

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA TEXTILNÍ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Popis deformací 3D netkaných textilií při jednoosém
stlačování

Gabriela Stránská

1998

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA TEXTILNÍ

obor 3126-53

Textilní technologie

specializace netkané textilie

Popis deformací 3D netkaných textilií při jednoosém
stlačování

Gabriela Stránská

Vedoucí diplomové práce: ing. Jaroslav Hanuš

Rozsah práce

počet stran :95

počet tabulek :33

počet grafů :19

počet obrázků :27

Datum odevzdání: 9.1.1998

pro Gabrielu S t r á n s k o u
obor 3126 - 53 Textilní technologie, obor netkané textilie

Vedoucí katedry Vám ve smyslu zákona č. 172/1990 Sb. o vysokých školách určuje tuto diplomovou práci:

Název tématu: Popis deformací 3D netkaných textilií při jednoosém stlačování

Zásady pro vypracování :

1. Prostudujte současné poznatky o popisu deformací tlustých útvarů zatěžovaných jednoosým stlačováním.
2. Zjištěné poznatky aplikujte na popis deformací 3D NT, navrhňte a zrealizujte měření.
3. Popište deformace tří vybraných vzorků 3D NT strukturně odlišných.

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

Rozsah grafických prací:

Rozsah průvodní zprávy:

Seznam odborné literatury:

1. MEISSNER, B., ZILVAR, V.: Fyzika polymerů, SNTL/ALFA, 1987
2. RYBNÍKÁŘ, F., DITRYCH, Z.: Analýza a zkoušení plastických hmot, SNTL, 1965

Vedoucí diplomové práce: Ing. Jaroslav Hanuš

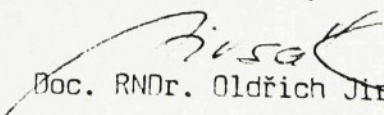
Konzultant:

Zadání diplomové práce: 16. 10. 1996

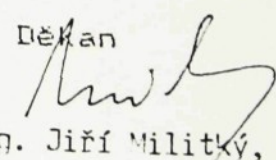
Termín odevzdání diplomové práce: 9. 1. 1998



Vedoucí katedry


Doc. RNDr. Oldřich Jirsák, CSc.

Děkan


Prof. Ing. Jiří Militký, CSc.

V Liberci dne 16. 10. 1997

OBSAH

Seznam použitých zkratk	1
Úvod	2
Cíl	4
1. Teoretická část	5
1.1. Jednoosé stlačování	5
1.1.1. Deformace vláken	8
1.1.2. Modely deformací	9
1.1.3. Elastické vlastnosti vláken	11
1.2. Stlačování tlustých vlákenných útvarů-rešerše	13
1.2.1. Historie	13
1.2.2. Současnost	17
1.3. Vybrané poznatky z teorií stlačování vlákenných útvarů	22
1.3.1. Energie vláken při stlačování	22
1.3.2. Stanovení křivosti	24
1.3.3. Síla působící ve vlákně při stlačování	27
1.4. Deformace tlustých útvarů při stlačování	30
2. Experimentální část	32
2.1. Výběr experimentálních metod k popisu deformací	32
2.2. Popis a hodnocení metod	33
2.2.1. Hodnocení přímého záznamu polohy čidla	36
2.2.2. Hodnocení zatěžovacích křivek a relaxace napětí	37
2.2.3. Hodnocení záznamu na filmový materiál	37
2.3. Výběr a popis materiálů pro experiment	38
2.4. Parametry materiálů pro experiment	41
2.4.1. Plošná hmotnost ρ_s	42
2.4.2. Tloušťka Y ve směru osy y	43
2.4.3. Objemová hmotnost ρ_v	44
2.5. Příprava vzorků pro experiment	44
2.6. Parametry a popis měření	47
2.6.1. Jednoosé zatěžování-zatěžovací křivky	47

2.6.2. Relaxace napětí	48
2.6.3. Fotografie	48
3. Vyhodnocení a závěr	50
3.1. Přímý záznam polohy čidla	50
3.2. Jednoosé zatěžování-zatěžovací křivky	50
3.2.1. Relaxace napětí	52
3.3. Fotografie	52
4. Příloha	55
4.1. Tabulky	55
4.2. Grafy	69
4.3. Obrázky	83
Seznam použité literatury	93

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

1o	:první cyklus odlehčování
1s	:první cyklus stlačování
5o	:pátý cyklus odlehčování
5s	:pátý cyklus stlačování
A	:krychle z PUR pěny
B	:krychle z kolmo kladené vrstvy
C	:krychle z příčně kladené vrstvy
R^2	:hodnota spolehlivosti
s	:směrodatná odchylka
v	:variační koeficient

ÚVOD

První plošné útvary vyrobené na principu NT byly použity již v dávné době, jak nám dokazují archeologické objevy.

Naši předci je zpracovávali z plstěných zvířecích srstí postupy plstění tj. současným působením vody, tepla, případně chemikálií a mechanických vlivů. Tyto vyrobené textilní útvary byly používány jako příkrývky nebo ke stavbám obydlí. Téměř stejné postupy jsou dodnes využívány i v průmyslové výrobě plstí.

V 19. století se začalo v textilní výrobě využívat textilních odpadů, které při zpracování vznikají. Snaha zpracovat tyto materiály vedla k rozvoji nových technologií, zejména vpichování. Z textilních odpadů bylo možné vyrábět textilie s vlastnostmi podobnými plstím. Zpracování technologických odpadů ale i použitých sběrových textilií je v současné době velmi aktuální.

Zejména v 30.-50. letech tohoto století došlo k rozvoji výroby NT netradičními metodami, protože rostla snaha textilních výrobců vyrobit plošný textilní útvar efektivněji a levněji než umožňovaly poměrně komplikované postupy výroby jako plstění, tkaní, pletení. Zejména ve Spojených státech a následně i v Československu byla vypracována řada metod přípravy vlákenné vrstvy přímo z polymeru a jejich zpevňování termicky, mechanicky či chemicky. Příkladem těchto metod jsou technologie spun-bond (výroba pod hubicí), melt-blown (textilie vyrobené rozfukováním taveniny polymeru) a elektrostatické zvlákňování.

Od 60. let až po současnost se projevuje snaha o přípravu výrobků zcela nových vlastností, které nelze realizovat jinými technologiemi. Jedná se zejména o filtry, zdravotnické materiály, ochranné oděvy, konstrukční materiály pro stavebnictví, automobilový, letecký a kosmický výzkum, tepelně a hlukově izolační výrobky, oděvní a obuvnické textilie.

Velký význam v oboru NT má dnes výroba objemných kolmo kladených textilií technologií nazývanou STRUTO. Objemná textilie je vyráběna buď z horizontálně kladené vlákenné vrstvy pojené

disperzemi nebo z kolmo kladené vlákenné vrstvy spojené termoplastickými pojivy. Tato druhá jmenovaná technologie vyvinutá na liberecké Technické univerzitě katedře NT, přináší nový výrobek, který má odlišné užité vlastnosti než klasické výrobky. Nejrozšířenější oblastí využití technologie STRUTO je v čalounické výrobě. Tento výrobek se zde využívá zejména pro svůj velký odpor proti stlačení a dobrou návratnost materiálu po opakovaném i dlouhodobém namáhání ve stlačení do původního stavu.

CÍL

Cílem práce je prostudovat současné poznatky o popisu deformací tlustých (objemných) útvarů zatěžovaných jednoosým stlačováním a získané informace aplikovat na popis deformací 3D NT. Aplikaci provést na třech strukturně odlišných materiálech. Při návrhu způsobu zjišťování a popisu deformace se zaměřit především na jednoduchost a přesnost metody a na názornou prezentaci chování vzorků při stlačování.

1.1. JEDNOOSE STLAČOVÁNÍ

Průběh křivky tlakové zkoušky je u plastických hmot obvykle průběhem křivky elastických. Obecně je lze vyjádřit dvěma typy, jak ukazuje obr. 1.



