platí po úpravě :

$$2\epsilon'_{13} \epsilon'_{23} = (1 + 2\epsilon'_{33}) \epsilon'_{12} \quad (3.169)$$

(což je přepsaná relace (3.166)).

Obecný transformační vztah tenzoru deformace je

$$\epsilon'_{ij} = a_{ik} a_{jl} \epsilon_{kl} \quad (3.170)$$

Použitím (3.168) do (3.170) se naleznou pro jednotlivé složky ϵ'_{ij} (po úpravě) následující výrazy :

$$\begin{aligned} \epsilon'_{11} &= \epsilon_{11} + (\cos^2 \psi) [\epsilon_{22} - \epsilon_{11}] + 2 \sin \psi \cdot \cos \psi \cdot \epsilon_{12} \\ \epsilon'_{12} &= \epsilon_{12} - 2(\cos^2 \psi) \epsilon_{12} + \sin \psi \cdot \cos \psi (\epsilon_{22} - \epsilon_{11}) \\ \epsilon'_{13} &= (\sin \psi) \cdot \epsilon_{13} + (\cos \psi) \epsilon_{23} \\ \epsilon'_{22} &= \epsilon_{22} - (\cos^2 \psi) [\epsilon_{22} - \epsilon_{11}] - 2 \sin \psi \cdot \cos \psi \cdot \epsilon_{12} \\ \epsilon'_{23} &= (\sin \psi) \cdot \epsilon_{23} - (\cos \psi) \cdot \epsilon_{13} \\ \epsilon'_{33} &= \epsilon_{33} \end{aligned} \quad (3.171)$$

Dosazením z (3.171) do (3.169) a úpravou se získá

$$a = \frac{\epsilon_{13} \cdot \epsilon_{23}}{\frac{1}{2} + \epsilon_{33}} - \epsilon_{12} \quad ; \quad b = \frac{\epsilon_{23}^2 - \epsilon_{13}^2}{\frac{1}{2} + \epsilon_{33}} - \epsilon_{32} + \epsilon_{11}$$

$$\operatorname{tg} \psi = \xi \quad (3.172)$$

$$a\xi^2 + b\xi - a = 0$$

Protože diskriminant této kvadratické rovnice je nezáporný, existuje vždy řešení ve tvaru:

$$\xi_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 + 4a^2}}{2a} \quad (3.173)$$

Přičemž součin kořenů

$$\xi_1 \cdot \xi_2 = -1 \quad (3.174)$$

Zpětným dosazením nalezneme

$$\operatorname{tg} \psi_1 \cdot \operatorname{tg} \psi_2 = -1 \quad (3.175)$$

odkud úpravou plyne

$$\operatorname{tg} \psi_1 = -\operatorname{cotg} \psi_2 = \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{2} + \psi_2 \right) \quad (3.176)$$

Odtud je zřejmé, že koženy ψ_1 , ψ_2 jsou pootočeny vzájemně o $\frac{\pi}{2}$. Protože však funkce $(\operatorname{tg} \psi)$ je periodická s periodou π , vyhovují zřejmě řešení úhly všechna ψ , pro která platí :

$$\psi = \psi_1 + n \cdot \frac{\pi}{2} \quad ; \quad n \dots \text{lib. celé číslo} \quad (3.177)$$

Z intervalu $\psi \in \langle 0, 2\pi \rangle$ vyhovují řešení 4 úhly, vzájemně pootočené o $\frac{\pi}{2}$.

Dosazením některého z úhlů (3.177) do (3.171) se naleznou složky tenzoru ϵ'_{ij} jenž vyhovuje relaci (3.166). Použitím (3.167) pak lze vypočítat

$$e_1, e_2, e_3, \alpha_{12}, \alpha_{13}, \alpha_{23}.$$

Dosazením do (3.163) vzniknou hodnoty $\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3$ které použitím (3.129) až (3.131) umožňují vyčíslit normálová napětí. Při jejich znalosti jsou potřebné invarianty tenzoru napětí pouze funkcí smykových napětí τ_{12}, τ_{23} , takže též funkce F vztahu (3.162) je závislá pouze na τ_{12}, τ_{23} . Dosazením všech dosud známých hodnot do (3.162) se nalezne soustava 2 rovnic pro 2 neznámé τ_{12}, τ_{23} .

Řešením této soustavy se pak vypočtou poslední chybějící prvky tenzoru napětí (samozřejmě, že platí $\tau_{12} = 0$).

Popsaný postup tedy přiřazuje tenzoru deformace tenzor napětí.

Pozn.: Pro konkrétní výpočet je třeba stanovit ještě analytický tvar funkce F . Protože však vztah (3.162) nebude dále používán numericky, není v této části matematický model zkonkretizován.

Jak bylo dovozeno, dovoluje soustava uvedených matematických vztahů jednoznačně přiřazovat tenzory deformace a napětí.

Lze tedy konstatovat, že je navržen matematický model deformačního zákona vysoce orientovaného vláknenného kontinua.

Pozn.: V následujících kapitolách bude třeba řešit pouze speciální, zjednodušený případ ($\tau_{23} = 0$, smyková napětí nebude nutné vyčíslit numeric-ky, atp.).

Lze však předpokládat, že potřeba matematického modelu deformační zákonitosti přesahuje téma této práce a dotýká se kromě příze i jiných struktur (orientovaná rouna, prameny aj.) Pro případnou budoucí aplikaci zde popsaného modelu do těchto struktur bylo zvoleno toto obecnější pojetí.

4. STAVBA PŘÍZE Z HLEDISKA
VLÁKENNÉHO KONTINUA

4.1 Tvorba příze

Příze se svou vnitřní strukturou a svými vlastnostmi je výsledkem procesu výroby, jehož poslední fáze, při které příze vzniká, je vlastní proces tvorby příze.

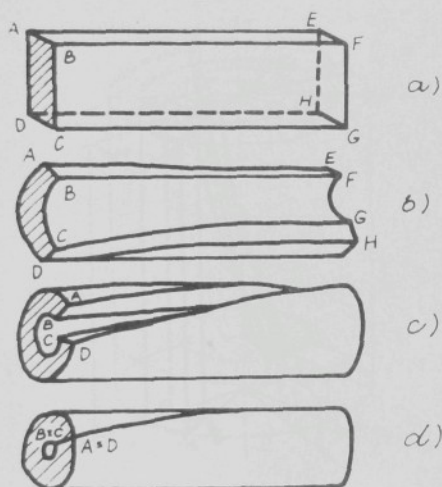
Protože principů tvorby příze je v současné době známa a využívána celá řada (předení klasické na dopřádacích strojích, různé formy bezvřetenového předení, předení typu "self-twist", "fascies-yarn" a mnoho jiných), nelze hovořit o přízi "jako takové", ale vždy ve vztahu ke způsobu její tvorby.

Poznání procesu tvorby příze je neobejitelným faktorem, nutným pro poznání samotné podstaty každé příze. Tato práce je zaměřena na příze, vzniklé dopřádáním na (bavlnářských) dopřádacích strojích. Pojem "příze" a "tvorba příze" je dále používán pouze v tomto smyslu.

Proces tvorby (klasicky předené) příze není dosud zcela objasněn a je neustále předmětem studia. Především je třeba ozřejmit, jaký je a jaké vlastnosti má vláknový útvar, který do procesu tvorby příze vstupuje. Experimenty s reálnou i modelovou tvorbou příze /32, 52, 53, 54/ ukazují, že útvar vstupující do procesu tvorby i sám tento proces jsou neobyčejně složité, takže jejich popis se mnohdy vymyká současným technickým možnostem. Je proto třeba složitou realitu redukovat do zjednodušených představ, které vystihují alespoň nejpodstatnější rysy skutečnosti a jsou současnými prostředky řešitelné.

V literatuře se nejčastěji používá buď představa zkrucování výchozího válce vláken / 16, 18, 19 / nebo zkrucování stužky vláken / 52, 53, 54 /. Za jistých předpokladů lze též tvrdit, že výchozí válec je

"limitním" případem představy výchozí stužky. Jestliže poměr šířky a tloušťky vlákenné stužky se blíží k 1, pak je uvedená limitní představa evidentní. Ke zkrucování válce jako určité limitě kroucení stužky je však možno dospět i z jiného hlediska. Výchozí stužka (obr.4.1.a))



Obr. 4.1.

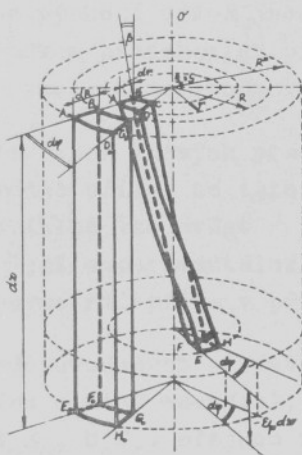
se působením kroucení začne stáčet, takže přímky, rovnoběžné se směrem orientace (např. BF) přechází do šroubovice a stužka se současně počne stáčet (např. BC) - obr. 4.1.b).

Tento proces pokračuje, přičemž hrany (AB a CD) se k sobě přibližují (obr. 3.4.c)). Konečně se hrany AB, CD ztotožní (obr.4.1.d) a vznikne válcový útvar

s dutinou v ose válce. V tomto stavu je ovšem $BC \ll AD$, takže BC je výrazně více stlačeno než AD. Připustí-li se však představa, že rozdíly v délkách AD, BC jsou vykompenzovány nevratným přesuvem vlákenné hmoty při zakrucování z vnitřní do vnější strany stužky, potom útvar dle obr. 4.1.d) je identický s útvarem, který by vznikl zakrucováním válce vláken s dutinou v ose. Nastíněná představa tedy nahrazuje tvorbu příze ze stužky představou tvorby příze z válce s dutinou. Pokud poloměr vnitřní dutiny takového válce je dostatečně malý, lze předpokládat, že až na osovou oblast je problém identický s řeše-

ním na bázi výchozího (plného) válce.

Představa tvorby příze z výchozího (plného) válce vláken (orientovaných ve směru osy válce) je znázorněna na obr. 4.2. Výchozí válec s vnějším poloměrem R^* je



Obr.4.2

tvořen elementy vláknenného kontinua $A_0B_0C_0D_0E_0F_0G_0H_0$, přičemž směr orientace je kolineární s hranami $\parallel o$. Zakrucovacím procesem přejde element z výchozího poloměru $0 \leq R \leq R^*$ na poloměr r a zaujme polohu ABCDEFGH. Průmět tohoto elementu do osy o se "prodlouží" o poměrné prodloužení (příze) ε_p . (Ve skutečnosti jde o seskání,

tedy $\varepsilon_p \leq 0$). Při uvedeném přechodu je třeba vyhovět nutným geometrickým (modelovým) podmínkám.

Pro stanovení těchto podmínek se předpokládá, že výchozí válec je souměrný dle osy o , jeho vnější poloměr $R^* = \text{konst.}$, v každém jeho bodě je koeficient zaplnění $\alpha = \text{konst.}$ a směr orientace $\vec{v} \parallel o$. Dále se předpokládá, že v procesu tvorby příze zůstává právě každý jednoduše souvislý element jednoduše souvislým (t.j. homeomorfním zobrazením koule; obecně podrobněji k těmto pojmům viz např. [3, 23]).

Ve výchozím válci je uspořádání elementů typu $A_0B_0C_0D_0E_0F_0G_0H_0$ (obr.4.2) symetrické vzhledem k ose o . Zakrucovací proces je považován obecně za proces probíhající v důsledku působení takové prostorové soustavy sil, která je symetrická vzhledem k o . Konečně se předpokládá, že deformační vlastnosti vláknenného kontinua tvořícího výchozí válec jsou ve všech jeho bodech stejné. Výsledkem předchozích předpokladů je pak nutně požadavek symetrie konečného útvaru - příze.

Pozn.: Ve všech známých pracech, které řeší matematický model příze, se tato symetrie předpokládá (jako příklad lze uvést / 16, 54 / a jiné). Podrobnější experimentální výzkum ukázal však mírnou asymetrii příze v příčném řezu; viz zejména / 132 /.

Na základě uvedených představ vyplývá (též vzhledem k principu minima energie), že výchozí přímky (např. A_0E_0 , D_0H_0) přejdou zkroucením na šroubovice stejné výšky závitů, přičemž všechny přímky stejného výchozího poloměru R přejdou na stejný konečný poloměr r . (Šroubovice je, jak známo, nejkratší spojnice 2 bodů na válci.)

Pozn.: V tomto smyslu se ^{zde} ~~zaše~~ vychází ze známého šroubovicového modelu příze. Na rozdíl od klasické koncepce však nepodléhají zákonitostem šroubovice vlákna (jak je tomu např. v / 16, 166 /) ale elementy kontinua (viz např. též / 18, 42, 44 /).

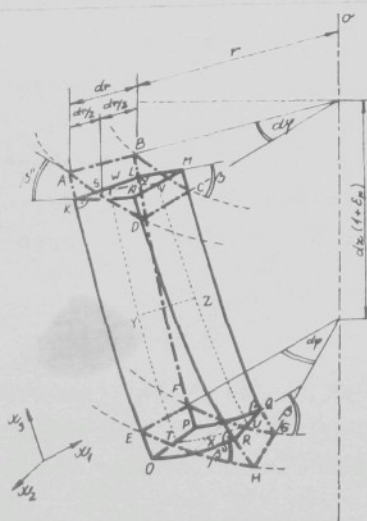
V důsledku předchozích požadavků lze křivky po řadě A_0E_0 , B_0F_0 , AE , BF považovat za identické s křivkami D_0H_0 , C_0G , DH , CG , pootočenými o stále stejný úhel $d\varphi$ kolem osy o (obr. 4.2).

Body, např. B_0C_0 leží na kružnici s poloměrem R . Zakroucením musí tato výchozí kružnice přejít na uzavřenou křivku, kterou je (vzhledem k osové symetrii) kružnice s poloměrem r a středem $S \in \sigma$. Platí tedy $BC \perp \sigma$

Konečně (vzhledem k minimu energie) přímka A_0S_0 přejde do přímky AS ($S \equiv S_0 \in \sigma$). Důsledkem naznačených úvah je skutečnost, že výchozí rovina kolmá k o přejde zakrucováním opět do roviny kolmé k o , přičemž úhlové vzdálenosti odpovídajících si bodů zůstanou nezměněny (např. $\angle A_0S_0D_0 = \angle ASD = d\varphi$).

Závěrem je třeba ještě stanovit úhly, jež mezi sebou svírají hrany elementu. V nezakrouceném stavu evidentně platí $\angle E_0A_0B_0 = \angle E_0A_0D_0 = \angle B_0A_0D_0 = \frac{\pi}{2}$. V zakrouceném elementu však platí pouze $\angle EAB = \angle BAD = \frac{\pi}{2}$, zatímco $\angle EAD \neq \frac{\pi}{2}$.

4.2 Rovnováha elementu příže



Element kontinua, tvořící přízi, je znázorněn na obr. 4.3. Konečná poloha elementu je ABCDEFGH. (viz též obr.4.2). Některé hrany tohoto elementu spolu nesvírají pravý úhel; element proto není přímo vhodný k analýze rovnováhy (neboť tenzor napětí je zde definován na elementu s kolmými hranami).

Obr.4.3

Proto je výhodné studovat rovnováhu elementu KLMNOPQR, jehož hrany jsou navzájem kolmé. Element ABCDEFGH je však výsledkem procesu zakrucování, přičemž v nenapjatém stavu (obr. 4.2 - indexy o) jsou jeho hrany vzájemně kolmé; proto je užitečné z jeho konečného tvaru dedukovat existence smykových napětí v elementu KLMNOPQR.

Protože $AD \parallel BC \perp AB \parallel CD$ resp. $EH \parallel FG \perp EF \parallel GH$ a $AE \parallel BF \perp AB \parallel EF$ resp. $DH \parallel CG \perp NM \parallel HG$ (při zanedbání diferenciálních odchylek), platí při zavedení souřadné soustavy ($x_1 \parallel KN$; $x_2 \parallel KL$; $x_3 \parallel OK$), že smyková napětí $\tau_{12} = \tau_{23} = 0$. Tenzor napětí elementu KLMNOPQR má tedy ve složkách tvar :

$$\tau_{ij} = \begin{pmatrix} \tau_{11} & 0 & \tau_{13} \\ & \tau_{22} & 0 \\ & & \tau_{33} \end{pmatrix} \quad (4.1)$$

(viz též obr.4.4).

Dále je zavedeno následující značení

$$\left. \begin{aligned} r + \frac{dr}{2} &= r' \\ r + dr &= r'' \end{aligned} \right\} \quad (4.2)$$

a všechny ostatní veličiny vztahující se k poloměrům r , r' , r'' jsou označeny shodně čárkovými indexy. Pro další výpočty je nutno ještě stanovit poloměr ρ křivosti šroubovice (např. MQ) ležící na poloměru r , která svírá s osou o úhel β . Platí

$$\rho = \frac{r}{\sin^2 \beta} \quad (4.3)$$

(Srovnej též / 19 /).

Šroubovice, která předchází kolmo protíná (např. LM) vykazuje poloměr ρ křivosti, určený vztahem :

$$r_j = \frac{r}{\cos^2 \beta} \quad (4.4)$$

Z obr. 4.3 plynou následující geometrické vztahy pro hrany elementu KLMNOPQR :

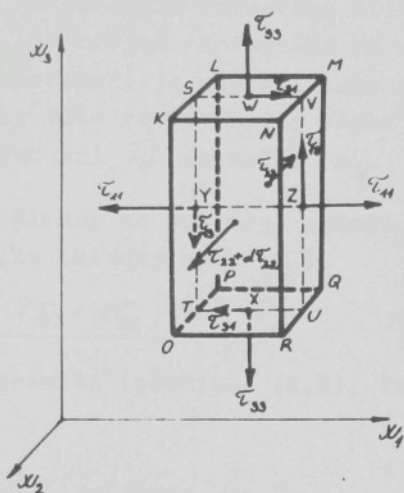
$$\left. \begin{aligned} KL = MN = OP = QR &= dr \\ LM = PQ &= r \cdot \cos \beta \cdot dy \\ KN = OR &= r'' \cos \beta'' dz \\ LP = MQ &= \frac{1+\epsilon_p}{\cos \beta} dz \\ KO = NR &= \frac{1+\epsilon_p}{\cos \beta''} dz \\ WX = ST = VU &= \frac{1+\epsilon_p}{\cos \beta'} dz \\ YZ = SV = TU &= r' \cos \beta' \cdot dy \end{aligned} \right\} \quad (4.5)$$

Pro hraniční plochy téhož elementu platí použitím (4.5) z obr. 4.3 :

$$\begin{aligned} LMQP &= LM \cdot MQ = (1+\epsilon_p) \cdot r \cdot dy \cdot dz \\ KNRO &= KN \cdot NR = (1+\epsilon_p) r'' \cdot dy \cdot dz \\ KLMN &= OPQR = KL \cdot SV = r' \cos \beta' \cdot dr \cdot dy \\ KLPO &= MNQR = KL \cdot ST = \frac{1+\epsilon_p}{\cos \beta} \cdot dr \cdot dz \end{aligned} \quad (4.6)$$

Příslušná napětí k jednotlivým plochám jsou schematicky znázorněna na obr. 4.4, kde je pouze pro grafickou názornost zakreslen element jako nezakřivený. Diferenciální síly působící na jednotlivých plochách budou označovány symbolem T_{ij} s indexy shodnými s příslušnou složkou tenzoru napětí.

Z obr. 4.4 a vztahů (4.6) vyplývá :



Obz. 4.4

$$T_{11} = \tau_{11} \cdot MNQR = \tau_{11} \cdot \frac{1+\epsilon_p}{\cos \beta'} \cdot dr \cdot dz \quad (4.7)$$

$$T_{13} = \tau_{13} \cdot MNQR = \tau_{13} \cdot \frac{1+\epsilon_p}{\cos \beta'} \cdot dr \cdot dz \quad (4.8)$$

$$T_{22} = \tau_{22} \cdot LMQP = \tau_{22} \cdot (1+\epsilon_p) \cdot r \cdot dy \cdot dz \quad (4.9)$$

$$T_{22} + dT_{22} = (\tau_{22} + d\tau_{22}) \cdot KNRO = (\tau_{22} + d\tau_{22}) \cdot (1+\epsilon_p) \cdot r'' \cdot dy \cdot dz \quad (4.10)$$

$$T_{33} = \tau_{33} \cdot KLMN = \tau_{33} \cdot r' \cdot \cos \beta' \cdot dr \cdot dy \quad (4.11)$$

$$T_{31} = \tau_{31} \cdot KLMN = \tau_{31} \cdot r' \cdot \cos \beta' \cdot dr \cdot dy \quad (4.12)$$

Momentová rovnováha a rovnováha sil ve směru souřadných os x_1, x_3 je zřejmá. Rovnováha ve směru x_2 (tzv. "radiální rovnováha") je naproti tomu složitější. Pro určení podmínky této rovnováhy je třeba stanovit průměty jednotlivých sil T_{ij} do směru x_3 .

Pozn.: Za kladný se považuje průmět směřující od středu příže (kladný směr x_2).

Síly T_{22} , $(T_{22} + dT_{22})$:

Do x_2 se promítá (použito (4.9), (4.10), (4.2)):

$$\begin{aligned} d(T_{22}) &= (T_{22} + dT_{22}) - T_{22} = \\ &= \tau_{22}(1 + \varepsilon_p) dr dy dz + d\tau_{22}(1 + \varepsilon_p) \cdot r \cdot dy dz \end{aligned} \quad (4.13)$$

Síly T_{33} : Síly leží na oblouku šroubovice WX a svírají úhel

$$d\vartheta = \frac{r\chi}{\rho'} \quad (4.14)$$

kde ρ' ... poloměr křivosti šroubovice WX (srovnej (4.3)).

Do x_3 se tedy promítá (použito (4.5), (4.11)):

$$d(T_{33}) = -T_{33} \cdot d\vartheta = -\tau_{33}(1 + \varepsilon_p) \frac{r'}{\rho'} dr dy dz \quad (4.15)$$

Síly T_{44} : Síly leží na oblouku šroubovice YZ a svírají úhel

$$d\delta = \frac{r\zeta}{\vartheta'} \quad (4.16)$$

kde ϑ' ... poloměr křivosti šroubovice YZ (srovnej (4.4)).

Do x_2 se promítá (použito (4.5), (4.7)) :

$$d(T_{11})_2 = -T_{11} d\delta = -\varepsilon_{11} (1 + \varepsilon_p) \cdot \frac{r'}{y'} \cdot dr \cdot dy \cdot dz. \quad (4.17)$$

Síly T_{13} : Síly T_{13} lze rozložit na složky ($T_{13} \cos \beta'$) paralelní s osou o , a složky ($T_{13} \sin \beta'$) tečné ke kružnici s poloměrem r' .

Tyto tečné složky svírají úhel

$$d\psi = \frac{ZY \cdot \cos \beta'}{r'} \quad (4.18)$$

a do x_2 se tak promítá (použito (4.5), (4.8)) :

$$d(T_{13})_2 = T_{13} \sin \beta' d\psi = \tau_{13} (1 + \varepsilon_p) \sin \beta' \cos \beta' dr dy dz \quad (4.19)$$

Síly T_{31} : Složky sil T_{31} , tečné ke kružnici s poloměrem r' jsou ($T_{31} \cos \beta'$). Svírají spolu úhel

$$d\alpha = \frac{WX \cdot \sin \beta'}{r'} \quad (4.20)$$

a do x_2 se tak promítá (použito (4.5), (4.12)) :

$$d(T_{31})_2 = T_{31} \cos \beta' d\alpha = \tau_{31} (1 + \varepsilon_p) \sin \beta' \cos \beta' dr dy dz \quad (4.21)$$

kde vzhledem k symetrii tenzoru napětí je $\tau_{31} = \tau_{13}$ takže $d(T_{31})_2 = d(T_{13})_2$

Pro radiální rovnováhu tedy platí :

$$d(\tau_{22})_2 + d(\tau_{33})_2 + d(\tau_{44})_2 + d(\tau_{13})_2 + d(\tau_{31})_2 = 0 \quad (4.22)$$

Dosazením odvozených vztahů a vydělením výrazem

$(1+\epsilon_p) \cdot dr \cdot d\varphi \cdot dz$ se nalezne :

$$\tau_{22} + r \frac{d\tau_{22}}{dr} - \tau_{33} \frac{r'}{\rho'} - \tau_{44} \frac{r'}{\varphi'} + 2\tau_{13} \sin\beta' \cos\beta' = 0 \quad (4.23)$$

Zanedbáním diferenciálních členů lze konečně zapsat podmínku rovnováhy vztahem

$$\tau_{22} + r \frac{d\tau_{22}}{dr} - \tau_{33} \frac{r}{\rho} - \tau_{44} \frac{r}{\varphi} + 2\tau_{13} \sin\beta \cos\beta = 0 \quad (4.24)$$

Smykové napětí τ_{13} je možno za použití matematického modelu z části 3 této práce vyjádřit rovnicí (3.162). Smykový úhel α_{13} obsažený v tomto vztahu, je - jak je zřejmé z obr. 4.3 - ekvivalentní úhlu $(-\beta)$. Tedy platí :

$$2\tau_{13} \sin\beta \cos\beta = -2F \sin^2\beta \quad (4.25)$$

Použitím (4.3) pak :

$$2\tau_{13} \sin\beta \cos\beta = -2F \frac{r}{\rho} \quad (4.26)$$

což dosazeno do rovnovážné podmínky (4.24) vede na její konečnou podobu :

$$\tau_{22} + r \frac{d\tau_{22}}{dr} - \frac{r}{\rho} (\tau_{33} + 2F) - \tau_{44} \frac{r}{\varphi} = 0 \quad (4.27)$$

Symbol F je, dle kap. 3.3.4.2, funkce invariantů tenzoru napětí a invariantů rovinného tenzoru τ_{11}^0, τ_{22}^0 .

Invariantem tenzoru napětí je m.j. $J = \tau_{11} + \tau_{22} + \tau_{33}$, invariantem rovinného tenzoru je též výraz $A = \tau_{11} + \tau_{22}$.

F tedy může být funkcí výrazu $J - A = \tau_{33}$. Pokud by speciálně např. platilo

$$F = \left(\frac{k}{2} - \frac{1}{2} \right) \cdot \tau_{33} \quad ; \quad k \dots \text{lib. reálné} \quad (4.28)$$

Pak (4.27) lze vyjádřit zápisem :

$$\tau_{22} + r \frac{d\tau_{22}}{dr} - \tau_{33} \cdot k \cdot \frac{r}{\rho} - \tau_{11} \frac{r}{\vartheta} = 0 \quad (4.29)$$

Zahrne-li se pak k jako součást konstanty počátečního modulu E_3 ve vztahu (3.131), (pak ovšem E_3 ztrácí logický smysl počátečního modulu pro všechna $k \neq 1$), je možno zapsat rovnici rovnováhy :

$$\tau_{22} + r \frac{d\tau_{22}}{dr} - \tau_{33} \frac{r}{\rho} - \tau_{11} \frac{r}{\vartheta} = 0 \quad (4.30)$$

Platnost této rovnice je ovšem podmíněna (4.28). V této formě odvodili rovnici radiální rovnováhy Cheng, White a Duckett / 70 /.

4.3 Řešení diferenciální rovnice radiální rovnováhy v přízi

4.3.1 Deformační zákon v rovnici radiální rovnováhy

V diferenciální rovnici (4.27) se vyskytují napětí

$\tau_{11}, \tau_{22}, \tau_{33}$, jako složky tenzoru napětí (4.1).

(F jako funkce příslušných invariantů obecně obsahuje též τ_{13} , které však může být dle (3.162), kde

$i=1, \alpha_{13}=\beta$, vyjádřeno jako funkce normálových napětí.) Protože souřadné osy jsou zavedeny tak, že

$x_3 \parallel \bar{\nu}$, je zřejmé, že tenzor napětí τ_{ij} dle (4.1) je speciálním případem tenzoru τ_{ij} dle (3.152), tak-

že pro normálová napětí lze použít vztahy (3.129) až (3.131). Platí zde též vztahy (3.163), kde ovšem

$\alpha_{13}=\beta, \alpha_{23}=0$; tedy :

$$\left. \begin{aligned} (1+\varepsilon_1) &= (1+\varepsilon_1) \cdot \cos \beta \\ (1+\varepsilon_2) &= (1+\varepsilon_2) \\ (1+\varepsilon_3) &= (1+\varepsilon_3) \end{aligned} \right\} \quad (4.31)$$

Pro poměrná prodloužení $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$ platí, jak plyne z obr. 4.2 :

$$\left. \begin{aligned} (1+\varepsilon_1) &= \frac{BC}{B_0 C_0} \\ (1+\varepsilon_2) &= \frac{AB}{A_0 B_0} \\ (1+\varepsilon_3) &= \frac{BF}{B_0 F_0} \end{aligned} \right\} \quad (4.32)$$

Z obr. 4.2 plynou též geometrické relace :

$$\begin{aligned}
 AB &= dr \\
 BC &= r \cdot d\varphi \\
 BF &= \frac{(1+\varepsilon_p) \cdot dx}{\cos\beta} \\
 A_0 B_0 &= dR \\
 B_0 C_0 &= R d\varphi \\
 B_0 F_0 &= dx
 \end{aligned}
 \tag{4.33}$$

Použitím (4.31), (4.32), (4.33) se naleznou vztahy :

$$(1+\varepsilon_1) = \frac{r}{R} \cos\beta \tag{4.34}$$

$$(1+\varepsilon_2) = \frac{dr}{dR} \tag{4.35}$$

$$(1+\varepsilon_3) = \frac{1+\varepsilon_p}{\cos\beta} \tag{4.36}$$

Smyková napětí jsou v def. zákonu zavedena tak, že jejich změna nemění objem elementu (srovnej např. obr. 3.8 resp. před ním formulované předpoklady); platnost vztahu (3.119) pro koeficient zaplnění tedy zůstává zachována. Dosazením odvozených výrazů do (3.119) se nalezne :

$$\mu = \frac{\mu^0}{(1+\varepsilon_p)} \cdot \frac{R}{r} \cdot \frac{dR}{dr} \tag{4.37}$$

Před formulací dalších výrazů je třeba ještě uvést výraz pro β , vztahový na (v textilní praxi obvyklý) pojem zákrutu Z (počet ovinů šroubovice na jednotku délky). Evidentně platí (viz např. /107, 121/):

$$t\varphi/\beta = 2\pi rZ \quad (4.38)$$

$$\cos\beta = \frac{1}{\sqrt{1+(2\pi rZ)^2}} \quad (4.39)$$

Pro výraz $(\tau_{33} \cdot \frac{r}{\rho})$ lze za použití (3.131), (3.119), (4.35), (4.3) po úpravě nalézt

$$\tau_{33} \frac{r}{\rho} = \frac{E_3}{\mu^0} \cdot \mu \cdot \sin^2\beta \cdot \left(\frac{1+\varepsilon_p}{\cos\beta} - 1 \right) \quad (4.40)$$

a dosazením (4.38), (4.39):

$$\tau_{33} \frac{r}{\rho} = \frac{E_3}{\mu^0} \cdot \frac{\mu (2\pi rZ)^2 [\mu \varepsilon_p \sqrt{1+(2\pi rZ)^2} - 1]}{1+(2\pi rZ)^2} \quad (4.41)$$

což je vztah s proměnnými (po dosazení (4.37)) $r, R, \frac{dR}{dr}$.

Výraz $\tau_{11} \frac{r}{\rho}$ je použitím (3.129), (4.34) až (4.36), (4.4), (4.39) vyjádřitelný ve tvaru, který obsahuje $R, r, \frac{dR}{dr}$.

Výraz τ_{22} je rovněž, z (3.130), (4.34) až (4.36), (4.39), funkcí $R, r, \frac{dR}{dr}$. Jeho derivace $\frac{d\tau_{22}}{dr}$ je tedy funkcí $R, r, \frac{dR}{dr}, \frac{d^2R}{dr^2}$.

Výraz $F \frac{r}{\rho}$ je funkcí $\tau_{11}, \tau_{22}, \tau_{33}$ (jak je uvedeno v úvodu této kapitoly), tedy vzhledem k předchozímu funkcí $R, r, \frac{dR}{dr}$.

Diferenciální rovnice (4.27) je tedy rovnicí typu

$$0 = f\left(R, r, \frac{dR}{dr}, \frac{d^2R}{dr^2}\right) \quad (4.42)$$

což je obyčejná diferenciální rovnice 2.řádu s primitivní funkcí $R = R(r)$.

4.3.2 Parametry diferenciální rovnice

Řešení diferenciální rovnice (4.27) v plné šíři by znamenalo stanovit ještě analytický tvar funkce F . Pro zjednodušení celého řešení bude nadále předpokládáno, že F vyhovuje vztahu (4.28).

Pozn.: Jestliže v (4.28) platí $k=1$, pak $F=0$, t.j. smyková napětí jsou zanedbána. Takový předpoklad byl při obdobných studiích učiněn všemi známými autory, např. /42, 18/.

Diferenciální rovnice nabývá za těchto okolností tvaru (4.30), který je identický s rovnicí v/ 70 / a při a priori volbě $\varepsilon_{11} = \varepsilon_{22}$ též s rovnicí / 44 / s opravou / 167 /.

Po úpravě, naznačené v kap. 4.3.1 se získá rovnice ve tvaru (4.4.2), ve které jsou obsaženy následující parametry :

Parametr :	Vnesen ze vztahů :
$E_1 = E_2$	(3.129), (3.130)
A	(3.129), (3.130)
λ	(3.129), (3.130)
E_3	(3.131)
Z	(4.38), (4.39)
ε_p	(4.37)
$\mathcal{U}^0$	(4.37)

Pro řešení dané diferenciální rovnice je třeba hodnoty uvedených parametrů stanovit, a to následujícím způsobem :

Parametry Z , μ^0 , A

Zákrut příze Z určuje druh příze, jejíž rovnováha se studuje; je vstupním parametrem. Výchozí koeficient zaplnění μ^0 je pro příze daného typu nutno zvolit na experimentální bázi. Podobně též parametr A musí být jako konstanta zvolen.

Parametr λ

Je definován rovnicí (3.19) - viz obr. 3.3, kap.3.3.2.1. Pro stanovení jeho hodnoty je vhodné vyjít z limitní představy idealizované, t.zv. "plástové" struktury / 105, 107, 152 /, jako "nejhustšího" možného uspořádání vláken. Koeficient zaplnění takové struktury je dle / 36, 105, 107, 121 / určen hodnotou $\mu_{lim} = \frac{\pi}{2\sqrt{3}}$.

Přešel-li výchozí koeficient zaplnění μ^0 na μ_{lim} mezím přiblížením vlákených řezů z obr. 3.3 (při μ_{lim} je $l_0 = 0$), potom $\frac{\mu^0}{\mu_{lim}}$ vyjadřuje zmenšení plochy (kolmé na směr vláken). Příslušné lineární zmenšení je tak $\sqrt{\frac{\mu^0}{\mu_{lim}}}$ a vzhledem k obr.3.3 a rovnici (3.19) lze psát:

$$\frac{\mu^0}{\mu_{lim}} = \frac{\delta}{L_0} = 1 - \frac{l_0}{L_0} = 1 - \lambda \quad (4.43)$$

Odtud :

$$\lambda = 1 - \sqrt{\frac{\mu^0 \cdot 2\sqrt{3}}{\pi}} \quad (4.44)$$

Speciálně v případě $\mu^0 = 0,01$ se nalezne

$$\lambda_{(\alpha^0=0,01)} = 0,894992486 \quad (4.45)$$

Parametry E_1, E_2, E_3 -----

Jak plyne z rovnice (4.30), její řešení se nezmění, jestliže napětí $\tau_{11}, \tau_{22}, \tau_{33}$ se vynásobí libovolnou konstantou $c \neq 0$. Speciálně, jestliže se zvolí

$$c = \frac{4}{E_1 \cdot 3\lambda} \quad (4.45)$$

Nalezne se (při ekvivalenci $E_1 = E_2$, ve vztazích (3.129), (3.130)):

$$c \cdot E_1 \frac{3\lambda}{2} = c \cdot E_2 \frac{3\lambda}{2} = 2 \quad (4.46)$$

což formálně zjednodušuje rovnice (3.129), (3.130)

Pozn.: Volba c dle (4.45) vedoucí na hodnotu "2" konstanty (4.46) je poněkud nepřirozená; jednodušší by bylo volit c tak, aby hodnota (4.46) byla rovna 1. Při vývoji této teorie byla však nejprve řešena jednodušší varianta, kde volba c dle (4.45) byla výhodná. Pro porovnání relací byla proto její hodnota ponechána i zde.

Ve vztahu (3.131) resp. (4.41) se ovšem vynásobením c objeví místo (E_3/α^0) parametr K :

$$K = \frac{c E_3}{\alpha^0} = \frac{E_3}{E_1} \cdot \frac{4}{3\lambda\alpha^0} \quad (4.47)$$

Je tedy zřejmé, že není nutné stanovovat explicitně numerické hodnoty E_1, E_2, E_3 , ale pro řešení postačí stanovit numerickou hodnotu parametru K , který je

přímo úměrný poč. modulu E_3 (a to, je-li E_1, E_2 nezávislé na stavu napjatosti a poloze elementu, s konstantou úměrnosti $\frac{4}{3E_1 2\alpha^2}$)

Napětí τ_{33} je rovno 0 v případě, že $\epsilon_3 = 0$; dle (4.36) a (4.39)

$$\epsilon_3 = (1 + \epsilon_p) \sqrt{1 + (2\pi r Z)^2} - 1 \quad (4.48)$$

odtud

$$r_n = \frac{1}{2\pi Z} \sqrt{\frac{1}{(1 + \epsilon_p)^2} - 1} \quad (4.49)$$

kde r_n značí neutrální poloměr v přízi, pro který právě platí $\tau_{33} = 0$; pro $r > r_n$ je $\tau_{33} > 0$ tahové, pro $r < r_n$ je $\tau_{33} < 0$ tlakové.

Elementy v přízi jsou tak namáhány jak tahem, tak také tlakem. Obecně neplatí, že modul E_3 pro tah a tlak musí být ekvivalentní. Odtud je zřejmé, že je třeba uvažovat o existenci jiného parametru K pro tah a jiného pro tlak, tedy $K_{tah} = \frac{\epsilon}{\alpha^2} E_{3tah}$, $K_{tlak} = \frac{\epsilon}{\alpha^2} E_{3tlak}$ (dle 4.47).

Protože reálná vlákna v přízi migrují, může ve skutečnosti docházet k určitému vyrovnání tahového a tlakového napětí τ_{33} , což je ovšem mechanismus, nevysvětlitelný dosud zavedeným "čistým" modelem kontinua. Popis tohoto mechanismu však může být postaven na bázi migračního modelu příze, který však konverguje / 169 / k rovnicím šroubovicového modelu. Ve šroubovicovém modelu má ϵ_3 smysl poměrného prodloužení vláken, takže dle (4.48)

$$\varepsilon_v = (1 + \varepsilon_p) \sqrt{1 + (2\pi r Z)^2} - 1 \quad (4.50)$$

Ízv. "počet vláken dn v diferenciální vrstvě" vyjad-
řuje přírůstek počtu vláken při přechodu z. r na $(r+dr)$
(podrobně viz / 16, 107, 121 /). Platí pro něj vztah :

$$dn = \frac{2\pi r dr \cdot u}{\frac{F_v}{\cos \beta}} = \frac{2\pi}{F_v} \cdot \frac{u \cdot r \cdot dr}{\sqrt{1 + (2\pi r Z)^2}} \quad (4.51)$$

kde : F_v plocha kolmého řezu průměrným vláknem

$\frac{F_v}{\cos \beta}$ plocha řezu vláknem rovinou kolmou
k ose příze (vlákno svírá s osou $\pm \beta$)

V důsledku stlačení ($\varepsilon_{33} < 0$) v centrální oblasti příze
($r \in \langle 0, r_n \rangle$) vykazují vlákna v této oblasti "přeby-
tek" délky určený ve své sumě vztahem (použito (4.50),
(4.51)) :

$$L_c = - \int_0^{r_n} \varepsilon_v dn = - \int_0^{r_n} \frac{2\pi}{F_v} (1 + \varepsilon_p) u r dr + \int_0^{r_n} \frac{2\pi}{F_v} \cdot \frac{u r dr}{\sqrt{1 + (2\pi r Z)^2}} \quad (4.52)$$

kde r_n je určeno vztahem (4.49).