1. TEORETICKÁ ČÁST

Deformace lze popsat:

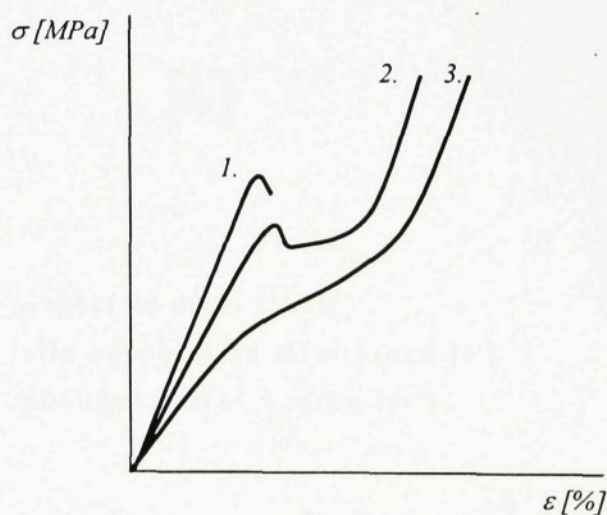
- teoretickým modelem, který vyžaduje studium deformovaného vlákna metodou stereologie
- experimentálními metodami
 - nepřímými např. pomocí zatěžovacích křivek k čemu lze použít dynamometr se zapisovačem.
 - přímými tj. přímým zobrazením deformací vzorků k čemu lze použít dynamometr a kameru.

Pro obecný popis chování tlustých (objemných) útvarů zatěžovaných jednoosým stlačováním jsou využity poznatky o chování plastických hmot při tlakové zkoušce.

1.1. JEDNOOSÉ STLAČOVÁNÍ

Průběh křivky tlakové zkoušky je u plastických hmot podobný průběhu křivek tahových.

Obecně je lze vyjádřit třemi typy, jak ukazuje *obr. 1*.



obr. 1 Typy pracovních diagramů tlakové zkoušky.

1. Křehká plastická hmota. Při jejich zkoušení stoupá napětí v tlaku rovnoměrně až do okamžiku, kdy se zkušební těleso náhle poruší. Horní mez kluzu je současně pevností v tlaku. K tomuto typu se počítají hlavně termosety (polymery, které nejsou opakovaně tvarovatelné teplem).
2. Středně houževnatá plastická hmota vyznačující se horní a dolní mezí kluzu v tlaku. Po překročení dolní meze kluzu napětí stále vzrůstá, zkušební těleso se deformuje, aniž by došlo k viditelnému porušení. Tlakové vlastnosti charakterizuje mez kluzu. Do této skupiny patří většina plastických hmot.
3. Houževnatá plastická hmota. Neobjevuje se u ní mez kluzu. Zkušební těleso je prostoupeno značným množstvím mikro a makrotrhlinek, které vznikají při přemísťování materiálu (tečení) za teplot sklovité oblasti. Patří sem většinou polyamidy, polyolefiny atd. **Rozhodujícím kritériem pro posouzení tlakových vlastností u nich je napětí při smluvní hodnotě deformace.**

Hodnoty tlakových vlastností se získají dělením odpovídajících zatížení původním průřezem zkušebního tělesa. Např. mez kluzu v tlaku se vypočte podle vztahu /1/:

$$\sigma_k = \frac{F_k}{S_0} \quad [\text{Pa}] \quad (1)$$

σ_k	: napětí na mezi kluzu
F_k	: síla působící na mezi kluzu [N]
S_0	: původní průřez vzorku [m ²]

pevnost v tlaku se vypočte podle vztahu /1/:

$$\sigma_p = \frac{F_{\max}}{S_0} \quad [\text{Pa}] \quad (2)$$

σ_p	: napětí na mezi pevnosti
$F_{\max}$	: síla působící na mezi pevnosti [N]
S_0	: původní průřez vzorku [m ²]

Průřez zkušebního tělesa se však při zkoušce zvětšuje, zvláště u houževnatých plastických hmot. Vypočtené napětí v tlaku neodpovídá skutečnému napětí. Korekce napětí na skutečný průřez se v normách neuvažuje.

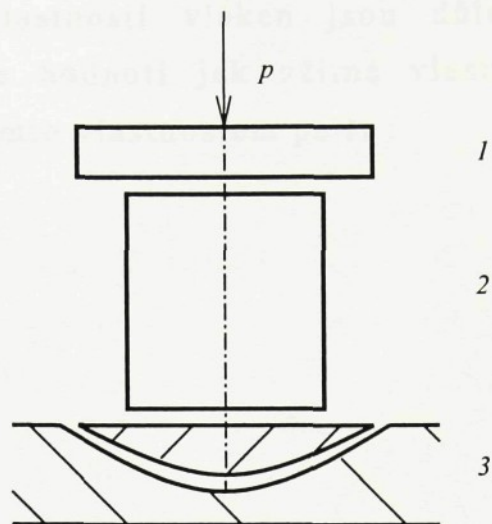
Modul pružnosti v tlaku se počítá jako tangenta směrnice k počáteční části křivky $\sigma - \varepsilon$ podle vzorce /1/:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad [\text{Pa}] \quad (3)$$

σ	: napětí v tlaku [Pa]
ε	: poměrné stlačení [1]

K tlakové zkoušce se používá universálních trhacích strojů. Síla působící na zkušební těleso musí působit v ose, tj. musí být kolmá k tlačné ploše zkušebního tělesa.

Tlaková síla stroje se na zkušební těleso přenáší deskami, z nichž jedna má kloubové uložení *obr. 2*.



obr.2 Čelisti pro tlakovou zkoušku.

F	:tlaková síla
1	:pevná deska
2	:zkušební těleso
3	:deska s příslušenstvím

Při stlačování se předpokládá, že tlačná síla je rovnoměrně rozložena po celém průřezu. Tření mezi dotykovými plochami zkušebního tělesa a deskami však zabráňuje příčnému roztahování materiálu. Proto část zkušebního tělesa, která je ve styku s tlačnými deskami, se rozšiřuje pomaleji než střed a zkušební těleso nabývá tvaru soudku. Použije-li se na desky vhodného maziva (parafinu) a styčné plochy zkušebního tělesa i tlačných desek jsou leštěny, zachovává si zkušební těleso téměř válcovitý tvar po celou dobu zkoušky /1/.

1.1.1.DEFORMACE VLÁKEN

Deformace je změna tvaru tělesa způsobená vnějšími silami. Jevy, které pozorujeme při působení vnějších sil na textilní vlákna, charakterizují tzv.mechanické vlastnosti vláken. Ve většině případů zkoumáme deformace vláken, přízí nebo hotových výrobků při namáhání tahem, tlakem, ohybem, zákrutem atd.

Mechanické vlastnosti vláken jsou důležitým parametrem, neboť podle nich se hodnotí jak užité vlastnosti textilií, tak i zpracovatelnost. K těmto vlastnostem patří :

- pevnost
- tažnost
- pružnost
- splývavost
- ohebnost atd.

Při jejich zjišťování se působením vnějších sil zvětšuje deformace a zaznamenává se, jak s rostoucí deformací přibývá napětí ve hmotě vláken.

Bude-li pozorování pevnosti v čase, vyvstanou další nové znaky v chování. Je to relaxace, tj. zpoždění v elastické deformaci a různě velký viskózní tok (trvalá deformace).

Zákonitosti deformace vláken jsou velmi složité (různé přemísťování částí hmoty podle velikosti soudržných sil a druhu vazeb mezi molekulami); mechanické vlastnosti jsou závislé na strukturálním uspořádání makromolekul (amorfní části, krystalicity). U chemických vláken je nositelem pevnosti a pružnosti krystalická část /2/.

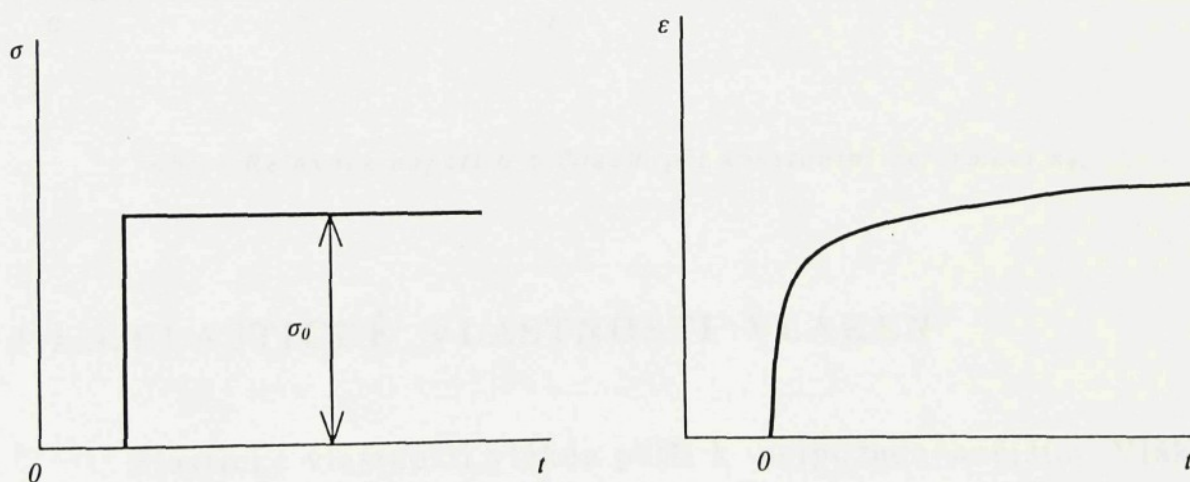
1.1.2. MODEL Y DEFORMACÍ

Abychom si mohli matematicky přiblížit mechanické chování makromolekulárních látek, idealizujeme si jejich chování a napodobujeme je různými modely. Nejjednodušší případy /2/:

1. Dokonale elastické vlastnosti, kdy se neprojevuje zpožděné dotváření deformace, můžeme napodobit pružinou. Je to Hookův model. Proces je dokonale vratný mechanicky i termodynamicky. Vložená energie se vrací zpět ve formě práce.

2. Plastický tok. Při tomto druhu deformace se v látce účinkem zatížení vyvolá tok. Jde přitom o lokální přemístění molekul nebo jejich částí. Vynaložená energie se přeměňuje v teplo. Jde o proces mechanicky i termodynamicky nevratný. K znázornění tohoto případu se používá Newtonův model, kde se deformace simuluje pístem ve válci. Zatížením σ se oddaluje čelo válce od čela pístu a velikost je přímo úměrná zatížení a době t , po kterou toto zatížení působí.

3. Zpožděná elastická deformace. Tento případ nastává u látek, které mají dlouhé lineární molekuly vzájemně propletené. Nemůže zde nastat tok hmoty, avšak částice molekul se mohou napětím rozvinovat. Pomine-li napětí, vložená energie táhne přesunuté částice zpět (zpožděné dotváření) *obr.3*. Tuto deformaci znázorňuje Kelvinův model, který ji simuluje kombinací předešlých modelů a to pružiny a pístu s válcem v paralelním uspořádání. Napětí σ přemáhá odpor pružiny i odpor viskózního elementu (píst s válcem), úměrný okamžité rychlosti deformace. Přesuny hmoty tam a zpět se dějí na způsob viskózního toku; není tedy vratnost termodynamická.



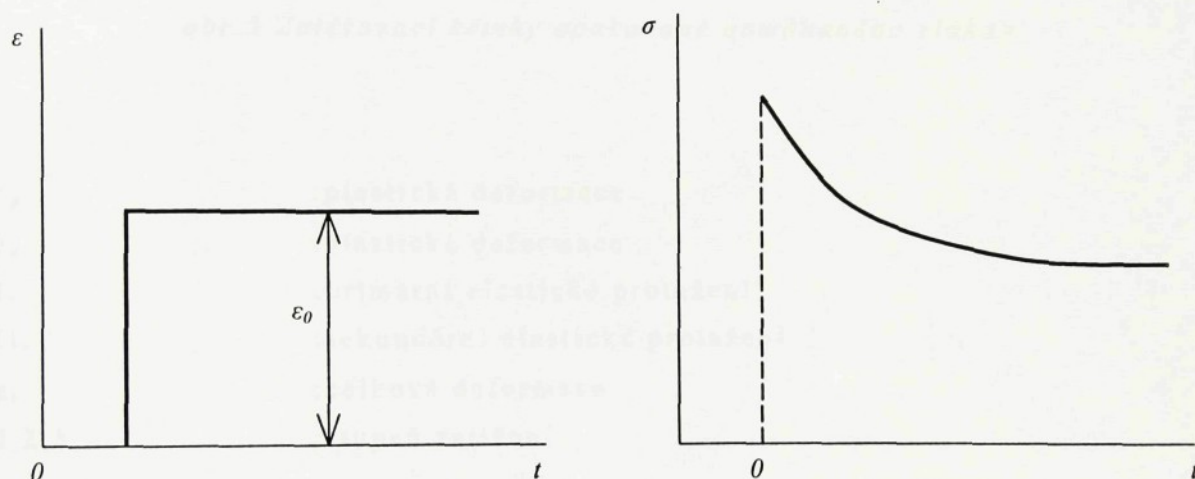
obr.3 Kríp-růst deformace ϵ s časem při konstantním napětí σ_0 .

4. Částečně mechanicky vratná deformace. Tato deformace je příznačná pro velmi viskózní kapaliny nebo hmoty těstovitého charakteru. K toku takové látky je třeba velkého napětí.

Zastaví-li se deformace, nezmizí okamžitě, nýbrž vnitřní napnutí hmoty povoluje (relaxuje) tím, že se molekuly smršťují do původních poloh. Toto dopružování (Maxwellova relaxace) lze znázornit Maxwellovým modelem a to pružinou a pístem s válcem v sériovém uspořádání.

Deformace hmoty ε_0 je provedena rychle počátečním zatížením σ_0 .

Napnutí povoluje podle exponenciální funkce. Je to časový pokles napnutí při konstantní deformaci *obr. 4*.



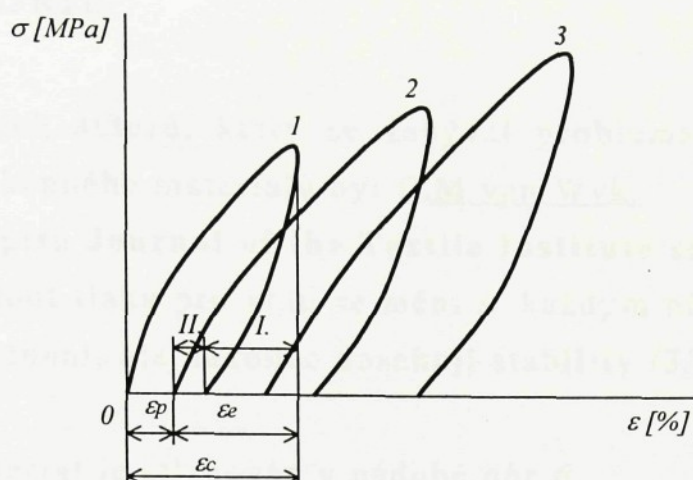
obr. 4 Relaxace napětí σ s časem při konstantní deformaci ε_0 .

1.1.3. ELASTICKÉ VLASTNOSTI VLÁKEN

Elastické vlastnosti vláken patří k nejpožadovanějším. Vlákná elastická mají značný význam pro užitné vlastnosti textilií /2/.

Z hlediska užitných vlastností textilních hotových výrobků má větší význam elasticita při opakovaném namáhání. Příkladem takového namáhání jsou zatěžovací křivky na *obr. 5*.

Chování, kdy se materiál po odstranění příčiny deformace snaží zaujmout původní tvar, je také nazýváno pružností.



obr.5 Zatěžovací křivky opakovaně namáhaného vlákna.

ϵ_p	:plastická deformace
ϵ_e	:elastická deformace
I.	:primární elastické protažení
II.	:sekundární elastické protažení
ϵ_c	:celková deformace
1,2,3...	:stupeň zatížení

Vlákna se tlakem deformují. Když tlak pomine, projeví se nejprve elastické vlastnosti vlákna a to nejprve tzv.primární elasticitou /2/. Je to ta část deformace, která prakticky zmizí ihned po odlehčení (odstranění vnějších sil, které deformaci způsobily).

Druhá část elastické deformace je závislá na čase. Je to ta část deformace vlákna, která po odstranění vnějších sil mizí postupně. Tomuto ději se říká sekundární elasticita /2/.

Trvale zdeformovaná vlákna, která nevykazují změnu deformace i když na ně vnější síly přestanou působit (nezávisle na čase) představují plastickou deformaci /2/.

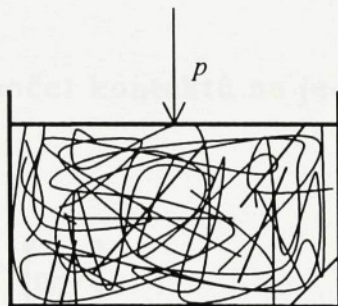
1.2. STLAČOVÁNÍ TLUSTÝCH VLÁKENNÝCH ÚTVARŮ - REŠERŠE

1.2.1. HISTORIE

Z prvních autorů, který se zabýval problematikou stlačování textilního vláknenného materiálu byl C.M.van Wyk.

V časopisu **Journal of the Textile Institute** se zmiňuje o tom, že křivky hodnot tlaku pro vlnu se mění s každým následným cyklem stlačení a uvolnění, ale nakonec dosahují stability /3/.