Vlákna v okrajové oblasti příze ($r > r_n$) jsou napíná-
na ($\varepsilon_{33} > 0$) a vykazují tedy "nedostatek" délky, ve
své sumě určený vztahem

$$L_o = \int_{r_n}^{\infty} \varepsilon_v dn = \int_{r_n}^{\infty} \frac{2\pi}{F_v} (1 + \varepsilon_p) u r dr - \int_{r_n}^{\infty} \frac{2\pi}{F_v} \cdot \frac{u r dr}{\sqrt{1 + (2\pi r Z)^2}} \quad (4.53)$$

Nechť v krajním případě platí, že veškerý "přebytek" délky vláken centrální oblasti se přesune na kompenzaci "nedostatku" délky v oblasti okrajové. V okrajové oblasti se poté vykáže "nedostatek" délky v hodnotě $(L_\sigma - L_c)$, který musí být kompenzován tahovou deformací vláken (zatímco celkový "nedostatek" délky je $L_\sigma \geq L_\sigma - L_c$). Poměr

$$k_1 = \frac{L_\sigma - L_c}{L_\sigma} \quad (4.54)$$

vyjadřuje podíl deformace vláken ku celkové deformaci a po dosazení platí :

$$k_1 = \frac{\int_0^\infty \frac{2\pi}{F_v} (1 + \epsilon_p) u r \cdot dr - \int_0^\infty \frac{2\pi}{F_v} \frac{u r \cdot dr}{\sqrt{1 + (2\pi r Z)^2}}}{\int_{r_n}^\infty \frac{2\pi}{F_v} (1 + \epsilon_p) u r \cdot dr - \int_{r_n}^\infty \frac{2\pi}{F_v} \frac{u r \cdot dr}{\sqrt{1 + (2\pi r Z)^2}}} \quad (4.55)$$

Vzorec (4.55) byl odvozen pro limitní případ, kdy veškerý "přebytek" délky L_c kompenzuje výchozí "nedostatek" L_σ . V reálném případě tomu tak nebude; lze předpokládat, že kompenzace se zúčastní pouze $(q \cdot 100) \%$ přebytku L_c . Pak ovšem podíl k_2 deformace vláken ku celkové deformaci je určen vztahem

$$k_2 = \frac{L_\sigma - q L_c}{L_\sigma} \quad (4.56)$$

což vzhledem k definici k_1 vzorcem (4.54) vede k výrazu

$$k_2 = 1 - q (1 - k_1) \quad (4.57)$$

Jak je zřejmé, ponechá-li se symbol ε_3 ve tvaru (4.48), pak v diferenciální rovnici je nutno vzhledem k předešlým úvahám dosazovat místo ε_3 výrazy

$$\left. \begin{array}{ll} k_q \cdot \varepsilon_3 & \text{pro } r > r_n \\ (1-q) \cdot \varepsilon_3 & \text{pro } r < r_n \end{array} \right\} \quad (4.58)$$

kde q je další parametr řešení.

Protože však, jak je zřejmé z (4.57), (4.55), je k_q závislé na primitivní funkci $R=R(r)$ a na její derivaci, vznikla by použitím (4.58) z dif. rovnice (4.42) velmi složitá integro-diferenciální rovnice, jejíž řešení by překročilo časové a technické možnosti. Problém bylo proto třeba po formální stránce zjednodušit.

Protože odchylka oproti správné hodnotě ε_3 ve vztazích (3.129), (3.130) nezpůsobuje podstatné chyby při výpočtu napětí ε_{11} , ε_{22} , nebyla korekce (4.58) do těchto vztahů zavedena. Ve vztahu pro ε_{33} ovšem ε_3 hraje prvořadou úlohu a nelze proť o příslušnou korekci (4.58) zanedbat. Hodnoty k_q resp. $(1-q)$ mohou být interpretovány formálně jako součinitel parametru E_3 (srovnej s tvarem (1.131)). Konstantu K , původně definovanou (4.47) je pak užitečné zvolit ve tvaru

$$\left. \begin{array}{l} K_{tah} = \frac{C}{\alpha^0} \cdot k_q \cdot E_{3tah} \\ K_{tlak} = \frac{C}{\alpha^0} \cdot (1-q) \cdot E_{3tlak} \end{array} \right\} \quad (4.59)$$

Pozn.: I zde ovšem zůstává rovnice integro-diferenciální. Lze však nalézt vhodný algoritmus numerického řešení, jak bude popsáno později.

Z formálního hlediska lze sloučit c, μ, E_3 do jediné konstanty C , takže pak

$$\left. \begin{aligned} K &= K_{\text{tah}} = k_q \cdot C_{\text{tah}} \quad ; \quad \text{pro } r > r_n \\ K &= K_{\text{tlak}} = (1-q) C_{\text{tlak}} \quad ; \quad \text{pro } r \leq r_n \end{aligned} \right\} \quad (4.60)$$

kde parametry $C_{\text{tah}}, C_{\text{tlak}}, q$ je třeba volit.

Parametr ε_p

Poměrné prodloužení příze ε_p je důsledkem seskání, t.j. $\varepsilon_p \leq 0$. Seskání je důsledkem axiální silové rovnováhy v přízi. Principiálně by bylo možné stanovit jej pootočením souřadnic (x_1, x_2, x_3) elementu KLMNOPQR - obr. 4.3 kolem osy $x_2 \parallel KL$ o úhel β . Nové normálové napětí τ'_{33} kolineární s novou osou $x'_3 \parallel \sigma$ (obr.4.3) by mělo, vzhledem ke složkám původního tenzoru napětí, hodnotu

$$\tau'_{33} = (\sin^2 \beta) \cdot \tau_{11} + (\cos^2 \beta) \tau_{33} + (\sin 2\beta) \tau_{13} \quad (4.61)$$

a ε_p by muselo být voleno tak, aby byla splněna podmínka

$$\int_0^\infty 2\pi r \cdot \tau'_{33} \cdot dr = 0 \quad (4.62)$$

Dosazením za komponenty výrazu (4.61) by se v integrálu (4.62) objevily hodnoty $R, r, \frac{dR}{dr}, \varepsilon_p$, takže rovnice (4.30) tvořily soustavu, velmi obtížně numericky řešitelnou. Vzhledem k této skutečnosti (a omezením času a úrovně použité výpočetní techniky) bylo nutno nahradit podmínku (4.62) empirickou funkcí, která ε_p přímo stanovuje.

V literatuře obsažené vztahy, odvozené na geometrickém principu lze roztrdit do následujících skupin :

- a) vztah typu $-\varepsilon_p = 1 - \cos \beta_n$; kde β_n je úhel β na neutrálním poloměru r_n . Tento vztah uvádí např. Besset / 14 /, Obuch / 134 / . Pro vyčíslení je ovšem třeba navrhnout hodnotu r_n , resp. poměr (r_n/r^*) , kde r^* poloměr příze. Obuch navrhuje $(r_n/r^*) = 0,607$, Besset pro bavlněnou přízi volí $(r_n/r^*) = 0,5$, v jiných variantách bývá též voleno $(r_n/r^*) = 1/\sqrt{2}$ (Korickij / 95 /)

- b) vztah typu $-\varepsilon_p = \lg^2 \frac{\beta^*}{2}$; kde β^* je úhel β na okraji příze, t.j. pro $r=r^*$ = poloměr příze. Ke vzorci tohoto typu dospěli např. Braschler / 16 /, Korickij / 94 /, / 95 / Treloar / 166 / Morton a Hearle / 119 /, Gracie / 36 /, Marko a Neckář / 105 /, a.j..

Také vzorec Budnikova / 18, 19 / limituje na tento vztah (pro běžné hodnoty β^* je s předchozím prakticky identický).

- c) empirické vztahy bývají různého analytického typu. Tak např., Bhalakrishna, Iyer a Phatarfod / 15 / uvádí vztah

$$-\varepsilon_p = 1 - \frac{n}{n + P \lg^2 \beta_n + Q \lg^4 \beta_n}$$

kde n ... počet vláken v řezu přízi

P, Q ... konstanty, tabelované pro n, β_n

Salaba / 147 / navrhuje vztah

$$-\varepsilon_p = 4,85 \cdot 10^{-6} \cdot a_m^{2,23}$$

kde : a_m ... zákrutový koeficient dle Phrise.

Sokolov / 156 / navrhnul pro bavlněné příze přibližný vztah

$$-\epsilon_p = \frac{a_m^2 \cdot l_m^3}{43500}$$

Rozsáhlý experimentální průzkum seskání bavlněných přízí provedl Afončikov [dle 156/]; své výsledky publikoval tabelárně.

Charakter naměřených hodnot umožňuje nahradit tabelární vyjádření regresní funkcí

$$-\epsilon_p = \frac{0,00004261 \cdot a_m^{1,9877}}{l_m^{433358}} \quad (4.63)$$

s korelačním koeficientem 0,987.

Protože vztah (4.63) je výsledkem rozsáhlého experimentálního šetření, a v neposlední řadě též proto, že vykazuje s rostoucím čm příze pokles hodnot $(-\epsilon_p)$ (což je experimentálně pozorovatelné), byl tento empirický výraz zvolen jako vhodný pro výpočet parametru ϵ_p řešené diferenciální rovnice.

4.3.3 Okrajové podmínky

Pro model tvorby příze z plného výchozího válce vláken (viz kap.4.1) lze formulovat okrajové podmínky na základě této představy.

První okrajová podmínka

První okrajová podmínka vyjadřuje souosost výchozího válce a vyrobené příze. Platí :

$$\frac{R}{r=0} = 0 \quad (4.64)$$

Odtud, přímo dle definice derivace

$$\lim_{r \rightarrow 0} \frac{R}{r} = \lim_{r \rightarrow 0} \frac{dR}{dr} \quad (4.64)$$

Ze vztahu (4.34) a (4.39) pak dle předchozího vztahu:

$$\lim_{r \rightarrow 0} (1 \pm \varepsilon_1) = \lim_{r \rightarrow 0} \left(\frac{r}{R} \cdot \cos \beta \right) = \lim_{r \rightarrow 0} \frac{dr}{dR} \quad (4.65)$$

Ze (4.35) pak

$$\lim_{r \rightarrow 0} (1 \pm \varepsilon_2) = \lim_{r \rightarrow 0} \frac{dr}{dR} \quad (4.66)$$

Z posledních dvou vztahů lze zapsat

$$\lim_{r \rightarrow 0} (1 \pm \varepsilon_1) = \lim_{r \rightarrow 0} (1 \pm \varepsilon_2) \quad (4.67)$$

Což dosazením do (3.129), (3.130) vede na :

$$\lim_{r \rightarrow 0} \varepsilon_{11} = \lim_{r \rightarrow 0} \varepsilon_{22} \quad (4.68)$$

Protože evidentně dle (4.4) platí, že $\lim_{r \rightarrow 0} \frac{r}{R} = 1$, lze diferenciální rovnici (4.30) v okolí bodu $R=r=0$ vyjádřit vztahem :

$$\lim_{r \rightarrow 0} \frac{d\varepsilon_{22}}{dr} - \lim_{r \rightarrow 0} \left(\varepsilon_{33} \cdot \frac{r}{r} \right) = 0 \quad (4.69)$$

Dosazením z (4.41) se po úpravě nalezne

$$\lim_{r \rightarrow 0} \frac{d\bar{\varepsilon}_{22}}{dr} = 0 \quad (4.70)$$

Přitom $\lim_{r \rightarrow 0} u = u_0$ (nezaměňovat s koef. zaplnění výchozího válce u^0) je nutně vlastní hodnota různá od 0. Z (4.37) a (4.64) pak plyne

$$\lim_{r \rightarrow 0} \frac{r}{R} = \lim_{r \rightarrow 0} \frac{dr}{dR} \neq 0 \quad (4.71)$$

Pro další rozbor je vhodné nalézt vztah :

$$\begin{aligned} \lim_{r \rightarrow 0} \frac{d}{dr} \left(\frac{r}{R} \right) &= \lim_{r \rightarrow 0} \frac{1 - \frac{r}{R} \cdot \frac{dR}{dr}}{R} = \\ &= \lim_{r \rightarrow 0} \frac{- \frac{1 - \frac{r}{R} \cdot \frac{dR}{dr}}{R} \cdot \frac{dR}{dr} + \frac{r}{R} \cdot \frac{d^2 R}{dr^2}}{\frac{dR}{dr}} = \\ &= - \lim_{r \rightarrow 0} \frac{1 - \frac{r}{R} \cdot \frac{dR}{dr}}{R} + \lim_{r \rightarrow 0} \frac{\frac{r}{R}}{\frac{dR}{dr}} \cdot \frac{d^2 R}{dr^2} \end{aligned}$$

(Použito l'Hopitalova pravidla). Odtud :

$$\lim_{r \rightarrow 0} \frac{d}{dr} \left(\frac{r}{R} \right) = \frac{1}{2} \lim_{r \rightarrow 0} \left[\left(\frac{dr}{dR} \cdot \frac{r}{R} \right) \cdot \frac{d^2 R}{dr^2} \right]$$

a použitím (4.64) konečně

$$\lim_{r \rightarrow 0} \frac{d}{dr} \left(\frac{r}{R} \right) = \frac{1}{2} \lim_{r \rightarrow 0} \left(\frac{dr}{dR} \right)^2 \cdot \lim_{r \rightarrow 0} \left(\frac{d^2 R}{dr^2} \right) \quad (4.72)$$

Ze vztahu (4.34) za použití (4.39), (4.71) se nalezne:

$$\lim_{r \rightarrow 0} \frac{d\varepsilon_1}{dr} = \lim_{r \rightarrow 0} \frac{\left[\frac{d}{dr} \left(\frac{r}{R} \right) \right] \sqrt{1 + (2\pi r Z)^2} - \frac{r}{R} \frac{2\pi (2\pi r Z)^2}{2\sqrt{1 + (2\pi r Z)^2}}}{1 + (2\pi r Z)^2} = \lim_{r \rightarrow 0} \frac{d}{dr} \left(\frac{r}{R} \right) \quad (4.73)$$

takže vzhledem k (4.72)

$$\lim_{r \rightarrow 0} \frac{d\varepsilon_2}{dr} = \frac{1}{2} \lim_{r \rightarrow 0} \left(\frac{dr}{dR} \right)^2 \cdot \lim_{r \rightarrow 0} \left(\frac{d^2 R}{dr^2} \right) \quad (4.74)$$

Dále ze vztahu (4.35)

$$\lim_{r \rightarrow 0} \frac{d\varepsilon_2}{dr} = - \lim_{r \rightarrow 0} \left[\left(\frac{dr}{dR} \right)^2 \cdot \left(\frac{d^2 R}{dr^2} \right) \right] \quad (4.75)$$

Z rovnice (4.36) pak

$$\lim_{r \rightarrow 0} \frac{d\varepsilon_3}{dr} = 0 \quad (4.76)$$

Derivaci ε_{22} podle r lze dle (3.130) zapsat ve tvaru :

$$\frac{d\varepsilon_{22}}{dr} = \frac{\partial \varepsilon_{22}}{\partial \varepsilon_1} \cdot \frac{d\varepsilon_1}{dr} + \frac{\partial \varepsilon_{22}}{\partial \varepsilon_2} \cdot \frac{d\varepsilon_2}{dr} + \frac{\partial \varepsilon_{22}}{\partial \varepsilon_3} \cdot \frac{d\varepsilon_3}{dr} \quad (4.77)$$

Dosazením do tohoto vztahu výrazů (4.70), (4.74) až (4.76) se úpravou nalezne

$$\lim_{r \rightarrow 0} \left[\frac{d^2 R}{dr^2} \left(\frac{1}{2} \cdot \frac{\partial \varepsilon_{22}}{\partial \varepsilon_1} - \frac{\partial \varepsilon_{22}}{\partial \varepsilon_2} \right) \right] = 0 \quad (4.78)$$

Protože limita výrazu v kulatých závorkách nemusí být obecně rovna 0, plyne ze (4.78)

$$\lim_{r \rightarrow 0} \frac{d^2 R}{dr^2} = 0 \quad (4.79)$$

Tento výraz bude užitečný v numerickém řešení. Konečně je vhodné vyjádřit limitu derivace (dR/dr) ze vztahů (4.37) a (4.64) tvarem

$$\lim_{r \rightarrow 0} \frac{dR}{dr} = \sqrt{\frac{u_0}{u^0}} (1 + \varepsilon_p) \quad (4.80)$$

Rovněž tento výraz bude použit při numerickém řešení.

Druhá okrajová podmínka

Druhá okrajová podmínka vyjadřuje nulové napětí na okraji příze, tj. na okrajovém poloměru $r = r^*$. Jak z předchozích kapitol vyplývá, přesunou se zakrucováním na tento poloměr body, které ležely ve výchozím válci na jeho okraji R^* . Okrajová podmínka má tak tvar :

$$\frac{\tau_{22}}{r=r^*} = 0 \quad (4.81)$$

kde $R^* = R(r^*)$

Hodnotu R^* lze evidentně vyjádřit vztahem

$$R^* = \sqrt{\frac{T(1 + \varepsilon_p)}{\pi \cdot u^0 \cdot \rho_m}} \quad (4.82)$$

- kde : T lineární hmotnost příze
 μ^0 koef. zaplnění výchozího válce
 ρ_m měrná hmotnost vláknenného materiálu
 ε_p poměrné prodloužení zakrucováním ($\varepsilon_p \leq 0$)

4.3.4 Numerické řešení

Pro určení numerického řešení je vhodné nejprve shromáždit všechny potřebné vztahy do jednotného přehledu :

Přehled vztahů používaných pro numerické řešení

Tabulka 4.1

Ze vztahů č.	V z t a h	Označení v přehledu
(4.30) (4.45)	$c\tilde{e}_{22} + r \frac{d(c\tilde{e}_{22})}{dr} - c\tilde{e}_{33} \frac{r}{\rho} - c\tilde{e}_{44} \frac{r}{\rho} = 0$	I.
(3.129) (4.45) (4.46) (4.4) (4.39)	$\frac{r}{\rho} c\tilde{e}_{11} = 2 \frac{1+\varepsilon_1}{1+\varepsilon_2} \left[\frac{I_1}{\lambda^{A+1}} - J_1 \right] \frac{1}{1+(2\pi r Z)^2} \cdot \frac{1}{A+1}$ $\left. \begin{aligned} I_1 &= I(a, b, c, m) \\ J_1 &= J(a, b, n) \end{aligned} \right\} \text{kde: } a = (1+\varepsilon_1)^2 (1+\varepsilon_3)$ $b = (1+\varepsilon_2)^2 (1+\varepsilon_3)$ $c = 1 - \lambda$ $m = A + 1$ $n = -0,5$	II.
(3.130) (4.45) (4.46)	$c\tilde{e}_{22} = 2 \frac{1+\varepsilon_2}{1+\varepsilon_1} \left[\frac{I_2}{\lambda^{A+1}} - J_2 \right] \frac{1}{A+1}$ $\left. \begin{aligned} I_2 &= I(a, b, c, m) \\ J_2 &= J(a, b, n) \end{aligned} \right\} \text{kde: } a = (1+\varepsilon_2)^2 (1+\varepsilon_3)$ $b = (1+\varepsilon_1)^2 (1+\varepsilon_3)$ $c = 1 - \lambda$ $m = A + 1$ $n = -0,5$	III.

(4.41) (4.47)	$(c\tilde{\epsilon}_{33}) \frac{r}{\varrho} = K \frac{a(2\pi rZ)^2 [(1\epsilon_p) \sqrt{1+(2\pi rZ)^2} - 1]}{1+(2\pi rZ)^2}$	IV
(3.62)	$I(a,b,c,m) = \int_0^1 \frac{[\sqrt{a+t^2(b-a)} - c]^m}{\sqrt{a+t^2(b-a)}} dt$	V
(3.92) (3.93) (3.94) (3.95)	$J(a,b,n=-0,5) = \frac{1}{\sqrt{b-a}} \ln \frac{1+\sqrt{\frac{a}{b-a}}+1}{\sqrt{\frac{a}{b-a}}}; b>a$ $= \frac{1}{\sqrt{a}} \quad ; \quad b=a$ $= \frac{1}{\sqrt{a-b}} a \operatorname{arcsin} \sqrt{\frac{a-b}{a}}; b<a$	VI
(4.34) (4.39)	$1+\epsilon_1 = \frac{r}{R} \cdot \frac{1}{\sqrt{1+(2\pi rZ)^2}}$	VII
(4.35)	$1+\epsilon_2 = \frac{dr}{dR}$	VIII
(4.36) (4.39)	$1+\epsilon_3 = (1+\epsilon_p) \sqrt{1+(2\pi rZ)^2}$	IX

(4.37)	$\mu = \frac{d\mu^0}{1+\epsilon_p} \cdot \frac{R}{r} \cdot \frac{dR}{dr}$	X
(4.60)	$K = K_{\text{tah}} = k_q \cdot C_{\text{tah}} ; \quad r > r_n$ $= K_{\text{lak}} = (1-q) \cdot C_{\text{lak}} ; \quad r \leq r_n$	XI
(4.49)	$r_n = \frac{1}{25Z} \sqrt{\frac{1}{(1+\epsilon_p)^2} - 1}$	XII
(4.57) (4.55)	$k_q = 1 - q(1 - k_1) ;$ kde: $k_1 = \frac{\int_0^{\infty} (1+\epsilon_p) \mu r dr - \int_0^{\infty} \mu r dr}{\sqrt{1 + (25rZ)^2}}$ $\int_{r_n}^{\infty} (1+\epsilon_p) \mu r dr - \int_{r_n}^{\infty} \mu r dr$	XIII
(4.63)	$\epsilon_p = \frac{-4,261 \cdot 10^{-5} \cdot a_m^{1,80577}}{(\epsilon_m)^{0,233558}}$ kde: $a_m = \frac{Z}{\epsilon_m^{2/3}}$	XIV
(4.64)	$\frac{R}{r=0} = 0$	XV
(4.64) (4.65) (4.66) (4.67)	$\lim_{r \rightarrow 0} \frac{R}{r} = \lim_{r \rightarrow 0} \frac{dR}{dr} = \lim_{r \rightarrow 0} \frac{1}{1+\epsilon_1} =$ $= \lim_{r \rightarrow 0} \frac{1}{1+\epsilon_2} = \sqrt{\frac{d\mu^0}{\mu^0} (1+\epsilon_p)}$	XVI

(4.36) (4.39)	$\lim_{r \rightarrow 0} (1 + \varepsilon_3) = (1 + \varepsilon_p)$	XVII
(4.79)	$\lim_{r \rightarrow 0} \frac{d^2 R}{dr^2} = 0$	XVIII
(4.68) (3.99) (3.127) (4.45)	$\lim_{r \rightarrow 0} (c \varepsilon_{11}) = \lim_{r \rightarrow 0} (c \varepsilon_{22}) =$ $= \frac{2}{A+1} \cdot \frac{(1 + \frac{\varepsilon^A}{\lambda})^{A+1} - 1}{1 + \varepsilon^A}$ kde: $(1 + \varepsilon^A) = \sqrt{\frac{\sigma u^0}{\sigma u_0}}$ *)	XIX
(4.81)	$\left. \frac{c \varepsilon_{22}}{r} \right _{r=r^*} = 0$ $R^* = R(r^*)$	XX
(4.82)	$R^* = \sqrt{\frac{T(1 + \varepsilon_p)}{\varepsilon u^0 \rho_m}}$	XXI
(4.44)	$\lambda = 1 - \sqrt{\frac{\sigma u^0 \cdot 2\sqrt{3}}{\varepsilon}}$	XXII

*) Výraz $(1 + \varepsilon^A)$ byl v rovnici (3.99) (rovinný problém) roven $(1 + \varepsilon_1)$; po zavedení prostorové napjatosti je nutno použít $(1 + \varepsilon^A) = (1 + \varepsilon_1'')$ kde $(1 + \varepsilon_1'')$ je určeno z rovnice (3.112) jako $(1 + \varepsilon_1) \sqrt{1 + \varepsilon_3}$; v $r \rightarrow 0$ je nutno použít (XVII) a (XVI), což vede na uvedený konečný výraz.

V uvedeném přehledu vztahů se vyskytují následující konstanty :

T , resp. (cm)	... délková hmotnost příze, resp. její převrácená hodnota
Z	... zákrut příze
ρ_m	... měrná hmotnost vláken
A	konstanty, charakterizující deformovatelnost vláknenného kontinua
C_{tlak}	
C_{tah}	
q	... charakteristika kompenzace napětí ve vláknech přesunem z centrální do okrajové oblasti

Všechny ostatní veličiny a funkce jsou definovány na základě uvedených konstant vztahy (I) až (XXII).

Aby bylo možno numerický postup řešení snáze objasnit, předpokládejme prozatím, že též $K = \text{konst.}$ Přechod od $K = \text{konst.}$ ke K určenému funkcí (XI) bude popsán později.

V případě $K = \text{konst.}$ (tj. $K_{tah} = \text{konst.}$, $K_{tlak} = \text{konst.}$) je vztah (I) po dosazení obyčejnou diferenciální rovnicí 2. řádu, s okrajovými podmínkami (XV) a (XX); analytický tvar je typu $f(r, R, \frac{dr}{dr}, \frac{d^2R}{dr^2})$ a nelze jej upravit do žádné speciálnější formy (např. explicitně vyjádřit druhou derivací apod.). Tato skutečnost zužuje možnosti výběru vhodné numerické metody.

Při návrhu numerické metody je nejprve nutno vyřešit problém okrajových podmínek. Po rozboru a konzultaci s odbornými pracovníky MÚ ČSAV / 141 / byla zvolena

tzv. metoda střelby/ 4 /. Místo okrajové podmínky (XX) se provádí odhad derivace $\frac{dR}{dr}$ pro $r = 0$. Vzhledem k (XVI) je zřejmé, že tento odhad lze provést odhadem hodnoty μ_0 koeficientu zaplnění v ose příže ($r = 0$). Diferenciální rovnici (I) je nyní možno řešit s počátečními podmínkami (XV) a (XVI). Po výpočtu primitivní funkce je třeba ověřit, zda je splněna okrajová podmínka (XX). Není-li, je nutno volit jiný odhad a proces výpočtu opakovat s neustále novými odhady tak dlouho, až nalezená primitivní funkce splňuje s potřebnou přesností též okrajovou podmínku (XX). Z charakteru diferenciální rovnice vyplývá, že zvolí-li se příliš velký odhad μ_0 , pak $c\tilde{e}_{22} = 0$ pro $R < R^*$ a naopak. Odtud plyne možnost stanovit posloupnost odhadů hodnot μ_0 tak, aby nalézané primitivní funkce konvergovaly k požadovanému řešení.

Pozn.: Průběh výpočtů na počítači nevykazoval numeric-kou nestabilitu, která je jinak, dle / 4 /, při použití metody střelby poměrně snadno možná.

Vlastní řešení primitivní funkce je prováděno krokovou metodou (s ekvidistantním krokem).

První odhad funkční hodnoty R v dalším kroku je řešení extrapolací Lagrangeovým polynomem / 130 /, derivace $\frac{dR}{dr}$ je vypočítávána numericky dle vzorců v / 130 /, rovněž na bázi Lagrangeova polynomu (maximálně $n = 5$). Pro stanovení prvních bodů hledané primitivní funkce $R = R(r)$ je třeba použít vztahů (XVI) až (XIX). Vzhledem k (XVIII) je možno v okolí $r = 0$ považovat $\frac{R}{r} = \frac{dR}{dr} = konst.$ (průběh s nulovou křivostí).

Důsledkem dále je, že též $(c\tilde{e}_{11}) = (c\tilde{e}_{22}) = konst.$ a $d(c\tilde{e}_{22})/dr = 0$ (vše v okolí $r = 0$). V dalších krocích byla derivace $d(c\tilde{e}_{22})/dr$ též vypočítávána numericky.

Pozn.: Potřebné integrály typu (V) jsou počítány dle Simpsonova vzorce.

Celý program řešení byl zpracován pro stolní kalkulátor Hewlett Packard 9810A se 111 registry, 2036 programovými kroky a připojenou termotiskárnou a magnetopáskovou jednotkou. Program byl označen názvem DIROP a je uveden v příloze I.

Dosavadní nástin numerického postupu se dotýkal varianty, kdy $K = \text{konst.}$ Začlenění nekonstantního K , dle (XI) je řešeno vytvářením posloupnosti odhadů K , konvergující k požadované hodnotě.

První odhad K (tj. K_{tah} a K_{tlak}) je v tomto postupu vložen do programu DIROP a poté určena primitivní funkce a dle (X) též průběh koeficientů zaplnění v závislosti na r ($\mu = \mu(r)$), vše v tabelární formě. Takto zjištěná funkce $\mu = \mu(r)$ je nahrazována polynomem (8. stupně) obvyklým regresním výpočtem.

Regresní vyjádření $\mu = \mu(r)$ je poté dosazeno do (XIII), vypočteny hodnoty k_1, k_q a dle (XI) hodnoty K (tj. $K_{\text{tah}}, K_{\text{tlak}}$).

Takto získané hodnoty jsou porovnávány se vstupními odhady a není-li dosaženo potřebné shody, slouží jako nové odhady K do řešení (programu DIROP). Praktické výpočty ukazují, že tento postup je konvergentní a poměrně velmi rychle vede ke shodě vstupních odhadů s následně vypočtenými hodnotami K .

Pozn.: Je však třeba konstatovat, že uvedené numerické řešení je velmi náročné na strojní čas. Řešení dif. rovnice programem DIROP trvá přibližně 15 hodin (v závislosti na požadavcích přesnosti) a

vzhledem ke K je třeba výpočetní proces i při zkušenosti s numerickými hodnotami opakovat nejméně 3-4x. Nejkratší době řešení jedné příze je tak cca 50 hodin na výpočetní technice.

Závěrem je nutno ještě jednou zdůraznit, že jedním z výsledků výpočtu je radiální průběh koeficientu zaplnění μ ; způsob výpočtu je zřejmý ze vztahu (X).

5. EXPERIMENTÁLNÍ METODY A EXPERIMENTY

5.1 Volba měřených veličin a vztahů

Výsledkem dosud popsané teoretické koncepce je možnost stanovit výpočtem průběh primitivní funkce $R = R(r)$, dále radiální průběh všech (normálových) napětí (přesněji průběh jejich poměrů) a konečně průběh koeficientu zaplnění $\mu = \mu(r)$. Pro ověření teoretických závěrů se nejlépe hodí posledně jmenovaná závislost, neboť vyjadřuje rozložení hmoty vláken v útvaru příze. Ostatní závislosti lze experimentálně ověřit jen velmi obtížně, neboť buď jde o rozložení napětí a v útvaru tak malém, jako příze nelze dost dobře umístit čidla pro měření napětí nebo se jedná o měření funkce $R = R(r)$, což je ve své podstatě charakteristika procesu tvorby příze, který probíhá ve velmi malém prostoru a krátkém čase (v prostoru řádově 10^{-3} /mm³ / a čase řádově 10^{-3} /sec/).

Z uvedených důvodů bylo nutno orientovat ověření teor. modelu výhradně na funkci $\mu = \mu(r)$, která charakterizuje hotovou přízi. Z experimentálního hlediska se jeví principiálně 2 možnosti měření, a to :

- a) experimentální stanovení celého průběhu funkce $\mu = \mu(r)$
- b) experimentální stanovení některých charakteristických bodů funkce $\mu = \mu(r)$

V experimentech konaných v souvislosti s touto prací byly použity oba možné postupy. Varianta ad a) je zřejmě úplnější (a v tomto smyslu správnější), je však, jak bude uvedeno dále, experimentálně velmi pracná; proto byla realizována pouze u několika vybraných přízí.

Varianta ad b) je experimentálně poměrně snadná v případě, hledá-li se (jako charakteristický bod) poloměr r

příze (polovina průměru příze). Tato měření byla prováděna pro široký rozsah přízí.

5.2. Teorie použitých experimentálních metod a vyhodnocení jejich výsledků

5.2.1 Radiální průběh koeficientu zaplnění na přístroji OMEST

5.2.1.1 Princip metody

Radiální průběh koeficientu zaplnění není doposud běžně měřenou charakteristikou příze a proto se nelze zcela opřít o tradiční prověřené experimentální postupy.

Z dosud používaných metod studia vnitřní struktury příze se nabízí 2 alternativy experimentálního postupu, založené buď na proměření příčných řezů přízí nebo na principu sledování značeného vlákna v přízi jejím ponořením do vhodné imersní kapaliny (metoda Mortona, původně navržená v /117, 118/).

Metodu založenou na sledování příčných řezů použili úspěšně Hickie a Chaikin /60/ při studiu radiálního průběhu koeficientu zaplnění u česaných vlněných přízí. Značnou nevýhodou tohoto postupu je však jeho neobyčejná pracnost.

Poněkud méně pracná se jeví metoda založená na principu sledování značeného vlákna, zejména je-li využito aparatury OMEST.

Pozn.: Princip přístroje OMEST a jeho tradiční použití je popsáno v řadě publikací /77, 78, 81, 158, 159, 160, 161/. Zde se omezíme pouze na konstatování, že přístroj umožňuje m.j. získávat fotografie dvou

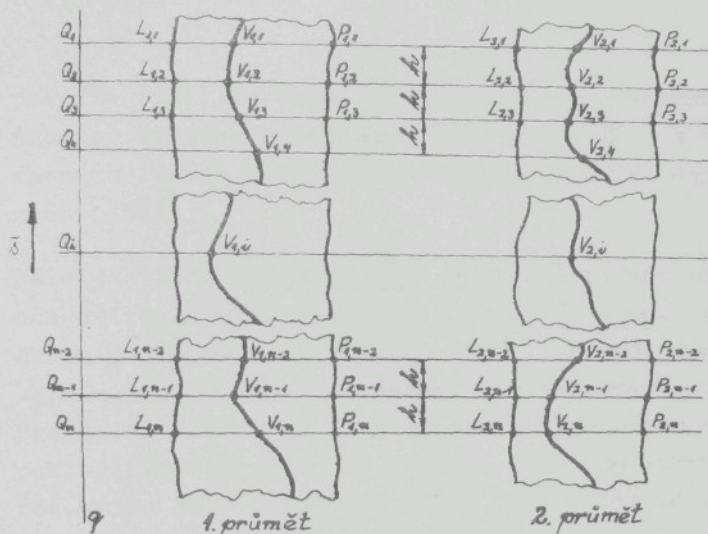
vzájemně kolmých průmětů značeného vlákna.

Vzájemně kolmé průměty značeného vlákna definují jeho uložení v prostoru - prostorovou křivku. (Tuto křivku je užitečné digitalizovat zvětšením fotografického negativu a proměřením souřadnic mnoha bodů.)

Z prostorových křivek mnoha značených vláken lze poté (vhodným výpočetním postupem) určit rozložení jejich hmoty kolem osy příze. Předpokládá-li se, že značená (tj. vhodně obarvená) vlákna se jako celek chovají v procesu tvorby příze stejně jako vlákna ostatní, pak rozložení hmoty značených vláken kolem osy příze je úměrné rozložení všech vláken kolem této osy; přitom celková hmotnost vláken v přízi plyne z lineární hmotnosti ("čísla") příze. Je tedy zřejmé, že proměřením dostatečného počtu značených vláken lze při znalosti lineární hmotnosti příze stanovit výpočtem radiální průběh koeficientu zaplnění.

Logika této úvahy vyplyne podrobněji z následující kapitoly.

5.2.1.2 Teorie metody



Obr. 5.1

Nechť jsou dány dva vzájemně kolmé průměty úseku příze, který obsahuje značené vlákno (obr.5.1). Dále nechť je dán směr $\vec{S}$ osy promítání (směr průsečnice kolmých průmětů). Pak bez újmy na obecnosti lze považovat každou přímku $Q_i \parallel \vec{S}$ za osu promítání. Na zvolené přímce lze stanovit body Q_i ($i = 1, 2, \dots, n$) tak, aby pro všechna $i > 1$ platilo $\|Q_{i-1} Q_i\| = h$ (ekvidistantní intervaly). Body $V_{1,i}, V_{2,i}$ ($i = 1, 2, \dots, n$) jsou průměty (první a druhý) bodů V_i značeného vlákna (obr.5.1). Označí-li se:

$$\left. \begin{aligned} \|V_{1i} Q_i\| &\equiv x_i \\ \|V_{2i} Q_i\| &\equiv y_i \\ \|Q_i Q_i\| &\equiv x_i \end{aligned} \right\} \quad (5.1)$$

pak lze říci, že každý bod V_i značeného vlákna je určen prostorovými souřadnicemi $(x_i, y_i, x_i) \equiv V_i$ a tyto souřadnice lze stanovit přímo odměřením příslušných úseků z obr. 5.1.

Dále je třeba určit osu o příze. Z názoru vyplývá, že osa příze by měla procházet "uprostřed" mezi čarami, ohraničujícími obrysy příze (t.j. 1.průmět mezi čarami L_{11}, L_{12} a P_{11}, P_{12} , 2.průmět mezi čarami L_{21}, L_{22} a P_{21}, P_{22}). Pro další řešení je zaveden ještě zjednodušující předpoklad, že osa příze je přímka. (Což lze připustit, neboť příze je v přístroji OMEST vedena pod mírným napětím, takže je "marovnaná") Pak postačí k definici osy příze definovat pouze její 2 body (zde označené dále jako bod A a B).

Pro potřeby této práce byla navržena následující definice bodů

- při značení obecně :

$$\left. \begin{aligned} \|Q_i L_{ki}\| &= l_{ki} \\ \|Q_i P_{ki}\| &= p_{ki} \end{aligned} \right\} \quad (5.2)$$

je :

$$\left. \begin{aligned} x_A &= \frac{1}{6} \sum_{i=1}^3 (l_{1i} + p_{1i}) \\ y_A &= \frac{1}{6} \sum_{i=1}^3 (l_{2i} + p_{2i}) \\ x_A &= x_2 = \|Q_1 Q_2\| \end{aligned} \right\} \quad (5.3)$$

$$\left. \begin{aligned} x_B &= \frac{1}{6} \sum_{i=0}^n (l_{2,i} + p_{2,i}) \\ y_B &= \frac{1}{6} \sum_{i=0}^n (l_{2,i} + p_{2,i}) \\ A_B &= A_{n-1} = \|Q_1, Q_{n-1}\| \end{aligned} \right\} \quad (5.4)$$

Pozn.: Průměr z právě 3 "levých" a 3 "pravých" obrysových bodů příze (Obr.5.1) není obecně nutný; průměr z výrazně většího počtu bodů by však neúnosně prodlužoval i tak časově značně náročný experiment.

Rovněž zde je zřejmé, že potřebné délky lze odečíst přímo z grafického záznamu - obr.5.1.

Body A,B definovaná osa příze (přímka $o \equiv AB$) dovoluje provést některou ortogonální transformaci souřadnic takovou, aby v nové souřadné soustavě (x', y', z') byla osa o příze identická se souřadnou osou z' .

V novém souřadném systému budou ovšem body V_i (obr.5.1) značeného vlákna mít nové souřadnice označené :

$$V_i \equiv (x'_i, y'_i, z'_i) \quad (5.5)$$

a body A,B osy příze budou mít souřadnice

$$\begin{aligned} A &\equiv (0, 0, z'_A) \\ B &\equiv (0, 0, z'_B) \end{aligned} \quad (5.6)$$

Pravoúhlé kartézské souřadnice (x', y', z') lze převést do cylindrických známými převodními vztahy

$$\begin{aligned} r &= \sqrt{(x')^2 + (y')^2} \\ \operatorname{tg} \varphi &= \frac{y'}{x'} \\ f &= z' \end{aligned} \quad (5.7)$$

takže konečné body V_i značeného vlákna lze vyjádřit cylindrickými souřadnicemi

$$V_i = (r_i, \varphi_i, f_i) \quad (5.8)$$

Další úvahy vychází důsledně z těchto cylindrických souřadnic. Dále se pro každou dvojici bodů V_i, V_{i+1} (viz obr.5.1) používá název dvojice sousedních bodů.

V dalším rozboru jsou tedy podrobněji sledovány průběhy křivky vlákna mezi sousedními body $V_i = (r_i, \varphi_i, f_i)$,

$$V_{i+1} = (r_{i+1}, \varphi_{i+1}, f_{i+1})$$

Jsou-li známy souřadnice sousedních bodů, lze navrhnout vhodnou metodu interpolace křivky vlákna mezi nimi. Nejobecnější teoretickou křivkou vlákna, která byla v literatuře dosud popsána, je křivka na bázi ideálně migračního modelu (např. / 169 /), kterou lze charakterizovat následující dvojicí diferenciálních rovnic :

$$r \, dr = K \, d\varphi \quad (5.9)$$

$$\operatorname{tg} \beta = 2\pi r Z = \frac{r \, d\varphi}{df} \quad (5.10)$$

kde K je konstanta úměrnosti a Z značí zákrut příze.

Pozn.: Rovnice (5.9) není zcela přesná; je pouze aproximací složitějšího výrazu, který vede integrací na eliptický integrál. V / 169 / je však dokázá-

no, že vztah typu (5.9) je pro všechny možné praktické případy dostatečně přesný. Vztah (5.10) srovnaj též s rovnicí (4.38).

Integrací (5.9) a (5.10) se získá :

$$r^2 = k\varphi + c \quad (5.11)$$

$$2\pi Z f = \varphi + g \quad (5.12)$$

přičemž $k, c, g, (2\pi Z)$ jsou vhodné konstanty.

Protože křivka vlákna v přízi, popsaná rovnicemi (5.11), (5.12) musí procházet oběma sousedními body K_i, K_{i+1} , lze konstanty vztahů vypočítat dosazením souřadnic uvedených bodů. Výpočtem se nalezne :

$$k = \frac{\Delta r^2}{\Delta \varphi} \quad (5.13)$$

$$c = r_i^2 - \varphi_i \frac{\Delta r^2}{\Delta \varphi} \quad (5.14)$$

$$g = f_i \frac{\Delta \varphi}{\Delta f} - \varphi_i \quad (5.15)$$

$$2\pi Z = \frac{\Delta \varphi}{\Delta f} \quad (5.16)$$

kde je použito označení

$$r_i^2 - r_{i+1}^2 = \Delta r^2 \quad (5.17)$$

$$\varphi_i - \varphi_{i+1} = \Delta \varphi \quad (5.18)$$

$$f_i - f_{i+1} = \Delta f \quad (5.19)$$

Dosazením uvedených výrazů do (5.11) (5.12) se nalezne:

$$r^2 - r_i^2 = (\varphi - \varphi_i) \frac{\Delta r^2}{\Delta \varphi} \quad (5.20)$$

$$f - f_i = (\varphi - \varphi_i) \frac{\Delta f}{\Delta \varphi} \quad (5.21)$$

což je ideálnímu migračnímu modelu odpovídající interpolace křivky vlákna mezi sousedními body

Derivuje-li se nyní (5.30) a (5.21), získá se :

$$2r dr = \frac{\Delta r^2}{\Delta \varphi} d\varphi \quad (5.22)$$

$$df = \frac{\Delta f}{\Delta \varphi} d\varphi \quad (5.23)$$

a odtud přímo plyne

$$2r dr = \frac{\Delta r^2}{\Delta f} df \quad (5.24)$$

Pro diferenciál délky vlákna lze v cylindrických souřadnicích psát :

$$dl = \sqrt{(r d\varphi)^2 + (dr)^2 + (df)^2} \quad (5.25)$$

což dosazením z (5.22), (5.23), (5.24) vede na tvar :

$$dl = \sqrt{4r^2 \left(\frac{\Delta \varphi}{\Delta r^2}\right)^2 + 4r^2 \left(\frac{\Delta f}{\Delta r^2}\right)^2 + 1} dr \quad (5.26)$$

$\Delta r^2 \neq 0$

Pokud je speciálně $\Delta r^2 = 0$ potom je z (5.22) též

$dr = 0$, takže (5.25) v tomto případě přejde použitím (5.23) do tvaru :

$$dl = \sqrt{r^2 \left(\frac{\Delta \varphi}{\Delta \xi} \right)^2 + 1} d\xi ; \quad \begin{matrix} \Delta r^2 = 0 \\ \Delta \xi \neq 0 \end{matrix} \quad (5.27)$$

Pozn.: Jak je zřejmé, je v případě vyhodnocování popísaného experimentu podmínka $\Delta \xi \neq 0$ vždy splněna.

Integrací dl (v případě (5.26) pouze numerickou) lze stanovit délku vlákna v daných mezích. (Konstanty $\Delta \varphi, \Delta r^2, \Delta \xi$ jsou přitom určeny ze souřadnic sousedních bodů vztahy (5.17), (5.18), (5.19)).

Pro stanovení radiálního průběhu koeficientu zaplnění je třeba zjišťovat, jak jsou délky úseků vláken, ohraničených sousedními body K_i, K_{i+1} , rozloženy po poloměru. K tomuto účelu je třeba rozdělit poloměr r ($r \geq 0$) na třídní intervaly (výhodně s konstantní šířkou třídy). Hranice tříd jsou označeny symboly r_j ($j = 0, 1, 2, \dots$) a o obecném poloměru r platí, že je ve třídě $(j+1)$, jestliže $r \in \langle r_j, r_{j+1} \rangle$.

Sousední body K_i, K_{i+1} značeného vlákna mají souřadnice poloměru r_i, r_{i+1} . Pro další řešení je třeba označit :

$$\begin{aligned} r_i &= r_{\min} ; \quad r_{i+1} = r_{\max} ; \quad \text{pro } r_i < r_{i+1} \\ r_i &= r_{\max} ; \quad r_{i+1} = r_{\min} ; \quad \text{pro } r_i > r_{i+1} \\ r_i &= r_{i+1} = r_{\text{konst.}} ; \quad \text{pro } r_i = r_{i+1} \end{aligned} \quad (5.28)$$

Nejprve je řešen případ $r_i \neq r_{i+1}$. V tomto případě je interval $(r_{\min}, r_{\max})$ nenulový a může obsahovat též hranice r_j některých tříd. Z hodnot $r_{\min}, r_{\max}$ a hranic tříd $r_j \in (r_{\min}, r_{\max})$ lze vytvořit rostoucí posloupnost:

$$r_{\min}, r_k, r_{k+1}, \dots, r_{k+m}, r_{\max}$$

kde $r_j \in (r_{\min}, r_{\max})$ pro přirozená $j = k, k+1, \dots, k+m$. Pak interval $\langle r_{\min}, r_k \rangle$ přísluší do k -té třídy, interval $\langle r_k, r_{k+1} \rangle$ do třídy $(k+1)$ atd až interval $\langle r_{k+m}, r_{\max} \rangle$ do třídy $(k+m+1)$. Pro výpočet délek vláken, jež se vyskytují v jednotlivých třídách, je nyní nutno vypočítávat integrály (z (5.26)):

$$\begin{aligned} l_k &= \int_{r=r_{\min}}^{r_k} dl \\ l_{k+1} &= \int_{r=r_k}^{r_{k+1}} dl \\ &\vdots \\ l_{k+m} &= \int_{r=r_{k+m}}^{r_{\max}} dl \end{aligned}$$

a zařazovat (načítat) je do tříd $k, k+1, \dots, k+m+1$.

Pozn.: Jestliže v intervalu $(r_{\min}, r_{\max})$ neleží ani jedna hranice třídy, postačí samozřejmě stanovit a začlenit tuto délku do třídního intervalu, který obsahuje interval $(r_{\min}, r_{\max})$. Totéž platí pro případ, kdy $r_i = r_{i+1} = r_{\text{konst.}}$ s tím, že je třeba integrovat vztah (5.27).

Pokud se doposud popsaný postup provede pro všechny úseky (ohraňované sousedními body V_i, V_{i+1}) všech proměřených značených vláken, nalezne se jako výsledek histogram rozložení délek značených vláken po poloměru příze, který je východiskem pro určení radiálního průběhu koeficientu zaplnění.

Pro získaný histogram rozložení délek je použito následující značení : i ... poř.číslo intervalu, L_i ... celková délka značených vláken nasčítaná v i -tém třídním intervalu, Δr ...šířka třídy (konstantní), $\bar{r}_i$... střed třídy. Lineární hmotnost proměřeného úseku příze délky a a váhy G je

$$T = \frac{G}{a} \quad (5.29)$$

Označí-li se dále : ν ... podíl značených vláken v přízi ($1 > \nu \approx 0,005$), F_v ...plocha kolmého řezu průměrným vláknem, ρ_m ... měrná hmotnost vláken, lze váhu G příze vyjádřit tvarem

$$G = \frac{F_v \rho_m \sum_i L_i}{\nu} \quad (5.30)$$

Z těchto výrazů plyne

$$\frac{F_v \rho_m}{\nu} = \frac{T a}{\sum_i L_i} \quad (5.31)$$

Váha G_i vláken v i -té třídě je pak zřejmě při použití (5.31) :

$$G_i = \frac{F_v \rho_m L_i}{\nu} = L_i \frac{T a}{\sum_i L_i} \quad (5.33)$$

a jejich objem V_{ri} lze vyjádřit vztahem:

$$V_{ri} = L_i \frac{T a}{\rho_m \sum_i L_i} \quad (5.34)$$

Celkový objem V_i i -té třídy je :

$$V_i = 2\pi \bar{r}_i \Delta r \cdot a \quad (5.35)$$

Konečně koeficient zaplnění μ_i i-té třídy je z (5.34) a (5.35) určen výrazem :

$$\left. \begin{aligned} \mu_i &= \frac{V_{ri}}{V_i} = \frac{L_i}{\alpha \cdot \bar{r}_i} \\ \alpha &= \frac{1}{T} \cdot 2\pi \rho_m \cdot \Delta r \cdot \sum_i L_i \end{aligned} \right\} \quad (5.36)$$

Tento vzorec dovoluje vypočítat koeficienty zaplnění v jednotlivých třídách poloměru.

- Pozn.: 1) Jestliže absolutní chyba měření L_i je nezávislá na i , pak je ze vzorce (5.36) zřejmé, že chyba vyčísleného koeficientu zaplnění klesá hyperbolicky s růstem r_i ; Hodnoty budou tedy nejméně přesné v okolí kolem osy příze (v prvních poloměrových třídách)
- 2) Odvozený postup zpracování experimentálních výsledků předpokládá, že plocha příčného řezu F_v vlákna je nezávislá na i , t.j. že v přízi nedochází k rozdělení hrubých a jemných vláken po poloměru.

Popsaným způsobem vyhodnocení lze dále získat též některé jiné charakteristiky příze. První z nich je "zákrut" a jeho distribuce. Pojem "zákrut" lze interpretovat dvojím způsobem :

- jako počet otáček vložených do jednotky délky příze, t.j. veličina příslušná celé přízi (obvyklá interpretace v prádelnické technologii a textilním zkušebnictví)
- jako podíl tangenty úhlu β , jenž přísluší diferenciálu vybraného vlákna, ku obvodu kruhu, na němž diferen-

ciál leží (neboť z (5.10) resp. (4.38) plyne

$$Z = \frac{\tan \beta}{2\pi r}.$$

Tento zákrut lze z (5.10) vyjádřit též vztahem

$Z = \frac{d\varphi}{2\pi} / d\delta$, odkud je diferenciální charakter jeho definice zřejmý. Takto definovaný zákrut přísluší tedy každému bodu každého vlákna příze a v jedné přízi může být bod od bodu různý.

Pro zjednodušení symboliky nebyly dosud tyto dva druhy zákrutu rozlišeny v označení. Z hlediska experimentů je však třeba je důsledně odlišovat. Zákrut ad a) bude proto označován Z_p , zákrut definovaný ad b) bude značen symbolem Z_d . Vzorec (5.10) je pak ovšem nutno zapsat přesněji tvarem

$$\tan \beta = 2\pi r Z_d = \frac{r d\varphi}{d\delta} \quad (5.37)$$

Použitím (5.23) se pak nalezne

$$Z_d = \frac{\tan \beta}{2\pi r} = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{\Delta \varphi}{\Delta \delta} \quad (5.38)$$

Tento vztah vyjadřuje a umožňuje z experimentů vyčís-
lit hodnotu zákrutu Z_d příslušnou úseku značeného vlák-
na mezi sousedními body (K_i a K_{i+1}).

Vyjádří-li se hodnoty Z_d pro všechny úseky všech sle-
dovaných (značených) vláken, je možno vytvořit histogram
rozložení četností Z_d v přízi.

Pozn.: V případě šroubovicového či ideálně migračního
modelu platí pro všechny body všech vláken jed-
né modelové příze $Z_d = Z_p = \text{konst}$; histogram rozlo-
žení četností Z_d tak může posloužit k testování
adekvátnosti těchto modelů s reálnou přízí.

Další veličinou, kterou lze z naměřených hodnot stanovit je veličina, již lze nazvat charakteristika migrace α . Průmět migrujícího vlákna do roviny kolmé k přízi protíná kružnici s poloměrem r pod úhlem φ , přičemž je známo, že platí

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{dr}{r d\varphi} \quad (5.39)$$

Dosazením z (5.22) lze nalézt

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\Delta r^2}{2r^2 \Delta \varphi} \quad (5.40)$$

a charakteristika migrace α je definována vztahem:

$$\alpha = r^2 \cdot \operatorname{tg} \varphi = \frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta r^2}{\Delta \varphi} \quad (5.41)$$

Pozn.: 1) V případě ideálního migračního modelu je $|\alpha|$ nezávisle pro všechny body (úseky) všech vláken v přízi konstanta. Proto α resp. $|\alpha|$ může též dobře sloužit k testování adekvátnosti migračního modelu s reálnou přízí.

2) V této práci nejsou histogramy charakteristiky migrace α vyčísleny; podle popsané metodiky jsou však stanoveny např. v / 22 /.

V této kapitole popsany způsob vyhodnocení souřadnic bodů značených vláken byl zpracován (pro počítač HP 9810 A se snímačem děrné pásky) do programu VSOP ("Vnitřní struktura OMESTEM proměřené příze"), který byl poté používán ve všech dále uvedených konkrétních případech měření. Program VSOP je uveden v příloze II.

5.2.1.3 Experimentální postup

Provedení celého experimentu se v principu skládá z následujících operací :

- 1) Výroba experimentální příze
- 2) Příprava příze pro OMEST
- 3) Fotografování značených vláken v přístroji OMEST a vyvolání negativů
- 4) Vyhodnocení negativů do souřadnic bodů značených vláken
- 5) Děrování a výpočetní zpracování dat programem VSOP.

V následujícím textu jsou uvedené operace podrobněji popsány :

1) Výroba experimentální příze

Pro analýzu na přístroji OMEST je používána příze, obsahující značená (obarvená) vlákna v množství cca 0,5 vlákna z celkového počtu vláken v řezu. Tato koncentrace značených vláken zaručuje, že v experimentální přízi se značená vlákna vyskytují z větší části po jednom a lze tak jejich průběh dobře sledovat. Pro barvení bavlněných vláken se v průběhu experimentů nejlépe osvědčila metodika dle Militké / 116 / (60 minut při 50°C v lázni 10% Levafixschwarz E-RL, 50 g/l NaCl, 25% Slovaton O; poté dalších 60 minut při 50°C s přídavkem 25 g/l sody). Tento postup barvení za nízkých teplot zaručuje minimální změny vlastností ba-vláken. Obarvená vlákna je vhodné nejprve na (laboratorním) mykacím stroji zpracovat s trojnásobným množstvím neznačených (původních) vláken. Touto operací se jednak rozvolní chomáčky obarvených vláken a dále se vytvoří surovina s cca 25%-ním obsahem barvených vláken, se kterou se dále lé-

pe pracuje. Potřebné množství této směsi se pak ve formě chomáček pokládá na obvyklým způsobem vytvořenou stůčku, vstupující do mykacího stroje. Výsledkem je pramen s požadovanou koncentrací ojednocených značených vláken. Následující operace výpředu příze se již nijak neliší od obvyklého technologického postupu.

2) Příprava příze pro OMEST

Jak již bylo řečeno, pracuje OMEST na principu Mortonovy metody zprůhlednění příze ve vhodné imersní kapalině. V případě celulózových vláken byl jako nejvhodnější imersní kapalina vytypován metylsalycilát (salycilan metylnatý). Z principu metody vyplývá, že v uvažovaném experimentu působí pigmenty a látky výrazně jiného indexu lomu rušivě; tyto substance, vyskytující se zejména na povrchu vláken je proto třeba odstranit. Pro bavlněná vlákna je autory přístroje navržena metoda zpracování příze v kyselině mravenčí a ZnCl_2 / 146 /. Lepšího efektu je však dosaženo, zpracuje-li se experimentální příze postupem dle Houdkové / 67 /. (Máčení 30 minut v petroléteru, 18°C , propláchnutí H_2O , poté máčení 30 minut v lihu 99%, 18°C , praní, sušení. Následuje lázeň NaOH 28-32°Bé s Merceritem 20 ml/l, nejprve za teploty -4°C , po dobu 1 minuty, za teploty 19°C , 2 min, propláchnuto vodou a odmáčknutí a nakonec za teploty -1°C , 1 min, a neutralizace a praní). Pro viskózová vlákna lesklá (bez matovacího prostředku) není nutné provádět žádné speciální přípravy vzorku.

3) Fotografování značených vláken v přístroji OMEST a vyvolání filmových negativů

Založení příze do přístroje, manipulace a fotografová-

ní lze provádět dle návodu výrobce. Z možných variant se jako nejlepší osvědčila : clona 22, okulárový filtr N3, tvarový filtr N3, tmavý filtr na hranolech, expozice 3,5 sec s intenzitou světla indikovanou OMESTEM jako 23 mA.

Vyvolání negativů je třeba provádět v tvrdé vývojce. (Byl používán filmový materiál DOKUMENT čsl.výroby).

4) Vyhodnocení negativů do souřadnic bodů značených vláken

Protože na negativu je obraz příze se značeným vláknem zvětšen pouze 2,5x, je pro vyhodnocení třeba dále jej výrazně zvětšit; maximální zvětšení je však omezeno velikostí zrna získaného negativu. Jako vhodné se ukazuje 100násobné zvětšení negativu (t.j. 250-ti násobné zvětšení příze). Tohoto zvětšení je možno dosáhnout např. na "profilprojektoru" (projekčním mikroskopu). Vhodnou konstrukční úpravou, popsanou v / 22, 140 / lze na tomto zařízení snadno potřebné souřadnice proměřit.

5) Děrování a výpočetní zpracování dat

Souřadnice bodů je třeba převést na děrnou pásku, se kterou pracuje program VSOP. Protože jde o značný počet dat, nelze vyloučit chyby vzniklé omylem při děrování. Další chyby tohoto typu mohou též vzniknout omylem při odečtu a zápisu dat do protokolů. Takové chyby mohou způsobit znehodnocení konečných výsledků, a proto je užitečné děrnou pásku ještě před rozběhnutím programu VSOP testovat. Data, která vybočují z obvyklých mezí je nutno prověřit a pokud, vzhledem k souřadnicím předchozích a následujících bodů, lze předpokládat, že naděrovaná hodnota je omyl, je nutno ji opravit (buď správnou hodnotou z protoko-

lu, a je-li omyl již zde, interpolací ze sousedních hodnot).

Pozn.: Testaci děrné pásky lze doporučit i z hlediska strojního času, neboť každý omyl na děrné pásce způsobuje, nepřihlížíme-li ke kvalitě výsledků, též značné prodloužení doby výpočtu.

Vlastní výpočet programem VSOP je plně řízen počítačem a nevyžaduje žádné zvláštní zásahy.

5.2.2 Průměr příze

5.2.2.1 Princip metody

Pojem "průměr" příze je velmi starého data; zavádí jej např. Marschik / 113 / v r.1904 i práce ještě starší. Vlastní definice tohoto pojmu není však doposud obecně stanovena a přijata a dle / 122 / : "lze dokázat, že průměr příze jako takový postrádá z hlediska fyzikálního smyslu. Fyzikální smysl nabývá teprve usančním zavedením dalších vhodných definičních podmínek".

Z intuitivního hlediska je průměr příze považován za střední hodnotu průměru jistého myšleného nejmenšího válce, ve kterém je soustředěna podstatná část hmoty příze, t.j. za střední hodnotu průmětu příze. Hranice průmětu příze jsou pak definovány usancí, danou použitou experimentální metodou. Dle této koncepce sestává měření průměru příze z následujících operací :

- 1) Vytvoření průmětu příze (ve zvětšení)
- 2) Proměření průmětu příze
- 3) Výpočet střední hodnoty z naměřených průmětů (výpočet průměru příze).

Vlastní vytvoření průmětu příze není z experimentálního hlediska principiálně obtížné a spočívá ve vložení příze do rovnoběžného svazku světelných paprsků. Rovněž poslední operace - výpočet střední hodnoty - se provádí zcela obvyklým způsobem. Experimentální problémy se koncentrují zejména do operace proměření průmětu příze, kde vzniká otázka kam položit hranici průmětu. Jestliže totiž střední část příze pohlcuje prakticky veškerý světelný tok (na stínítku se zobrazí jednoznačně jako stín), pak okraje příze se projevují jako přechod z plného stínu do plného světla přes řadu polostíňů. (Srovnej např. / 27, 801.) Hranice průmětu příze je proto třeba definovat určitou intenditou světelného toku.

V SVÚT Liberec byly rozpracovány 2 experimentální metody, založeno na popsaném principu. První z nich je založena na využití projekčního mikroskopu ("profilprojektoru"). Příze je zde umístěna v zorném poli tohoto zařízení a zvětšený obraz jejího průmětu se promítá na matnici. Rozhraní světla a stínu je určováno subjektivně, posouzením obrazu na matnici laborantkou; podrobněji viz / 174 /. Druhá metoda byla použita při vývoji speciálního přístroje na měření příčných rozměrů přízí. Přístroj označený D-METER vytváří svou speciální optikou zvětšený obraz příze, jehož hranice jsou indikovány fotometricky; viz / 148 /. Vzájemné porovnání obou naznačených postupů vykazalo velmi dobrou shodu zjištěných průměrů / 148 /.

Pozn.: V textu se měření označují jako "měření profilprojektorem" a "měření D-METEREM".

Naznačeným postupem lze stanovit průměry u přízí různých jemností a zákrutů. Pro vyhodnocení experimentálních výsledků je však třeba podrobnější rozbor, jehož logický

princip je navržen v / 122, 126 /
a též v následující kapitole.

5.2.2.2 Teorie vyhodnocení

Pro charakteristiku přádních zákrutů příze se obvykle vyjadřuje tzv. zákrutový koeficient (zákrutová míra). Obecně lze zákrutový koeficient α_q definovat vztahem:

$$\alpha_q = Z \cdot T^q \quad (5.42)$$

kde: Z zákrut příze

T jemnost příze ("váhové číslo")

q vhodný exponent

Položí-li se $q = 0,5$, je α_q typ koeficientu dle Koechlina, pro $q = 2/3$ je α_q typ koeficientu dle Phrixe. Dále se předpokládá / 74, 109 /

že nezávisle na jemnosti příze vyjadřuje stejný zákrutový koeficient α_q , stejný úhel stoupání povrchové šroubovice příze. Označí-li se průměr příze d , a úhel β na povrchu příze β_a , nalezne se pro $\tan \beta_a$ vztah (srovnej s rovnicí (4.38)) ve tvaru :

$$\tan \beta_a = \pi d Z = \pi d \alpha_q T^{-q} \quad (5.43)$$

Celkový koeficient zaplnění μ_c příze je koeficient zaplnění prostoru uvnitř válce s průměrem d .

Pozn.: Mezi radiálním koeficientem zaplnění $\mu(r)$ a celkovým koeficientem zaplnění μ_c platí dle / 107, 121 / definiční vztah :

$$\mu_c = \frac{8}{d^2} \int_0^{d/2} \mu(r) \cdot r \cdot dr \quad (5.44)$$

Je-li ρ_m měrná hmotnost vláken, plyne z definice jemnosti příze

$$T = \pi d^2 \mu_c \rho_m \quad (5.45)$$

Dosazením za d z (5.43) do (5.45) lze psát

$$T = \pi \frac{t g^2 \beta_d \cdot T^{2g}}{g^2 \cdot \alpha_g^2} \cdot \mu_c \rho_m = \left[\frac{t g^2 \beta_d}{\alpha_g^2} \cdot \frac{\rho_m}{g} \right] T^{2g} \mu_c \quad (5.46)$$

$$\mu_c = T^{1-2g} \left[\frac{\alpha_g^2}{t g^2 \beta_d} \cdot \frac{\pi}{\rho_m} \right] \quad (5.47)$$

Bere-li se v úvahu výše citovaný předpoklad, že β_d je funkcí pouze α_g , potom závorka posledního výrazu je funkcí pouze α_g . Výraz (5.47) je tedy možno formálně zapsat

$$\mu_c = T^{1-2g} \cdot f(\alpha_g) \quad (5.48)$$

Připustí-li se dále, že funkce $f(\alpha_g)$ je (v technologicky reálném rozsahu zákrutů) dobře aproximovatelná obecnou parabolou typu

$$f(\alpha_g) = b \cdot \alpha_g^c \quad (5.49)$$

$b, c \dots$ vhodné konstanty,
pak platí

$$\mu_c = T^{1-2g} \cdot b \cdot \alpha_g^c \quad (5.50)$$

Dosazením výrazu (5.50) do (5.45) a úpravou je možno vyjádřit průměr příze vztahem

$$d = \frac{1}{\sqrt{\pi} \rho_m b} \cdot \frac{T^g}{a^c} \quad (5.51)$$

Z (5.42) lze psát

$$a_g^c = a_{23}^c \cdot T^{g-\frac{2}{3}}$$

a při zavedení

$$k = \frac{1}{\sqrt{\pi} \rho_m b} \quad (5.52)$$

$$a_{23} = a \quad (5.53)$$

$$g - cg + \frac{2}{3}c = g \quad (5.54)$$

platí konečně

$$d = k \frac{T^g}{a^c} \quad (5.55)$$

Protože u proměřovaných přízí je jejich jemnost T a zákrutový koeficient dle Phrixe a znám a průměr d je měřen, lze (linearizovanou regresí) stanovit regresní konstanty k , g , c .

Pozn.: Zkušenosti s tímto způsobem vyhodnocení vykazují dobré výsledky, zejména pro střední a jemné příze. Pro hrubé příze je vhodné zpřesnit vztah (5.55)

dodatečně stanoveným korekčním členem.

5.2.3 Ostatní vlastnosti příze

Ostatní vlastnosti příze jako jemnost a přádní zákrut jsou proměřovány způsobem, který předepisují platné ČSN. Rozsah měření je vždy v souladu s ČSN. (Často je volen podstatně větší než předepisuje příslušná norma).

5.3 Naměřené experimentální výsledky

5.3.1 Experimentálně zjišťovaný radiální průběh koeficientu zaplnění

Radiální průběh koeficientu zaplnění byl experimentálně zjištěn u dvou přízí bavlněných a jedné příze vypředené z viskóзовých vláken. Některé základní charakteristiky použitého experimentálního materiálu jsou uvedeny v následující tabulce 5.1 :

TAB. 5.1

	Rozměr	Příze H	Příze M	Příze V
Surovina		M III MADAB 37 mm	M III MADAB 37 mm	VSs Spolana lesklá 60mm 3,5 den
Jmenovitá jemnost příze	<i>tex</i>	25	50	33,33
	<i>m·g⁻¹</i>	40	20	30
Jmenovitý zákrutový koeficient (Phrix)	<i>m¹ tex^{2/3}</i>	5500	8000	5500
	<i>m^{-5/3} g^{2/3}</i>	55	80	55
Způsob výroby		mykaná klas. předaná 1)	mykaná klas. předaná 2)	mykaná klas. předaná 3)
Výpřed proveden v		VŠST	VŠST-SVÚT	VÚB
Skutečná jemnost příze	<i>tex</i>	25,2	56,6	33,5
	<i>m·g⁻¹</i>	39,7	17,7	29,9
Skutečný zákrut	<i>m¹</i>	632,1	544,2	543,0
Skuteč. zákrutový koeficient (Phrix)	<i>m¹ tex^{2/3}</i>	5430	8010	5640
	<i>m^{-5/3} g^{2/3}</i>	54,3	80,2	56,4

1) Podrobněji popsáno v /67/

2) Podrobněji popsáno v /116/

3) Podrobněji popsáno v /22, 140/

Parametry vlastního experimentu jsou uvedeny
v tabulce 5.2

TAB. 5.2

	Příze H	Příze M	Příze V
Příprava příze postupem dle kap. 5.2.1.3	ano	ano	bez úpravy
Zvětšení příze na negativu	2,5	2,5	2,5
negativu v projekč- ním mikroskopu	100	100	100
celkové příze	250	250	250
Souřadnice vláken proměřeny s krokem na ose příze			
na matnici	25,- mm	25,- mm	25,- mm
na negativu	0,25 mm	0,25 mm	0,25 mm
na přízi	0,10 mm	0,10 mm	0,10 mm
Počet kroků na 1 zákrut příze	15,82	18,38	18,42
Úhlové pootočení šroubovice při posuvu o 1 krok	22,76°	19,59°	19,55°
Max.chyba odečtu souřadnic na matnici	+ 1 mm - 0,004mm	+ 1 mm - 0,004mm	+ 1 mm - 0,004mm
Počet proměřených vláken	60	60	80
Počet proměř.bodů na 1 vlákně	100	100	100
Celkový počet pro- měřených bodů	6000	6000	8000

Výběr značených vláken byl prováděn zcela náhodně. Foto-
grafováno bylo každé značené vlákno, které se vyskytva-
lo v daném úseku příze osamoceně a nebylo ohnuto do
"háčku". Proměřené souřadnice každého vlákna byly zazna-
menány do protokolu.

Protokoly od vláken jedné příze byly rozděleny
do dvou skupin a údaje z každé skupiny protokolů byly
vyděrovány na samostatnou děrnou pásku. Vyhodnocovacím
programem VSOP byla pak vyhodnocena jednak každá páska
samostatně a dále obě dohromady. (V dalším textu jsou
děrné pásky označovány písmenem příslušné příze a čís-
lem 1 nebo 2.) Výpočtem byly stanoveny :

- rozložení délek vláken v středních inter-
valech poloměru
- hodnoty koeficientu zaplnění v třídních
intervalech
- četnost výskytu zákrutů Z_d (viz (5.38)).

Zjištěné hodnoty jsou uvedeny v tabulkách 5.3., 5.4,
5.5.

Rozložení délek vláken x) xx)

TAB. 5.3

Poř. čís.	Třídní interval /mm/	Střed třídy /mm/	Příze H			Příze M			Příze V		
			H 1	H 2	H celk.	M 1	M 2	M celk.	V 1	V 2	V celk.
1	0 -0,01	0,005	298	348	646	195	136	330	726	477	1203
2	0,01-0,02	0,015	1603	1926	3528	1332	855	2187	3160	2765	5925
3	0,02-0,03	0,025	3832	3398	7230	2333	1782	4115	4903	3598	8502
4	0,03-0,04	0,035	5246	5493	10739	3345	2621	5966	7461	5833	13294
5	0,04-0,05	0,045	6537	6844	13380	3643	3127	6770	9940	7958	17898
6	0,05-0,06	0,055	8206	9276	17483	4113	3640	7753	8817	8443	17260
7	0,06-0,07	0,065	9910	9998	19909	5367	3947	9314	8384	10112	18496
8	0,07-0,08	0,075	10068	10279	20346	5952	3864	9816	9162	11062	20224
9	0,08-0,09	0,085	9729	8033	17762	6011	5209	11220	8476	9849	18326
10	0,09-0,10	0,095	9981	5545	15526	6690	5307	11997	6799	8622	15421
11	0,10-0,11	0,105	6515	4604	11118	7828	5623	13451	6394	7215	13609
12	0,11-0,12	0,115	3368	2977	6344	6973	6881	13855	3636	5715	9351
13	0,12-0,13	0,125	2089	1622	3711	7132	7149	14281	2711	3699	6410
14	0,13-0,14	0,135	1024	1115	2138	6198	6353	12551	1944	3179	5123
15	0,14-0,15	0,145	580	1033	1614	5550	6228	11778	1383	2340	3723
16	0,15-0,16	0,155	353	799	1152	4250	5938	10188	920	1566	2486
17	0,16-0,17	0,165	197	514	711	3260	4753	8012	810	1104	1914
18	0,17-0,18	0,175	155	389	543	2191	3139	5330	633	769	1402
19	0,18-0,19	0,185	123	258	381	1331	2211	3541	583	674	1257
20	0,19-0,20	0,195	91	228	318	925	1364	2288	650	780	1430
Součet			79904	74677	154581	84621	80125	164746	87493	94762	182254

x) Uvedené hodnoty jsou 250x zvětšeny proti skutečnosti (zvětšení OMESTU a projekčního mikroskopu)

xx) V této tabulce jsou uvedeny pouze zaokrouhlené hodnoty (počítač pracuje v plo-
voucí čáře s hodnotami prvních 9 nenulových číslic)

TAB. 5.4

Radiální koeficient zaplnění x)

Poř. čís.	Třídní interval /mm/	Střed třidy /mm/	Příze H			Příze M			Příze V		
			H 1	H 2	H celk.	M 1	M 2	M celk.	V 1	V 2	V celk.
1	0 -0,01	0,005	0,199	0,249	0,223	0,277	0,202	0,240	0,589	0,357	0,468
2	0,01-0,02	0,015	0,357	0,459	0,406	0,630	0,427	0,531	0,854	0,690	0,769
3	0,02-0,03	0,025	0,512	0,486	0,500	0,662	0,534	0,600	0,795	0,539	0,662
4	0,03-0,04	0,035	0,501	0,561	0,530	0,678	0,561	0,621	0,865	0,624	0,740
5	0,04-0,05	0,045	0,486	0,544	0,514	0,574	0,520	0,548	0,896	0,662	0,774
6	0,05-0,06	0,055	0,499	0,603	0,549	0,530	0,496	0,513	0,650	0,574	0,611
7	0,06-0,07	0,065	0,510	0,550	0,529	0,586	0,455	0,522	0,523	0,583	0,554
8	0,07-0,08	0,075	0,419	0,490	0,469	0,563	0,386	0,477	0,495	0,552	0,525
9	0,08-0,09	0,085	0,383	0,338	0,361	0,502	0,459	0,481	0,404	0,434	0,420
10	0,09-0,10	0,095	0,351	0,209	0,282	0,499	0,418	0,460	0,290	0,340	0,316
11	0,10-0,11	0,105	0,207	0,157	0,183	0,523	0,401	0,467	0,247	0,257	0,252
12	0,11-0,12	0,115	0,098	0,093	0,095	0,430	0,448	0,439	0,128	0,186	0,158
13	0,12-0,13	0,125	0,056	0,046	0,051	0,405	0,428	0,416	0,088	0,111	0,100
14	0,13-0,14	0,135	0,025	0,030	0,027	0,326	0,352	0,339	0,058	0,088	0,074
15	0,14-0,15	0,145	0,013	0,025	0,019	0,271	0,322	0,296	0,038	0,035	0,037
16	0,15-0,16	0,155	0,008	0,018	0,013	0,194	0,287	0,239	0,024	0,038	0,031
17	0,16-0,17	0,165	0,004	0,011	0,007	0,140	0,216	0,177	0,020	0,025	0,022
18	0,17-0,18	0,175	0,003	0,008	0,005	0,089	0,134	0,111	0,015	0,016	0,016
19	0,18-0,19	0,185	0,002	0,005	0,003	0,051	0,089	0,070	0,013	0,014	0,013
20	0,19-0,20	0,195	0,002	0,004	0,003	0,037	0,052	0,043	0,014	0,015	0,014

x) V tabulce jsou uvedeny zaokrouhlené hodnoty

Četnost zákrutů

TAB. 5.5

Poř. čís.	Třídní interval zákrutů /m ⁻¹ /	Střední hodnota třídy /m ⁻¹ /	Příze H celkem	Příze M celkem	Příze V celkem
1	0 - 100	50	192	135	356
2	100 - 200	150	221	157	442
3	200 - 300	250	251	212	719
4	300 - 400	350	364	360	1081
5	400 - 500	450	515	516	1192
6	500 - 600	550	671	777	1039
7	600 - 700	650	636	836	766
8	700 - 800	750	641	758	568
9	800 - 900	850	579	605	362
10	900 - 1000	950	574	466	236
11	1000 - 1100	1050	341	331	134
12	1100 - 1200	1150	259	231	97
13	1200 - 1300	1250	185	166	84
14	1300 - 1400	1350	124	93	39
15	1400 - 1500	1450	85	60	38
16	1500 - 1600	1550	63	50	24
17	1600 - 1700	1650	36	35	20
18	1700 - 1800	1750	48	23	12
19	1800 - 1900	1850	24	19	16
20	1900 - 2000	1950	17	16	7
Vyhodno- cení	Stř. hodnota /m ⁻¹ /		727,68	720,63	526,18
	Směrod. odch. /m ⁻¹ /		367,15	330,72	299,30
	Var. koef. / % /		50,46	45,89	56,88
	Chyba (α=5%) /m ⁻¹ /		9,51	8,48	6,90

Rozsah prováděného měření u každé příze je možno posoudit stanovením korelace mezi výsledky radiálního koeficientu zaplnění, které byly dosaženy u první a druhé skupiny dat. Z tab. 5.4 jsou vypočteny následující hodnoty:

Korelace mezi	H1, H2 ^{x)}	M1, M2	V1, V2
Korel. koef. $ r $	0,9585	0,9369	0,9589
Determinace r^2	0,9187	0,8777	0,9194

x) Výpočet proveden pouze pro poloměry menší než 0,15, t.j. pro koeficienty zaplnění větší než 0,01; při zařazení všech hodnot z tab. 5.4 se nalezne $|r|=0,9731$, $r^2=0,9470$.

xx) Definice koeficientu determinace je uvedena např. v / 143 /.

Výše zjištěných korelačních koeficientů mezi výsledky z obou pásek dosahují hodnot, které umožňují považovat provedený rozsah měření u každé příze za dostačující.

Pozn.: Z technického hlediska představuje uvedené proměření každé příze minimálně 250 pracovních hodin a cca 26 hodin výpočetní techniky (varianta Hewlett Packard 9810A).

5.3.2 Výsledky měření průměrů bavlněných přízí mykaných

Pro zjištění průměrů bavlněných mykaných přízí bylo proměřeno 24 přízí ze speciálního výpředu (jednotná surovina, technika a technologie) a dalších 25 přízí z průmyslové výroby. Popis těchto přízí a získané numerické hodnoty jsou uvedeny v /122, 123, 126, 174/.

Naměřeným hodnotám odpovídá regresní funkce

$$d = 5,5531 \cdot a_m^{0,25727} \cdot (\text{čm})^{-0,60007} =$$

$$= 0,28765 \cdot a_t^{0,25727} \cdot T_t^{0,60007} \quad (5.56)$$

kde : d /mm/, průměr příze
 a_m /m^{-5/3} · g^{2/3} /, Zákrutový koeficient dle Phrixe,
vztažený k čm
 čm /m · g⁻¹ / číslo metrické příze
 a_t /m⁻¹ · tex^{2/3} / zákr.kosf. dle Phrixe, vztažený
k T_t
 T_t /tex/, délková hmotnost příze

Koeficient korelace této regresní funkce činil $|r| = 0,9147$
a platnost funkce je omezena

$$a_m \in \langle 45; 75 \rangle \quad (a_t \in \langle 4500; 7500 \rangle)$$

$$\text{čm} \in \langle 10; 68 \rangle \quad (T_t \in \langle 14,706; 100 \rangle)$$

Stanovená regresní funkce (5.56) vykazuje odchylky od
měřených hodnot zejména u hrubších přízí a pro čm < 10,
($T_t > 100$) je již zcela nepoužitelná.

Proměřením hrubších čísel přízí / 147 / byly získány do-
datečné informace, na jejichž základě byla formulována
regresní funkce ve tvaru :

$$d = 5,5531 \cdot a_m^{0,25727} \cdot (\text{čm})^{-0,60007} \left[1 + 2,09133 (\text{čm})^{-1,4750} \right] =$$

$$= 0,28765 \cdot a_t^{0,25727} \cdot T_t^{0,60007} \left[1 + 7,86 \cdot 10^{-5} T_t^{1,4750} \right] \quad (5.57)$$

Uvedená rovnice vystihuje průměr příze přesněji a je
v dalším textu vzata za základ pro porovnání teoretických a
experimentálních výsledků.

6. POROVNÁNÍ TEORIE S EXPERIMENTY; DISKUSE

6.1 Volba konstant pro aplikaci teorie na bavlněné příze mykané

Aby bylo možno provést konkrétní numerický výpočet radiálního průběhu koeficientu zaplnění v přízi, je nutno nalézt hodnoty potřebných konstant (parametrů). Jejich přehled je uveden v následující tabulce 6.1 a vyplývá z kap. 4.3.2 a 4.3.3.

TAB. 6.1

Konstanty charakterizující hmotu vláken	ρ_m
Konstanty definující přízi	Z T resp. čm
Konstanty charakterizující vláknenný svazek jako mechanické kontinuum	λ α^0 A C_{tak}, C_{lak}
Konstanty charakterizující vnitřní procesy v přízi	φ

Měrná hmotnost ρ_m bavlněných vláken je v literatuře uváděna různě, v závislosti na autorovi, způsobu měření a provenienci bavlněné suroviny. Uváděné hodnoty se však ve všech případech příliš neliší od hodnoty $\rho_m = 1,5 \text{ g.cm}^{-3} = 1500 \text{ kg.m}^{-3}$.