Vláknenný materiál je stlačován v nádobě *obr.6*.



obr.6 Stlačování vláknenného materiálu.

p : tlak působící na vláknenný materiál [MPa]

Stlačováním vláknenného materiálu se mění jeho zaplnění μ definované poměrem:

$$\mu = \frac{V}{V_c} \quad [1] \quad (4)$$

V : objem vláken [m^3]
 V_c : celkový objem prostoru ve kterém se vlákna nachází [m^3]

Při deformaci jsou uvažovány tyto předpoklady:

- náhodné kontakty mezi vlákny
- ohybová deformace vláken
- neuvažuje se „doraz“ vláken

odvozené vztahy /3/:

a) hustota kontaktů γ – počet kontaktů na jednotku objemu

$$\gamma = k_\gamma \cdot \mu^2 \quad [m^{-3}] \quad (5)$$

k_γ : koeficient hustoty kontaktů (závisí na materiálu a na charakteru struktury) [m^{-3}]

b) střední vzdálenost kontaktů na vlákne δ

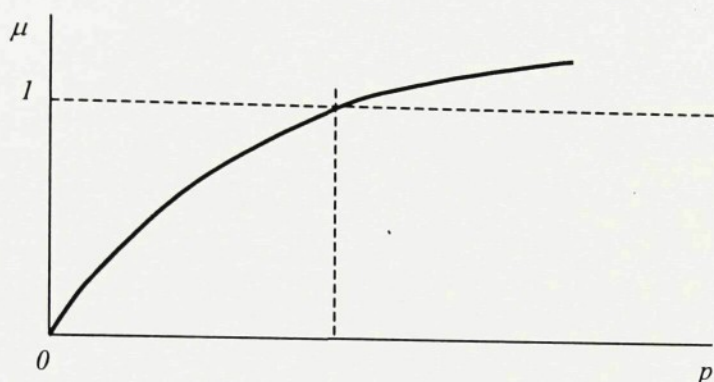
$$\delta = \frac{k_\delta}{\mu} \quad [mm] \quad (6)$$

k_δ : koeficient střední vzdálenosti kontaktů [mm]

c) vztah mezi tlakem a zaplněním

$$p = k_p \cdot \mu^3 = k_p \cdot \left(\frac{V}{V_c} \right)^3 \quad [\text{MPa}] \quad (7)$$

k_p : koeficient v tlaku [MPa]



obr.7 Vztah mezi tlakem a zaplněním.

Při stlačování viz obr.7 došlo k překročení limitní hodnoty zaplnění $\mu < 0,1 >$; takže vztah (7) je využitelný jen v oblasti nízkých zaplnění /3/.

Van Wyk bere v úvahu, že deformace mechanismu vláken v náhodném shluku vláken je analogická s průhybem rovných tyčí. Jakkoliv v opravdovém (reálném) shluku, nehledě na problémy s orientací vlákna, je většina z vláken zobloučkována (zkadeřena). Vzdálenost mezi dvěma sousedními kontaktními body není vždy stejná a kontaktní body se nestřídají pravidelně.

Dále jsem se v rešerši zaměřila na časopisy **Textile Research Journal** a **Textil**.

T. Matsuo rozšířil van Wykův model ohýbání nosníku, když vzal do úvahy zkadeření a orientaci vláken. Jeho vzorec obsahuje dva parametry vztažené k nově uvažovaným faktorům. Jeden z nich je exponent g , který určuje funkcionální závislost napětí na deformaci. T. Matsuo zavedl tyto parametry na poněkud nesrozumitelném teoretickém základě. Nebyly totiž odvozeny z vlastností vláken a hmoty, byly zpracovány jenom jako volné parametry. Nicméně T. Matsuova myšlenka, že exponent g není konstantní (může se pro každou masu lišit), se stala zajímavým základem pro pozdější práce /4/.

P.D. Beljasov srovnává shodu van Wykových matematických výrazů se skutečně změřenými výsledky, které získal různými experimenty. Různé druhy vlákenného materiálu ve vzorcích o hmotnosti 20g stlačoval v různých časových a klimatických podmínkách v krabici obdélníkového průřezu 50×60 mm tlaky v rozmezí od 3,10 do 310 MPa /5/.

T. Komori a K. Makishima při hodnocení anizotropní látky určili, že pravděpodobnost kontaktu vlákna a volných intervalů mezi kontakty při stlačování závisí na směru daného vlákna /6/.

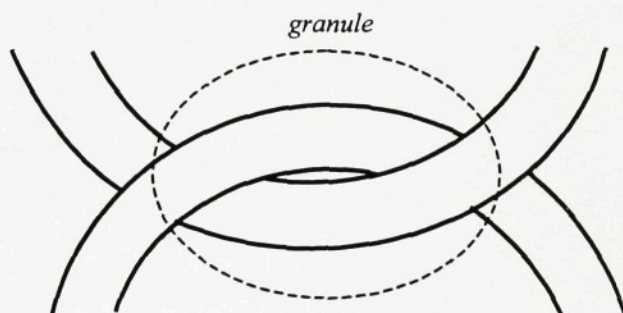
D.H. Lee a J.K. Lee odvodili anizotropické počáteční moduly a Poissonův poměr vlákenných kontaktů v orientované hmotě /7/.

D.H. Lee na základech principu minimální energie zkoumal vliv některých strukturních parametrů, např. zkadeření vláken, distribuce délek ohybových elementů atd. na vlastnosti ve stlačení, ale nepublikoval experimentální měření /8/.

1.2.2. SOUČASNOST

Na práce van Wyka a Beljasova navazuje prof.ing.Bohuslav Neckář, DrCs. /9/, který od nich přebírá naměřené hodnoty a porovnává je se svými odvozenými vztahy. Zpracovává problematiku stlačování vlákenného materiálu, kdy vychází z klasické představy idealizované soustavy ohybově namáhaných vláken, kterou modifikuje a zobecňuje i pro oblasti středních a vysokých zaplnění.

Zavádí pojem tzv.granule, tj.místo kontaktu dvou vláken při stlačení *obr.8*. Tato granule představuje nestlačitelný objem.



obr.8 Granule.

Objem vlákenného materiálu v granulích **W** /9/:

$$W = k \cdot V_c \cdot \gamma \cdot \mu = k \cdot V_c \cdot k_\gamma \cdot \mu^3 \quad \left[m^3 \right] \quad (8)$$

k

:konstanta úměrnosti [m^3]

- objem je úměrný počtu granulí
- objem granulí závisí na zaplnění (čím vyšší zaplnění, tím je více granulí)

V mezním případě, kdy na strukturu působí maximální tlak p^∞ platí /9/:

$$V_c \rightarrow V_{c \min} \quad W \rightarrow V \quad \mu \rightarrow \mu_{\text{mezní}} = \frac{V}{V_{c \min}} \quad (\text{blízke } 1)$$

tedy :

$$V = k \cdot V_{c \min} \cdot k_\gamma \cdot \mu^3_{\text{mezní}} \quad (9)$$

$$k = \frac{1}{k_\gamma \cdot \mu^2_{\text{mezní}}} \quad (10)$$

$$W = V \cdot \frac{\mu^2}{\mu^2_{\text{mezní}}} \quad (11)$$

$$\mu_{\text{mezní}} = \frac{W}{W_c} \quad (12)$$

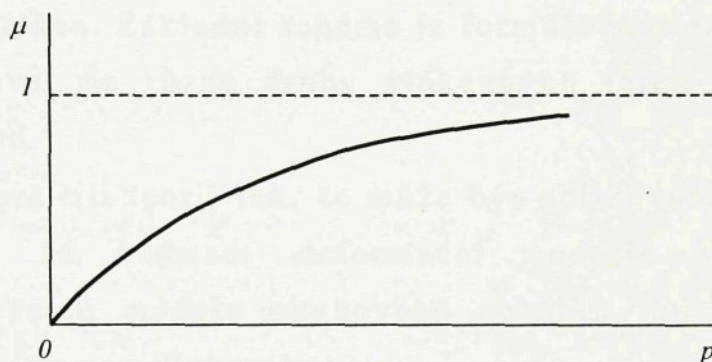
$$W_c = V \cdot \frac{\mu^2}{\mu^3_{\text{mezní}}} \quad (13)$$

W_c

:objem granulí se vzduchem [m^3]

Po úpravě vztahu (7) obr.9:

$$p = k_p \cdot \frac{V^3}{(V_c - W_c)^3} = k_p \cdot \frac{\mu^3}{\left(1 - \frac{\mu^3}{\mu_{\text{mezni}}^3}\right)^3} \quad (14)$$



obr.9 Vztah mezi tlakem a zaplněním.