Zákrut Z příze, stejně jako její délková hmotnost T (resp. čm) jsou definiční veličiny, určující vypočítávanou přízi.

Koeficient zaplnění α^0 nenapjatého vláknenného svazku je možno odhadnout proměřením koeficientu zaplnění různých

"volných" útvarů z bavlněných vláken (rouna, prameny apod.)
Prováděná orientační měření oscilovala kolem hodnoty
 $\mu^0 = 0,01$.

Poměr délek λ , definovaný vztahem (3.18) je možno vyjádřit výpočtem z (4.44), což při $\mu^0 = 0,01$ vede dle (4.45) na hodnotu $\lambda = 0,894992486$.

Konečně je třeba stanovit hodnoty konstant A , C_{tah} , C_{tlak} a konstanty q . Na rozdíl od všech předchozích nelze hodnoty těchto konstant stanovit ani teoretickým výpočtem, ani (prozatím) přímým měřením mechanického chování vlákenného svazku. Jediná dostupná informace o těchto hodnotách je implicitně skryta v experimentálně zjištěném radiálním průběhu koeficientu zaplnění proměřených bavlněných přízí H a M (kap. 5.3.1). Jinými slovy, je-li teorie správná, pak existují hodnoty výše uvedených konstant takové, že teoretický a experimentální průběh koeficientu zaplnění se ztotožní. Stanovení hodnot konstant pak může být provedeno na principu práce / 127 /. Původně byl stanoven a priori předpoklad, že $q = 0$ (t.j. "přebytek" délky vláken v centru příze nekompenzuje "nedostatek" délky vláken v okrajových částech - viz kap. 4.3.2) a dále se předpokládalo $C_{\text{tah}} = C_{\text{tlak}} = C$.

V tomto případě bylo řešení redukováno na vyhledání pouze dvou konstant A a C . Výsledky teoretických výpočtů byly nejprve konfrontovány s experimentálními údaji příze H a byla nalezena dobrá shoda teorie a experimentu pro $A = -1,5$, $C = C_{\text{tah}} = C_{\text{tlak}} = 120\ 000$. (Výsledky tohoto propočtu jsou popsány a graficky znázorněny v / 129 /). Z takto získaných výsledků vyplývalo m.j., že snížení koeficientu zaplnění v centrální části příze (tab.5.4) je způsobeno ztláčováním šroubovic v centru příze, t.j. interpretace, která byla navržena již v / 18 /.

Jakmile však byla s těmito konstantami propočtena příze M, byly teoretické křivky v příkrém rozporu s experimentálními výsledky. Výpočty bylo dále zjištěno, že neexistuje žádná jiná dvojice konstant A a C, která by experimentální výsledky u příze M dobře popsala. Proto bylo nutno ustoupit od původních předpokladů a vycházet z $q \neq 0$, $C_{\text{tah}} \neq C_{\text{tlak}}$. Bylo zjištěno, že dobře vyhovují (až na úzkou oblast kolem osy příze) hodnoty $A = -1,5$, $C_{\text{tah}} = 144\ 054,1471$, $C_{\text{tlak}} = 0$, $q = 0,6265664160$.

Pro bavlněné příze mykané je tedy používána následující soustava konstant

TAB. 6.2

$$\begin{aligned} \rho_m &= 1,5 \text{ g.cm}^{-3} = 1\ 500 \text{ kg.m}^{-3} \\ \mu^0 &= 0,01 \\ \lambda &= 0,894992486 \\ A &= -1,5 \\ C_{\text{tah}} &= 144\ 054,1471 \\ C_{\text{tlak}} &= 0 \\ q &= 0,6265664160 \end{aligned}$$

- Pozn.: 1) Seskání příze (resp. "prodloužení" příze ϵ_p) je, pokud není výslovně uvedeno jinak, vypočítáváno ze vzorce (4.63) - dle Afončikova.
- 2) Jak plyne ze (4.60) je v případě $C_{\text{tlak}}=0$ též $K_{\text{tlak}}=0$. Ze (4.59) je pak zřejmé, že též $E_{3 \text{ tlak}}=0$.

6.2 Porovnání výsledků teorie a experimentů pro experimentální příze H a M

Teoretické výsledky, odpovídající přízím H a M byly vypočteny na základě použití konstant z tab. 6.2; za jemnost příze a zákrut byly dosazeny skutečné hodnoty, odpovídající tab. 5.1. Pro numerické integrální procedury byl použit Simpsonův vzorec pro 100 kroků; krok řešení činil u příze H 0,0066 /mm/, u příze M 0,015 /mm/. Výpočet byl proveden programem DIROP. Výsledek numerického řešení je zaznamenán v příloze III, IV.

Aby bylo možno posoudit relace mezi teorií a experimentem, bylo nejprve nutno z teoreticky vypočtených hodnot interpolací (Newtonův polynom) stanovit hodnoty koeficientu zaplnění na poloměrech, odpovídajících středům tříd v experimentálním měření. Interpolací byly stanoveny následující teoretické hodnoty :

TAB. 6.3

Poloměr r /mm/	Teor.koef.zaplnění μ (interpolovaný)	
	příze H	příze M
0,005	0,543459	0,511402
0,015	0,542316	0,509795
0,025	0,540249	0,507511
0,035	0,537159	0,505450
0,045	0,532983	0,501920
0,055	0,527630	0,498698
0,065	0,514854	0,497042
0,075	0,479000	0,487021
0,085	0,408865	0,479698
0,095	0,299876	0,473512
0,105	0,191522	0,464653
0,115	0,111390	0,448295
0,125	0,063621	0,417287

TAB.6.3 - pokračování

0,135	0,022772	0,367507
0,145	-	0,301686
0,155	-	0,208462
0,165	-	0,157292
0,175	-	0,107756
0,185	-	0,073905
0,195	-	0,052205

Teoretické hodnoty koeficientu zaplnění je možno porovnat s experimentálně zjištěnými hodnotami (tab.5.4). Graficky je toto porovnání zřejmé z grafů příloh III a IV. Pro statistické porovnání byly vypočteny parametry lineární regrese mezi teoretickými (tab. 6.3) a experimentálními (tab. 5.4) hodnotami koeficientů zaplnění. Byly zjištěny hodnoty, uvedené v následující tabulce:

TAB. 6.4

Příze	Použité body pro lin. regresi	Veličiny regrese x)		Vypočtená hodnota
		název	symbol	
H	všechny	korel.koef.	ρ	0,8986
		koef.determ.	ρ^2	0,8074
		směrnice	k	0,8599
		úsek	q	0,0108
	prvé tři ($r < 0,03\text{mm}$)	korel.koef.	ρ	0,9392
		koef.determ.	ρ^2	0,8821
		směrnice	k	-81,2468
		úsek	q	44,4129
	čtvrtý a další ($r > 0,03\text{mm}$)	korel.koef.	ρ	0,9961
		koef.determ.	ρ^2	0,9921
		směrnice	k	1,0095
		úsek	q	-0,0121

TAB. 6.4 - pokračován

M	všechny	korel.koef.	$ p $	0,912463
		koef.determ.	p^2	0,832590
		směrnice	k	0,991434
		úsek	q	0,004158
	prvých pět ($r < 0,05mm$)	korel.koef.	$ p $	0,630067
		koef.determ.	p^2	0,396985
		směrnice	k	- 26,058681
		úsek	q	13,725359
	šestý a další ($r > 0,05mm$)	korel.koef.	$ p $	0,995596
		koef.determ.	p^2	0,991211
		směrnice	k	0,992987
		úsek	q	0,003296

x) Byla počítána regrese typu

$$\mu_{\text{experimentální}} = k \cdot \mu_{\text{teoretická}} + q$$

Je třeba poznamenat, že mohou obecně nastat 4 mezní varianty :

- varianta I : $|p|=1, k=1, q=0$
- varianta II : $|p|=1, k \neq 1$ nebo $q \neq 0$ nebo obojí současně
- varianta III : $|p| \neq 1, k=1, q=0$
- varianta IV : $|p| \neq 1, k \neq 1$ nebo $q \neq 0$ nebo obojí současně

Varianta I vyjadřuje absolutní shodu teorie a experimentu. Varianta II vyjadřuje lineární závislost teorie a experimentu, avšak teorie se s experimentem neshoduje. Varianta III vyjadřuje rovnoměrný rozptyl experimentálních hodnot kolem teorie. Varianta IV vyjadřuje, že experiment je rozptýlen kolem teorie nerovnoměrně.

Pozn.: Lze do jisté míry říci, že (zlineárního hlediska) varianty I a II jsou "přesné" a varianty I a III jsou "správné".

Posoudí-li se nyní výsledky tab. 6.4 naznačeným způsobem, je zřejmé, že u příze H pro $r > 0,03$ mm a u příze M pro $r > 0,05$ mm existuje dobrá shoda mezi teorií a experimentem (výsledky se blíží variantě I). Naproti tomu v osové oblasti těchto přízí ($r < 0,03$ mm, resp. $r < 0,05$ mm) se teorie s experimentálními výsledky neshoduje (výsledky odpovídají variantě IV).

Z výsledků všech bodů pak u obou přízí lze konstatovat, že shoda teorie s experimentem je převažujícím rysem zkoumané relace.

Pozn.: Objasnění rozdílů v osové části příze bude popsáno v části diskuse.

Průměr d_H příze H byl stanoven výpočtem z experimentálně zjištěného vztahu (5.57) a činil $d_H = 0,220192$ mm; odtud $d_H/2 = 0,110096$ mm. Tato hodnota poloměru příze odpovídá v teoretickém i experimentálním průběhu u příze H hodnotě koeficientu zaplnění $\mu \approx 0,14$. Průměr d_M příze M nelze stanovit z (5.57), neboť zákrutový koeficient ($a_m = 80,1$) vybočuje z mezí platnosti tohoto vztahu. Proto byl průměr d_M vypočten z údajů proměřených na negativěch z OMESTU (průměrná vzdálenost bodů L a P - viz obr. 5.1). Výpočtem ze 720 údajů byla určena hodnota $d_M = 0,341$ mm, t.j. $d_M/2 = 0,171$ mm. Také této hodnotě poloměru příze vyhovuje v teoretickém i experimentálním průběhu u příze M hodnota $\mu \approx 0,14$.

x) Program a výpočet na HP 9810 provedla D. Militká

Je tedy pravděpodobné, že měřené poloměry $d/2$ přízí leží na hodnotě koeficientu zaplnění $\mu = 0,14$. Shoda poloměrů obou přízí na jediné hladině μ je logicky očekávatelná a skutečnost, že jí odpovídají teoretické křivky je fakt, svědčící ve prospěch ^{shody} teorie s experimentem.

6.3 Porovnání teorie s experimentálními hodnotami průměrů přízí

Pro porovnání teoretických výsledků s hodnotami průměrů, resp. poloměrů byly nejprve programem DIROP propočteny příze různých jemností a zákrutů. Pro každou byl výpočet, vzhledem k potřebě nalézt správnou hodnotu K (viz kap. 4.3.4) několikrát opakován, až K do výpočtu vložené a K vyhodnocené z výsledků výpočtu byly dostatečně blízké. Dosažená přesnost je charakterizována tabulkou 6.5.

TAB.6.5

Příze		K vložené do výpočtu	K ^{xx)} z výsledku výpočtu	k ₁ ^{x)}
T_t / tex /	a_t /m ⁻¹ tex ^{2/3}			
100	5000	81000	79934	0,289604
100	6000	63500	63411	0,106545
100	7000	47700	47553	-0,069145
100	8000	33800	33670	-0,222964
50	5000	108600	108512	0,606223
50	6000	95000	95392	0,460862
50	7000	79500	80052	0,290915
50	8000	66000	65000	0,124149
25	5000	124000	124217	0,780227
25	5500	120000	119999	0,73350

TAB. 6.5 - pokračování

25	6000	116700	116468	0,694363
25	7000	108000	107499	0,59500
25	8000	98300	98210	0,492087
16,66	5000	129500	129689	0,840851
16,66	6000 ⁺)	124000	124240	0,780486
příze H		120000	120884	0,743298
příze M		60000	60026	0,069040
příze V ^{xxx})		111400	111843	0,643123

x) Definice viz vzorec (4.55) a vzorec XIII v tab.4.1

xx) Viz též vzorec (XI), (XIII) v tab. 4.1 - kde
 $K = K_{tah}$

xxx) Vypočítáváno jako mykaná bavlněná příze

+) Pro vyšší hodnoty a program DIROP divergoval - řešení je principiálně možné, avšak vyžadovalo by zaměnit numerický algoritmus výpočtu.

Pozn.: Hodnoty K lze aproximovat též regresní funkcí

$$K = b_0 + b_1 T_t + b_2 a_t + b_3 T_t a_t + b_4 T_t^2 a_t + b_5 T_t a_t^2 + b_6 T_t^2 a_t^2 ; \quad (6.1)$$

kde : T_t ... jemnost příze v /tex/

a_t ... zákrutový koeficient v /m⁻¹tex^{2/3}/

Regresní konstanty nabývají hodnoty :

$$b_0 = 1,587546875 \cdot 10^5$$

$$b_1 = 3,195496094 \cdot 10^2$$

$$b_2 = -2,345429688$$

$$b_3 = -2,519954590 \cdot 10^{-1}$$

$$b_4 = 2,14069019 \cdot 10^{-4}$$

$$b_5 = -2,583312981 \cdot 10^{-6}$$

$$b_6 = 9,733440743 \cdot 10^{-8}$$

Lineární regrese mezi (průměrnými) hodnotami K v tab. 6.5 a vypočtenými hodnotami z rovnice (6.1) má následující tvar :

$$K_{\text{rovnice (6.1)}} = 1,000910 \cdot K_{\text{tab.6.5}} + 15,249537$$

korel.koef.: 0,999065

koef.determinace: 0,998130

Odtud je zřejmá velmi dobrá shoda tabulky 6.5 s regresní rovnicí (6.1). Tabulka K vypočtená z regresní rovnice je uvedena v příloze XXI

Vlastní výsledky přepočtu jednotlivých přízí jsou uvedeny v přílohách III až XX, včetně grafického znázornění průběhů koeficientů zaplnění.

Poloměry odpovídající hodnotě koeficientů zaplnění $\mu = 0,14$ jsou vypočteny numericky a uvedeny společně s dalšími charakteristickými poloměry v tabulce 6.6.

TAB. 6.6

Příze		Poloměr	Poloměr	Poloměr	Poloměr
T_t /tex/	$a_t^{-1} \cdot \text{tex}^{2/3}$	$r_{0,14}$ pro $\mu = 0,14$ /mm/	$r_1 = \frac{d}{2}$ z empir. rovnice (5.56) /mm/	$r_2 = \frac{d}{2}$ z empir. rovnice (5.57) /mm/	Poloměr neutrální r_n z rovnice (4.49) /mm/
100	5000	0,266910	0,254906	0,272763	0,169430
100	6000	0,259499	0,243204	0,260241	0,167736
100	7000	0,254561	0,233748	0,250122	0,166888
100	8000	0,251828	0,225854 ^x	0,241675 ^x	0,166686
50	5000	0,173511	0,168200	0,172438	0,097944
50	6000	0,165288	0,160455	0,164498	0,096952
50	7000	0,158498	0,154190	0,158076	0,096341
50	8000	0,154273	0,149030 ^x	0,152785 ^x	0,096043
25	5000	0,113278	0,110924	0,111930	0,056743

TAB.6.6 - pokračování

25	5500	0,10927	0,10826	0,10924	0,056385
25	6000	0,106658	0,105841	0,106801	0,056092
25	7000	0,10120	0,10173	0,10265	0,055706
25	8000	0,097130	0,098291 ^{x)}	0,099182 ^{x)}	0,055550
16,66	5000	0,087682	0,086984	0,087418	0,041240
16,66	6000	0,081831	0,082980	0,083394	0,040750
příze H		0,110654	0,109108	0,110109	0,056751
příze M		0,16830	0,16036 ^{x)}	0,16521 ^{x)}	0,105930
příze V ^{xx)}		0,129599	0,128090	0,129874	0,070827

x) Použité empirické rovnice negarantují platnost pro tak vysoký zákrut; u příze M viz též měření OMESTEM - závěr kapitoly 6.2

xx) Vypočítáváno jako mykaná bavlněná příze

Mezi poloměrem $r_{0,14}$ a r_1 byla nalezena lineární regrese (bez přízí H, M, V) :

$$r_1 = 0,886986 r_{0,14} + 0,011487$$

korel.koef. : 0,998378

koef.determinace : 0,996758

Mezi poloměrem $r_{0,14}$ a r_2 byla nalezena lineární regrese (bez přízí H, M, V) :

$$r_2 = 0,985712 \cdot r_{0,14} + 0,001721$$

korel.koef. : 0,998783

koef.determinace : 0,997568

Odtud je zřejmé, že poloměry r_2 z rovnice (5.57) jsou téměř identické s poloměry $r_{0,14}$ (směrnice se přibližuje jedné, absolutní člen nule a korel.koeficient jedné).

Pozn.: Bez přízí $T_t=100$ tex, které vykazují menší odchylky se dokonce nalezne korel. koeficient v hodnotě 0,999628.

Naproti tomu rozdíl mezi r_1 a $r_{0,14}$ je již významnější. Tyto výsledky jsou však v souladu s kap. 5.3.2, kde je z experimentálního hlediska považována rovnice (5.57) oproti (5.56) za správnější. Z normálního porovnání je možno učinit závěr, že vypočtené hodnoty poloměrů ($r_{0,14}$ pro $\mu = 0,14$) dobře korespondují s experimentálními výsledky (rovnice (5.57)).

6.4 Diskuze

Výsledky, nalezené v této práci nabízí k diskuzi řadu námětů z oblasti vnitřní struktury příze a některé poznatky mají pravděpodobně obecnější platnost.

Předmětem neustálého zájmu, ale i sporů /29/ je např. problém centrální oblasti příze. Experimentální výsledky zjištěné zde u přízí H, M a V (tab. 5.4 a grafy v přílohách III, IV, V) ukazují jednoznačně, že v úzké oblasti kolem osy příze je poměrně nízká hodnota koeficientu zaplnění μ . Tentýž jev pozorovali též Hickie a Chaikin /60/ u česaných vlněných přízí. To nasvědčuje existenci jisté "klenby" ve vnitřní struktuře, jež zabraňuje průniku napětí z vnějších vrstev do centra.

V principu lze navrhnout dva mechanismy, jež mohou vést ke vzniku této "klenby". První z nich vychází z úvahy, že šroubovice v centru příze stlačované, vytváří radiální síly ve směru od osy příze (hypo-

téza^{x)} Budnikova /18/). Tento způsob vysvětlení, předpokládaný dříve též autorem /129/, se však ukázal málo pravděpodobný (kap. 6.1). Reálnější se jeví druhé vysvětlení založené na úvaze o tvorbě příze ze stužky (popisují jej též Hickie a Chaikin /60/).

Zde navržený teoretický model "klenbu" nezahrnuje ani neřeší. Bylo by však v další etapě zajímavé pokusit se numericky vyřešit dif. rovnici radiální rovnováhy za podmínky $\mathcal{E}_{22} = 0$ pro $r=0$, jak je naznačeno v kap. 4.1; dosáhlo by se tak zřejmě alespoň částečné řešení tohoto problému.

Koeficient zaplnění směrem od osy příze prudce stoupá a v krátké vzdálenosti dosahuje maximální hodnoty ($\frac{\partial \mu}{\partial r} = 0$)

Pozn.: Experimentální průběhy u přízí H, M, V (tab. 5.4 a grafy příloh III, IV, V) vykazují v těchto místech kolísavý průběh. Příčiny by bylo nutné studovat podrobněji, může však jít o nahodilé chyby experimentu, které pro malá r je třeba předpokládat (viz pozn.1 za rovnicí (5.36)).

Poloměr s nejvyšší hodnotou μ nazvěme "poloměr klenby". V případě ostře kroucené hrubé příze (příze M, příloha IV) je zřejmé, že jeho hodnota (ležící v intervalu 0,02 - 0,05 mm) je výrazně nižší než hodnota neutrálního poloměru r_n ($r_n = 0,105930$ mm). Lze tedy

x) Pojem vědecké hypotézy je z obecného hlediska velmi přehledně objasněn v práci /71/.

učinít závěr, že "poloměr klenby" a neutrální poloměr r_n jsou dva různé charakteristické poloměry. U přízí jemných či málo zakroucených však leží oba poloměry blízko sebe a experimentální výsledky (příze H) mohou budít zdání jejich identity (která je podstatou hypotézy Budnikova (op.cit.)).

- Pozn.: 1) Experimentální výsledky příze V leží co do relací obou poloměrů mezi přízí M a H
2) O rozdílnosti obou poloměrů svědčí i průběhy zjištěné Hickie a Chaikinem (op.cit.).

Zamítnutí hypotézy Budnikova (op.cit.) na základě experimentálních výsledků však znamená v teorii přijmout podmínku $C_{tlak}=0$ (tab.6.2) a nalézt pro tuto hodnotu fyzikální vysvětlení. Lze navrhnout následující hypotézu : Stlačování vláken v centru příze (ke kterému musí docházet vzhledem k existenci seskání) nesleduje šroubovici, ale vlákna se "skládají" ("ohýbají", "vlní") nahodile do všech směrů. Dále je část jejich "přebytku délky" vzhledem k migračnímu charakteru vlákených trajektorií "odčerpána" prokluzem ("tokem") do vnějších částí příze.

Skutečně se též v soustavě vyhovujících konstant (tab. 6.2) požaduje, aby cca 63 % ($q=0,626566416$) "přebytku délky" přešlo z centrálních oblastí do vnějších vrstev.

- Pozn.: 1) Úvahy některých autorů vedoucích na $q=0$ či $q=1$ je pak vzhledem k těmto výsledkům třeba považovat za limitní
2) Hodnota q , uvedená v tab.6.2 vyhovuje bavlněným přízím mykaným; obecně je ovšem závislá jak na vlastnostech vláken (tření, tuhost aj.), tak i na jejich uspořádání (orientace, migrace atp.)

Mimo centrální oblast byla nalezena dobrá shoda teoretického a experimentálního průběhu koeficientu zaplnění (u přízí H a M - viz tab. 6.4). Výpočet teoretického průběhu byl velmi citlivý na hodnotu λ (viz kap.4.3.2), která souvisí s maximálně možným (limitním) stlačením vlákenného svazku. I malé odchylky od vztahu (4.44) způsobily nereálné výsledky (které nebylo možno vykompenzovat změnou ostatních konstant). Protože (4.44) vychází z plástové struktury, potvrdil se tak její limitní charakter (prokazovaný již dříve experimentálně u hedvábí např. v /105,121/).

Pro nalezení správných průběhů byla dále rozhodující volba hodnot C_{tah} a A , jež charakterizují deformovatelnost vlákenného kontinua. Právě prostřednictvím těchto konstant je teoretický výpočet charakteristik vnitřní struktury příze spjat s volbou suroviny a technologií výroby.

(Analogicky jako je např. Youngův modul pružnosti oceli determinován procesem její výroby).

Nebylo cílem práce zabývat se vztahem těchto konstant k vlastnostem vláken a procesům jejich zpracování, avšak z teoretické koncepce jsou některé souvislosti zřejmé. Tak např. při zakrucování hedvábí jsou vlákna uspořádána velmi dokonale (paralelně), což znamená, že již nepřilíží velká síla stlačí vlákna do téměř plástové struktury a další přírůstek síly nezpůsobí v podstatě žádnou přídavnou deformaci. Tento jev logicky odpovídá vysokým hodnotám C_{tah} a $(-A)$ a použijí-li se, přiblíží se průběh koeficientu zaplnění limitě $\mu = \text{konst.}$ To však je výsledek očekávaný ze znalosti příčných řezů zakrouceného hedvábí. (U hedvábí byl pozorován /54,105/ průměrný koeficient zaplnění až 0,89, přičemž pro plástovou strukturu je odvozena hodnota

0,905). Podobnou úvahou lze předpokládat, že příze z viskóзовé stříže bude oproti mykané bavlněné přízi poněkud posunuta svým charakterem směrem k hedvábí. (Reas a Singh - cituje /116/, uvádějí průměrné koeficienty zaplnění příze při stejné jemnosti a zákrutech u mykané bavlny 0,394 a u VSs 0,485). Porovná-li se nyní teoretická křivka příze V (příloha $\underline{E}$; vypočtena s konstantami platnými pro příze bavlněné) s výsledky experimentálními, je zřejmý výrazný nesouhlas obou průběhů. Vypočtený průběh by bylo možné přiblížit experimentálnímu právě zvýšením hodnoty C_{tah} (a případně též zvětšením $\{-A\}$).

Podobně lze předpokládat, že se do konstant C_{tah} a A promítají např. tuhost vláken (souvisící též s jemností), délka vláken, obloučkovitost, třecí vlastnosti, ale též počet pasáží a způsob protahování, česání aj. Je možno se domnívat, že objasnění těchto souvislostí bude mít v budoucnu značný význam.

Na jednotlivých poloměrech příze byly výpočtem z teoretického modelu stanoveny m.j. též hodnoty úměrné napětím τ_H a τ_{22} (viz tabulky v přílohách). Zjištěné hodnoty Hearleho hypotézu /42,167/ ekvivalence $\tau_H = \tau_{22}$ nepotvrdily a podporují spíše přístup Cheng, White a Ducketta /70/ k dané problematice. Naproti tomu předpoklad o možnosti zanedbat smyková napětí, formulovaný Hearlem (op.cit.), se i v kontextu této práce ukázal výhodný. Zda je možno považovat jej také za fyzikálně oprávněný nelze ovšem prozatím rozhodnout.

Z teoretických křivek $\mu = \mu(r)$ vplynuly poloměry příze (definované podmínkou $\mu = 0,14$), jež dobře korelují s experimentálními výsledky (kap.6.3). Podmín-

ku $\mu = 0,14$ je ovšem třeba považovat za vyhovující pouze v omezeném rozsahu jemností a zákrutů. (Nebož např. bavlněný přást hodnotu $\mu = 0,14$ nikde nedosáhne). Obecněji platné kritérium by bylo třeba stanovit z podrobnějšího rozboru procesů, které probíhají při měření průměrů přízí. Stanovená hodnota $\mu = 0,14$ se může z intuitivního hlediska jevit jako poněkud vysoká. Lze ji však objasnit úvahou vycházející z (diskontinuálního) charakteru povrchu příze.

Mikrofotografie příze (z mikroskopu STEREOSCAN - interní materiály SVÚT) ukazují, že její povrch je zbrzděn "rýhami" (ve tvaru šroubovice) nahodilé šířky a hloubky. Tyto rýhy jsou odděleny šroubovými "hřebeny" vytvořenými různě mohutnými svazky vláken. V oblasti těchto "rýh" a "hřebenů" je pak buď stlačený vláknenný materiál (v "hřebenech") nebo prázdný prostor (v "rýhách"). Při experimentálním měření se náhodně klade hranice průmětu příze buď na "dno rýhy" nebo na "vrchol hřebenu", resp. do různých mezipoloh a průměr příze je vyhodnocen jako střední hodnota. Z tohoto hlediska je pravděpodobné, že diskontinuální popis jevů na povrchu příze by přinesl zajímavé výsledky.

Pozn.: Jako prvek diskontinua by bylo třeba uvažovat vláknenný svazek (o němž v jiných souvislostech hovoří též /139,173/); problémů diskontinua na povrchu příze se dotýká též práce /68/.

Aproximuje-li se však rozložení hmoty vláken na povrchu příze kontinuálním modelem (uvedeným též v této práci), pak hodnota $\mu = 0,14$ pro průměr se jeví jako dobře možná.

V souvislosti s prováděnými experimenty na přízích H , M a V byly též vyhodnoceny zákruty Z_d (viz text u rovnice (5.38) a tabulka 5.5) a jejich rozložení. Hodnota zjištěných variačních koeficientů (pro všechny příze cca 50%) dokazuje neudržitelnost tradiční představy o konstantním úhlu stoupání vláken (což je dalším argumentem ve prospěch zvolené koncepce kontinua).

V závěru této kapitoly obraťme ještě pozornost k formální stránce navrženého modelu vnitřní struktury příze. Je nesporné, že patří k modelům poměrně složitým. To však není na závadu jeho dobré a pohotové použitelnosti, neboť jednou zpracované výsledky je možno vždy vyjádřit vhodnou, potřebně jednoduchou formou (regresní funkce, interpolační vyjádření - viz též /125/, nomografické a jiné zpracování).

Významný teoretický fyzik R.E.Peierls v této souvislosti říká (/137/str.302): "Náš názor, že správné zákony nakonec musí být jednoduché je možná předsudkem. Pociťujeme jisté intelektuální uspokojení, když jednoduché zákony odpovídají faktům. Pojem jednoduchosti a složitosti je však zčásti věcí zvyku našeho myšlení. Absolutní kritérium zde neexistuje."

7. Z Á V Ě R

Výsledky obsažené v této práci charakterizují některé stránky vnitřní struktury se zaměřením na bavlněné příze mykané. Bylo by třeba v budoucnu podobným způsobem vyjasnit i problematiku přízí jiných, vyráběných např. z chemických vláken či přízí bezvřetenových a platnosti strukturálních zákonitostí pak zobecnit pro většinu zakroucených vláknenných útvarů.

Na základě poznané struktury výchozí příze je možné řešit fyzikální procesy, probíhající jako důsledek působení vnějších sil (tahové, ohybové, torzní namáhání, namáhání příze radiálními tlaky apod.). Textilně-technologickým výsledkem takových procesů je vznik a chování očka (v pletenině), vazného bodu (ve tkanině) či jiného strukturálního elementu plošné textilie, který pak určuje její konstrukční uspořádání a užité vlastnosti, včetně výsledků ekonomických.

Cesta k tomuto poznání vláknenných soustav není ani lehká ani krátkodobá. Vede však k žádanému cíli i tam, kde použítí jednodušších, např. stochastických forem (plánované experimenty, regresní analýza apod.) pro množství vstupujících faktorů a složitost jejich interakce selhává. Též tato práce je příspěvkem k cestě za poznáním textilních vláknenných soustav.

L i t e r a t u r a

Pozn.: 1) Použity zkrácené citace dle ČSN 01 0197

2) V seznamu jsou uváděny následující zkratky :

JTI ... Journal of the Textile Institute (Transaction)

TRJ ... Textile Research Journal

MTB ... Melliland Textilberichte (International)

- 1 ABHIRAMAN, A.S. - GEORGE, W., TRJ, 44, 1974, s.736
- 2 AKSAN, S. - ŽUREK, W.: In : Prace Institutu włokiennictwa, XXVI, s.65
- 3 BABUŠKA, I. - REKTORYS, K. - VYČICHLO, F.: Matematická teorie rovinné pružnosti. Praha 1955
- 4 BABUŠKA, I. - PRAGER, M. - VITÁSEK, E.: Numerické řešení diferenciálních rovnic. Praha 1964
- 5 BALJASOV, P.D., Technologia tex.prom., č.3, 1963, s.7
- 6 BALJASOV, P.D., Technologia tex.prom., č.5, 1963, s.10
- 7 BALJASOV, P.D., Technologia tex.prom., č.6, 1967, s.28
- 8 BALJASOV, P.D., Technologia tex.prom., č.5, 1969, s.21
- 9 BALJASOV, P.D., Technologia tex.prom., č.4, 1973, s.13
- 10 BALJASOV, P.D., Technologia tex.prom., č.4, 1973, s.22
- 11 BARELLA, A. - VIAPIANA, A., TRJ, 40, 1970, s.267
- 12 BATRA, S., JTI, 64, 1973, s.209
- 13 BATRA, S., - a j., JTI, 64, 1973, s.
- 14 BESSET, M.C., L'Ind.Text., 1948, s.737
- 15 BALAKRISHNA - IYER - PHATARFOD, JTI, 56, 1965, s.225
- 16 BRASCHLER, E.: Die Festigkeit von Baumwollgespinnsten. (Doktorská dizertace), ETH Zürich (1935)
- 17 BRDIČKA, M.: Mechanika kontinua. Praha 1959
- 18 BUONIKOV, V.I. In: Naučno-isledovatel'skije trendy moskovskovo t'kstil'novo instituta, tom X, Moskva 1948, s.29
- 19 BUONIKOV, V.I., a j.: Grundlagen des Spinnens, Berlin 1955
- 20 Computer simuliert Wollgarn, MTB, 50, 1969, s.1036
- 21 Controlling migration of fibers in yarn, Textile World, 1967, č.8, s.65
- 22 ČÁSTEK, A.: Experimentální vyhodnocení sklonu vláken v přízi (Dipl.práce) Liberec 1973 - VŠST
- 23 ČECH, E.: Bodové množiny. Praha 1974
- 24 ČIRLIČ, J.B., In : Sborník vědeckých prací VŠST, Liberec 1968
- 25 ČÍŽEK, F.: Teorie a empirie. Praha 1974
- 26 DADEPPO, D.A., TRJ, 41, 1971, s.911
- 27 DAŘENOVÁ, E., Zajímavosti v tex. průmyslu, SVÚT, Liberec, 1970
- 28 DOGU, I., TRJ, 42, 1972, s.726
- 29 DOGU, I., TRJ, 44, 1974, s.395
- 30 DUNLOP, J.I., JTI, 62, 1974, s.532
- 31 EL-BEHERY, H.M. - BATAVIA, D.H., TRJ, 41, 1971, s.812
- 32 EL-SHIEKH, A. - BACKER, S., TRJ, 42, 1972, s.137
- 33 ENGELS, B.: Dialektika přírody. Praha 1952
- 34 FIRT, V., Acta Technica ČSAV, 1970, č.1, s.83
- 35 GLASINOVA, T.M. - TRUEJCEV, N.I., Technologia teks. prom., 1963, č.4, s.17

- 36 GRACIE, P.S., JTI, 51, 1960, s.271
- 37 GUPTA, B.S. - HAMBY, D.S., TRJ, 39, 1969, s.55
- 38 GUPTA, B.S., TRJ, 40, 1970, s.15
- 39 GUPTA, B.S., TRJ, 42, 1972, s.181
- 40 GUPTA, B.S., TRJ, 44, 1974, s.125
- 41 HAJEKOV, V., *Malé práce*, 17.5.1974, s.3
- 42 HEARLE, J.W.S., JTI, 49, 1958, s.383
- 43 HEARLE, J.W.S. - EL-BEHERY, H.M., JTI, 51, 1960, s.164
- 44 HEARLE, J.W.S. - EL-BEHERY, H.M. - THAKUR, V.M., JTI, 52, 1961, s.197
- 45 HEARLE, J.W.S. - MERCHANT, V.B., JTI, 53, 1962, s.537
- 46 HEARLE, J.W.S. - GUPTA, B.S. - MERCHANT, V.B., TRJ, 35, 1965, s.329
- 47 HEARLE, J.W.S. - BOSE, O.N., TRJ, 35, 1965, s.693
- 48 HEARLE, J.W.S. - GUPTA, B.S., TRJ, 35, 1965, s.788
- 49 HEARLE, J.W.S. - GUPTA, B.S., TRJ, 35, 1965, s.885
- 50 HEARLE, J.W.S. - GUPTA, B.S. - GOSWAMI, B.C., TRJ, 35, 1965, s.972
- 51 HEARLE, J.W.S., TRJ, 35, 1965, s.1060
- 52 HEARLE, J.W.S. - BOSE, O.N., JTI, 57, 1966, s.294
- 53 HEARLE, J.W.S. - BOSE, O.N., JTI, 57, 1966, s.308
- 54 HEARLE, J.W.S. - GROSBERG, P. - BACKER, S.: Structural mechanics of fibres, yarns and fabrics. Volume I., New York, London, Sydney, Toronto, 1969
- 55 HEARLE, J.W.S. - GOSWAMI, B.C., TRJ, 40, 1970, s.598
- 56 HEARLE, J.W.S. - KONOPASEK, M. - NEWTON, A., TRJ, 63, 1972, s.613
- 57 HEARLE, J.W.S. - LORD, P.R. - SENTURK, N., JTI, 63, 1972, s.605
- 58 HEARMON, R.F.S.: An introduction to applied anisotropic elasticity. Olford 1961 (česky Praha 1965)
- 59 HEMPEL, P., Deutsche Textiltechnik, 21, 1971, s.673
- 60 HICKIE, T.S. - CHAIKIN, M., JTI, 65, 1974, s.433
- 61 HICKIE, T.S. - CHAIKIN, M., JTI, 65, 1974, s.537
- 62 HILL, R., J.Mech.Phys.Solids., 12, 1964, s.199
- 63 HILL, R., J.Mech.Phys.Solids., 12, 1964, s.213
- 64 HLADÍK, V., Textil 25, 1970, č.2, s.35
- 65 HOFMAN, M. - JANSÁ, J., Maggy.Textiltechnik, 27, 1974, s.157
- 66 HOLZMÜLLER, W. - ALTENBURG, K.: Physik der Kunststoffe. Berlin, 1961, (česky Praha 1966)
- 67 HODUKOVÁ, J.: Struktura a vlastnosti bavlněné příze mykané (Dipl.práce) Liberec 1974, VŠST
- 68 HUANG, N.C. - FUNK, G.E., TRJ, 45, 1975, s.14
- 69 CHOW, T.S. - HERMANS, J.J., TRJ, 40, 1970, s.982
- 70 CHENG, C.C. - WHITE, J.L. - DUCKETT, K.E., TRJ, 44, 1974, s.798
- 71 CHILKEVIČ, A.P.: Gnozeologičeskaja priroda gipotezy. Minsk 1974
- 72 JAKUBOVSKIJ, J.V., Tekstilnaja prom., 31, 1971, č.1, s.8
- 73 JAŠINA, G.A., Tekstilnaja prom., 30, 1970, č.5, s.16
- 74 JOHANSEN, O.: Handbuch der Baumwollspinnerei, Band I. Leipzig (1930)
- 75 KAPICA, P.L.: Eksperiment, teorija, praktika. Moskva 1974
- 76 KAŠPÁREK, J., Technol.tex.prom. 1965, č.3, s.37
- 77 KAŠPÁREK, J.: Struktura, geometrické a mechanické vlastnosti bavlněné bezvřetenové příze (kandidátská dizertace). Moskva 1967
- 78 KAŠPÁREK, J., In : SIRTEC, Paris 1969, s.249
- 79 KAŠPÁREK, J., In : Sborník vědeckých prací VŠST, Liberec 1969, s.285
- 80 KAŠPÁREK, J., Textil, 25, 1970, č.1, s.6

- 81 KAŠPÁREK, J., In : Sborník přednášek ze semináře "Struktura příze", Pardubice 1972
- 82 KAZDA, O. a j.: Metodika výzkumu přízi. (Výzkumná zpráva), Liberec, SVÚT 1971
- 83 KILBY, W.F., JTI, 55, 1964, s.589
- 84 KOLACINSKI, T., Przegląd Włakien, 1970, č.1, s.1
- 85 KOLDINSKÝ, O. a j.: Stavové veličiny ... (výzkumná zpráva), Liberec, SVÚT 1973
- 86 KOLDINSKÝ, O. - ŠVEHLA, K., In : Sborník "Výpočetní navrhování a hodnocení textilií", Liberec 1975, s.139
- 87 KOMAROV, B.P., Technologia tex.prom., 1961, č.2, s.33
- 88 KOMAROV, B.P., Technologia tex.prom., 1962, č.5, s.21
- 89 KOMAROV, B.P., Technologia tex.prom., 1963, č.3, s.27
- 90 KONOPÁSEK, M. - KUBOŇOVÁ, E., Textil, 20, č.10, s.391
- 91 KONOPÁSEK, M. - HEARLE, J.W.S., Fibre Science and Technology, 1972
- 92 KONOPÁSEK, M. - HEARLE, J.W.S., JTI, 65, 1974, s.217
- 93 KORICKIJ, K.I., Technologia tex.prom., 1961, č.5, s.30
- 94 KORICKIJ, K.I.: Osnovy projektovanija svojstvo prjaži. Moskva 1963
- 95 KORICKIJ, K.I.: Inženérnoje proektirovanie textilnych materiálov, Moskva 1971
- 96 KORN, G.A. - KORN, T.M.: Mathematical handbook for scientists and engineers. New York 1968 (rusky Moskva 1973)
- 97 KRATOCHVÍL, J. - DILLON, O.W., J.of App.Phys., 40, 1969, s.3207
- 98 KRATOCHVÍL, J. - DILLON, O.W., J.of App.Phys., 41, 1970, s.1470
- 99 KUKIN, G.N. - SOLOVJEV, A.N.: Těkstilnoje materiálovedenie. Moskva 1961
- 100 LIBSCHER, In : Přednáška na konferenci k 50.výročí založení TU Dresden, Dresden 1975
- 101 LJUSTERNIK, L.A. - a j.: Matěmaticeskij analiz. Moskva 1961 (česky Praha 1969)
- 102 LÜDICKE, A.: Die Spinnerei. Berlin 1927
- 103 LYONS, W.J.: Impact phenomena in textiles. Cambridge, Massachusetts, 1963
- 104 MALTIN, G., TRJ, 41, 1971, s.685
- 105 MARKO, J. - NECKÁŘ, B.: Tvarování nepravým zákrutem - geometrie kroucení. (Výzkumná zpráva), Liberec, VŠST, 1968
- 106 MARKO, J. - GAHLER, D.: Tvarování nepravým zákrutem - mechanika kroucení. (Výzkumná zpráva), Liberec, VŠST, 1969
- 107 MARKO, J. - NECKÁŘ, B., In : Věda a výzkum v tex. prům., XI., 1970, s.29
- 108 MARKO, J.: Tvarování nepravým zákrutem - teorie tvarovacího procesu. (Výzkumná zpráva), Liberec, VŠST, 1970-1971
- 109 MARKO, J., In : Sborník přednášek ze semináře "Struktura příze", Pardubice 1972
- 110 MARKO, J., Zajímavosti v tex.prům., SVÚT, Liberec 1973, č.6-7, (zvláštní příloha)
- 111 MARKO, J., MTB, 54, 1973, s.1019
- 112 MARKO, J.: Bezmomentová skaná nit. (Výzkumná zpráva), Liberec, VŠST, 1974
- 113 MARSCHIK, S.: Physikalisch-technische Untersuchungen von Gespinsten und Geweben. Wien 1904
- 114 MIKUT, R., Faserforschung u.Text.techn., 21, 1970, s.323
- 115 MIKUT, R., Faserforschung u.Text.Techn., 21, 1970, s.389
- 116 MILITKÁ, D.: Stanovte radiální průběh koeficientu zaplnění ... (dipl.práce). Liberec 1975, VŠST
- 117 MORTON, W.E. - SUMMERS, R.J., JTI, 40, 1949, s.106
- 118 MORTON, W.E., TRJ, 26, 1956, s.325
- 119 MORTON, W.E. - HEARLE, J.W.S., JTI, 48, 1957, s.159
- 120 WAGUFUMI, Y. - AKIO, G. - MASAICHIRO, K. - GORO, T., Hitachi Hyoron, 56, 1974, s.31. In : Ref.Ž.leg prom., č.9, 1974, B 10

- 121 NECKÁŘ, D.: Studie vlivu geometrických charakteristik PAD hedvábí na proces jeho zakrucování. (Diplomová práce). Liberec 1967, VŠST
- 122 NECKÁŘ, B. - a j.: Struktura a vlastnosti ba-příze mykané. (Výzkumná zpráva). Liberec, SVÚT 1971
- 123 NECKÁŘ, B. - a j.: Návozy pro výpočet konstrukčních vlastností bavlněných přízí mykaných. (Výzkumná zpráva). Liberec, SVÚT 1971
- 124 NECKÁŘ, B. - MÁDR, I. - STOKLASA, J.: Projektování textilií. (Výzkumná zpráva). Liberec, SVÚT 1971
- 125 NECKÁŘ, B. - MÁDR, I., Zajímavosti v text.prům., SVÚT, 6.9.-10, 1972, s.187
- 126 NECKÁŘ, B., In : Sborník přednášek ze semináře "Struktura příze", Pardubice, 1972
- 127 NECKÁŘ, B. - MÁDR, I., Zajímavosti v text.prům., SVÚT, 6.1, 1974
- 128 NECKÁŘ, B., In : Sborník "Výpočetní navrhování a hodnocení textilií", Liberec 1975, s.17
- 129 NECKÁŘ, B., In : Sborník "Výpočetní navrhování a hodnocení textilií", Liberec 1975, s.193
- 130 NEKVINDA, M. - a j.: Úvod do numerické matematiky (skriptum VŠST), Liberec 1968
- 131 NISSAN, A.H.: Textile engineering process, London 1959
- 132 NOROTA, S. - KAWABATA, S. - KAWAI, H., J.Text.Mach. Soc.Jap., 22, 1969, s.168
- 133 NOROTA, S. - KAWABATA, S. - KAWAI, H., J.Text.Mach.Soc.Jap., 22, 1969, s.177
- 134 OBUCH, I., Chl.bum.prom., 6.1-2, 1936
- 135 PAUL, W., Textilpraxis, 1969, s.290
- 136 PAUL, W., Textilpraxis, 1969, s.309
- 137 PEIERLS, R.E.: Zákoný přírody, Praha 1961
- 138 PLANDER, I. - TOMÁŠ, J.: Dynamické vlastnosti viskoelastických materiálů a ich meranie, Bratislava 1964
- 139 PUGHENIX, S.L., Fibre Sci. a Technol., 7, 1974, s.15
- 140 POLÁČEK, J.: Vyhodnocení radiálního průběhu koeficientu zaplnění přízo. (Dipl.práce). Liberec 1971, VŠST
- 141 PRAGER, M., MÚ-ČSAV - soukromé sdělení
- 142 RATIANI, N.I. - DIEDULDOZE, A.K. - CINCABZE, I.D., Sakartvelos polyteknikury instituty Šromebi, 6.2, s.22. In : Ref.Ž.144.prom., 6.11, 1974, B 96
- 143 REISENAUER, R.: Metody matematické statistiky, Praha 1970
- 144 REKTORYS, K. - a j. : Přehled užití matematiky. Praha 1963
- 145 RIDING, G., JTI, 56, 1965, s.189
- 146 ROULENA, V. - a j.: Bezvětěnové přelání, Praha 1971
- 147 SALABA, J.: nepublikované práce, SVÚT Liberec
- 148 SALABA, J. - a j.: Základní ověření funkce přístroje D-meter. (Výzkumná zpráva). Liberec, SVÚT, 1972
- 149 SEVOŠŤJANOV, A.G.: Sostavlenije směsok i smišivanije v chlopokoprjadilnom proizvodstve. Moskva 1954
- 150 SEVOŠŤJANOV, A.G.: Metody issledovanija nerovnoty produktov prjaděniija. Moskva 1962
- 151 SEVOŠŤJANOV, A.G., Technol.tex. prom., 1971, 6.4, s.10
- 152 SIMON, J.: Teorie předání, díl III. (Skriptum VŠST). Liberec 1956
- 153 SIMON, J. - a j., In : Sborník přednášek ze semináře "Struktura příze", Pardubice 1972
- 154 SOBOTKA, Z. - FÍRT, V., ÚTAM-ČSAV - soukromé sdělení
- 155 SOBOTKOVÁ, E., Stavebnický časopis SAV, 21, 6.6-8, 1973, s.431

- 156 SOKOLOV, G.V.: Voprosy teorii kručeniija voloknistych materialov, Moskva 1957
- 157 STEARN, A.E., JTI, 62, 1971, s.353
- 158 STEJSKAL, A. - KAŠPÁREK, J., pat. ČSSR č. 117 179
- 159 STEJSKAL, A., Jemná mechanika a optika, č.12, 1965, s.377
- 160 STEJSKAL, A., In : Sborník přednášek ze semináře "Struktura příze", Pardubice 1972
- 161 STEJSKAL, A. - KAŠPÁREK, J., autorské osvědčení č. 152083, ČSSR
- 162 ŠELEPOGIN, J.A. - a j., Technol.tex.prom., č.2, 1972, s.23
- 163 Technický slovník naučný, III.díl, Praha 1963
- 164 TERASAKI, H. - SABATA, Y. - KATAGIRI, Y., J.Soc. Text. Cellulose Ing.Jap., 16, s.701
- 165 THEORELL, H., Vesmír, 53, 1974, s.290
- 166 TRELOAR, L.R.G., JTI, 47, 1956, s.348
- 167 TRELOAR, L.R.G. - HEARLE, J.W.S., JTI, 53, 1962, s.446
- 168 TRELOAR, L.R.G. - RIDING, G., JTI, 54, 1963, s.156
- 169 TRELOAR, L.R.G., JTI, 56, 1965, s.359
- 170 TRELOAR, L.R.G., JTI, 56, 1965, s.447
- 171 TRELOAR, L.R.G., In : J.Polymer Sci., Polymer symposium, č.18, 1974, s.107
- 172 WEGENER, W. - KÜHNEL, A.: Ein Model für die Anordnung der Elementarfäden in einem gedrehten Faden. (Výzkumná zpráva). Köln am Rhein 1967
- 173 WEGENER, W. - HOTH, G., MTB, 1969, s.1015
- 174 ŽID, J.: Studie příčných rozměrů přízí. (Výzkumná zpráva). Liberec, SVĚT, 1967
- 175 ŽID, V. - NECKÁŘ, B., Zajímavosti v text. prům., č.3, 1969, s.69
- 176 ŽUREK, W.: Struktura przedzy. Warszawa 1971

U 78 + př

Příloha I

Program DIROP - pro stolní kalkulátor

HP 9810 A

PROGRAM DIROP - USEK (FILE) 1

0000---FMT---42	0050---SFL---54	0100---CNT---47	0150---CNT---47	0200---CLR---20	0250---0---71
0001---5---05	0051---SFL---54	0101---CNT---47	0151---I---65	0201---CLR---20	0251---N---73
0002---CLX---37	0052---SFL---54	0102---5---56	0152---N---73	0202---CLR---20	0252---XTO---40
0003---FMT---42	0053---SFL---54	0103---0---71	0153---XTO---23	0203---2---02	0253---XTO---23
0004---5---05	0054---SFL---54	0104---XTO---40	0154---E---60	0204---PSE---57	0254---A---62
0005---CNT---47	0055---SFL---54	0105---XTO---23	0155---0---13	0205---CNT---47	0255---N---73
0006---FMT---42	0056---SFL---54	0106---1X---17	0156---INT---64	0206---K---55	0256---XTO---23
0007---FMT---42	0057---SFL---54	0107---5---56	0157---A---62	0207---0---71	0257---A---62
0008---CNT---47	0058---CLP---20	0108---1X---17	0158---L---72	0208---N---73	0258---CNT---47
0009---CNT---47	0059---PSE---57	0109---CLP---20	0159---1X---17	0209---XTO---40	0259---K---55
0010---CNT---47	0060---PSE---57	0110---CLP---20	0160---CLR---20	0210---XTO---23	0260---SFL---54
0011---CNT---47	0061---CNT---47	0111---30---12	0161---N---73	0211---A---62	0261---FMT---42
0012---INT---64	0062---E---55	0112---A---62	0162---1X---17	0212---N---73	0262---STP---41
0013---CFR---61	0063---0---71	0113---E---55	0163---N---70	0213---XTO---23	0263---FMT---45
0014---C---61	0064---N---73	0114---L---62	0164---E---60	0214---XFR---57	0264---XTO---23
0015---H---74	0065---XTO---40	0115---L---62	0165---A---13	0215---XFR---57	0265---9---11
0016---0---71	0066---XTO---23	0116---D---63	0166---I---65	0216---CNT---47	0266---I---01
0017---XSO---12	0067---H---62	0117---N---73	0167---C---61	0217---CNT---47	0267---FMT---42
0018---I---65	0068---N---73	0118---N---73	0168---K---55	0218---PNT---45	0268---FMT---42
0019---CLP---20	0069---XTO---23	0119---CNT---47	0169---E---60	0219---F---14	0269---0---12
0020---CLP---20	0070---XFR---67	0120---K---55	0170---CNT---47	0220---XFR---67	0270---E---60
0021---CNT---47	0071---XFR---67	0121---0---13	0171---I---65	0221---30---12	0271---L---72
0022---CNT---47	0072---CNT---47	0122---0---71	0172---N---73	0222---I---65	0272---H---62
0023---CNT---47	0073---CNT---47	0123---K---55	0173---XTO---23	0223---K---55	0273---XTO---23
0024---CNT---47	0074---INT---64	0124---CLP---20	0174---E---60	0224---H---52	0274---I---65
0025---INT---64	0075---XFR---67	0125---0---13	0175---G---15	0225---L---72	0275---INT---64
0026---XTO---40	0076---5---56	0126---E---60	0176---N---73	0226---N---73	0276---N---73
0027---XTO---23	0077---0---71	0127---XTO---40	0177---0---13	0227---I---65	0277---I---65
0028---1X---17	0078---C---61	0128---E---60	0178---H---62	0228---CNT---47	0278---CNT---47
0029---5---56	0079---E---60	0129---N---73	0179---C---61	0229---CLP---20	0279---N---70
0030---H---73	0080---XTO---23	0130---I---65	0180---E---60	0230---XTO---20	0280---0---71
0031---I---65	0081---H---73	0131---CNT---47	0181---CNT---47	0231---0---71	0281---D---63
0032---CLP---20	0082---I---65	0132---XFR---57	0182---XFR---52	0232---1X---17	0282---1X---17
0033---CNT---47	0083---C---61	0133---H---70	0183---XTO---40	0233---H---14	0283---34---34
0034---CNT---47	0084---H---74	0134---N---70	0184---I---65	0234---0---13	0284---CLR---20
0035---CNT---47	0085---CLP---20	0135---PSE---57	0185---N---70	0235---N---73	0285---L---72
0036---K---55	0086---CNT---47	0136---SFL---54	0186---0---56	0236---N---73	0286---0---71
0037---0---71	0087---CNT---47	0137---FMT---42	0187---XTO---40	0237---A---62	0287---INT---64
0038---H---73	0088---N---73	0138---STP---41	0188---0---71	0238---CNT---47	0288---A---62
0039---XTO---40	0089---1X---17	0139---CNT---45	0189---N---73	0239---CNT---47	0289---CNT---47
0040---XTO---23	0090---XTO---23	0140---XTO---23	0190---SE---57	0240---0---71	0290---XSO---12
0041---A---62	0091---E---60	0141---9---11	0191---FMT---54	0241---H---63	0291---N---70
0042---N---73	0092---0---13	0142---0---00	0192---FMT---42	0242---1X---17	0292---E---60
0043---XTO---23	0093---I---65	0143---FMT---42	0193---STP---41	0243---L---72	0293---N---73
0044---XFR---67	0094---C---61	0144---CNT---42	0194---PNT---45	0244---0---71	0294---A---62
0045---CLP---20	0095---K---55	0145---5---56	0195---XTO---23	0245---0---34	0295---CNT---47
0046---CNT---47	0096---XFR---67	0146---0---71	0196---8---10	0246---INT---64	0296---H---62
0047---CNT---47	0097---C---61	0147---C---61	0197---3---03	0247---A---62	0297---SFL---54
0048---CNT---47	0098---H---74	0148---E---60	0198---FMT---42	0248---CNT---47	0298---FMT---42
0049---SFL---54	0099---CLR---20	0149---XTO---23	0199---FMT---42	0249---K---55	0299---FMT---42

0300--STP--41	0350--XTO--23	0400--F--10	0450--XTO--23	0500--XTO--23	0550--9--11
0301--ENT--45	0401--XV--22	0451--7--65	0451--7--65	0501--1--65	0551--8--10
0302--XTO--23	0402--C--61	0452--C--61	0452--C--61	0502--INT--64	0552--ENT--42
0303--9--11	0403--K--55	0453--K--55	0453--K--55	0503--N--73	0553--ENT--42
0304--2--62	0404--VE--24	0454--H--62	0454--H--62	0504--I--73	0554--X--34
0305--ENT--42	0405--PSE--57	0455--ENT--42	0455--ENT--42	0505--ENT--42	0555--X--34
0306--ENT--42	0406--SEL--54	0456--H--74	0456--H--74	0506--H--74	0556--X--34
0307--4--55	0407--ENT--42	0457--H--74	0457--H--74	0507--H--74	0557--X--34
0308--ENT--42	0408--STP--41	0458--H--74	0458--H--74	0508--H--74	0558--X--34
0309--ENT--42	0409--ENT--42	0459--H--74	0459--H--74	0509--H--74	0559--X--34
0310--ENT--42	0410--XTO--23	0460--H--74	0460--H--74	0510--H--74	0560--X--34
0311--9--11	0411--9--11	0461--H--74	0461--H--74	0511--ENT--42	0561--X--34
0312--H--74	0412--5--65	0462--H--74	0462--H--74	0512--L--72	0562--X--34
0313--ENT--42	0413--ENT--42	0463--XTO--23	0463--XTO--23	0513--X--34	0563--X--34
0314--ENT--42	0414--SEL--54	0464--ENT--42	0464--ENT--42	0514--X--34	0564--X--34
0315--ENT--42	0415--XTO--23	0465--ENT--42	0465--ENT--42	0515--X--34	0565--X--34
0316--ENT--42	0416--H--74	0466--ENT--42	0466--ENT--42	0516--X--34	0566--X--34
0317--ENT--42	0417--H--74	0467--ENT--42	0467--ENT--42	0517--X--34	0567--X--34
0318--ENT--42	0418--H--74	0468--ENT--42	0468--ENT--42	0518--X--34	0568--X--34
0319--ENT--42	0419--H--74	0469--ENT--42	0469--ENT--42	0519--X--34	0569--X--34
0320--ENT--42	0420--H--74	0470--ENT--42	0470--ENT--42	0520--X--34	0570--X--34
0321--ENT--42	0421--ENT--42	0471--ENT--42	0471--ENT--42	0521--X--34	0571--X--34
0322--ENT--42	0422--H--74	0472--ENT--42	0472--ENT--42	0522--X--34	0572--X--34
0323--ENT--42	0423--H--74	0473--ENT--42	0473--ENT--42	0523--X--34	0573--X--34
0324--ENT--42	0424--H--74	0474--ENT--42	0474--ENT--42	0524--X--34	0574--X--34
0325--ENT--42	0425--H--74	0475--ENT--42	0475--ENT--42	0525--X--34	0575--X--34
0326--ENT--42	0426--H--74	0476--ENT--42	0476--ENT--42	0526--X--34	0576--X--34
0327--ENT--42	0427--H--74	0477--ENT--42	0477--ENT--42	0527--X--34	0577--X--34
0328--ENT--42	0428--H--74	0478--ENT--42	0478--ENT--42	0528--X--34	0578--X--34
0329--ENT--42	0429--H--74	0479--ENT--42	0479--ENT--42	0529--X--34	0579--X--34
0330--ENT--42	0430--H--74	0480--ENT--42	0480--ENT--42	0530--X--34	0580--X--34
0331--ENT--42	0431--H--74	0481--ENT--42	0481--ENT--42	0531--X--34	0581--X--34
0332--ENT--42	0432--H--74	0482--ENT--42	0482--ENT--42	0532--X--34	0582--X--34
0333--ENT--42	0433--H--74	0483--ENT--42	0483--ENT--42	0533--X--34	0583--X--34
0334--ENT--42	0434--H--74	0484--ENT--42	0484--ENT--42	0534--X--34	0584--X--34
0335--ENT--42	0435--H--74	0485--ENT--42	0485--ENT--42	0535--X--34	0585--X--34
0336--ENT--42	0436--H--74	0486--ENT--42	0486--ENT--42	0536--X--34	0586--X--34
0337--ENT--42	0437--H--74	0487--ENT--42	0487--ENT--42	0537--X--34	0587--X--34
0338--ENT--42	0438--H--74	0488--ENT--42	0488--ENT--42	0538--X--34	0588--X--34
0339--ENT--42	0439--H--74	0489--ENT--42	0489--ENT--42	0539--X--34	0589--X--34
0340--ENT--42	0440--H--74	0490--ENT--42	0490--ENT--42	0540--X--34	0590--X--34
0341--ENT--42	0441--H--74	0491--ENT--42	0491--ENT--42	0541--X--34	0591--X--34
0342--ENT--42	0442--H--74	0492--ENT--42	0492--ENT--42	0542--X--34	0592--X--34
0343--ENT--42	0443--H--74	0493--ENT--42	0493--ENT--42	0543--X--34	0593--X--34
0344--ENT--42	0444--H--74	0494--ENT--42	0494--ENT--42	0544--X--34	0594--X--34
0345--ENT--42	0445--H--74	0495--ENT--42	0495--ENT--42	0545--X--34	0595--X--34
0346--ENT--42	0446--H--74	0496--ENT--42	0496--ENT--42	0546--X--34	0596--X--34
0347--ENT--42	0447--H--74	0497--ENT--42	0497--ENT--42	0547--X--34	0597--X--34
0348--ENT--42	0448--H--74	0498--ENT--42	0498--ENT--42	0548--X--34	0598--X--34
0349--ENT--42	0449--H--74	0499--ENT--42	0499--ENT--42	0549--X--34	0599--X--34

0600--	L	72
0601--	N	73
0602--	E	60
0603--	N	73
0604--	I	65
0605--	CLR--20	
0606--	CNT--47	
0607--	N	70
0608--	I	65
0609--	X7	52
0610--	0	13
0611--	SFL--54	
0612--	0	00
0613--	PSE--57	
0614--	SFL--54	
0615--	ENT--42	
0616--	STP--41	
0617--	ENT--45	
0618--	X70--23	
0619--	9	11
0620--	9	11
0621--	ENT--42	
0622--	ENT--42	
0623--	0	34
0624--	0	34
0625--	0	34
0626--	0	34
0627--	0	34
0628--	0	34
0629--	0	34
0630--	0	34
0631--	0	34
0632--	0	34
0633--	0	34
0634--	0	34
0635--	0	34
0636--	0	34
0637--	0	34
0638--	0	34
0639--	ENT--42	
0640--	CLX--37	
0641--	X70--23	
0642--	I	01
0643--	0	00
0644--	0	00
0645--	CNT--47	
0646--	.	21
0647--	I	01
0648--	X70--23	
0649--	I	01

0650--	0	00
0651--	I	01
0652--	CNT--47	
0653--	CNT--47	
0654--	STP--41	
0655--	I	01
0656--	2	02
0657--	ENT--42	
0658--	ENT--42	
0659--	X70--23	
0660--	L	22
0661--	A	52
0662--	K	55
0663--	0	21
0664--	K	55
0665--	SFL--54	
0666--	0	00
0667--	CK	34
0668--	0	34
0669--	0	34
0670--	0	34
0671--	0	34
0672--	0	34
0673--	0	34
0674--	0	34
0675--	0	34
0676--	0	34
0677--	0	34
0678--	0	34
0679--	0	34
0680--	0	34
0681--	0	34
0682--	0	34
0683--	0	34
0684--	ENT--42	
0685--	G70--44	
0686--	0	00
0687--	END--46	

PROGRAM DIR0P - USEK (FILE) 2

- P5 -

0000-LBL-51	0050-34	0100-YT0-40	0150-8-10	0200-PNT-45	0250-GT0-44
0001-1-01	0051-9-03	0101-1-01	0151-YT0-40	0201-CNT-47	0251-SR-47
0002-CLX-37	0052-3-03	0102-8-10	0152-2-02	0202-PNT-45	0252-LBL-51
0003-XT0-23	0053-XT0-23	0103-DIV-35	0153-9-11	0203-CLX-37	0253-1-02
0004-1-01	0054-8-10	0104-X-35	0154-YT0-40	0204-PNT-45	0254-LBL-51
0005-5-05	0055-2-02	0105-X-35	0155-3-03	0205-CNT-47	0255-3-03
0006-CNT-47	0056-CNT-47	0106-YT0-40	0156-0-00	0206-PNT-45	0256-SR-47
0007-1-01	0057-1-01	0107-1-01	0157-CNT-47	0207-PNT-45	0257-GT0-44
0008-0-00	0058-XFR-57	0108-7-07	0158-0-00	0208-LBL-51	0258-LBL-51
0009-0-00	0059-+33	0109-XFR-67	0159-17-56	0209-LBL-51	0259-H-62
0010-0-00	0060-9-11	0110-2-02	0160-XFR-67	0210-2-02	0260-16
0011-1-01	0061-2-02	0111-1-01	0161-X-36	0211-CNT-47	0261-X-Y-52
0012-XT0-23	0062-XT0-23	0112-17-17	0162-9-11	0212-2-02	0262-GT0-44
0013-1-01	0063-8-10	0113-XS0-12	0163-5-05	0213-XFR-67	0263-LBL-51
0014-4-04	0064-1-01	0114-XFR-67	0164-XFR-67	0214-X-36	0264-4-04
0015-UP-27	0065-UP-27	0115-X-35	0165-X-36	0215-1-01	0265-CNT-47
0016-2-02	0066-XFR-67	0116-8-10	0166-8-10	0216-1-01	0266-XFR-67
0017-X-36	0067-9-11	0117-4-04	0167-4-04	0217-XFR-67	0267-1-01
0018-YT0-40	0068-3-03	0118-UP-27	0168-XFR-67	0218-X-36	0268-6-06
0019-1-01	0069-17-56	0119-XFR-67	0169-DIV-35	0219-9-11	0269-XFR-67
0020-3-03	0070-H-74	0120-XFR-67	0170-9-11	0220-6-06	0270-34
0021-CNT-47	0071-XT0-23	0121-34	0171-4-04	0221-UP-27	0271-1-01
0022-DIV-35	0072-8-10	0122-8-10	0172-XFR-67	0222-X-36	0272-7-07
0023-3-03	0073-5-05	0123-2-02	0173-DIV-35	0223-X-36	0273-UP-27
0024-X-36	0074-XFR-67	0124-UP-27	0174-9-11	0224-DN-35	0274-5-05
0025-YT0-40	0075-9-11	0125-XFR-67	0175-7-07	0225-XS0-12	0275-DIV-35
0026-1-01	0076-9-11	0126-8-10	0176-UP-27	0226-UP-27	0276-YT0-40
0027-2-02	0077-XFR-67	0127-1-01	0177-EX-26	0227-UP-27	0277-1-01
0028-XFR-67	0078-DIV-35	0128-XEY-30	0178-3-03	0228-1-01	0278-1-01
0029-9-11	0079-9-11	0129-H-74	0179-DIV-35	0229-+33	0279-6-06
0030-0-00	0080-4-04	0130-RUP-22	0180-DN-25	0230-DN-25	0280-GT0-44
0031-XT0-23	0081-XFR-67	0131-DIV-35	0181-7-07	0231-DIV-35	0281-LBL-51
0032-1-01	0082-X-36	0132-YE-24	0182-YT0-23	0232-1-01	0282-3-03
0033-1-01	0083-8-10	0133-X-35	0183-8-10	0233-XT0-23	0283-STP-41
0034-CLX-37	0084-4-04	0134-8-10	0184-0-00	0234-1-01	0284-LBL-51
0035-XT0-23	0085-7-07	0135-5-05	0185-CLX-37	0235-0-00	0285-4-04
0036-2-02	0086-XT0-23	0136-17-17	0186-PNT-45	0236-XFR-67	0286-GT0-44
0037-0-00	0087-2-02	0137-34	0187-CNT-47	0237-X-36	0287-SR-47
0038-CNT-47	0088-UP-27	0138-YE-24	0188-PNT-45	0238-8-10	0288-LBL-51
0039-1-01	0089-UP-27	0139-DIV-35	0189-XFR-67	0239-4-04	0289-K-55
0040-XFR-67	0090-XFR-67	0140-8-10	0190-2-02	0240-UP-27	0290-CLX-37
0041-9-11	0091-X-36	0141-1-01	0191-1-01	0241-1-01	0291-UP-27
0042-1-01	0092-1-01	0142-CNT-47	0192-PNT-45	0242-1-01	0292-XFR-67
0043-8-10	0093-4-04	0143-X-36	0193-XFR-67	0243-DN-25	0293-2-02
0044-XT0-23	0094-XT0-23	0144-X-36	0194-9-11	0244-X-36	0294-5-05
0045-8-10	0095-1-01	0145-YT0-40	0195-9-11	0245-YT0-40	0295-X-Y-50
0046-4-04	0096-9-11	0146-2-02	0196-PNT-45	0246-9-11	0296-GT0-44
0047-CNT-47	0097-UP-27	0147-7-07	0197-XFR-67	0247-CNT-47	0297-LBL-51
0048-1-01	0098-2-02	0148-YT0-40	0198-2-02	0248-CNT-47	0298-IND-31
0049-XFR-67	0099-X-36	0149-2-02	0199-7-07	0249-CNT-47	0299-CNT-47

0300--XR--57	0500--GTO--44	0400--1--01	0450--X=X--50	0300--1--01	0500--XR--67
0301--9--01	0501--LBL--51	0401--XR--67	0451--GTO--44	0301--6--06	0501--2--02
0302--0--00	0502--6--00	0402--3--00	0452--LBL--51	0302--XR--34	0502--5--05
0303--LBL--51	0503--LBL--51	0403--8--10	0453--IND--31	0303--X=Y--50	0503--3--03
0304--9--11	0504--XTO--23	0404--XTO--23	0454--IND--31	0304--7--07	0504--GTO--44
0305--CNT--47	0505--XR--67	0405--1--01	0455--XR--67	0305--IFG--43	0505--LBL--51
0306--5--05	0506--7--07	0406--6--06	0456--3--03	0306--XTO--23	0506--IND--31
0307--GTO--44	0507--XTO--23	0407--XR--67	0457--UP--27	0307--1--01	0507--CNT--47
0308--GTO--44	0508--3--03	0408--3--03	0458--XR--67	0308--6--06	0508--XR--67
0309--SR--77	0509--1--01	0409--9--11	0459--6--06	0309--GTO--44	0509--3--03
0310--LBL--51	0510--6--06	0410--XTO--23	0460--3--03	0310--LBL--51	0510--8--10
0311--5--05	0511--CNT--47	0411--2--02	0461--5--05	0311--XR--67	0511--XR--67
0312--LBL--51	0512--1--01	0412--1--01	0462--X=X--50	0312--GTO--44	0512--3--03
0313--5--05	0513--0--00	0413--XR--67	0463--GTO--44	0313--LBL--51	0513--4--04
0314--XR--67	0514--7--07	0414--4--04	0464--LBL--51	0314--5--05	0514--8--10
0315--XTO--23	0515--XTO--23	0415--0--00	0465--7--07	0315--STP--41	0515--UP--27
0316--XTO--23	0516--DIV--35	0416--XTO--23	0466--CNT--47	0316--LBL--51	0516--G--15
0317--7--07	0517--7--07	0417--2--02	0467--GTO--44	0317--LBL--51	0517--EX--26
0318--3--03	0518--XR--67	0418--2--02	0468--LBL--51	0318--CNT--47	0518--HS--32
0319--7--07	0519--7--07	0419--0--00	0469--0--00	0319--4--04	0519--6--06
0320--GTO--44	0520--UP--27	0420--4--04	0470--STP--41	0320--5--05	0520--XR--67
0321--SR--77	0521--EX--32	0421--1--01	0471--LBL--51	0321--X--36	0521--X--36
0322--LBL--51	0522--GHS--32	0422--XTO--23	0472--7--07	0322--YE--24	0522--8--10
0323--4--04	0523--4--04	0423--2--02	0473--XR--67	0323--K--19	0523--6--06
0324--XR--67	0524--XR--67	0424--6--06	0474--3--03	0324--S/R--77	0524--X>Y--53
0325--X>Y--53	0525--X--36	0425--6--06	0475--5--05	0325--LBL--51	0525--GTO--44
0326--GTO--44	0526--376--8	0426--8--10	0476--UP--27	0326--LBL--51	0526--LBL--51
0327--LBL--51	0527--8--10	0427--4--04	0477--XR--67	0327--XFR--67	0527--CNT--47
0328--X>Y--53	0528--X>Y--53	0428--2--02	0478--2--02	0328--3--03	0528--CNT--47
0329--GTO--44	0529--GTO--44	0429--XTO--23	0479--5--05	0329--8--10	0529--BL--51
0330--CNT--47	0530--LBL--51	0430--2--02	0480--G--15	0330--XR--67	0530--BL--51
0331--8--10	0531--5--05	0431--CNT--42	0481--X=E--30	0331--XFR--67	0531--SE--57
0332--CNT--47	0532--CNT--47	0432--CNT--42	0482--G--15	0332--XFR--67	0532--XFR--67
0333--2--02	0533--XR--67	0433--X--36	0483--X>Y--53	0333--4--04	0533--3--03
0334--XR--67	0534--3--03	0434--CNT--42	0484--GTO--44	0333--8--10	0534--1--01
0335--3--03	0535--5--05	0435--GTO--44	0485--LBL--51	0334--UP--27	0535--UP--27
0336--XTO--23	0536--XTO--23	0436--LBL--51	0486--X=X--50	0335--2--02	0536--XR--67
0337--XTO--23	0537--2--02	0437--IND--31	0487--CNT--47	0336--DIV--35	0537--3--03
0338--5--05	0538--5--05	0438--STP--41	0488--IFG--43	0337--YTO--40	0538--3--03
0339--XR--67	0539--XR--67	0439--LBL--51	0489--GTO--44	0338--1--01	0539--X>Y--50
0340--6--06	0540--3--03	0440--6--06	0490--LBL--51	0339--6--06	0540--CNT--47
0341--LBL--51	0541--6--06	0441--GTO--44	0491--9--11	0340--GTO--44	0540--3--03
0342--XR--67	0542--XTO--23	0442--S/R--77	0492--CNT--47	0341--S/R--77	0541--5--05
0343--GTO--44	0543--3--03	0443--LBL--51	0493--GTO--44	0342--LBL--51	0542--GTO--44
0344--GTO--44	0544--1--01	0444--K--55	0494--LBL--51	0343--A--62	0543--L--51
0345--L--51	0545--XR--67	0445--CNT--47	0495--8--10	0344--GTO--44	0544--YE--24
0346--F--62	0546--3--03	0446--UP--27	0496--STP--41	0345--S/R--77	0545--4--04
0347--F--62	0547--7--07	0447--XR--67	0497--LBL--51	0346--L--51	0546--5--05
0348--X>Y--52	0548--XTO--23	0448--2--02	0498--XSO--12	0347--K--55	0547--GTO--44
0349--1--01	0549--1--01	0449--5--05	0499--XR--67	0348--CLX--32	0548--L--51
0350--57L--54				0349--UP--27	0549--YE--24

0650	STP	41	0700	6	0750	9	0800	1	0850	XXY	52
0651	LBL	51	0701	XXY	52	0751	9	0801	UP	57	
0652	IND	51	0702	SFL	54	0752	11	0802	UP	57	
0653	FLG	43	0703	GTO	44	0753	11	0803	CHT	57	
0654	INT	47	0704	LBL	51	0754	11	0804	IFL	57	
0655	INT	47	0705	XTO	23	0755	11	0805	CHT	57	
0656	CHT	47	0706	ENT	42	0756	11	0806	ENT	57	
0657	CHT	47	0707	ENT	42	0757	11	0807	CHT	57	
0658	CHT	47	0708	K	55	0758	11	0808	CHT	57	
0659	1	01	0709	0	55	0759	11	0809	CHT	57	
0660	3	10	0710	N	73	0760	11	0810	XTO	57	
0661	6	06	0711	E	60	0761	11	0811	0	01	
0662	UP	27	0712	C	61	0762	11	0812	0	01	
0663	XPR	67	0713	CLR	20	0763	11	0813	X	56	
0664	1	01	0714	CLR	20	0764	11	0814	YTO	40	
0665	6	06	0715	CLR	20	0765	11	0815	+	33	
0666	XPR	67	0716	CLR	20	0766	11	0816	5	11	
0667	GTO	44	0717	CLR	20	0767	11	0817	9	11	
0668	LBL	51	0718	CLR	20	0768	11	0818	CLC	20	
0669	XTO	23	0719	ENT	42	0769	11	0819	CLC	20	
0670	CHT	47	0720	STP	41	0770	11	0820	CLC	20	
0671	GTO	44	0721	STP	41	0771	11	0821	CLC	20	
0672	LBL	51	0722	LBL	51	0772	11	0822	CLC	20	
0673	1/X	17	0723	GTO	23	0773	11	0823	CLC	20	
0674	STP	41	0724	XPR	67	0774	11	0824	CLC	20	
0675	LBL	51	0725	1	01	0775	11	0825	CLC	20	
0676	1/X	17	0726	0	00	0776	11	0826	CLC	20	
0677	GTO	44	0727	0	00	0777	11	0827	CLC	20	
0678	S/R	77	0728	UP	27	0778	11	0828	CLC	20	
0679	LBL	51	0729	CLX	37	0779	11	0829	CLC	20	
0680	0	13	0730	0	00	0780	11	0830	CLC	20	
0681	XPR	67	0731	GTO	44	0781	11	0831	CLC	20	
0682	9	11	0732	LBL	51	0782	11	0832	CLC	20	
0683	0	00	0733	G	15	0783	11	0833	CLC	20	
0684	XTO	23	0734	ENT	47	0784	11	0834	CLC	20	
0685	+	33	0735	IFG	43	0785	11	0835	CLC	20	
0686	1	01	0736	SFL	54	0786	11	0836	CLC	20	
0687	1	01	0737	GTO	44	0787	11	0837	CLC	20	
0688	GTO	44	0738	LBL	51	0788	11	0838	CLC	20	
0689	LBL	51	0739	N	73	0789	11	0839	CLC	20	
0690	2	02	0740	XXY	52	0790	11	0840	CLC	20	
0691	STP	41	0741	GTO	44	0791	11	0841	CLC	20	
0692	LBL	51	0742	LBL	51	0792	11	0842	CLC	20	
0693	INT	67	0743	N	70	0793	11	0843	CLC	20	
0694	XPR	67	0744	CHT	47	0794	11	0844	CLC	20	
0695	8	10	0745	XPR	67	0795	11	0845	CLC	20	
0696	6	06	0746	1	01	0796	11	0846	CLC	20	
0697	UP	27	0747	0	00	0797	11	0847	CLC	20	
0698	LBL	51	0748	1	01	0798	11	0848	CLC	20	
0699	1	01	0749	XTO	23	0799	11	0849	CLC	20	

0900--CLR--20	1000--9--11	1050--6--06	1100--GTO--44	1150--XFR--67
0901--CLR--20	1001--YE--24	1051--X--30--12	1101--SR--77	1151--X--30
0902--CNT--42	1002--0--02	1052--XFR--67	1102--LBL--51	1152--4--04
0903--GTO--44	1003--0--00	1053--TP--35	1103--L--65	1153--XFR--67
0904--LBL--51	1004--VE--24	1054--1--001	1104--XFR--67	1154--DIV--35
0905--1--01	1005--2--02	1055--0--00	1105--9--10	1155--8--10
0906--STP--41	1006--6--06	1056--XFR--67	1106--5--05	1156--UP--27
0907--STP--41	1007--VE--24	1057--X--36	1107--XTO--30	1157--2--02
0908--LBL--51	1008--2--02	1058--8--10	1108--X--36	1158--X--36
0909--#--56	1009--7--07	1059--4--04	1109--X--36	1159--YE--24
0910--XTO--23	1010--VE--24	1060--XTO--23	1110--GTO--44	1160--DIV--35
0911--6--14	1011--2--02	1061--6--14	1111--SR--77	1161--8--10
0912--1--01	1012--8--10	1062--XFR--67	1112--LBL--51	1162--1--01
0913--UP--27	1013--VE--24	1063--2--02	1113--7--05	1163--YTO--40
0914--XFR--67	1014--2--02	1064--1--001	1114--Q--32	1164--2--02
0915--2--02	1015--9--11	1065--X--36	1115--XFR--67	1165--2--02
0916--5--05	1016--YE--24	1066--XFR--67	1116--4--04	1166--XFR--67
0917--XTO--23	1017--3--03	1067--X--36	1117--X--36	1167--1--01
0918--IND--31	1018--9--00	1068--X--36	1118--XFR--67	1168--0--00
0919--6--14	1019--S/R--77	1069--8--10	1119--X--36	1169--X--36
0920--STP--41	1020--STP--41	1070--4--04	1120--UP--27	1170--DIV--35
0921--E--60	1021--LBL--51	1071--XFR--67	1121--YTO--40	1171--YTO--40
0922--3--03	1022--F--16	1072--X--36	1122--X--36	1172--3--03
0923--1--01	1023--C--51	1073--1--001	1123--X--36	1173--3--03
0924--XTO--23	1024--X--36	1074--0--00	1124--X--36	1174--XFR--67
0925--IND--31	1025--X--36	1075--XTO--23	1125--X--36	1175--2--02
0926--6--14	1026--CNT--47	1076--X--36	1126--3--03	1176--1--01
0927--E--60	1027--CNT--47	1077--XFR--67	1127--1--01	1177--XTO--23
0928--XFR--67	1028--CNT--47	1078--2--02	1128--YTO--40	1178--1--01
0929--1--01	1029--UP--27	1079--1--001	1129--6--06	1179--XFR--67
0930--1--01	1030--UP--27	1080--X--36	1130--6--06	1180--X--36
0931--XTO--23	1031--XFR--67	1081--XFR--67	1131--X--36	1181--1--01
0932--IND--31	1032--8--10	1082--DIV--35	1132--X--36	1182--1--01
0933--6--14	1033--2--02	1083--1--001	1133--X--36	1183--XFR--67
0934--E--60	1034--S/R--77	1084--X--36	1134--X--36	1184--DIV--35
0935--XFR--67	1035--STP--41	1085--XFR--67	1135--GTO--44	1185--1--01
0936--1--01	1036--LBL--51	1086--X--36	1136--SR--77	1186--1--01
0937--6--06	1037--A--62	1087--1--001	1137--LBL--51	1187--XFR--67
0938--XTO--23	1038--1--001	1088--6--06	1138--1--001	1188--X--36
0939--IND--31	1039--6--06	1089--XFR--67	1139--XFR--67	1189--X--36
0940--6--14	1040--GTO--44	1090--X--36	1140--5--05	1190--1--01
0941--E--60	1041--X--36	1091--1--001	1141--5--05	1191--XFR--67
0942--XFR--67	1042--LBL--51	1092--0--00	1142--XTO--23	1192--DIV--35
0943--2--02	1043--D--63	1093--X--36	1143--X--36	1193--8--10
0944--1--01	1044--XFR--67	1094--8--10	1144--X--36	1194--4--04
0945--XTO--23	1045--1--001	1095--TP--41	1145--GTO--44	1195--XTO--23
0946--IND--31	1046--1--001	1096--STP--41	1146--SR--77	1196--2--02
0947--6--14	1047--XFR--67	1097--TP--41	1147--LBL--51	1197--X--36
0948--E--60	1048--DIV--35	1098--LBL--51	1148--X--36	1198--XFR--67
0949--XFR--67	1049--1--001	1099--X--36	1149--X--36	1199--X--36