G.A. Carnaby a N. Pan rozšířili teorii svými dřívějšími poznatky o účinku posunu vláken a poprvé úspěšně teoreticky reprodukovali hysterezi při stlačení vláknenné látky /10/.

D.H. Lee, G.A. Carnaby a S.K. Tandom prezentovali analýzy teorie stlačení, ve kterých byl opakovaně ohýbaný nosník (tyč) předpokládán jako ohybová jednotka /11/.

T. Komori a M. Itoh se zaměřili na pojetí, které je užíváno „pro mechaniku látky vlákna pod extensivním tlakem“. Látka je zpracována jako shluk jednotlivých vláknenných elementů, jejichž

individuální ohybové vlastnosti mají vliv na celkovou odezvu této látky /12/.

V další práci vypracovali teorii, která je založená na principu deformační energie. Je navržena pro mechaniku látky vlákna pod celkovou deformací zahrnující stlačení, roztažení a smyk. Látka je pojednána jako síť, tvořená z mnoha vláknenných segmentů, z nichž každý je pojen dvěma sousedními dotykovými body vláken a jejichž individuální mechanické chování je shrnuto v celkové odezvě látky. Elastický modul a Poissonův poměr jsou vztahovány k závislosti hustoty orientace vláken, prostorové hustotě délek vláken a vlastnostem vláken. Základní schéma je formulováno tak, aby ho bylo možno aplikovat na různé druhy vláknenných látek jako jsou NT, papír, příze atd.

Dále rozšířili teorii tak, že může být aplikována na kterýkoliv způsob, kdy se hromadí deformační energie ve vláknenných segmentech včetně modelu ohybového nosníku, který je používán mnoha autory (po van Wykovi) /13/.

Stlačitelnost shluku vláken podle D.H. Lee a G.A. Carnabyho.

Mechanismus stlačování náhodného shluku vláken je analyzován pomocí „deformační energie“. Vlákenný segment, který je ohýbán dvěma sousedními kontaktními body, je vybrán jako jednotka ohýbaného elementu. Geometrie elementu je charakterizována délkou, křivkou a orientací. Součet každého přírůstku energie je dán společnou hustotou pravděpodobnosti funkce délky a orientace segmentů.

V analýze brali autoři v úvahu následující předpoklady zjednodušeného vzoru deformace vlákna /14/:

1. Všechna vlákna jsou uvažována jako homogenní, lineárně elastická, jednotná v délce a v kruhovém příčném řezu.

2. Vlákná jsou zpracována jako výběr nezávislých segmentů ohýbaných mezi dvěma sousedními kontaktními body.
3. U všech segmentů vlákna se předpokládá stejná konstantní křivka před deformací.
4. Posunutí všech kontaktních bodů předpokládáme jednotné.
5. Tažnost a deformace ve stlačení segmentů vlákna a boční deformace v kontaktních bodech jsou zanedbány.

Stlačitelnost shluku vláken podle D.H. Leeho, G.A. Carnabyho a S.K. Tandoma.

Autoři popisují metodu použitou při zhodnocení teorie energie stlačování náhodného shluku vláken. Také zde uvádějí matematickou derivaci metod pro aktualizaci orientace hustoty funkce vláken v obvyklém shluku vláken. Navíc je křivka segmentů vláken charakterizována rovnicí, která se vztahuje ke zkadeření a k tzv. efektivnímu rozměru zkadeřeného prostorového uspořádání vlákna. Používají „minimální“ techniky k odhadnutí energie stlačování. Účinky mechanických vlastností vláken a strukturálních parametrů shluku na minimální energii stlačování jsou vypočteny pro novozélandskou vlnu. Kromě zkadeřeného vlákna je téměř naprostá shoda mezi vypočítanými výsledky pro různá vlákna a strukturální parametry /15/.

T. Komory, M. Itoh a A. Tanaku navazují na předchozí výzkumy.

Jako model ohybové jednotky vláken je místo rovného nosníku předpokládán ohýbaný nosník a stlačitelnost vlákenných shluků je diskutována na dříve zavedeném mikromechanickém základě. Při použití pouze vlastních strukturálních veličin jako hustota shluku, stupeň zkadeření, elasticita vláken atd., mohou analýzy dobře

reprodukovat skutečné funkcionální závislosti napětí na deformaci hmoty. Numerická chyba nadhodnocení napětí, která byla nevyhnutelná v dřívějších teoriích typu van Wyka, může být těmito vlastními strukturálními veličinami značně zmenšena /16/.

1.3. VYBRANÉ POZNATKY Z TEORIÍ STLAČOVÁNÍ VLÁKENNÝCH ÚTVARŮ

1.3.1. ENERGIE VLÁKNA PŘI STLAČOVÁNÍ

Vlákna jednotkové délky upevněná v dynamometru se při stlačování ohýbají, přičemž se mění jejich křivost k a z toho energie u /13/.

$$u = G \cdot \frac{k^2}{2} \quad \left[\frac{\text{J}}{\text{m}} \right] \quad (15)$$

G : modul pružnosti v ohybu [Nm^2]

$$k = \frac{1}{r} \quad \left[\frac{1}{\text{m}} \right] \quad (16)$$

r : poloměr kružnice, kterou vlákno opisuje

Energie vlákna délky **b**:

$$U = \frac{b \cdot G \cdot k^2}{2} \quad [J] \quad (17)$$

b : délka vlákna [m]

Při stlačování mohou nastat dva idealizované případy chování vláken:

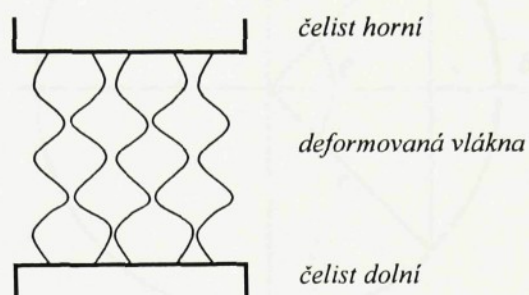
a) vlákna namáhaná na vzpěr *obr.10*.



obr.10 Organizovaně deformovaná vlákna.

Předpoklad: vlákna se deformují do tvaru, kde všem vláknům přísluší jedna křivost **k**.

b) vlákna namáhaná kombinovaně na vzpěr-ohyb *obr.11*.



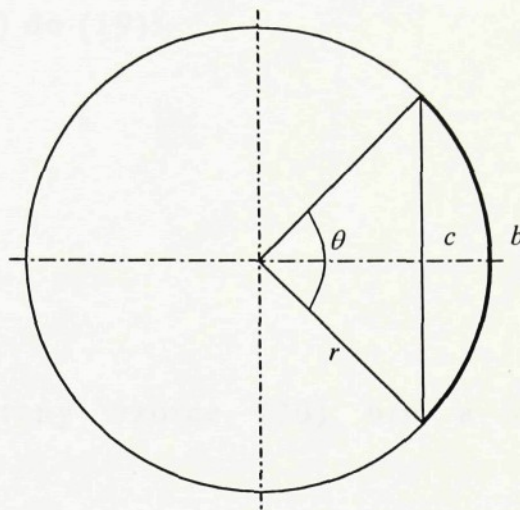
obr.11 Neorganizovaně deformovaná vlákna.

Předpoklad: vlákna se deformují do tvaru, kde je křivostí k více.

Snahou je stanovit na takto zdeformovaných vláknech jednu křivost, která reprezentuje vlákna. Proto se definují úseky na vláknech, kterým lze přiřadit jednu křivost k .