1200	-- 9	-- 11	1200	-- 5	-- 05	1300	-- YE	-- 24	1300	--	-- 34	1400	-- b	-- 14	1400	-- XFR	-- 67	1400	-- XTO	-- 23
1201	XFR	-- 7	1201	-- 6	-- 14	1301	-- b	-- 14	1301	-- 2	-- 02	1401	--	-- 34	1401	--	-- 34	1401	--	-- 03
1202	-- 3	-- 36	1202	-- 6	-- 15	1302	--	-- 05	1302	-- UP	-- 27	1402	--	-- 34	1402	--	-- 34	1402	--	-- 03
1203	-- 9	-- 11	1203	-- X-Y	-- 50	1303	-- +	-- 33	1303	-- 6	-- 14	1403	-- a	-- 13	1403	--	-- 34	1403	--	-- 23
1204	-- 1	-- 01	1204	-- UP	-- 27	1304	-- XTO	-- 40	1304	-- XFR	-- 67	1404	-- DIV	-- 35	1404	--	-- 34	1404	--	-- 04
1205	-- UP	-- 27	1205	-- 1	-- 01	1305	-- a	-- 13	1305	-- IND	-- 31	1405	-- f	-- 76	1405	--	-- 34	1405	--	-- 47
1206	CLX	-- 57	1206	-- UP	-- 27	1306	-- XFR	-- 67	1306	--	-- 34	1406	-- XTO	-- 23	1406	--	-- 34	1406	--	-- 47
1207	X-X	-- 53	1207	-- CNT	-- 47	1307	-- IND	-- 31	1307	-- 2	-- 02	1407	-- 0	-- 00	1407	--	-- 34	1407	--	-- 47
1208	XFR	-- 30	1208	-- a	-- 13	1308	-- a	-- 13	1308	-- DIV	-- 35	1408	-- CNT	-- 47	1408	-- S-R	-- 77	1408	--	-- 47
1209	CNT	-- 47	1209	-- XTO	-- 23	1309	-- XTO	-- 23	1309	--	-- 34	1409	--	-- 01	1409	--	-- 34	1409	--	-- 51
1210	CNT	-- 47	1210	-- 3	-- 03	1310	-- a	-- 13	1310	-- X	-- 36	1410	-- XEV	-- 30	1410	--	-- 34	1410	--	-- 51
1211	CNT	-- 47	1211	-- 1	-- 01	1311	-- CNT	-- 47	1311	-- a	-- 13	1411	--	-- 34	1411	--	-- 34	1411	--	-- 51
1212	IND	-- 23	1212	-- CNT	-- 47	1312	-- CNT	-- 47	1312	-- K	-- 55	1412	--	-- 34	1412	--	-- 34	1412	--	-- 51
1213	XTO	-- 23	1213	-- CNT	-- 47	1313	-- XTO	-- 44	1313	-- S-R	-- 77	1413	-- XEV	-- 30	1413	--	-- 34	1413	--	-- 51
1214	-- +	-- 33	1214	-- S-R	-- 77	1314	-- S-R	-- 77	1314	--	-- 01	1414	--	-- 34	1414	--	-- 34	1414	--	-- 51
1215	-- 2	-- 02	1215	-- CNT	-- 47	1315	-- LBL	-- 51	1315	-- LBL	-- 51	1415	-- UP	-- 27	1415	--	-- 34	1415	--	-- 51
1216	-- 5	-- 05	1216	-- LBL	-- 51	1316	-- SFL	-- 13	1316	--	-- 55	1416	--	-- 34	1416	--	-- 34	1416	--	-- 51
1217	CNT	-- 47	1217	-- L	-- 72	1317	-- a	-- 13	1317	-- K	-- 55	1417	--	-- 34	1417	--	-- 34	1417	--	-- 51
1218	-- 2	-- 02	1218	-- 4	-- 04	1318	-- XTO	-- 23	1318	--	-- 02	1418	--	-- 34	1418	--	-- 34	1418	--	-- 51
1219	-- 6	-- 06	1219	-- XTO	-- 23	1319	--	-- 33	1319	--	-- 02	1419	--	-- 34	1419	--	-- 34	1419	--	-- 51
1220	GT0	-- 44	1220	-- 0	-- 00	1320	--	-- 01	1320	--	-- 01	1420	--	-- 34	1420	--	-- 34	1420	--	-- 51
1221	S-X	-- 77	1221	-- CLX	-- 37	1321	--	-- 06	1321	--	-- 06	1421	--	-- 34	1421	--	-- 34	1421	--	-- 51
1222	LBL	-- 51	1222	-- XTO	-- 23	1322	-- K	-- 55	1322	--	-- 06	1422	--	-- 34	1422	--	-- 34	1422	--	-- 51
1223	-- 1	-- 01	1223	-- 1	-- 01	1323	-- S-R	-- 77	1323	-- S-R	-- 77	1423	--	-- 34	1423	--	-- 34	1423	--	-- 51
1224	XFR	-- 67	1224	-- 6	-- 06	1324	-- 0	-- 00	1324	--	-- 00	1424	--	-- 34	1424	--	-- 34	1424	--	-- 51
1225	-- 1	-- 01	1225	-- CNT	-- 47	1325	-- LBL	-- 51	1325	--	-- 00	1425	--	-- 34	1425	--	-- 34	1425	--	-- 51
1226	UP	-- 27	1226	-- CNT	-- 47	1326	-- SFL	-- 13	1326	--	-- 00	1426	--	-- 34	1426	--	-- 34	1426	--	-- 51
1227	YE	-- 34	1227	-- GT0	-- 44	1327	-- XFR	-- 67	1327	--	-- 00	1427	--	-- 34	1427	--	-- 34	1427	--	-- 51
1228	-- 2	-- 02	1228	-- S-R	-- 77	1328	-- 0	-- 00	1328	--	-- 00	1428	--	-- 34	1428	--	-- 34	1428	--	-- 51
1229	-- 1	-- 01	1229	-- LBL	-- 51	1329	--	-- 00	1329	--	-- 00	1429	--	-- 34	1429	--	-- 34	1429	--	-- 51
1230	YTO	-- 40	1230	-- 1	-- 01	1330	-- UP	-- 27	1330	--	-- 00	1430	--	-- 34	1430	--	-- 34	1430	--	-- 51
1231	-- 2	-- 02	1231	-- 1	-- 01	1331	-- XFR	-- 67	1331	--	-- 00	1431	--	-- 34	1431	--	-- 34	1431	--	-- 51
1232	-- 4	-- 04	1232	-- 1	-- 01	1332	-- X-Y	-- 50	1332	--	-- 00	1432	--	-- 34	1432	--	-- 34	1432	--	-- 51
1233	YE	-- 24	1233	-- S-R	-- 77	1333	-- CNT	-- 47	1333	--	-- 00	1433	--	-- 34	1433	--	-- 34	1433	--	-- 51
1234	-- X	-- 36	1234	-- LBL	-- 51	1334	-- K	-- 55	1334	--	-- 00	1434	--	-- 34	1434	--	-- 34	1434	--	-- 51
1235	-- 1	-- 01	1235	-- IFG	-- 43	1335	-- S-R	-- 77	1335	--	-- 00	1435	--	-- 34	1435	--	-- 34	1435	--	-- 51
1236	-- 1	-- 01	1236	-- 4	-- 04	1336	--	-- 00	1336	--	-- 00	1436	--	-- 34	1436	--	-- 34	1436	--	-- 51
1237	YTO	-- 40	1237	-- XTO	-- 23	1337	-- CNT	-- 47	1337	--	-- 00	1437	--	-- 34	1437	--	-- 34	1437	--	-- 51
1238	-- 3	-- 03	1238	-- 1	-- 01	1338	--	-- 00	1338	--	-- 00	1438	--	-- 34	1438	--	-- 34	1438	--	-- 51
1239	-- 2	-- 02	1239	-- CNT	-- 47	1339	--	-- 00	1339	--	-- 00	1439	--	-- 34	1439	--	-- 34	1439	--	-- 51
1240	-- 5	-- 05	1240	-- 1	-- 01	1340	-- XFR	-- 67	1340	--	-- 00	1440	--	-- 34	1440	--	-- 34	1440	--	-- 51
1241	XFR	-- 67	1241	-- 1	-- 01	1341	--	-- 00	1341	--	-- 00	1441	--	-- 34	1441	--	-- 34	1441	--	-- 51
1242	-- 2	-- 02	1242	-- XFR	-- 67	1342	--	-- 00	1342	--	-- 00	1442	--	-- 34	1442	--	-- 34	1442	--	-- 51
1243	-- 6	-- 06	1243	-- +	-- 33	1343	--	-- 00	1343	--	-- 00	1443	--	-- 34	1443	--	-- 34	1443	--	-- 51
1244	XTO	-- 23	1244	-- XTO	-- 23	1344	-- XTO	-- 23	1344	--	-- 00	1444	--	-- 34	1444	--	-- 34	1444	--	-- 51
1245	-- 3	-- 03	1245	-- 2	-- 02	1345	--	-- 00	1345	--	-- 00	1445	--	-- 34	1445	--	-- 34	1445	--	-- 51
1246	-- 5	-- 05	1246	-- 6	-- 06	1346	--	-- 00	1346	--	-- 00	1446	--	-- 34	1446	--	-- 34	1446	--	-- 51
1247	-- 3	-- 03	1247	-- IND	-- 31	1347	--	-- 00	1347	--	-- 00	1447	--	-- 34	1447	--	-- 34	1447	--	-- 51
1248	XFR	-- 67	1248	-- 6	-- 06	1348	--	-- 00	1348	--	-- 00	1448	--	-- 34	1448	--	-- 34	1448	--	-- 51
1249	-- 2	-- 02	1249	-- UP	-- 27	1349	-- IND	-- 31	1349	--	-- 00	1449	--	-- 34	1449	--	-- 34	1449	--	-- 51

1500	0	13	1500	X	1	1500	GT0	44	1600	X	23	1700	+	33	1800	1	01
1501	X	36	1501	XY	30	1501	LBL	51	1601	LBL	51	1701	6	14	1801	X	30
1502	0	13	1502	H	74	1502	XY	50	1602	XY	50	1702	9	11	1802	Y	74
1503	33	1503	RUP	22	1503	ONT	47	1603	ONT	47	1703	9	11	1803	Y	74	
1504	PH	35	1504	DIV	35	1504	XFR	67	1604	XFR	67	1704	IND	31	1804	X	03
1505	UP	27	1505	TO	40	1505	1	01	1605	1	01	1705	X	36	1805	XFR	67
1506	UP	27	1506	4	04	1506	2	02	1606	2	02	1706	6	14	1806	6	14
1507	XFR	67	1507	XFR	67	1507	XFR	67	1607	XFR	67	1707	+	33	1807	IND	31
1508	3	34	1508	XFR	67	1508	1	01	1608	1	01	1708	1	01	1808	X	36
1509	8	10	1509	2	02	1509	1	01	1609	1	01	1709	X	36	1809	X	36
1510	2	02	1510	TO	23	1510	XY	50	1610	XY	50	1710	+	33	1810	+	33
1511	UP	27	1511	+	33	1511	3	03	1611	3	03	1711	6	14	1811	1	01
1512	XFR	67	1512	GT0	44	1512	6	14	1612	6	14	1712	2	02	1812	X	36
1513	8	10	1513	K	55	1513	LBL	51	1613	LBL	51	1713	2	02	1813	+	33
1514	1	01	1514	S	77	1514	XY	52	1614	XY	52	1714	IND	31	1814	6	14
1515	XY	30	1515	0	00	1515	ONT	47	1615	ONT	47	1715	X	36	1815	1	01
1516	H	74	1516	STP	41	1516	XY	52	1616	XY	52	1716	6	14	1816	6	14
1517	RUP	22	1517	STP	41	1517	ONT	47	1617	ONT	47	1717	6	14	1817	6	14
1518	DIV	35	1518	LBL	51	1518	0	13	1618	0	13	1718	YE	24	1818	IND	31
1519	2	02	1519	0	63	1519	UP	27	1619	0	13	1719	DIV	35	1819	X	36
1520	X	36	1520	TO	23	1520	XFR	67	1620	XFR	67	1720	0	13	1820	X	36
1521	Y	74	1521	6	14	1521	IND	31	1621	6	14	1721	Y	74	1821	+	33
1522	+	33	1522	XFR	67	1522	6	14	1622	6	14	1722	2	02	1822	+	33
1523	4	04	1523	1	01	1523	TO	40	1623	1	01	1723	1	01	1823	+	33
1524	0	00	1524	1	01	1524	+	33	1624	+	33	1724	6	14	1824	+	33
1525	2	02	1525	XFR	67	1525	6	14	1625	6	14	1725	6	14	1825	6	14
1526	X	36	1526	XFR	67	1526	XFR	67	1626	XFR	67	1726	6	14	1826	6	14
1527	1	01	1527	1	01	1527	1	01	1627	1	01	1727	1	01	1827	1	01
1528	1	01	1528	2	02	1528	2	02	1628	2	02	1728	1	01	1828	1	01
1529	XFR	67	1529	UP	27	1529	UP	27	1629	UP	27	1729	X	36	1829	X	36
1530	1	01	1530	XFR	67	1530	XFR	67	1630	XFR	67	1730	X	36	1830	X	36
1531	X	36	1531	1	01	1531	DIV	35	1631	DIV	35	1731	0	13	1831	+	33
1532	UP	27	1532	4	04	1532	TO	40	1632	4	04	1732	0	13	1832	+	33
1533	6	14	1533	XFR	67	1533	2	02	1633	2	02	1733	2	02	1833	2	02
1534	XFR	67	1534	1	01	1534	3	03	1634	3	03	1734	3	03	1834	3	03
1535	5	05	1535	5	05	1535	5	05	1635	5	05	1735	5	05	1835	5	05
1536	5	05	1536	5	05	1536	5	05	1636	5	05	1736	5	05	1836	5	05
1537	X	36	1537	Y	50	1537	LBL	51	1637	Y	50	1737	6	14	1837	6	14
1538	0	13	1538	TO	44	1538	XY	52	1638	XY	52	1738	6	14	1838	6	14
1539	1	01	1539	LBL	51	1539	X	36	1639	X	36	1739	6	14	1839	6	14
1540	PH	35	1540	XY	53	1540	2	02	1640	XY	53	1740	6	14	1840	6	14
1541	UP	27	1541	ONT	47	1541	TO	40	1641	ONT	47	1741	6	14	1841	6	14
1542	UP	27	1542	XFR	67	1542	3	03	1642	XFR	67	1742	6	14	1842	6	14
1543	XFR	67	1543	1	01	1543	6	14	1643	1	01	1743	6	14	1843	6	14
1544	8	10	1544	2	02	1544	XFR	67	1644	2	02	1744	6	14	1844	6	14
1545	8	10	1545	XFR	67	1545	IND	31	1645	XFR	67	1745	6	14	1845	6	14
1546	2	02	1546	1	01	1546	X	36	1646	X	36	1746	6	14	1846	6	14
1547	UP	27	1547	1	01	1547	6	14	1647	1	01	1747	6	14	1847	6	14
1548	XFR	67	1548	4	04	1548	UP	27	1648	4	04	1748	6	14	1848	6	14
1549	8	10	1549	X	36	1549	1	01	1649	1	01	1749	6	14	1849	6	14

100--GT0--44
101--JBL--51
102--IND--31
103--CNT--47
104--XER--67
105--3--00
106--3--10
107--UP--27
108--XER--67
109--4--04
110--3--10
111--C--15
112--XY--30
113--C--15
114--C--04
115--C--10
116--EX--20
117--CHS--32
118--6--06
119--XY--52
120--GT0--44
121--JBL--51
122--ASE--57
123--CNT--47
124--CLX--37
125--X10--23
126--2--02
127--2--02
128--CNT--47
129--1--01
130--CNT--47
131--X10--23
132--2--02
133--6--06
134--GT0--44
135--JBL--51
136--IND--31
137--SIP--41
138--END--46

Příloha II

Program VSOP - pro stolní kalkulátor
HP 9810 A

PROGRAM VSOP

0000--GTO--44	0050--7--07	0100--4--04	0150--8--10	0200--LBL--51	0250--LBL--51
0001--SR--77	0051--CNT--47	0101--XSO--12	0151--DN--25	0201--9--11	0251--H--62
0002--LBL--51	0052--FMT--43	0102--7--34	0152--XFR--67	0202--CNT--47	0252--H--02
0003--CNT--47	0053--CNT--40	0103--YTO--40	0153--DIV--35	0203--DN--25	0253--5--21
0004--CNT--47	0054--YTO--40	0104--2--02	0154--2--02	0204--DIV--35	0254--5--05
0005--LBL--51	0055--5--05	0105--7--07	0155--9--11	0205--DN--25	0255--XFR--67
0006--XSO--12	0056--XTO--33	0106--XFR--67	0156--UP--27	0206--XSO--12	0256--XFR--67
0007--GTO--44	0057--5--06	0107--2--03	0157--2--02	0207--UP--27	0257--3--03
0008--SP--77	0058--CNT--47	0108--3--03	0158--UP--27	0208--4--04	0258--5--05
0009--LBL--51	0059--3--02	0109--XFR--67	0159--4--56	0209--X--56	0259--X--53
0010--1--01	0060--5--05	0110--3--34	0160--X--36	0210--YTO--40	0260--GTO--51
0011--FMT--42	0061--XTO--33	0111--2--02	0161--DN--25	0211--3--03	0261--LBL--51
0012--CNT--47	0062--7--33	0112--6--06	0162--DIV--35	0212--H--02	0262--H--02
0013--UP--27	0063--X--07	0113--XTO--23	0163--YTO--40	0213--XFR--67	0263--CNT--47
0014--FMT--42	0064--XFR--67	0114--2--02	0164--3--03	0214--2--02	0264--XFR--67
0015--CNT--47	0065--2--02	0115--9--11	0165--0--00	0215--9--11	0265--3--03
0016--YTO--40	0066--4--04	0116--XFR--67	0166--XFR--67	0216--XFR--67	0266--7--XTO--23
0017--5--05	0067--XTO--33	0117--2--02	0167--2--02	0217--DIV--35	0267--XTO--23
0018--XTO--23	0068--2--02	0118--2--02	0168--7--07	0218--2--02	0268--3--03
0019--6--06	0069--1--01	0119--XFR--67	0169--UP--27	0219--7--07	0269--X--53
0020--CLX--37	0070--XFR--67	0120--3--34	0170--XFR--67	0220--XSO--12	0270--X--53
0021--XTO--23	0071--2--02	0121--2--02	0171--2--02	0221--UP--27	0271--YTO--40
0022--7--07	0072--5--05	0122--5--05	0172--8--10	0222--4--04	0272--3--03
0023--F--16	0073--XTO--33	0123--UP--27	0173--UP--27	0223--X--36	0273--4--04
0024--XTO--23	0074--2--02	0124--UP--27	0174--CLX--37	0224--YTO--40	0274--CNT--47
0025--2--02	0075--2--02	0125--G--15	0175--XEV--30	0225--3--03	0275--XFR--67
0026--4--04	0076--XFR--67	0126--4--04	0176--XEV--50	0226--3--03	0276--3--03
0027--YTO--40	0077--2--02	0127--X--53	0177--CLX--36	0227--XFR--67	0277--4--04
0028--2--02	0078--5--06	0128--X--53	0178--CHS--32	0228--UP--27	0278--UP--27
0029--5--05	0079--XTO--33	0129--GTO--44	0179--9--11	0229--2--02	0279--2--02
0030--DN--25	0080--2--02	0130--LBL--51	0180--0--00	0230--UP--27	0280--5--21
0031--YTO--40	0081--3--03	0131--3--03	0181--RUP--22	0231--XFR--67	0281--5--21
0032--2--02	0082--F--16	0132--CLX--37	0182--XEV--30	0232--2--02	0282--DIV--35
0033--6--06	0083--XTO--33	0133--XEV--50	0183--DIV--35	0233--4--04	0283--DN--35
0034--LBL--51	0084--4--04	0134--GTO--44	0184--2--02	0234--X--53	0284--UP--27
0035--2--02	0085--2--02	0135--LBL--51	0185--DIV--35	0235--CNT--47	0285--INT--64
0036--FMT--42	0086--YTO--40	0136--3--03	0186--YTO--40	0236--XEV--30	0286--XEV--50
0037--CNT--47	0087--2--02	0137--CNT--47	0187--3--03	0237--CNT--47	0287--X--53
0038--UP--27	0088--5--06	0138--DN--25	0188--1--01	0238--CNT--47	0288--CNT--47
0039--X--50	0089--DN--25	0139--DIV--35	0189--XFR--67	0239--XTO--23	0289--1--01
0040--X--50	0090--YTO--40	0140--UP--27	0190--2--02	0240--3--03	0290--3--03
0041--GTO--44	0091--2--02	0141--4--04	0191--8--10	0241--8--10	0291--CNT--47
0042--LBL--51	0092--6--06	0142--3--34	0192--UP--27	0242--XTO--23	0292--1--01
0043--XSO--12	0093--XFR--67	0143--X--34	0193--XFR--67	0243--3--03	0293--3--03
0044--CNT--47	0094--2--02	0144--DN--25	0194--2--02	0244--5--05	0294--2--02
0045--1--01	0095--1--01	0145--X--33	0195--7--07	0245--YTO--40	0295--1--01
0046--1--01	0096--XSO--12	0146--LBL--51	0196--X--36	0246--7--07	0296--X--53
0047--X--50	0097--UP--27	0147--3--03	0197--CLX--37	0247--7--07	0297--UP--27
0048--GTO--44	0098--XFR--67	0148--YTO--40	0198--XEV--50	0248--CLX--37	0298--CNT--47
0049--LBL--51	0099--2--02	0149--2--02	0199--GTO--44	0249--UP--27	0299--CNT--47

0300--CNT--47	0350--X-V--59	0400--LBL--51	0450--GTO--44	0500--XFR--67	0510--4--04
0301--5--05	0351--CNT--47	0401--CNT--47	0451--S-R--77	0501--DIV--35	0511--S-R--77
0302--0--00	0352--1--01	0402--K--55	0452--LBL--51	0502--1--01	0512--S-R--41
0303--+--33	0353--1--01	0403--CLX--37	0453--INT--64	0503--5--64	0513--S-R--41
0304--YTO--40	0354--CNT--47	0404--CLF--20	0454--6--06	0504--L--72	0514--S-R--41
0305--4--04	0355--1--01	0405--STP--41	0455--XTO--23	0505--0--71	0515--S-R--41
0306--0--00	0356--2--33	0406--RUP--22	0456--DIV--35	0506--UP--27	0516--S-R--41
0307--GTO--44	0357--2--32	0407--PNT--45	0457--6--13	0507--H--73	0517--S-R--41
0308--S-R--77	0358--1--01	0408--XTO--23	0458--XTO--23	0508--XEV--30	0518--S-R--41
0309--LBL--51	0359--X-V--52	0409--1--01	0459--DIV--35	0509--H--70	0519--S-R--41
0310--1--55	0360--UP--52	0410--0--00	0460--6--14	0510--XTO--23	0520--S-R--41
0311--LBL--51	0361--CNT--47	0411--0--00	0461--XTO--23	0511--1--01	0521--S-R--41
0312--8--10	0362--CNT--47	0412--RUP--22	0462--DIV--35	0512--XTO--23	0522--S-R--41
0313--XTO--23	0363--CNT--47	0413--PNT--45	0463--1--01	0513--2--02	0523--S-R--41
0314--INT--31	0364--5--05	0414--XTO--23	0464--XTO--23	0514--XFR--67	0524--S-R--41
0315--4--33	0365--0--00	0415--1--01	0465--DIV--35	0515--1--01	0525--S-R--41
0316--+--04	0366--+--33	0416--0--00	0466--2--02	0516--3--03	0526--S-R--41
0317--0--00	0367--YTO--40	0417--1--01	0467--C--61	0517--XFR--67	0527--S-R--41
0318--XFR--67	0368--4--04	0418--RUP--22	0468--0--63	0518--1--01	0528--S-R--41
0319--3--03	0369--0--00	0419--CNT--45	0469--XTO--23	0519--1--01	0529--S-R--41
0320--4--04	0370--XFR--67	0420--PNT--45	0470--1--01	0520--1--01	0530--S-R--41
0321--UP--27	0371--2--02	0421--PNT--45	0471--2--02	0521--XSO--12	0531--S-R--41
0322--XFR--67	0372--4--04	0422--PNT--45	0472--XTO--46	0522--UP--27	0532--S-R--41
0323--3--03	0373--XFR--67	0423--XTO--23	0473--1--01	0523--XFR--67	0533--S-R--41
0324--7--07	0374--X--36	0424--1--01	0474--1--01	0524--1--01	0534--S-R--41
0325--X-V--50	0375--3--03	0425--0--00	0475--XFR--67	0525--5--05	0535--S-R--41
0326--GTO--44	0376--8--10	0426--2--02	0476--1--01	0526--XSO--12	0536--S-R--41
0327--LBL--51	0377--XSO--12	0427--K--55	0477--XTO--23	0527--+--33	0537--S-R--41
0328--INT--31	0378--UP--27	0428--2--02	0478--1--01	0528--BR--25	0538--S-R--41
0329--CNT--47	0379--XFR--67	0429--S-R--77	0479--4--04	0529--F--76	0539--S-R--41
0330--YTO--40	0380--2--02	0430--LBL--51	0480--XFR--67	0530--UP--27	0540--S-R--41
0331--3--03	0381--9--11	0431--1--01	0481--2--02	0531--XFR--67	0541--S-R--41
0332--5--05	0382--XSO--12	0432--CNT--47	0482--XTO--23	0532--1--01	0542--S-R--41
0333--GTO--44	0383--4--04	0433--4--04	0483--1--01	0533--4--04	0543--S-R--41
0334--LBL--51	0384--DN--25	0434--9--11	0484--3--03	0534--XFR--67	0544--S-R--41
0335--BL--62	0385--F--76	0435--XTO--23	0485--CLR--20	0535--1--01	0545--S-R--41
0336--LBL--51	0386--UP--27	0436--0--00	0486--2--02	0536--1--01	0546--S-R--41
0337--9--11	0387--UP--27	0437--CLR--20	0487--5--05	0537--2--02	0547--S-R--41
0338--XFR--67	0388--XTO--23	0438--CNT--47	0488--0--00	0538--DIV--35	0548--S-R--41
0339--2--02	0389--3--03	0439--CNT--47	0489--0--00	0539--DN--25	0549--S-R--41
0340--4--04	0390--4--04	0440--GTO--44	0490--XTO--23	0540--1/X--12	0550--S-R--41
0341--UP--27	0391--XTO--23	0441--S-R--77	0491--1--01	0541--L--72	0551--S-R--41
0342--2--02	0392--3--03	0442--LBL--51	0492--5--05	0542--0--71	0552--S-R--41
0343--7--07	0393--7--07	0443--0--00	0493--XFR--67	0543--UP--27	0553--S-R--41
0344--5--05	0394--GTO--44	0444--CNT--47	0494--1--01	0544--N--73	0554--S-R--41
0345--DIV--35	0395--LBL--51	0445--3--03	0495--XFR--67	0545--XEV--30	0555--S-R--41
0346--DN--25	0396--8--10	0446--XTO--23	0496--XFR--67	0546--M--70	0556--S-R--41
0347--UP--27	0397--S-R--41	0447--0--00	0497--1--01	0547--XTO--23	0557--S-R--41
0348--INT--64	0398--S-R--41	0448--CNT--47	0498--1--01	0548--3--03	0558--S-R--41
0349--XEV--30	0399--S-R--41	0449--CNT--47	0499--1--01	0549--YTO--40	0559--S-R--41

0650	+	---	33	0700	+	---	21	0750	LBL	51	0800	VE	24	0850	LBL	51							
0651	6	---	14	0701	1	---	01	0751	4	---	04	0801	X	---	36	0851	6						
0652	DN	23	40	0702	0	---	00	0752	XFR	67	0802	3	---	03	0852	XFR	67						
0653	YTO	40	33	0703	X	---	36	0753	+	---	33	0803	3	---	03	0853	+						
0654	0	---	10	0704	YTO	40	48	0754	0	---	00	0804	+	---	33	0854	5						
0655	XTO	23	55	0705	XTO	23	03	0755	UP	27	0805	1	---	01	0855	GTO	44						
0656	S/R	77	77	0706	6	---	06	0756	2	---	02	0806	+	---	33	0856	S/P	77					
0657	C	---	61	0707	XFR	67	67	0757	STP	41	0807	DN	25	0857	LBL	51							
0658	XFR	67	41	0708	3	---	03	0758	XTO	23	0808	r	---	76	0858	4	---	04					
0659	X	---	36	0709	4	---	04	0759	+	---	33	0809	S/R	77	0859	XTO	23	---	23				
0660	4	---	04	0710	GTO	44	44	0760	0	---	13	0810	LBL	51	0860	+	---	33	---	33			
0661	YE	24	16	0711	S/R	77	77	0761	1	---	01	0811	5	---	05	0861	6	---	14	---	14		
0662	X	---	36	0712	LBL	51	51	0762	1	---	01	0812	GTO	44	0862	XFR	67	0863	3	---	03		
0663	5	---	05	0713	5	---	05	0763	XTO	23	0813	S/R	77	0863	3	---	03	0864	6	---	06		
0664	XEV	30	34	0714	XTO	23	23	0764	0	---	00	0814	LBL	51	0864	+	---	35	---	35	---	35	
0665	-	---	37	0715	6	---	13	0765	CLX	37	0815	4	---	04	0865	XTO	23	0866	+	---	33		
0666	UP	27	27	0716	XFR	67	67	0766	XTO	23	0816	RUP	22	0866	+	---	33	0867	+	---	33		
0667	C	---	61	0717	3	---	03	0767	6	---	14	0817	RUP	22	0867	3	---	03	0868	5	---	05	
0668	XFR	67	41	0718	5	---	05	0768	CNT	47	0818	XSO	12	0868	3	---	03	0869	X	---	55		
0669	X	---	36	0719	GTO	44	44	0769	CNT	47	0819	XEV	30	0869	+	---	35	0870	S/P	77	---	77	
0670	X	---	36	0720	S/R	77	77	0770	GTO	44	0820	X	---	36	0870	S/P	77	0871	0	---	00		
0671	VE	24	24	0721	LBL	51	51	0771	S/R	77	0821	RUP	22	0871	0	---	00	0872	STP	41	---	41	
0672	X	---	36	0722	5	---	05	0772	LBL	51	0822	+	---	35	0872	STP	41	0873	STP	41	---	41	
0673	4	---	04	0723	XTO	23	23	0773	6	---	06	0823	RUP	22	0873	STP	41	0874	STP	41	---	41	
0674	4	---	33	0724	-	---	34	0774	C	---	34	0824	XEV	30	0874	STP	41	0875	STP	41	---	41	
0675	RUP	22	22	0725	6	---	13	0775	DN	25	0825	+	---	35	0876	STP	41	0877	STP	41	---	41	
0676	XEV	30	30	0726	1	---	01	0776	DN	25	0826	+	---	35	0877	STP	41	0878	STP	41	---	41	
0677	XFR	67	30	0727	2	---	02	0777	XFR	67	0827	XFR	67	0878	STP	41	0879	STP	41	---	41		
0678	0	---	00	0728	1/X	17	17	0778	X	---	36	0828	X	---	36	0879	STP	41	0880	STP	41	---	41
0679	0	---	62	0729	XFR	67	67	0779	3	---	03	0829	3	---	03	0879	STP	41	0881	STP	41	---	41
0680	S/R	77	77	0730	X	---	36	0780	6	---	06	0830	2	---	02	0880	STP	41	0881	STP	41	---	41
0681	STP	41	41	0731	3	---	03	0781	UP	27	0831	VE	24	0881	7	---	07	0882	STP	41	---	41	
0682	STP	41	41	0732	6	---	06	0782	UP	27	0832	X	---	36	0882	CLR	20	0883	CLR	20	---	20	
0683	XFR	67	67	0733	XTO	23	23	0783	S/R	77	0833	3	---	03	0883	2	---	02	0884	STP	41	---	41
0684	STP	41	41	0734	X	---	36	0784	STP	41	0834	3	---	03	0884	0	---	00	0885	XTO	23	---	23
0685	STP	41	41	0735	6	---	13	0785	STP	41	0835	UP	27	0885	XTO	23	0886	0	---	00	---	00	
0686	STP	41	41	0736	XFR	67	67	0786	STP	41	0836	2	---	02	0886	0	---	00	0887	CNT	47	---	47
0687	STP	41	41	0737	3	---	03	0787	STP	41	0837	X	---	36	0887	CNT	47	0888	CNT	47	---	47	
0688	STP	41	41	0738	4	---	04	0788	STP	41	0838	DN	25	0888	+	---	33	0889	GTO	44	---	44	
0689	STP	41	41	0739	GTO	44	44	0789	STP	41	0839	+	---	33	0889	GTO	44	0890	S/R	77	---	77	
0690	LBL	51	51	0740	S/R	77	77	0790	LBL	51	0840	DN	25	0890	S/R	77	0891	LBL	51	---	51		
0691	1	---	01	0741	LBL	51	51	0791	4	---	04	0841	S/R	77	0891	LBL	51	0892	STP	41	---	41	
0692	XFR	67	67	0742	4	---	04	0792	UP	27	0842	STP	41	0892	STP	41	0893	STP	41	---	41		
0693	3	---	03	0743	XTO	23	23	0793	XTO	12	0843	STP	41	0893	STP	41	0894	STP	41	---	41		
0694	4	---	04	0744	0	---	00	0794	UP	27	0844	STP	41	0894	STP	41	0895	STP	41	---	41		
0695	UP	27	27	0745	XFR	67	67	0795	XTO	12	0845	STP	41	0895	STP	41	0896	STP	41	---	41		
0696	XFR	67	67	0746	3	---	03	0796	XFR	67	0846	STP	41	0896	STP	41	0897	STP	41	---	41		
0697	3	---	03	0747	5	---	05	0797	X	---	36	0847	STP	41	0897	STP	41	0898	STP	41	---	41	
0698	5	---	05	0748	GTO	44	44	0798	3	---	03	0848	STP	41	0898	STP	41	0899	STP	41	---	41	
0699	-	---	34	0749	S/R	77	77	0799	2	---	02	0849	STP	41	0899	STP	41	0900	STP	41	---	41	

1050-- N ---73
1051-- UP---27
1052--EEX---36
1053-- 2---02
1054--DIV---5
1055--7---7
1056--5---05
1057-- +---33
1058--YTO---0
1059-- 1---01
1060-- 1---01
1061--XTO---3
1062--IND---3
1063-- +---0
1064-- 0---1
1065--GTO---4
1066--LBL---51
1067-- 2---02
1068--STR---4
1069--END---16

1000-- 3---36
1001--DN---25
1002--PNT---45
1003-- 1---01
1004--XTO---23
1005-- +---33
1006-- 0---10
1007--K---55
1008--SR---77
1009-- 0---00
1010--STP---41
1011--LBL---51
1012--IND---31
1013--XFR---67
1014-- 3---00
1015-- 0---00
1016--UP---27
1017-- 2---02
1018-- 5---05
1019-- 0---00
1020--X---36
1021--EEX---26
1022-- 0---00
1023-- 3---36
1024--G---15
1025--CLX---37
1026--LBL---51
1027--M---70
1028--UP---27
1029--EEX---26
1030-- 2---02
1031-- +---33
1032-- 2---02
1033--EEX---26
1034-- 3---03
1035--XY---52
1036--DN---25
1037--GTO---44
1038--LBL---51
1039--N---73
1040--DN---25
1041--XY---53
1042--GTO---44
1043--LBL---51
1044--N---73
1045--CNT---47
1046--GTO---44
1047--LBL---51
1048--N---70
1049--LBL---51

0950--LBL---51
0951--YE---24
0952-- 7---07
0953-- 1---01
0954--CNT---47
0955--XFR---67
0956-- 34---34
0957-- 0---00
0958--XTO---23
0959-- 0---13
0960--XFR---67
0961--IND---31
0962-- 0---13
0963--CNT---45
0964--XTO---23
0965-- +---33
0966--K---14
0967--K---55
0968--SR---77
0969-- 0---00
0970--LBL---51
0971--XFR---67
0972-- 5---05
0973-- 0---00
0974--CHS---32
0975--XFR---67
0976-- +---33
0977-- 0---13
0978--UP---27
0979-- 21---21
0980-- 0---00
0981-- 1---01
0982--X---36
0983-- 21---21
0984-- 0---00
0985-- 0---00
0986-- 5---05
0987-- 24---24
0988-- 21---21
0989-- 0---00
0990-- 2---02
0991--X---36
0992-- 56---56
0993--X---36
0994--DN---25
0995--X---17
0996--XFR---67
0997--IND---31
0998--X---36
0999-- 0---13

0900--UP---27
0901--XFR---67
0902-- 1---01
0903-- 0---00
0904-- 0---00
0905--XFR---67
0906--X---36
0907-- 0---01
0908-- 1---01
0909-- 2---02
0910--UP---27
0911-- 1---01
0912--XEV---30
0913--DIV---35
0914--DN---25
0915--XEV---30
0916--DIV---35
0917--DN---25
0918--PNT---45
0919--PNT---45
0920--PNT---45
0921--UP---27
0922-- 5---05
0923-- 1---01
0924--XTO---23
0925-- 0---13
0926-- 2---02
0927-- 0---00
0928--XTO---23
0929-- 0---00
0930--CNT---47
0931--CNT---47
0932--GTO---44
0933--SR---77
0934--LBL---51
0935--XFR---67
0936--ENT---42
0937--ENT---42
0938--CLR---20
0939--CLR---20
0940--CLR---20
0941--CLR---20
0942--CLR---20
0943--CLR---20
0944--ENT---42
0945--STP---41
0946--STP---41
0947--STP---41
0948--STP---41
0949--STP---41

Příloha III

Teoretické a experimentální hodnoty
příze H

Legenda k přílohám III až XX

A) V tabulkách (kopie záznamů z výpočetní techniky) jsou uvedeny vedle veličin vstupujících do výpočtu programu DIROP následující výsledky :

r ... poloměr v přízi

R ... korespondující poloměr v nezakrouceném válci

dR/dr ... derivace

μ ... koeficient zaplnění na poloměru r

$\sim \varepsilon_{11}$... hodnota úměrná napětí ε_{11}

$\sim \varepsilon_{22}$... hodnota úměrná napětí ε_{22}

$\sim d\varepsilon_{22}/dr$... hodnota úměrná derivaci napětí ε_{22}

Δ ... vypočtená hodnota levé strany diferen-
ciální rovnice (ideálně $\Delta = 0$)

Regresní koeficienty (označeno "REGR.KOEF.") polynomicke regrese $\mu = \sum_{i=0}^8 a_i r^i$ pod sebou v pořadí $a_0, a_1, a_2, \dots, a_8$.

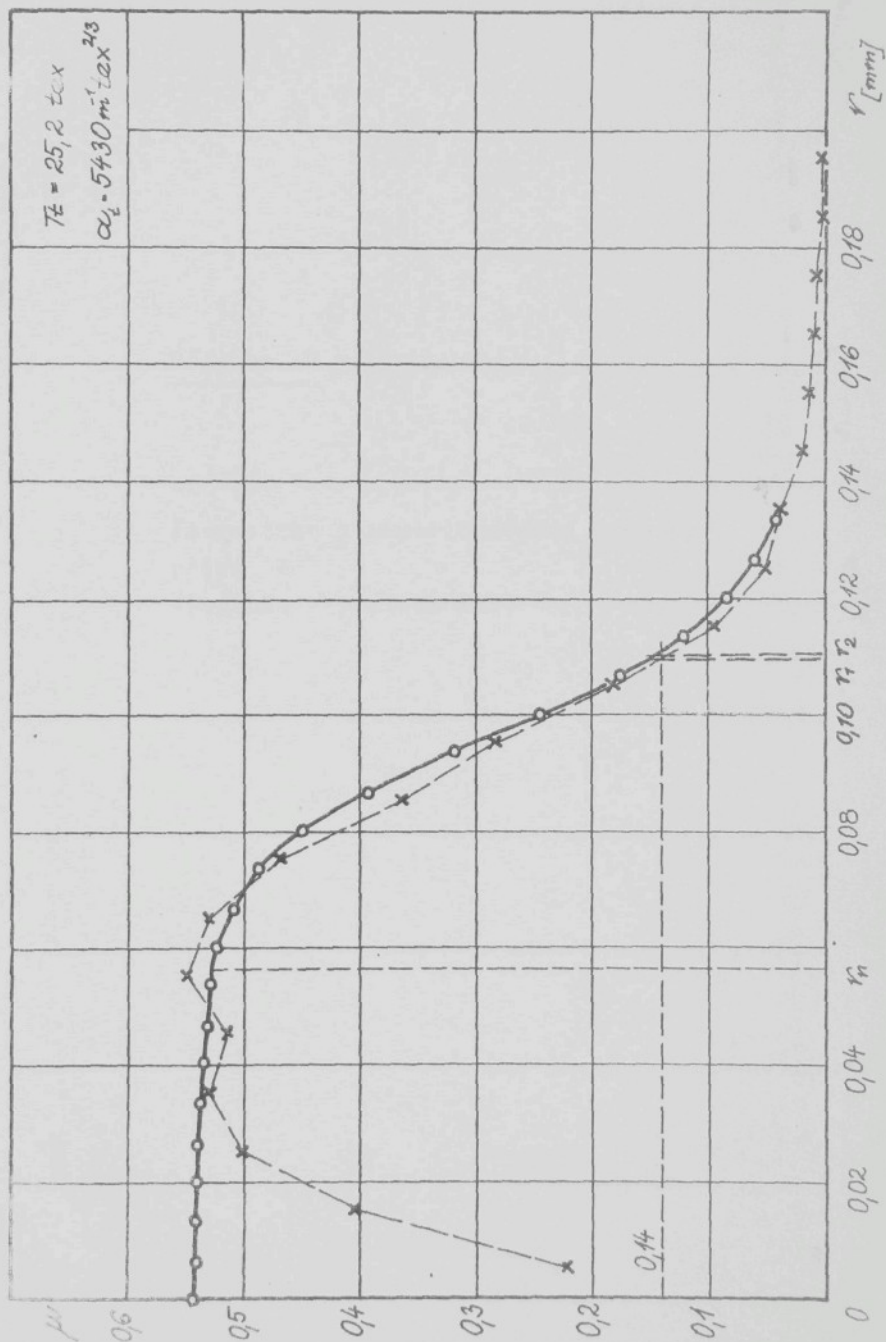
Pozn.: 1. Hodnoty napětí jsou úměrné se stejnou konstantou úměrnosti.

2. Zápis z počítače, např. 1.23456789 07 nebo 1.23456789-07 znamená $1,23456789 \cdot 10^7$ nebo $1,23456789 \cdot 10^{-7}$.

B) V grafech jsou uvedena kolečka pro označení teoreticky vypočtených bodů (r, μ). V přílohách III, IV, V jsou též zakresleny křížky označující analogické body experimentální (koresponduje s tabulkou 5.1).

V grafech označené poloměry :

- r_1 ... polovina d z rovnice (5.56) - viz tab. 6.6
- r_2 ... polovina d z rovnice (5.57) - viz tab. 6.6
- r_n ... neutrální poloměr z rovnice (4.49) - viz tab. 6.6



Příloha IV

Teoretické a experimentální hodnoty
příze M
(legenda v příloze III)

1) KONSTANTY

VÝPOČETNÍCH
NUMERICKÝCH
POSTUPŮ

ZÁKLADNÍ KROK

RESENI (ARI) =

POČET INTERVALŮ

NUMERICKÉ INTEG-

RACE (SIMPSON) =

100.000000*

2) KONSTANTY

FYZIKÁLNÍ

SOUHRNNÁ MODULO-

VA KONSTANTA K =

6.00000000 04*

RELATIVNÍ MODU-

LOVA ZMĚNA A =

-1.500000*

POHĚRNA DELKA

LAMBDA =

0.834992*

VÝCHOZÍ KOEF.

ZAPLNĚNÍ N1(0) =

0.010000*

LINEÁRNÍ HMOT-

NOST PRIZE

TITEV) =

56.561090*

ZÁKRUT PRIZE

Z(1/MM) =

0.544170*

SPECIFICKÁ HMOT-

NOST VLAKEN

ROM(G/KUB.CM) =

1.500000*

RELATIVNÍ PROD-

LOUŽENÍ PRIZE

ZÁKRUTEN

EPSILON.P =

-0.059778*

R

de

de

de

de

de

de

de

de

de

de

de

de

de

de

de

de

de

de

de

de

de

de

de

de

de

de

de

de

de

de

de

de

de

de

de

de

de

de

de

0.075000

0.513390

6.689529

0.407021

-184.617317

-103.732943

154.801370

0.016522

0.090000

0.612397

6.581365

0.476726

-99.903350

-107.273494

178.079517

-0.013623

0.105000

0.710750

6.451101

0.463653

-94.617404

-104.453241

196.463754

0.015112

0.120000

0.804972

6.697702

0.435043

-82.749677

-97.627493

734.013116

-0.001773

0.135000

0.890470

5.238590

0.367507

-59.545188

-83.336880

1273.823670

-0.001626

0.130000

0.955534

3.842531

0.204300

-81.076573

-62.700207

1486.577438

0.014137

0.165000

1.007362

2.423258

0.157292

-12.230146

-41.035535

1290.737373

0.002326

0.160000

1.036200

1.456920

0.082002

-4.245379

-23.191679

951.430597

-0.007208

0.135000

1.052693

0.809236

0.052205

-1.543325

-10.589165

691.631678

0.005553

0.210000

1.062880

0.532552

0.031893

-0.596587

-2.094450

496.173356

0.043128

REGR. KONST.

5.114671259-01

-1.068245523-00

1.388418899-02

-3.320401554-03

4.388770587-04

-2.624015320-05

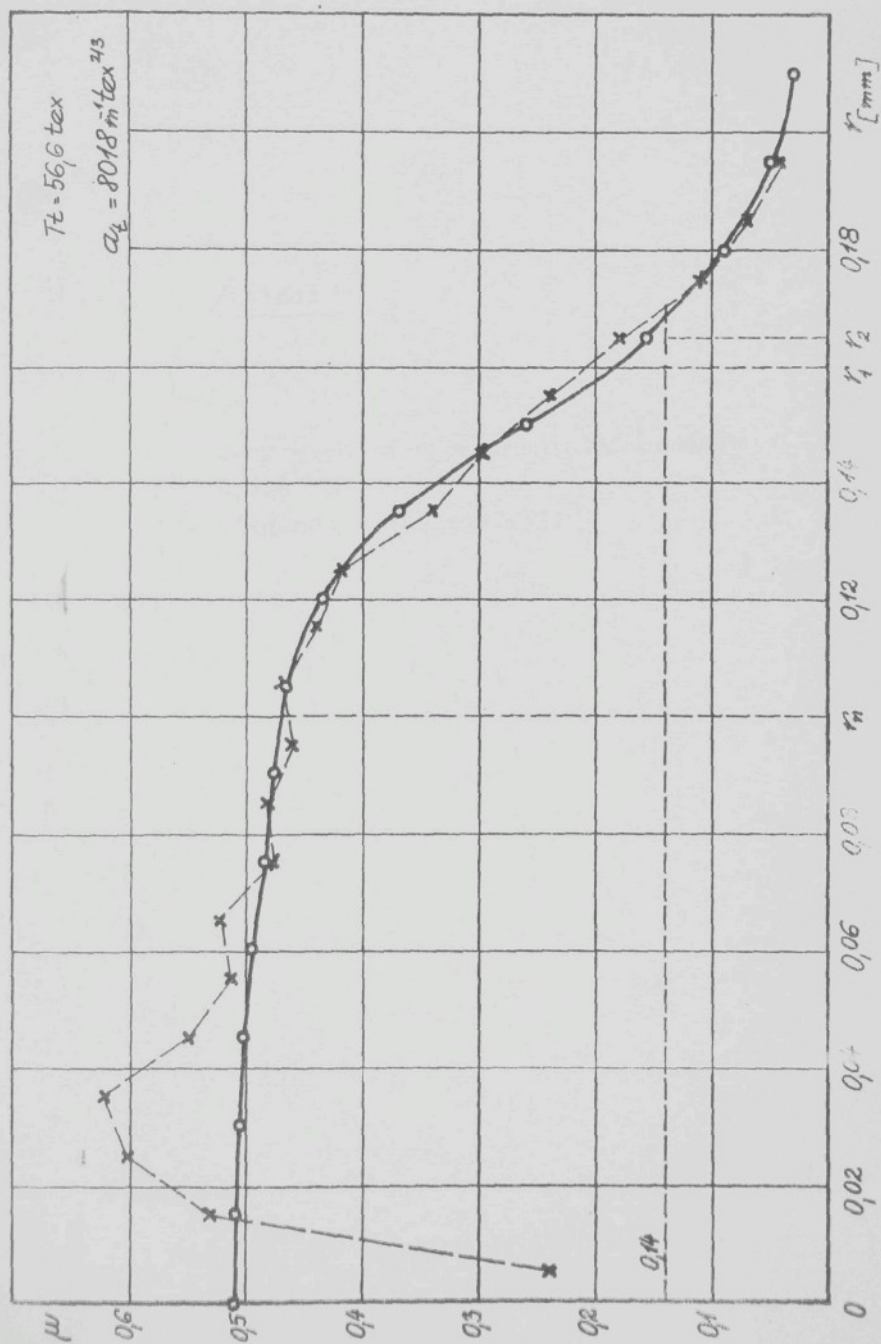
-4.313166573-05

6.797006968-06

-1.4208370370-07

HRSHICH1 R*

1.062 20



Příloha V

Teoretické a experimentální hodnoty
příže V
(legenda v příloze III)

1) KONSTANTY

VÝPOČETNÍCH
NUMERICKÝCH
POSTUPŮ

ZÁKLADNÍ KROK

REŠENÍ (MM)=
0.01333
POČET INTERVALŮ
113.589183
NUMERICKÉ INTEG-
RACE (SIMPSON)=
100.000000*

2) KONSTANTY
FYZIKÁLNÍ

SOUHRNNÁ MODULO-

VA KONSTANTA K=

1.114000000 05*

RELATIVNÍ MODU-

LOVA ZMĚNA A=

-1.500000*

POMĚRNA DELKA

LABEDA=

0.834992*

VÝCHOZÍ KOEF.

ZAPLNĚNÍ M(0)=

0.010000*

LINEÁRNÍ HROT-

NOST PRIZE

T(TEX)=

33.444816*

ZAKRUT PRIZE

Z(1/MM)=

0.543000*

SPECIFICKÁ HMOT-

NOST VLAKEŇ

ROH(G/KUB.CM)=

1.500000*

RELATIVNÍ PROD-

LOUŽENÍ PRIZE

ZAKRUTEN

EPSILON.P=

-0.027977*

R

DR/dr

de

~Ea

~Ea

water/dr

Δ

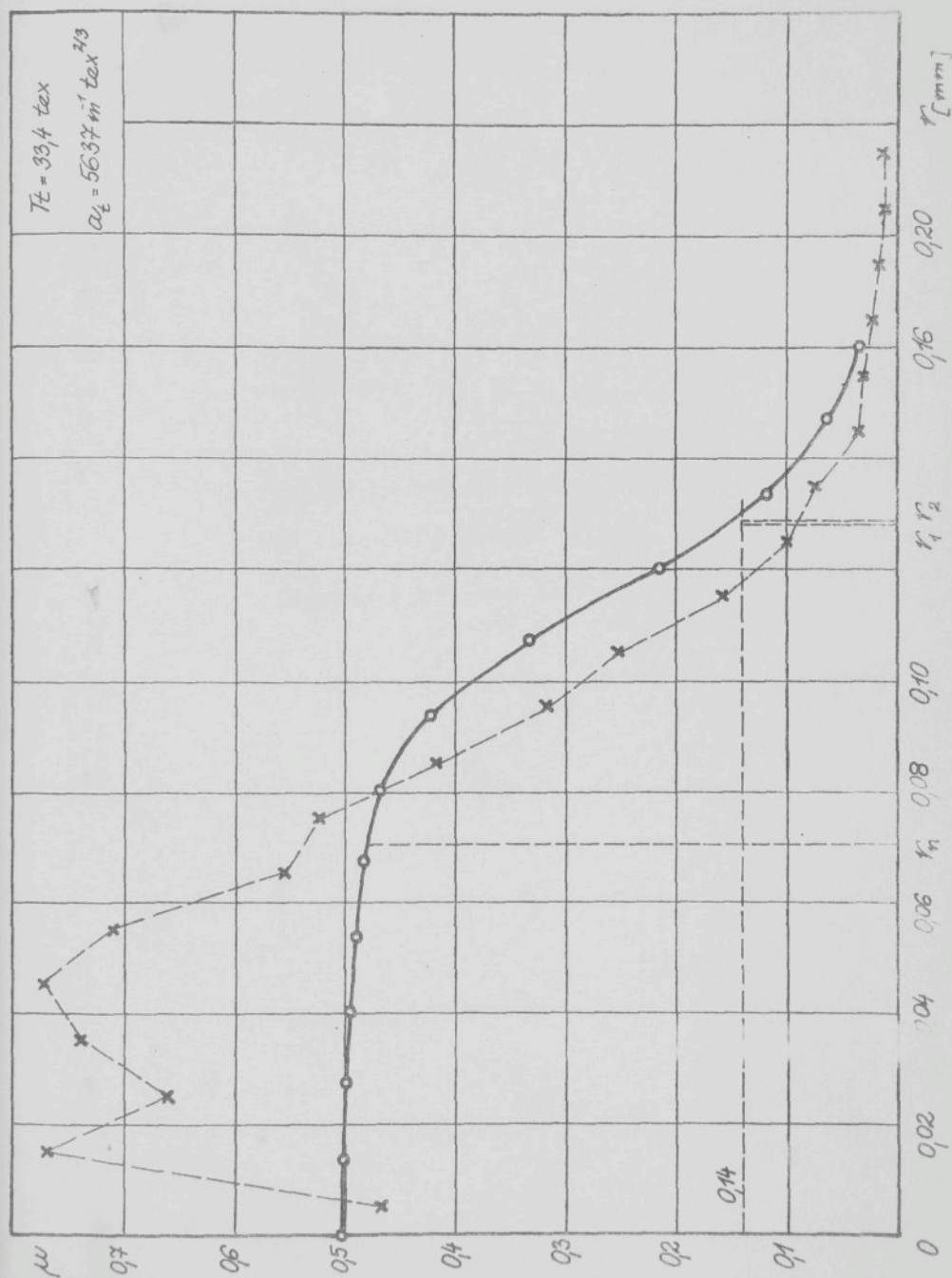
0.000000
0.000000
7.001122
6.204285
0.504265
-113.589183
-113.589183
-113.589183
138.516130
0.000000
0.000000
0.002165
0.000000
0.551501
6.694227
0.503292
-113.160027
-113.261533
25.139378
0.000001
0.026667
0.186209
6.971203
0.500797
-111.970638
-112.525532
55.200130
0.002113
0.040000
0.278803
6.931330
0.497025
-110.106978
-111.519996
95.523277
0.005277
0.053333
0.370824
6.875884
0.491850
-107.584282
-110.188237
113.533542
-0.003179

0.066667
0.462054
0.799950
1.216429
0.118203
-7.431573
-30.56017
1302.58619
-0.003356
0.146667
0.819413
1.11307
0.063978
-2.29372
-14.10953
933.06481
0.000478
0.160000
0.030084
0.633553
0.036584
-0.025514
-4.303059
649.102391
0.039501
0.173333
0.630674
-0.510316
-0.025554
0.428756
-0.383478
4.083346
-0.006640

0.133333
0.799950
1.216429
0.118203
-7.431573
-30.56017
1302.58619
-0.003356
0.146667
0.819413
1.11307
0.063978
-2.29372
-14.10953
933.06481
0.000478
0.160000
0.030084
0.633553
0.036584
-0.025514
-4.303059
649.102391
0.039501
0.173333
0.630674
-0.510316
-0.025554
0.428756
-0.383478
4.083346
-0.006640

REGR. KONST.

5.043218738-01
-0.107646341-01
0.932474431 01
-4.4538277 03
-3.64390672 04
-3.73827594 05
-3.505644876 06
4.00217453 07
-1.036269430 08



Příloha VI

Teoretické hodnoty příze

100 tex, $5000 \text{ m}^{-1} \text{tex}^{2/3}$

(legenda v příloze III)

$$r_R \frac{dR}{dr}$$

0	0	7	5	7	6	0
0	0	4	7	0	0	0
0	0	9	0	2	0	0
0	0	0	0	1	0	0
0	0	4	0	9	0	0
0	0	2	0	7	0	0
.	.	.	.	.	.	.
0	0	5	0	0	0	0

2) KONSTANTY
FYZIKALNI

SOUHRNNÁ MODULO-
VA KONSTANTA K=
3.10000000 04=
RELATIVNÍ MODU-
LOVA ZMENA A=
-1.500000+
POMĚRNA DELKA
LAMBDA=
0.894992*

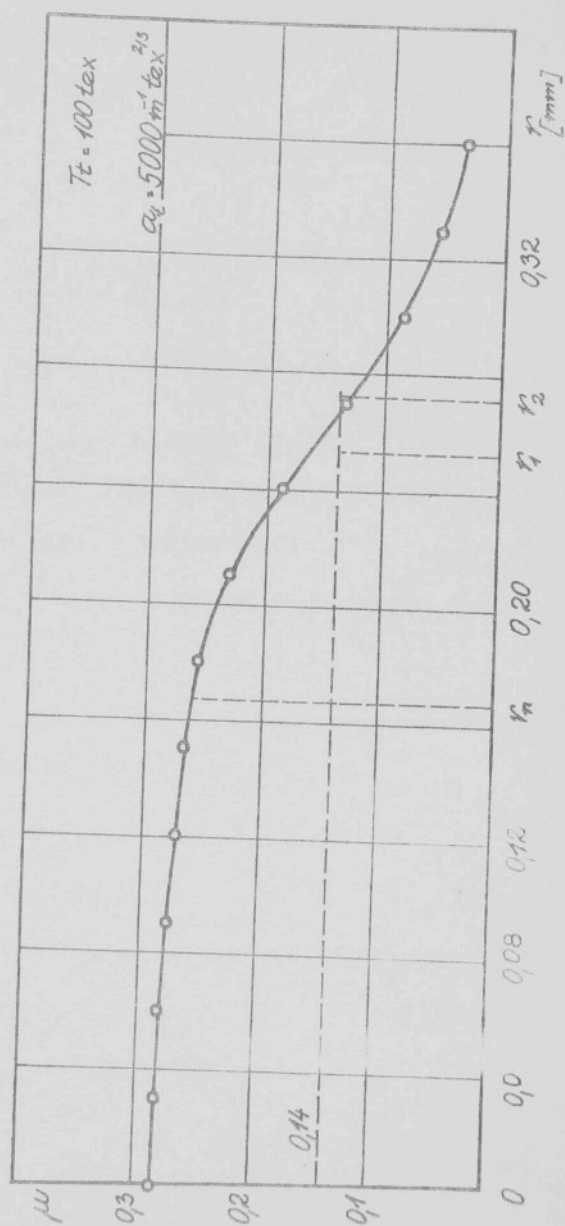
REG. KONST.

[illegible]

REC
2. 83
-2. 47
1. 46
-3. 37
3. 36
-1. 68
3. 74
-3. 20
3. 55

R. KANS.

P 29 -

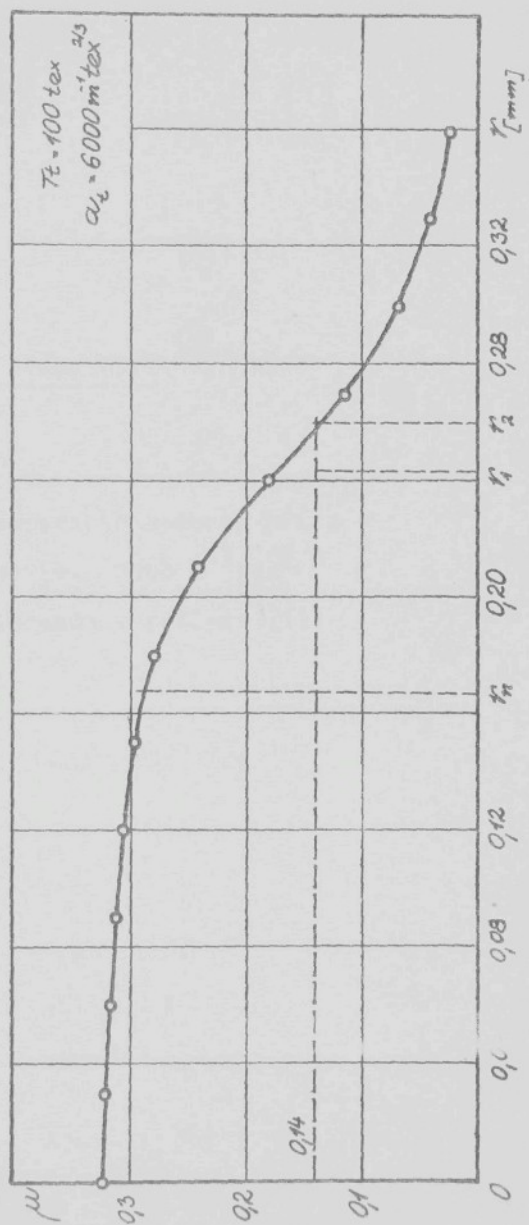


Příloha VII

Teoretické hodnoty přize

100 tex, $6000 \text{ m}^{-1} \text{tex}^{2/3}$

(legenda v příloze III)



Příloha VIII

Teoretické hodnoty příze
 $100 \text{ tex}, 7000 \text{ m}^{-1} \text{tex}^{2/3}$
(legenda v příloze III)

1) KONSTANTY
VÝPOČETNÍCH
NUMERICKÝCH
POSTUPŮ

ZAKLADNÍ KROF
RESENÍ (HRT)=
0.030000*
POČET INTERVALU
NUMERICKÉ INTEG-
RACE (SIAPSON)=
100.0000000*

r
P
deklar
de
roz
metoda
Δ

2) KONSTANTY
FYZIKÁLNÍ

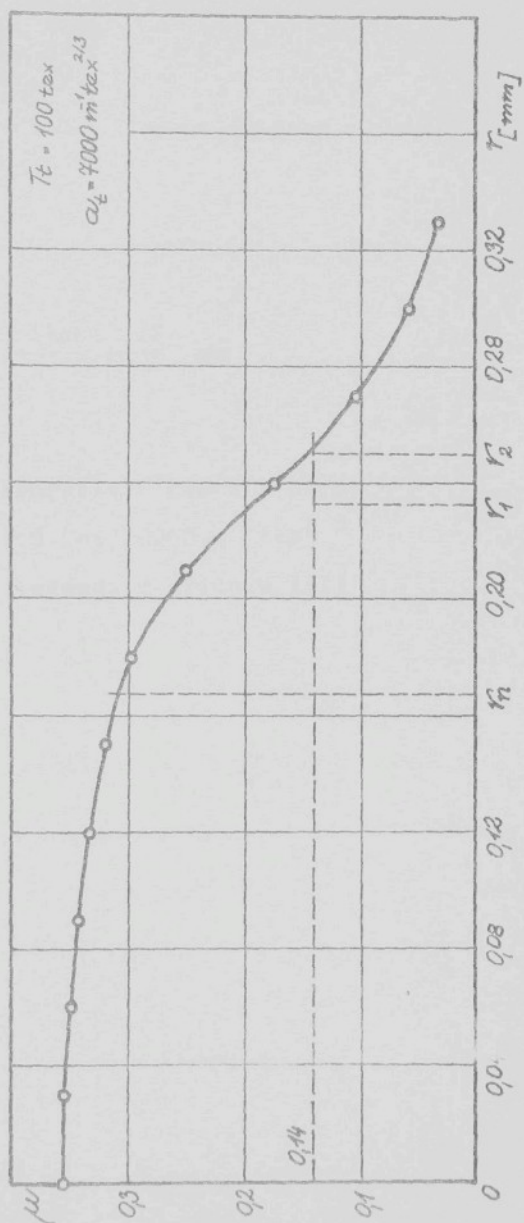
SOUHRNNÁ MODULO-
VA KONSTANTY K=
4.770000000 04*
RELATIVNÍ MODU-
LOVA ZMĚNA A=
-1.5000000*
POHĚRNA DELTA
LAMBDA=
0.844992*
VÝCHOZÍ KOEF.
ZAPLNĚNÍ M(10)=
0.0100000*
LINEÁRNÍ HMOT-
NOST PRIZE
T(TEX)=
100.0000000*
ZAKRUT PRIZE
Z(1)/M(1)=
0.324911*
SPECIFICKÁ HMOT-
NOST VLAKEN
RON(G-KUB.CH)=
1.500000*
RELATIVNÍ PRŮD-
LOUŽENÍ PRIZE
ZAKRUTEN
EPSILON.P=
-0.053429*

0.130000
0.849197
1.302527
0.373364
0.331314
0.054222
-54.55591
-66.507634
-66.507634
72.011332
0.000000
0.002838
0.180000
1.005968
0.475931
0.507159
0.507159
0.507159
-47.899460
-57.280020
163.511359
0.002916
0.210000
1.147322
4.348016
0.550855
-34.527055
-49.767533
361.167887
-0.003443
0.340000
1.261872
3.157755
0.155055
-18.413587
-37.676769
461.217430
0.003413
0.270000
1.340935
2.002457
0.105055
-7.261719
-24.103314
418.300003
-0.047864

REGR. KONST.

2.580474606-01
-3.275660166-01
1.854090324 01
-5.176850351 02
3.672664994 03
-1.233265001 04
-5.093171550 05
-1.065694999 06
-1.579686970 05

HERNICH R* =
1.417281

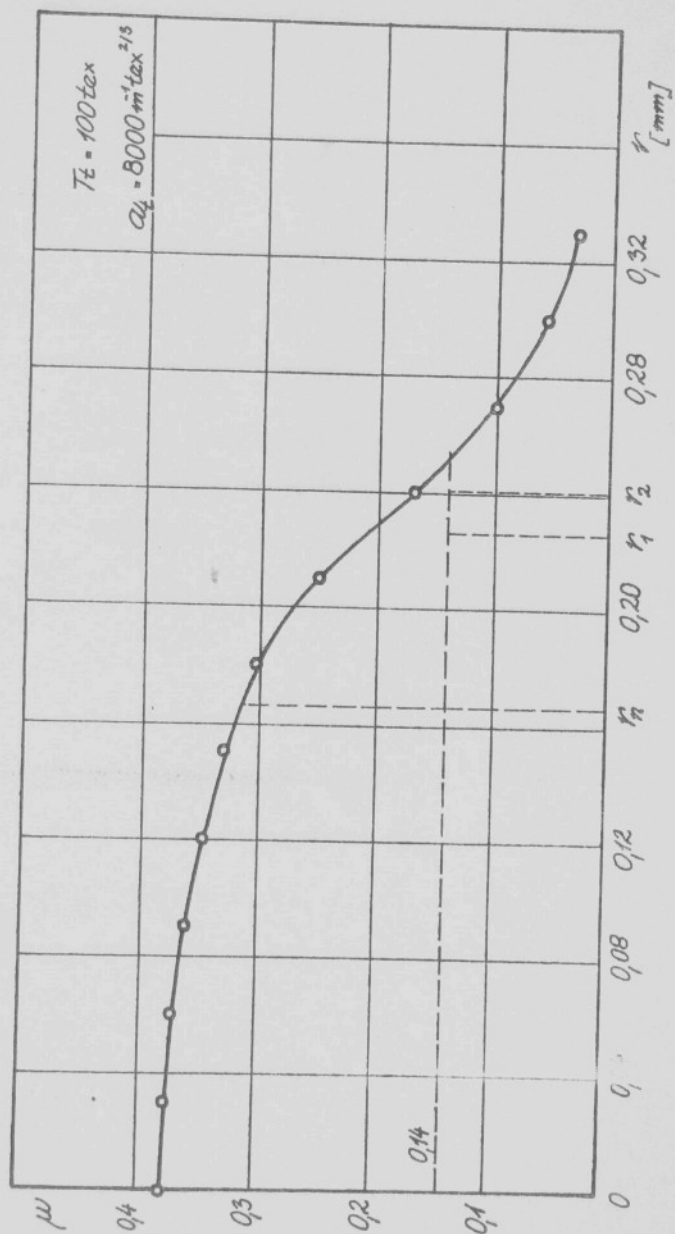


Příloha IX

Teoretické hodnoty přize

100 tex, $8000 \text{ m}^{-1} \text{tex}^{2/3}$

(legenda v příloze III)



Příloha X

Teoretické hodnoty příze

50 tex, $5000 \text{ m}^{-1} \text{tex}^{2/3}$

(legenda v příloze III)

1) KONSTANTY
VÝPOČETNICH
NUMERICKÝCH
POSTUPŮ

ZAKLADNI KROK
RESENI (HM) =

0.01504

FOCET INTERVAL

NUMERICKE INTEG-

(SIMPSON) =

2) KONSTANTY
FYZIKALNE

SOURPHING MODULO-

SPECIFICKA HMOT-

LOUZENI PRIZE

ZAKRUTEM

 $\text{EPSILON.P} =$

-0.024750*

HEARNICH R² = 0.017238

REGR. KONST.

0.245000
1.018237
-0.294193
-0.013652
0.119307
-0.155386
2.769884
0.036483

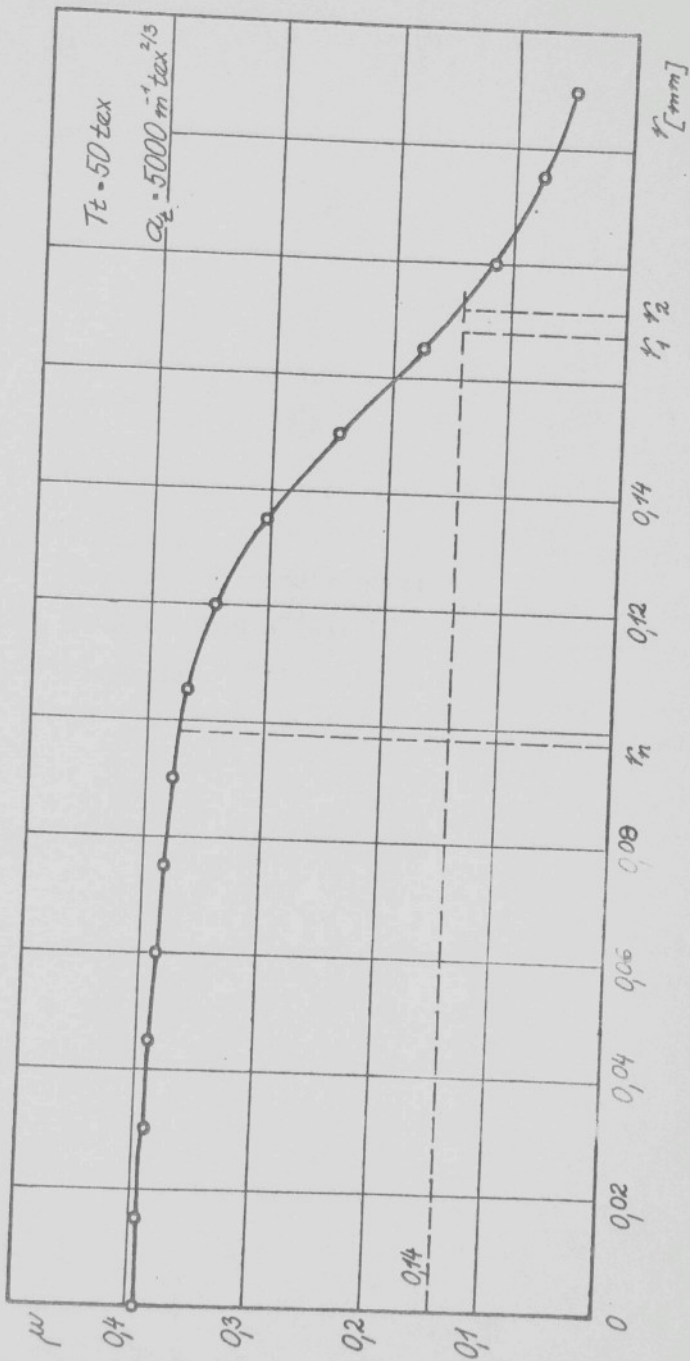
0.150000
0.075749
4.079406
0.243354
1.050335
1.50.078445
1.65.535974
1.0.002723

0.075000
0.461966
6.066162
0.383131
-72.612728
-74.902133
58.932376
-0.006079

0.000000
0.000000
6.210567
0.395506
-77.252190
-77.252190
0.000000
0.000000

[illegible]

POSTUPU
ZAKLADNI KN
RESENI IHN
POCET INTER
NUMERICKE
RACE (SIMPO



Příloha XI

Teoretické hodnoty příze

60 tex, $6000 \text{ m}^{-1} \text{tex}^{2/3}$

(legenda v příloze III)

1) KONSTANTY

VÝPOČETNÍCH
NUMERICKÝCH
POSTUPŮ

ZÁKLADNÍ KROK

RESENI (MM) =

POČET INTERVALŮ

NUMERICKÉ INTEG-

RACE (SIMPSON) =

100.000000+

2) KONSTANTY

FYZIKÁLNÍ

SOUHRNNÁ MODULO-

VA KONSTANTY K =

9.50000000 04+

RELATIVNÍ MODU-

LOVA ZMENA A =

-1.500000+

POMĚRNA DELKA

LAMBDA =

0.894992+

VÝCHOZÍ KOEF.

ZAPLNĚNÍ M(10) =

0.010000+

LINEÁRNÍ MROT-

NOST PRICE

T(TEX) =

50.000000+

ZAKRUT PRICE

Z(1/MM) =

0.442084+

SPECIFICKÁ HMOT-

NOST VLAKEN

ROM(G.KUB.CM) =

1.500000+

RELATIVNÍ PROD-

LOUZENÍ PRICE

ZAKRUTEN

EPSILON.P =

-0.034402+

R
delar
du
-T
-T
-T

0.000000

0.000000

0.000000

0.000000

0.000000

0.000000

0.000000

0.000000

0.000000

0.000000

0.000000

0.000000

0.000000

0.000000

0.000000

0.000000

0.000000

0.000000

0.000000

0.000000

0.000000

0.000000

0.000000

0.000000

0.000000

0.000000

0.000000

0.000000

0.000000

0.000000

0.000000

0.000000

0.000000

0.000000

0.000000

0.000000

0.000000

0.000000

0.000000

0.000000

0.000000

0.000000

0.000000

0.000000

0.075000

0.075000

0.075000

0.075000

0.075000

0.075000

0.075000

0.075000

0.075000

0.075000

0.075000

0.075000

0.075000

0.075000

0.075000

0.075000

0.075000

0.075000

0.075000

0.075000

0.075000

0.075000

0.075000

0.075000

0.075000

0.075000

0.075000

0.075000

0.075000

0.075000

0.075000

0.075000

0.075000

0.075000

0.075000

0.075000

0.075000

0.075000

0.075000

0.075000

0.075000

0.075000

0.075000

0.075000

0.150000

0.150000

0.150000

0.150000

0.150000

0.150000

0.150000

0.150000

0.150000

0.150000

0.150000

0.150000

0.150000

0.150000

0.150000

0.150000

0.150000

0.150000

0.150000

0.150000

0.150000

0.150000

0.150000

0.150000

0.150000

0.150000

0.150000

0.150000

0.150000

0.150000

0.150000

0.150000

0.150000

0.150000

0.150000

0.150000

0.150000

0.150000

0.150000

0.150000

0.150000

0.150000

0.150000

0.150000

0.150000

0.150000

0.150000

0.150000

0.150000

0.150000

0.150000

0.150000

0.150000

0.150000

0.150000

0.150000

0.150000

0.150000

0.150000

0.150000

0.150000

0.150000

0.150000

0.150000

0.150000

0.150000

0.150000

0.150000

0.150000

0.150000

0.150000

0.150000

0.150000

0.150000

0.150000

0.150000

0.150000

0.150000

0.150000

0.150000

0.150000

0.150000

0.150000

0.150000

0.150000

0.150000

0.150000

0.150000

REGR. KONST.

4.602315265-01

-1.173006447 00

1.215301730 02

-4.615426167 03

7.819659577 04

-6.93155494 05

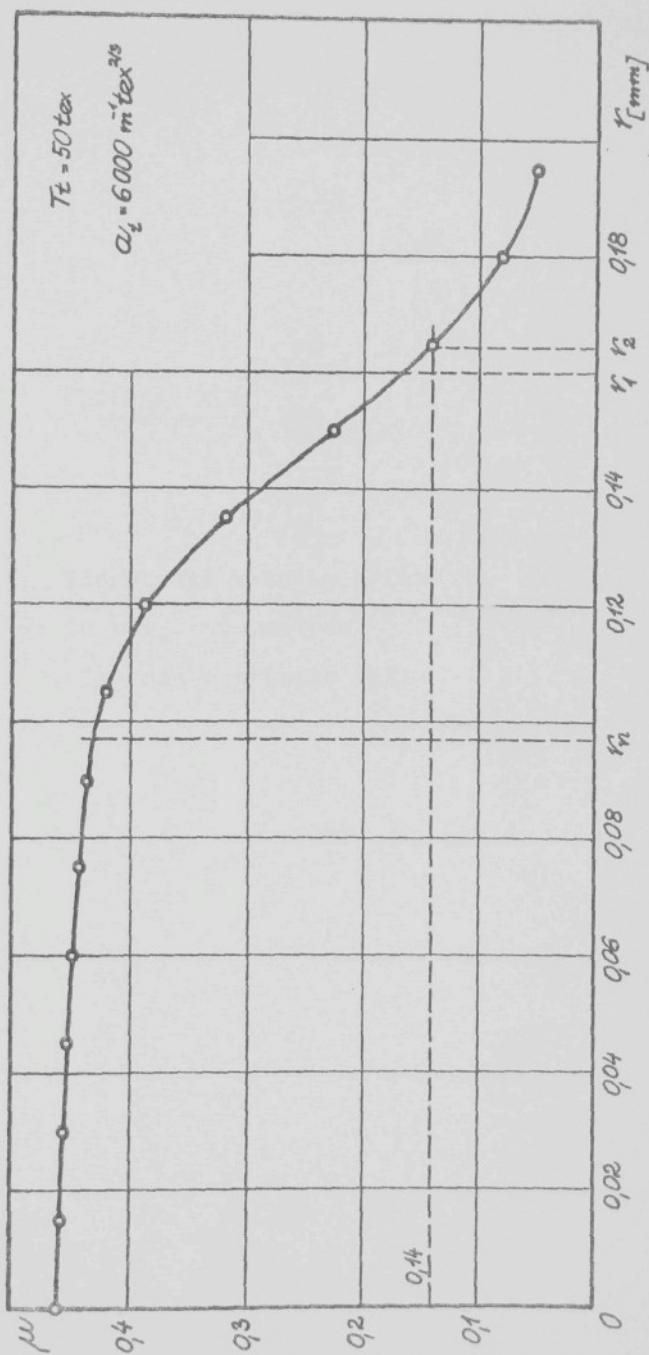
3.52492493 06

-3.612085218 06

-3.148178148 05

HRANIC: R* =

1.012191



Příloha XII

Teoretické hodnoty příze

50 tex, $7000 \text{ m}^{-1} \text{tex}^{2/3}$

(legenda v příloze III)

1) KONSTANTY
VÝPOČETNÍCH
NUMERICKÝCH
POSTUPŮ

ZÁKLADNÍ KROK

RESERVI (MM) =

0.015000*

POČET INTERVALŮ

HUMERICKÉ INTEG-

RACE (SINPSOH) =

100.000000*

2) KONSTANTY
FYZIKÁLNÍ

SOUHRNNÁ MODULO-

VA KONSTANTA K =

7.95000000 04*

RELATIVNÍ MODU-

LOVA ZMĚNA A =

-1.500000*

POMERNA DELKA

LAMBDA =

0.894932*

VÝCHOZÍ KOEF.