1.3.2. STANOVENÍ KŘIVOSTI

Vlákno (úsek o délce b) leží pouze na části kružnice o poloměru r . Tomuto vlákennému oblouku přísluší spojnice koncových bodů (tětiva) o délce c . Osa kružnice kolmá k tětivě pólí úhel θ s vrcholem ve středu kružnice a rameny procházejícími koncovými body tětivy *obr.12*.



obr.12 Geometrický popis ohybu vlákna.

b	: délka úseku vlákna [mm]
r	: poloměr kružnice, kterou vlákno opisuje [mm]
c	: délka tětivy vlákna [mm]
θ	: úhel svírající délku vlákna se středem kružnice [rad]

křivost $k = f(c, b)$

platí:

$$b = r \cdot \theta \quad [\text{mm}] \quad (18)$$

$$\sin \frac{\theta}{2} = \frac{\frac{c}{2}}{r} \quad (19)$$

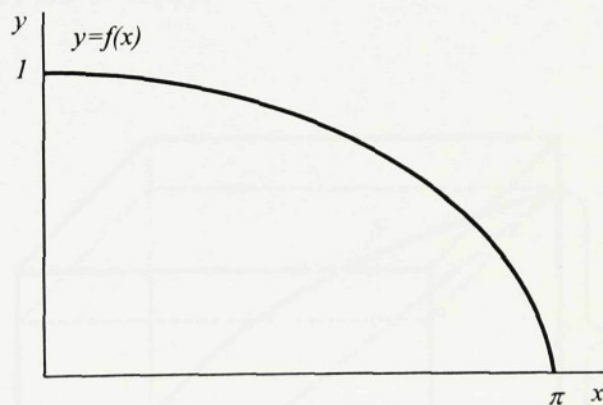
dosazení vzorce (18) do (19):

$$\sin \frac{b}{2 \cdot r} = \frac{c}{2 \cdot r} \quad (20)$$

násobení pravé strany vzorce (20) b/b a zavedení substituce $b/(2 \cdot r) = x$:

$$\frac{c}{b} = f\left(\frac{b}{2 \cdot r}\right) = \frac{\sin x}{x} \quad (21)$$

Funkce $(\sin x)/x$ je monotónně klesající *obr.13*. K této prosté funkci lze sestrojit funkci inverzní a to transformací podle osové souměrnosti osy I.a III.kvadrantu tj.přímky o rovnici $y=x$ /17/.



obr.13 Průběh funkce $y=f(x)=(\sin x)/x$.

násobením vztahu (21) inverzní funkcí a úpravou se získá výsledný vztah pro křivost $k = f(c, b)$ /17/:

$$\frac{b}{2 \cdot r} = f^{-1}\left(\frac{c}{b}\right) \Rightarrow k = \frac{1}{r} = \frac{2}{b} \cdot f^{-1}\left(\frac{c}{b}\right) \quad (22)$$

1.3.3. SÍLA PŮSOBÍCÍ VE VLÁKNĚ PŘI STLAČOVÁNÍ

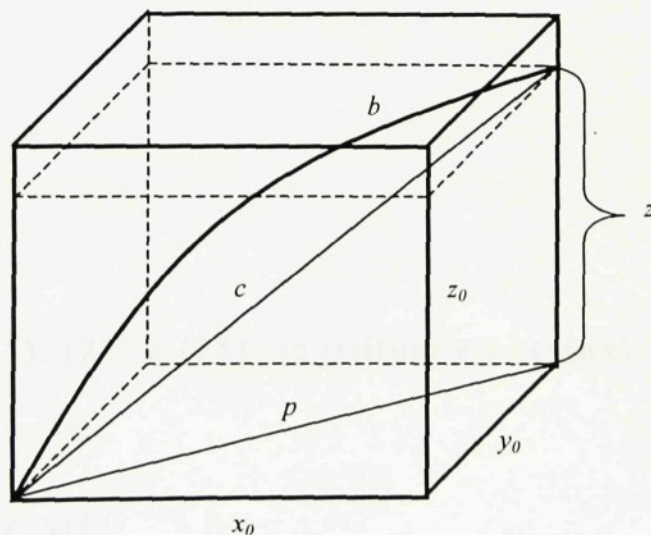
Při konečném stlačení kladou vlákna odpor /13/:

$$F = \frac{dU}{dz} \quad [N] \quad (23)$$

dU : celkový přírůstek energie [J]

dz : celkový přírůstek vzdálenosti koncových bodů vláken při stlačení [m]

dále obecně platí, že $F=f(\epsilon)$:



obr.14 Stlačování vláknenného elementu v objemu kvádru.

b	: délka úseku vlákna [m]
c	: délka tětivy vlákna [m]
p	: kolmý průmět tětivy vlákna při jeho stlačení [m]
z_0	: původní výška kvádru, kde je vlákno tětivovou úhlopříčkou [m]
z	: výška kvádru při stlačení vlákna [m]
ε	: relativní stlačení [1]

z obr. 14 platí:

$$\varepsilon = \frac{z - z_0}{z_0} \Rightarrow z = z_0 \cdot (1 + \varepsilon) \quad (24)$$

$$c = \sqrt{p^2 + z_0 \cdot (1 + \varepsilon)^2} \quad (25)$$

Sílu v závislosti na deformaci stlačením lze také formulovat jako /13/:

$$F(\varepsilon) = \frac{dU[\varepsilon(z)]}{d\varepsilon} \cdot \frac{d\varepsilon}{dz} \quad (26)$$

$$\frac{d\varepsilon}{dz} = \frac{1}{z_0} \quad (27)$$

užitím vzorců (17), (22) a (25), substitucí $c/b = (\sin x)/x = g$ a úpravou:

$$U = \frac{2 \cdot G}{b} \cdot [f^{-1}(g)]^2 \quad (28)$$

a dosazením vzorců (27), (28) do (26) se získá diferenciální vztah $F=f(\varepsilon)$ /13/:

$$F(\varepsilon) = \frac{d}{d\varepsilon} \cdot \left(\frac{2 \cdot G}{b} \cdot [f^{-1}(g)]^2 \cdot \frac{1}{z_0} \right) \quad (29)$$

Vztah (29) se derivuje.

1. $2 \cdot G/b$ a $1/z_0$ jsou konstanty, které lze vytknout.

2. $[f^{-1}(g)]^2$ je trojnásobně složená funkce:

2.1. derivace inverzní funkce povýšená na druhou.

2.2. derivace inverzní funkce.

2.3. derivace vnitřní funkce.

ad 2.1.

$$[f^{-1}(g)]^2 = 2 \cdot f^{-1}(g)$$

ad.2.2.

$$\frac{df^{-1}(g)}{d\varepsilon} = \frac{1}{\frac{d\left(\frac{\sin x}{x}\right)}{dx}} = \frac{x^2}{(x \cdot \cos x) - \sin x}$$

ad.2.3.

$$\frac{dg}{d\varepsilon} = \frac{1}{b} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{2 \cdot z_0^2 (1 + \varepsilon)}{\sqrt{p^2 + z_0^2 (1 + \varepsilon)^2}}$$

dosazením ad.2.1., ad.2.2. a ad.2.3. do vzorce (29) se získá výsledný vztah síly v závislosti na deformaci stlačením $F=f(\epsilon)$ /13/:

$$F = \frac{4 \cdot G}{b^2} \cdot \frac{x^3}{(x \cdot \cos x) - \sin x} \cdot \frac{z_0^2(1 + \epsilon)}{\sqrt{p^2 + z_0^2(1 + \epsilon)^2}} \cdot \frac{1}{z_0} \quad (30)$$

1.4. DEFORMACE TLUSTÝCH ÚTVARŮ PŘI STLAČOVÁNÍ

Stlačování je základní součástí dějů, které probíhají v mechanické textilní technologii. Vztah mezi napětím a deformací vláknenných soustav při jejich tlakovém namáhání, není teoreticky ani experimentálně zcela objasněný děj.

Proces stlačení látky je složitý tím, že při dostatečně velkých tlacích je provázen změnou mechanismu deformace a vznikem některých vedlejších jevů, které nesouvisí s pružností (např. stlačení vláken v bodech kontaktu).

Deformace tlustých vláknenných útvarů vykazují podobné chování jako vlákna viz. kap. 1.1.3.

Jejich chování je běžně popisováno /18/.

1. Pružnou deformaci, která charakterizuje schopnost hmoty vláken obnovit svůj objem hned po odlehčení. Je různá u různých vláken.

$$\epsilon_{\text{pruž}} = \left(\frac{H_2 - H_1}{H_0} \right) \cdot 100 \quad [\%] \quad (31)$$

H_2 : počáteční tloušťka vzorku před stlačením [m]
 H_1 : tloušťka vzorku při stlačení [m]
 H_0 : tloušťka po odlehčení [m]

2. Elastickou deformací, která charakterizuje schopnost hmoty vláken obnovit svůj objem v průběhu času.

$$\varepsilon_{\text{elast}} = \left(\frac{H_3 - H_2}{H_0} \right) \cdot 100 \quad [\%] \quad (32)$$

H_3 : tloušťka vzorku po delší době [m]

3. Plastickou deformací, která charakterizuje podíl nevratných deformací hmoty vláken při stlačení.

$$\varepsilon_{\text{plast}} = \left(\frac{H_3 - H_0}{H_0} \right) \cdot 100 \quad [\%] \quad (33)$$

2. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Tato část je zaměřena na experimentální metody popisu deformací tlustých (objemných) útvarů při jednoosém stlačování, které byly možné zrealizovat na katedře NT při zahájení prací na DP.

2.1. VÝBĚR EXPERIMENTÁLNÍCH METOD K POPISU DEFORMACÍ

K potvrzení platnosti modelů popsaných v části 1. je nutné použít experimentálních metod. V podstatě existují tři metody.

• GRAFICKÝ ZÁZNAM POHYBU ČIDLA POLOHY

Při použití čidla polohy musí být zajištěn jeho pohyb se stěnami deformovaných vzorků (krychle) a to při zatížení, tak odlehčení. Toho lze dosáhnout:

- a) závažím, které je přichyceno šňůrkou vedenou přes kladku k čidlu a zajišťuje tak stálý přítlak ke stěně vzorku (krychle).
- b) „suchým zipem“, který je připevněn ke konci čidla v jehož háčcích se zachytí vlákna z boku vzorku (krychle).
- c) magnetickou silou vyvozenou mezi magnetem připevněným na konci čidla a plíškem přilepeným na vzorku (krychle).

• GRAFICKÝ ZÁZNAM Z DYNAMOMETRU

Dynamometr a k němu přídavný záznamový přístroj zaznamenávají průběhy:

a) tlakové zkoušky tj. $F=f(\varepsilon)$.

b) relaxace napětí tj. $F=f(t)$ při $\varepsilon=\text{konst.}$

• ZÁZNAM NA FILMOVÝ MATERIÁL

Deformace může být zachycena bez kontaktu se stěnou deformovaného vzorku a to pomocí:

a) fotografie.

b) video nahrávky.

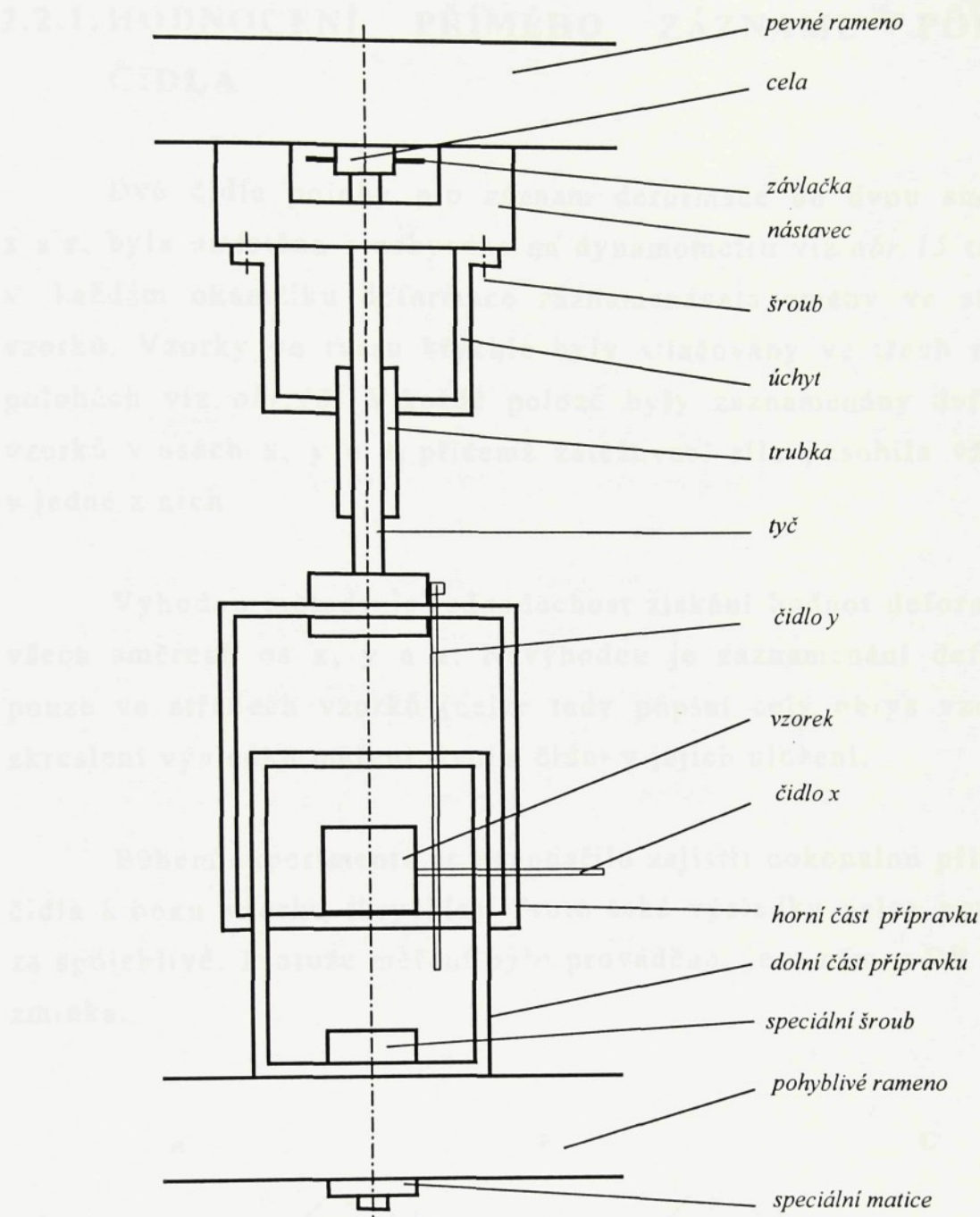
2.2. POPIS A HODNOCENÍ METOD

Při výběru metod byla hodnotící kritéria především:

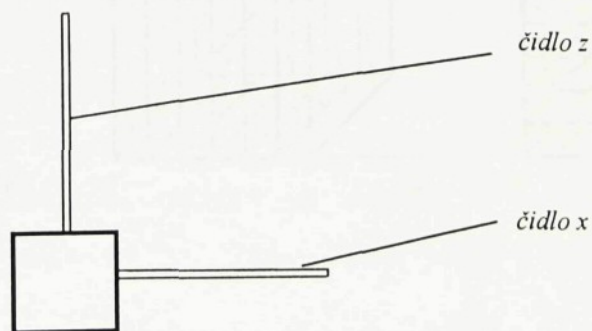
- dostupnost zařízení.
- jednoduchost získání hodnot deformací.
- názorná prezentace deformací do směrů os x , y a z .
- přesnost zjištěných hodnot.

Ke stlačování vzorků (krychle) bylo použito přípravku aplikovaného na dynamometr **TEXTENSER**. Plochy, mezi kterými se vzorky stlačovaly, byly olepeny smirkovým papírem pro zajištění adheze vzorku v prostoru přípravku. Přípravek je tvořen dvěma zakleslými částmi ve tvaru dutého kvádru s obdélníkovými otvory ve stěnách. Horní část přípravku se spojila s měřicí celou, která byla zasazena v pevném rameni dynamometru. Dolní část přípravku byla spojena s pohyblivým ramenem dynamometru. Při pohybu ramene

směrem dolů, působila na vzorek síla, která způsobovala deformaci vzorku. Její průběh se zaznamenával na papír. Při měření se stávalo, že horní část přípravku upevněná v kloubovém uložení se mírně vychylovala do strany. To komplikovalo měření. Proto byl nainstalován pomocný přípravek, který zajišťoval polohu horní části přípravku proti účinku bočních sil způsobených strukturou proměřovaných vzorků. Uspořádání přípravku je na *obr. 15*.



půdorys vzorku



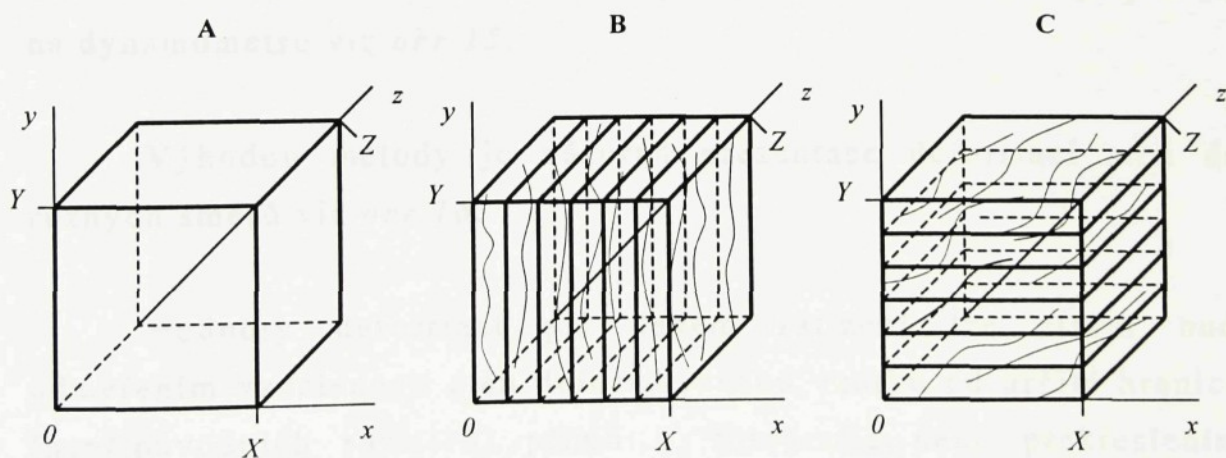
obr. 15 Část stlačovacího zařízení.