ZAPLHNĚNÍ M1(0) =

0.010000*

LINERNÍ HNŮT-

HOŠT PRIZE

TITEXI =

50.000000*

ZÁKRUT PRIZE

Z11/MM) =

0.515764*

SPECIFICKÁ HNŮT-

HOŠT VLAKEH

ROM(G/KUB.CM) =

1.500000*

RELATIVNÍ PROD-

LOUZEJNÍ PRIZE

ZÁKRUTEN

EPSILON.P =

-0.045440*

0.000000

0.000000

0.000000

0.000000

0.000000

0.000000

0.000000

0.000000

0.000000

0.000000

0.000000

0.000000

0.000000

0.000000

0.000000

0.000000

0.000000

0.000000

0.000000

0.000000

0.000000

0.000000

0.000000

0.000000

0.000000

0.000000

0.000000

0.000000

0.000000

0.000000

0.000000

0.000000

0.000000

0.000000

0.000000

0.000000

0.000000

0.000000

0.000000

0.000000

0.075000

0.514441

0.710000

0.482821

-103.209160

-107.872603

138.453315

-0.001357

0.090000

0.614465

0.473332

-98.960395

-105.623462

160.323345

-0.003222

0.165000

0.711021

0.381110

0.453454

-96.603192

-100.874231

483.407227

-0.008512

0.120000

0.803364

5.755471

0.403654

-71.960817

-0.700930

1076.609541

-0.006272

0.135000

0.081274

4.537834

0.306645

-43.508883

-70.941703

1482.753346

-0.003316

0.150000

0.393507

2.976099

0.150006

-18.508434

-40.530825

1436.671364

0.001164

0.125000

0.974425

1.175881

0.108799

-6.288563

-38.473642

1104.073270

-0.003557

0.100000

0.944504

1.056274

0.060790

-2.114721

-10.709317

783.548560

0.600099

0.195000

1.095385

0.681891

0.035721

-0.768001

3.905460

554.673353

0.632171

0.210000

1.095614

-0.526700

-0.025449

0.442582

-0.133919

2.271061

-0.040510

HRAP CHI P =

1.006389

REGR. KONST.

0.003929592 01

2.091378192 00

-2.067040238 01

1.592570028 03

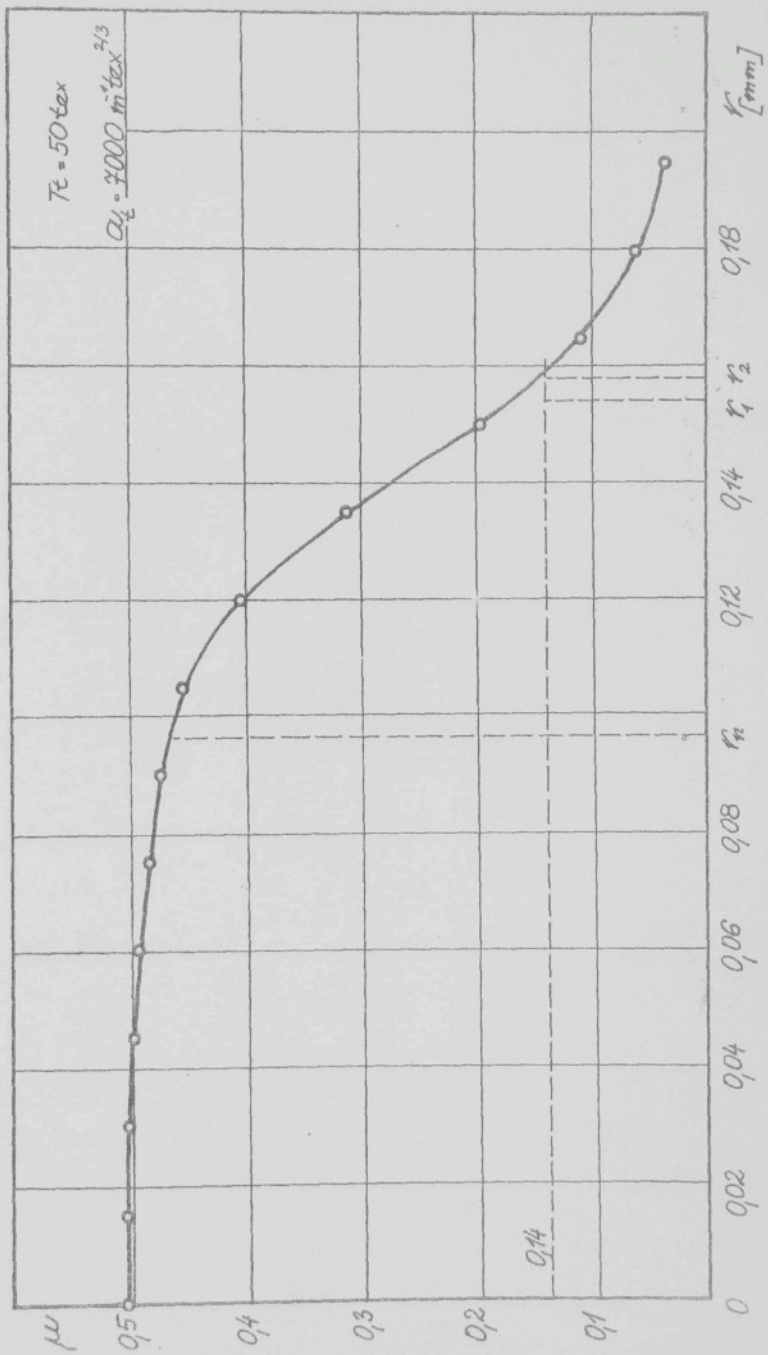
-5.391329493 04

0.190301916 00

-0.145031226 01

3.239850666 01

-5.233333333 07

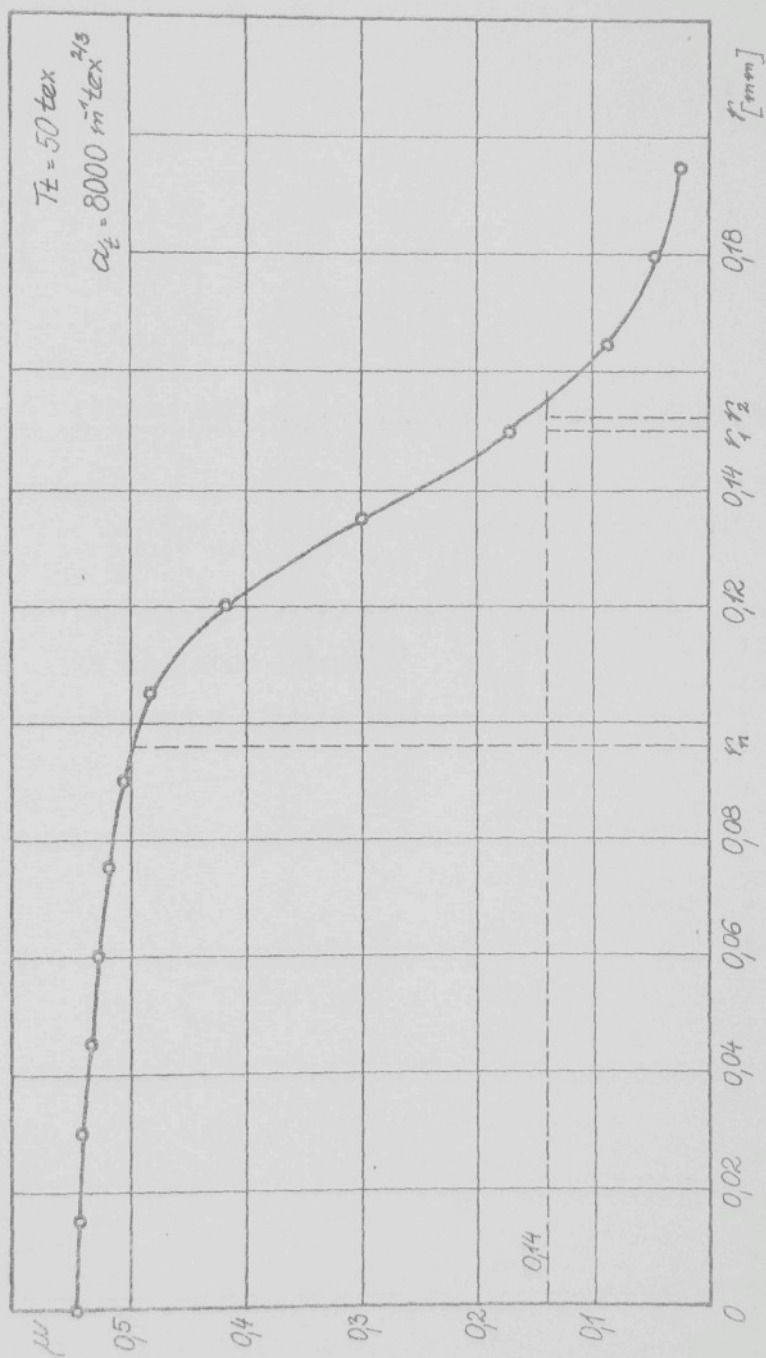


Příloha XIII

Teoretické hodnoty přize

50 tex, 8000 m⁻¹tex^{2/3})

(legenda v příloze III)

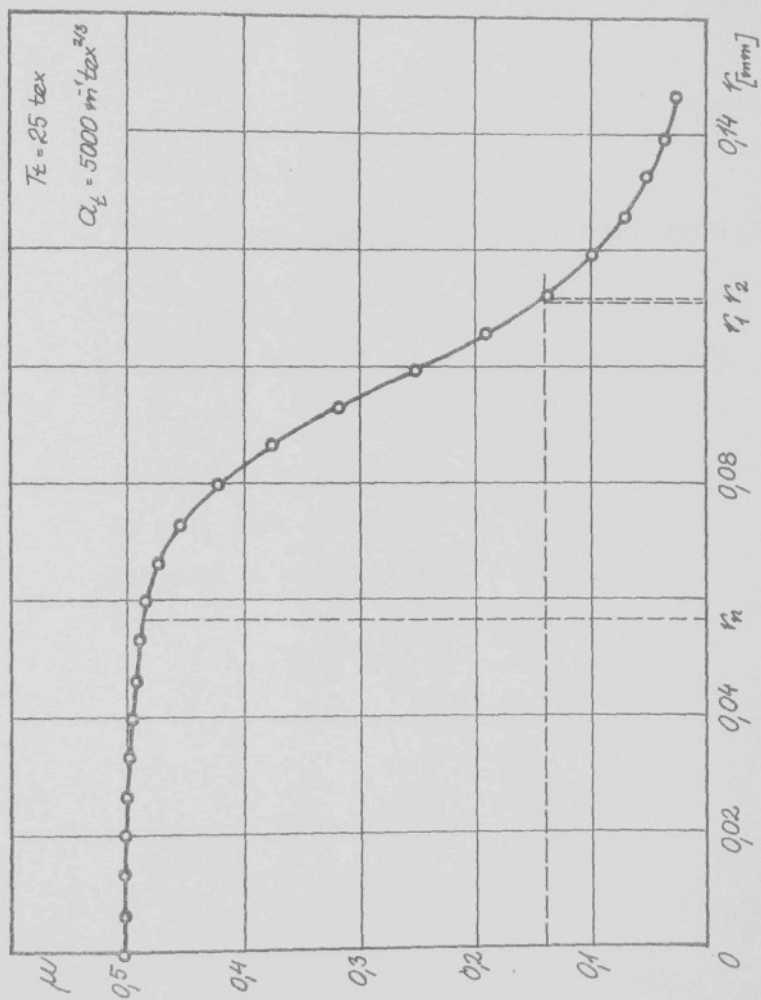


Příloha XIV

Teoretické hodnoty přize

25 tex, 5000 m⁻¹tex^{2/3}

(legenda v příloze III)



Příloha XV

Teoretické hodnoty příze

25 tex, $5500 \text{ m}^{-1} \text{tex}^{2/3}$

(legenda v příloze III)

1) KONSTANTY
VÝPOČETNÍCH
NUMERICKÝCH
POSTUPŮ

ZKLADEH EROK
RESENI (MM)=
0.000000
POCET INTERVALU
NUMERICKÉ INTEG-
RACE (SIMPSON)=
100.000000

2) KONSTANTY
FYZIKALNI

SOUHRNNÁ MODULO-
VA KONSTANTA K=
1.200000000 65-
RELATIVNÍ MODU-
LOVÁ ZMĚNA A=

-1.5000000+
POHLEDA DELKA
LAMBDA=

0.854992+
VÝCHOZÍ FOKF.
ZAPLNĚNÍ N1(0)=

0.010000+
LINEARH. HNŮT-
NOST PRIZE
T(X)=

25.0000000+
ZAKRUT PRIZE
Z1/(H0)=

0.643284+
SPECIFICKÁ HNŮT-
NOST VLAKEN
R0HIG/K0B.CH=

1.500000+
RELATIVNÍ FROD-
LOUŽENÍ PRIZE
ZAKRUTEN
EPSILON.P=

R
de/dr
du
-dr
-du/dr
du/dr
Δ

0.000000
0.000000
7.256376
0.540000
-128.352449
-138.352449
0.000000
0.000000

0.000000
0.048359
7.253763
0.539670
-138.139142
-128.226380
-19.801462
-0.001764

0.013333
0.046667
0.336684
7.135779
0.520779
-131.044616
-124.649358
150.148074

0.000000
0.144923
7.239960
0.526623
-127.023474
-127.023474
65.590333
0.000611

0.026667
0.130083
7.216725
0.535930
-128.145362
-127.044264
88.422809
-0.010667

0.000000
0.431230
7.030222
0.512222
121.855602
121.789992
97.794345
0.025924

0.000000
0.000000
0.000000
0.000000
0.000000
0.000000
0.000000
0.000000

0.000000
0.000000
0.000000
0.000000
0.000000
0.000000
0.000000
0.000000

0.000000
0.000000
0.000000
0.000000
0.000000
0.000000
0.000000
0.000000

0.000000
0.000000
0.000000
0.000000
0.000000
0.000000
0.000000
0.000000

0.000000
0.000000
0.000000
0.000000
0.000000
0.000000
0.000000
0.000000

0.000000
0.000000
0.000000
0.000000
0.000000
0.000000
0.000000
0.000000

0.000000
0.000000
0.000000
0.000000
0.000000
0.000000
0.000000
0.000000

0.000000
0.000000
0.000000
0.000000
0.000000
0.000000
0.000000
0.000000

0.000000
0.000000
0.000000
0.000000
0.000000
0.000000
0.000000
0.000000

0.133333
0.000000
0.000000
0.000000
0.000000
0.000000
0.000000
0.000000

0.133333
0.000000
0.000000
0.000000
0.000000
0.000000
0.000000
0.000000

0.133333
0.000000
0.000000
0.000000
0.000000
0.000000
0.000000
0.000000

0.133333
0.000000
0.000000
0.000000
0.000000
0.000000
0.000000
0.000000

0.133333
0.000000
0.000000
0.000000
0.000000
0.000000
0.000000
0.000000

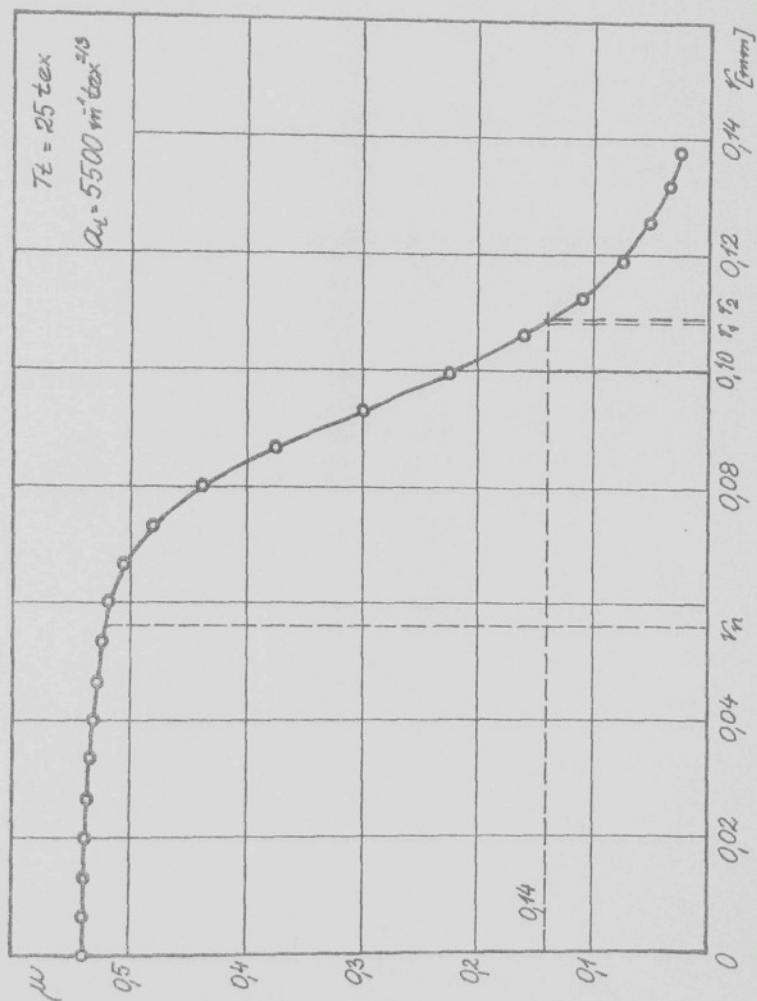
0.133333
0.000000
0.000000
0.000000
0.000000
0.000000
0.000000
0.000000

0.133333
0.000000
0.000000
0.000000
0.000000
0.000000
0.000000
0.000000

0.133333
0.000000
0.000000
0.000000
0.000000
0.000000
0.000000
0.000000

REG. KONST.

0.540000
-2.633994
462.263994
-2.94550957 94
8.64649218 94
1.32962557 67
1.05291694 69
-7.171830582 93
6.481097656 93

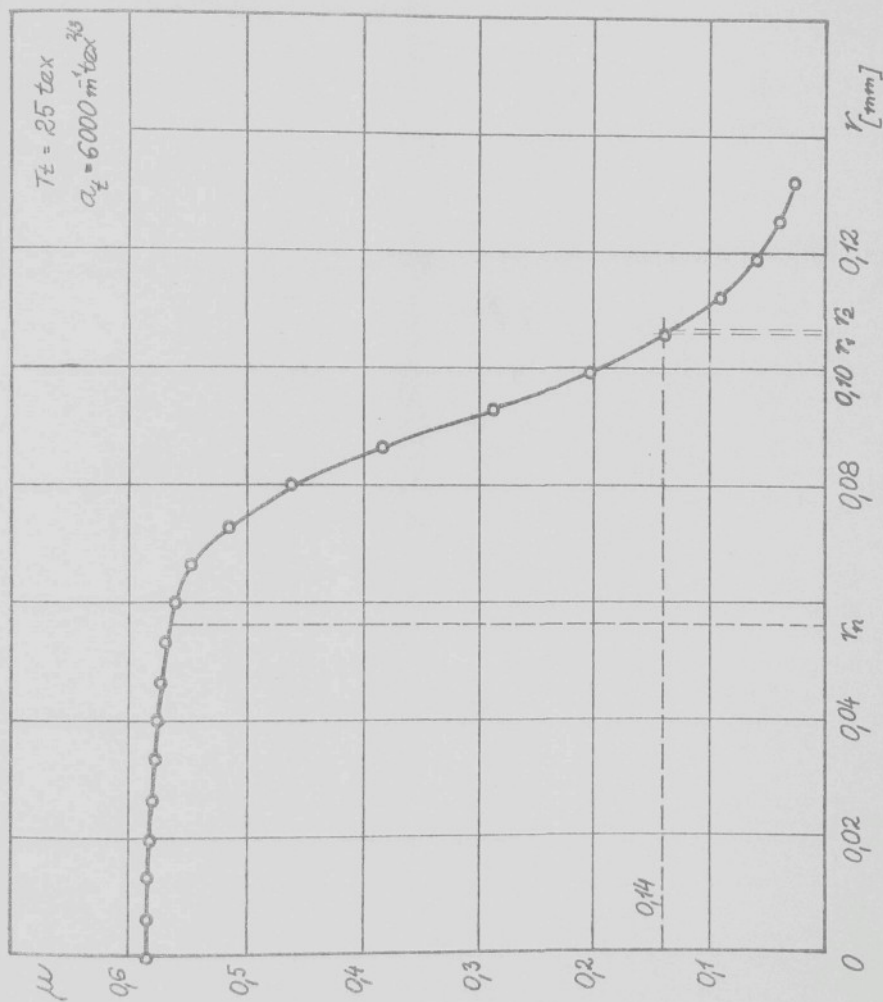


Příloha XVI

Teoretické hodnoty příze

25 tex, $6000 \text{ m}^{-1} \text{tex}^{2/3}$

(legenda v příloze III)



Příloha XVII

Teoretické hodnoty příze

25 tex, $7000 \text{ m}^{-1} \text{tex}^{2/3}$

(legenda v příloze III)

1) KONSTANTY
VÝPOČETNÍCH
NUMERICKÝCH
POSTUPŮ

ZÁKLADNÍ FUNK

RESENI (RM) =
0.006667
POČET INTERVALŮ
NUMERICKÉ INTEG-
RACE (STAPSON) =
100.000000*

2) KONSTANTY
FYZIKÁLNÍ

SOURAČNÍ MODULO-

VÝ KONSTANTA K =
1.00000000 05*

RELATIVNÍ MODU-
LOVA ZMĚNA R =
-1.500000*

POMĚRNÁ DELKA
LAMBDAR =
82.135633

VÝCHOZÍ KOEF.
ZÁPLNENÍ M(0) =
0.010000*

LINEÁRNÍ HMOT-
NOST PRIZE
T(TEX) =
25.000000*

ZÁKUT PRIZE
Z(1/RH) =
0.818725*

SPECIFICKÁ HMOT-
NOST VLÁKEN
ROH(G/KUB.CM) =
1.500000*

RELATIVNÍ PROD-
LOUŽENÍ PRIZE
ZÁKUTEM
EPSILON.P =
-0.038650*

R
de/dr
de
-Ea
net/dr
a

0.000000
0.000000
7.37397
7.935265
0.655000
-10.297501
-183.73057
-192.472801
203.183120
0.015947
0.040000
0.31247
0.052887
7.932968
0.654613
-192.173845
-192.216834
-46.394335
0.000711

0.033333
0.263811
7.37397
0.645647
-10.297501
-183.73057
-192.472801
203.183120
0.015947

0.066667
0.52723
7.473241
0.60442
-180.45641
-194.79060
208.22670
-0.013310

0.100000
0.63207
2.18244
0.17970
-11.13594
-45.596120
0.62156482
-0.007473

0.07333
0.571036
0.98821
0.56001
-135.45043
-157.21543
3912.10431
0.009000

0.106667
0.781264
0.98821
0.10245
-4.94939
-254.92509
0.019517

0.08000
0.61489
6.09312
0.487188
-36.18037
-156.74360
4394.82524
0.01745

0.11333
0.768135
0.98821
0.86426
-2.03643
-15.638804
1877.31924
-0.00667

0.06667
0.61292
4.76770
0.39494
-56.28454
-36.710008
4537.92004
-0.01690

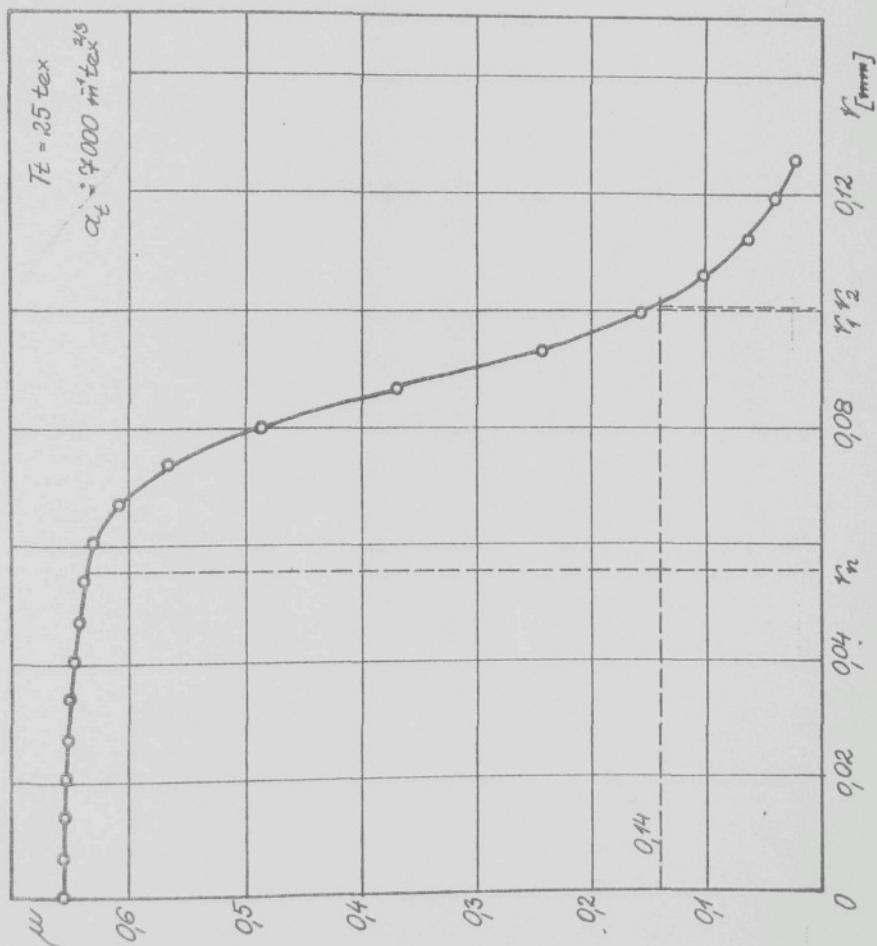
0.12000
0.713189
0.63981
0.03924
-0.791019
-5.32382
1313.28990
0.031505

0.0333
0.63033
3.21965
0.24652
-35.007532
-37.39171
3997.62825
-0.03870

0.12667
0.71658
0.495454
0.02362
-0.28895
1.974192
877.029128
-0.030732

REGR. KONST.
0.56173357-01
-2.294059672 60
3.14931444 62
1.240900250 64
1.07675267 65
5.063410106 66
-1.262913043 68
1.01636311 69
-2.931950267 69

HRRNICH F* =
0.714151



Příloha XVIII

Teoretické hodnoty příze

25 tex, 8000 m⁻¹tex^{2/3}

(legenda v příloze III)

1) KONSTANTY

VYPOČETNICH
NUMERICKYCH
POSTUPU

ZAKLADNI KROK

RESENI (MM)=

POCET INTERVALU

NUMERICKE INTEC-

RACE (SLIPSON)=

100.000000*

2) KONSTANTY

FYZIKALNI

SOURPNA MODULO-

VA KONSTANTA K=

9.83000000 04*

RELATIVNI MODU-

LOVA ZRENA A=

-1.500000*

POMERNA DELKA

LAMBDA=

0.894992*

VYCHAZI KOF.

ZAPLNEHI N1(0)=

0.010000*

LINEARNI HMOT-

HOST PRIZE

T(1E)=

25.000000*

ZAKRUT PRIZE

Z(1/AM)=

0.935686*

SPECIFICKA HMOT-

HOST VLAHEN

POMIG-KUB.CH)=

1.500000*

RELATIVNI PROD-

LOUZENI PRIZE

ZAKRUTEM

EPSILON.P=

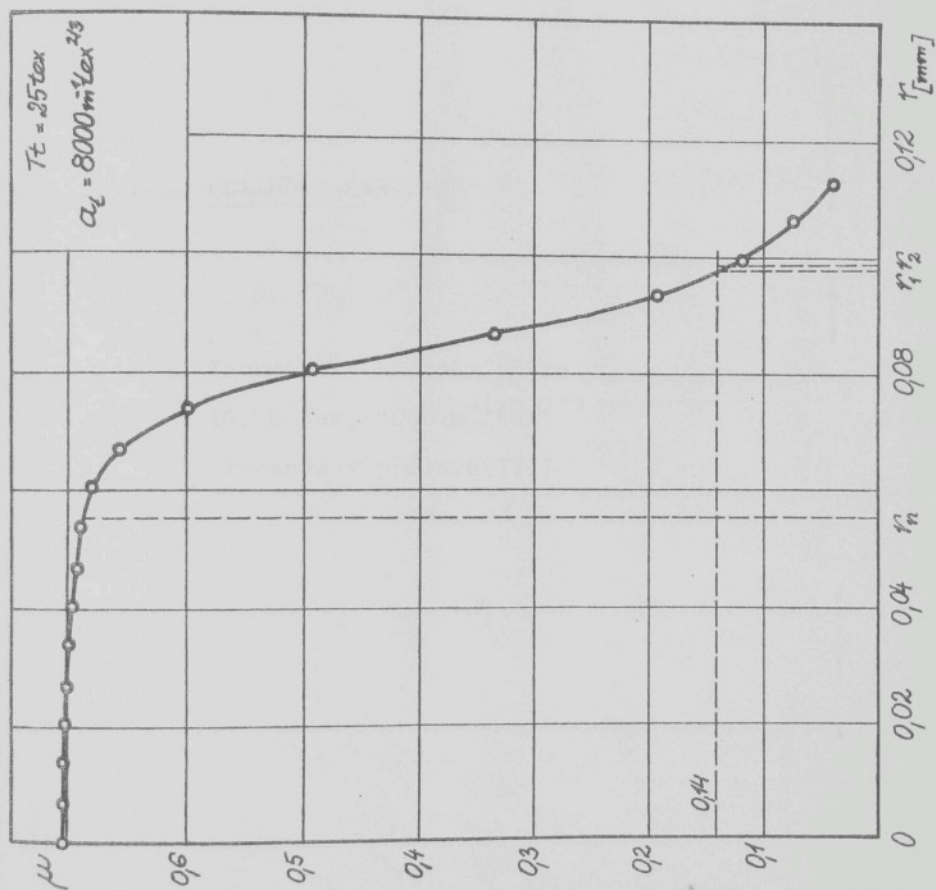
-0.649190*

R delar
de
de
de
de
de

0.000000	0.033333	0.055557	0.100000
-0.000000	0.273333	0.539824	0.700346
0.187314	0.137372	7.50106	1.615111
0.705000	0.693129	0.118974	0.118974
-234.082715	-228.611175	-193.685632	-6.216517
-234.082715	-224.119217	-201.336828	-36.131024
0.000000	263.077715	3232.634754	3407.81943
0.000000	-0.012091	-0.005579	-0.005133
0.005557	0.040000	0.073333	0.105557
0.054568	0.224480	0.592284	0.706135
0.185109	0.114777	7.092384	1.892172
0.704629	0.696584	0.594423	0.074042
-233.718823	-226.332928	-156.482436	-2.646089
-232.729525	-227.163504	-174.375154	-26.778645
55.474861	316.173980	5038.518307	2596.660320
-0.000650	0.043095	0.084217	-0.057885
0.013333	0.045557	0.090000	0.113333
0.109095	0.208490	0.522972	0.710166
0.179009	0.085670	5.521640	0.695298
0.703927	0.693308	0.52733	0.045861
-232.942458	-223.509308	-101.448362	-0.989731
-232.994420	-224.392483	-136.638844	-8.325625
110.265729	362.772081	6232.649594	1810.604356
0.004362	0.031120	0.027176	0.002212
0.020000	0.053333	0.065557	0.065557
0.163579	0.432273	0.667040	0.667040
0.169372	0.045808	4.54792	0.045808
0.702735	0.693297	0.527132	0.027132
-231.877158	-220.380730	-46.68334	-46.68334
-232.013872	-222.331820	-95.088747	-95.088747
183.670485	406.463783	5957.554589	5957.554589
-0.015402	-0.000155	0.035026	0.035026
0.026557	0.060000	0.093333	0.093333
0.217994	0.487628	0.689609	0.689609
0.155944	7.954301	2.498601	2.498601
0.701224	0.679904	0.194164	0.194164
-230.454423	-212.811520	-15.914026	-15.914026
-230.734581	-216.231058	-56.849835	-56.849835
216.631860	1463.849183	4500.097573	4500.097573
0.027627	0.009917	0.023809	0.023809

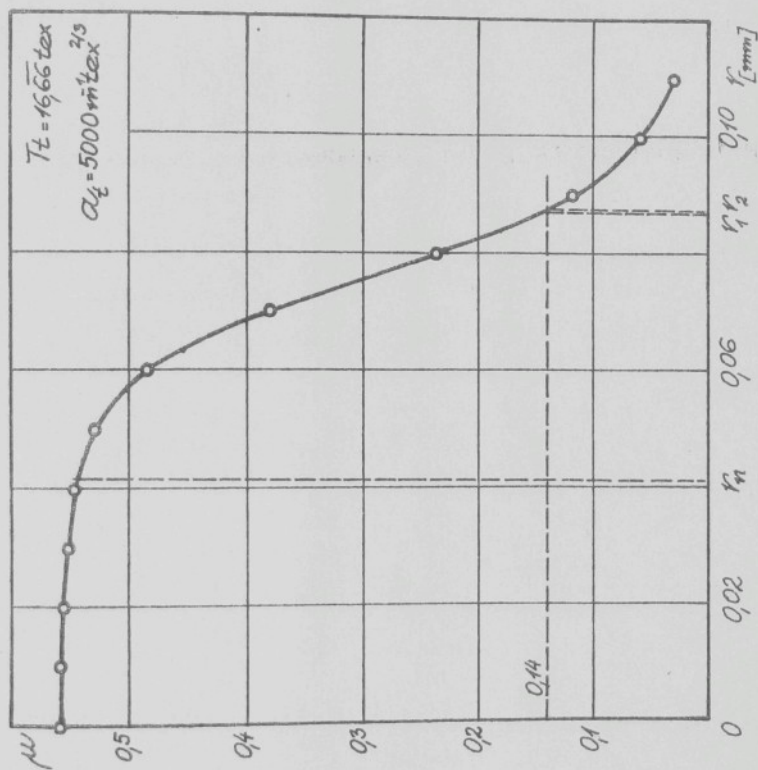
REGR. KONST.

7.059253341-01
2.825964382 08
7.714599973 02
7.162395839 04
0.102368171 06
7.135430978 07
-0.81710431 08
5.490376229 09
-1.348217654 10



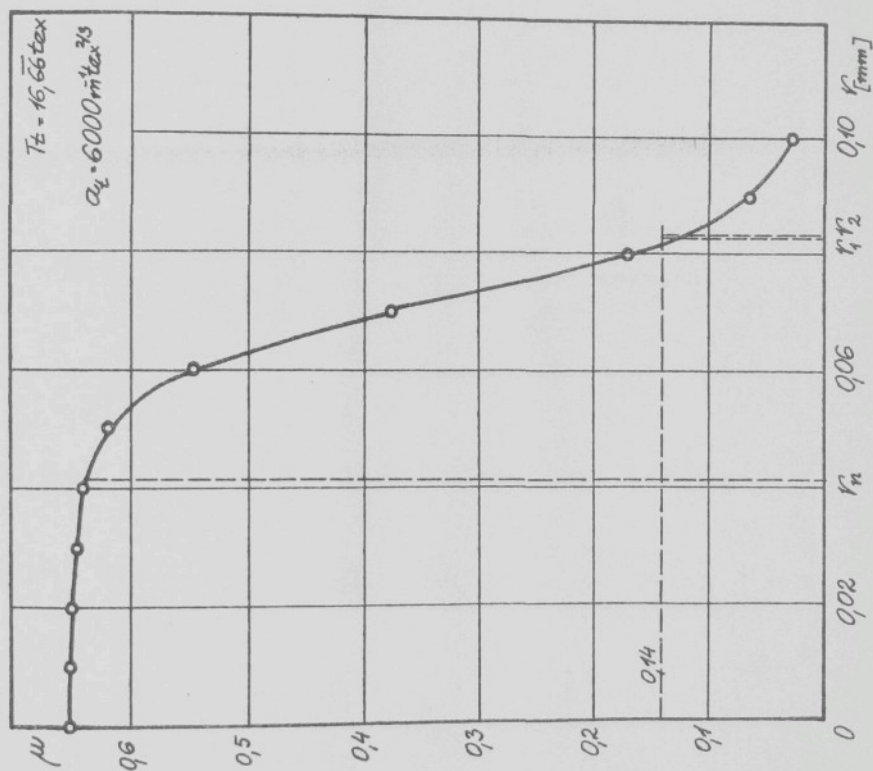
Příloha XIX

Teoretické hodnoty přize
 $16,66 \text{ tex}, 5000 \text{ m}^{-1} \text{tex}^{2/3}$
(legenda v příloze III)



Příloha XX

Teoretické hodnoty přize
16,66 tex, $6000 \text{ m}^{-1} \text{tex}^{2/3}$
(legenda v příloze III)



Příloha XXI

Tabulka hodnot K z regresní rovnice
(6.1)

TABULKA HODNOT K

$\frac{Q_t}{T_t} \frac{[m^3 \cdot s^{-1}]}{[s]}$	5000	5500	6000	6500	7000	7500	8000
16.	131844.	128997.	125341.	120077.	116008.	112525.	110236.
18.	130072.	126888.	123096.	117596.	113595.	110255.	107953.
20.	128320.	124812.	120889.	115159.	111159.	107815.	105523.
22.	126613.	122659.	118710.	112767.	108708.	105365.	103077.
24.	124925.	120559.	116590.	110413.	106343.	103005.	100717.
26.	123266.	118482.	114438.	108113.	104043.	100705.	98418.
28.	121634.	116388.	112344.	106022.	101952.	98614.	96327.
30.	120030.	114327.	110283.	103966.	100002.	96564.	94277.
32.	118455.	112249.	108205.	101883.	97923.	94485.	92198.
34.	116907.	110701.	106657.	100034.	96074.	92636.	90349.
36.	115388.	109182.	105138.	98513.	94553.	91115.	88828.
38.	113896.	107690.	103646.	97009.	93049.	89611.	87324.
40.	112433.	106227.	102183.	95552.	91592.	88154.	85867.
42.	110997.	104801.	100757.	94106.	90146.	86708.	84421.
44.	109590.	103403.	99359.	92661.	88701.	85263.	82976.
46.	108210.	102025.	97981.	91283.	87323.	83885.	81598.
48.	106859.	100474.	96440.	89742.	85782.	82344.	80057.
50.	105536.	99151.	95117.	88419.	84459.	81021.	78734.
52.	104240.	97855.	93821.	87123.	83163.	79725.	77438.
54.	102973.	96606.	92572.	85844.	81884.	78446.	76159.
56.	101734.	95384.	91350.	84626.	80666.	77228.	74941.
58.	100522.	94189.	90155.	83402.	79442.	76004.	73717.
60.	99339.	93024.	88990.	82167.	78207.	74769.	72482.
62.	98184.	91884.	87850.	81027.	77067.	73629.	71342.
64.	97057.	90757.	86723.	79900.	75940.	72502.	70215.
66.	95950.	89650.	85616.	78793.	74833.	71395.	69108.
68.	94867.	88567.	84533.	77708.	73748.	70310.	68023.
70.	93807.	87507.	83473.	76643.	72683.	69245.	66958.
72.	92772.	86472.	82438.	75598.	71638.	68200.	65913.
74.	91761.	85461.	81427.	74573.	70613.	67175.	64888.
76.	90773.	84473.	80439.	73568.	69608.	66170.	63883.
78.	89808.	83508.	79474.	72583.	68623.	65185.	62898.
80.	88866.	82566.	78532.	71618.	67658.	64220.	61933.
82.	87947.	81647.	77613.	70623.	66663.	63225.	60938.
84.	87051.	80751.	76717.	69703.	65743.	62305.	60018.
86.	86178.	79878.	75844.	68818.	64858.	61420.	59133.
88.	85327.	79027.	74993.	67903.	63943.	60505.	58218.
90.	84498.	78198.	74164.	67000.	63040.	59602.	57315.
92.	83690.	77390.	73356.	66115.	62155.	58717.	56430.
94.	82903.	76603.	72569.	65248.	61288.	57850.	55563.
96.	82137.	75837.	71803.	64400.	60440.	57002.	54715.
98.	81392.	75092.	71058.	63573.	59613.	56175.	53888.
100.	80667.	74367.	70333.	62768.	58808.	55370.	53083.