2.2.1. HODNOCENÍ PŘÍMÉHO ZÁZNAMU POLOHY ČIDLA

Dvě čidla polohy pro záznam deformace do dvou směrů os x a z , byla umístěna a uchycena na dynamometru viz. *obr. 15* tak, aby v každém okamžiku deformace zaznamenávala změny ve středech vzorků. Vzorky ve tvaru krychle byly stlačovány ve třech různých polohách viz. *obr. 16*. V každé poloze byly zaznamenány deformace vzorků v osách x , y a z , přičemž zatěžovací síla působila vždy jen v jedné z nich.

Výhodou metody je jednoduchost získání hodnot deformací ve všech směrech os x , y a z . Nevýhodou je zaznamenání deformace pouze ve středech vzorků (nelze tedy popsat celý obrys vzorků) a zkreslení výsledků měření třením čidel v jejich uložení.

Během experimentu se nepodařilo zajistit dokonalou přilnavost čidla k boku vzorku (krychle). Proto také výsledky nelze považovat za spolehlivé. Protože měření bylo prováděno, je o něm v DP stručná zmínka.



obr. 16 Rozměry a tloušťka vzorků.

2.2.2. HODNOCENÍ ZATĚŽOVACÍCH KŘIVEK A RELAXACE NAPĚTÍ

Na zařízení viz. *obr.15* (ale bez čidel) byly postupně zaznamenány průběhy zatěžovacích křivek a relaxace napětí při konstantní deformaci (50%) a to ve třech různých polohách vzorku viz *obr.16*.

Výhodou metody je jednoduchost, nelze však určit deformaci stěn zkoumaných vzorků (např. Poissonův poměr).

Výsledkem této metody byly pouze:

- grafický záznam závislosti napětí-stlačení $F=f(\epsilon)$ a
- grafický záznam závislosti napětí-čas $F=f(t)$ při $\epsilon=\text{konst.}$

Záznamy pro různé směry namáhání byly samozřejmě získávány postupně.

2.2.3. HODNOCENÍ ZÁZNAMU NA FILMOVÝ MATERIÁL

Postupně byly fotografovány (kamera nebyla k dispozici) deformace vzorků a to ve třech různých polohách vzorku v přípravku na dynamometru viz. *obr.15*.

Výhodou metody je názorná prezentace deformací stěn do různých směrů viz. *obr.16*.

Hodnoty deformací při daném zatížení lze získat buď odměřením vzdáleností stěn deformovaného vzorku od určité hranice (např. původních rozměrů) přímo z fotografie, nebo překreslením obrysu vzorku počítačovým kreslícím programem a odměřením vzdáleností stěn na počítači. Nezbytně nutná je znalost zvětšení obrazu.

2.3. VÝBĚR A POPIS MATERIÁLŮ PRO EXPERIMENT

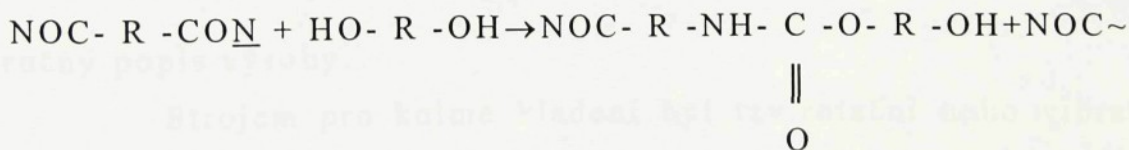
Pro experiment byly záměrně vybrány 3 zcela odlišné materiály používané v nábytkářském průmyslu: PUR pěna-**a**, kolmo kladená tlustá NT-**b** a příčně kladená tlustá NT-**c**.

• Materiál a – PUR pěna

PUR pěna má téměř neomezenou možnost tvarování, široký sortiment různých objemových hmotností s výbornými mechanickými vlastnostmi. Tyto přednosti určují materiál k širokému praktickému využití. Přesto se u některých výrobců objevují znaky použití vláknenného výplňku místo dosud používané PUR pěny. Důvody těchto snah pramení z toho, že při výrobě PUR pěny se používá monomerů s vysokou toxicitou a z nich vzniklý polymer nelze recyklovat.

Stručný popis výroby: adicí diizokyanátů, vícemocných alkoholů a vody.

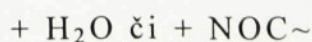
základní reakce:



NOC- R -NOC	: diizokyanát
R	: benzenové jádro či alkylový řetězec
HO- R -OH	: vícemocný alkohol
<u>N</u>	: N s volným elektronovým párem, na který se aduje H



↓



$\bar{O}$	:O s dvěma volnými elektronovými páry
NH COOH	:nestabilní karboxylová sloučenina, která se rozpadá
CO ₂	:oxid uhličitý
NH ₂	:amínová skupina s aktivním H. Tato skupina dále reaguje buď s H ₂ O či s NOC~

Při reakci vody s diizokyanáty se uvolňuje CO₂ vytvářející pěnovou strukturu PUR.

POZNÁMKA:vzorek ke zkouškám byl získán z firmy „Interiér“ Kateřinky.

• Materiál b – kolmo kladená tlustá NT (STRUTO)

Tyto vlákenné vrstvy mají vyšší odpor vůči stlačení, než PUR pěna. S tloušťkou textilie, která je v podmínkách praktického používání funkcí stlačení (použití v čalounickém a nábytkářském průmyslu, v oděvech, spacích pytlech atd.) souvisí přímo některé její užité hodnoty, jako je výplňková či tepelně-izolační vlastnost atd. Zvýšení odporu proti stlačení se u kolmo kladených textilií dosahuje tím, že vlákna jsou ve vrstvě orientována převážně kolmo k rovině textilie.

Stručný popis výroby.

Strojem pro kolmé kladení byl tzv. rotační nebo vibrační kolmý kladeč (použitý výrobek byl z rotačního kladeče). Pavučina z mykacího stroje obsahující základní a termoplastická pojivá vlákna, byla přiváděna k soustavě pracovních kotoučů, jejichž hroty ji formovaly do vlákenné vrstvy tvořené kolmými sklady. Sklady byly snímány z hrotů soustavou drátů roštu, umístěnými mezi jednotlivými pracovními kotouči. Vrstva byla dále vložena do teplovzdušné pojící komory. Po roztavení podílu termoplastických pojivých vláken došlo následným chladnutím ke zpevnění.

POPIS VLÁKEN VE VZORKU:

základní vlákna	:PAD 6.6
jemnost	:T=0,47tex
délka	:l=80mm
teplota tání	:T _m =255-265°C

pojivá vlákna	:POP
jemnost	:T=0,67tex
délka	:l=60mm
teplota tání	:T _m =160-175°C

• Materiál c - příčně kladená tlustá NT

Vláknenná vrstva byla vyrobena v laboratoři NT tímto postupem.

1.NAVÁŽKA: Navážka vláknenného materiálu.

2.MYKÁNÍ: Mykáním na válcovém mykacím stroji, jemuž byla předložena navážka, se vyrobila pavučina.

3.VRSTVENÍ: Pavučina se vrstvila příčným kladečem do požadované výsledné hmotnosti vzorku.

4.ZPEVNĚNÍ: Nejprve došlo k předzpevnění vrstvy vpichovacím strojem. Poté byla vložena do teplovzdušné pojící komory. Po roztavení podílu termoplastických pojivých vláken došlo následným chladnutím ke zpevnění.

POPIS VLÁKEN VE VZORKU:

základní vlákna :POP
jemnost :T=0,67tex
délka :l=60mm
teplota tání :T_m=160-175°C

pojivá vlákna :obchodní název HERKULES T 425
jemnost :T=3den
délka :l=38mm
teplota tání :T_m=110°C

Parametry při kterých byl vzorek materiálu vyráběn v laboratoři KNT:

navážka :-základní vlákna :m = 81g
-pojivá vlákna :m = 27g
vrstvení :-rychlost kladení vrstvy :v_k = 20m/min
zpevnění:-rychlost přiváděcího pásu do vpichovacího stroje :v_p = 0,25m/min
-počet jehel na metr pracovní šířky desky :p = 100j/m
-počet řad v jehelní desce :r = 20
-počet zdvihů vpichovací desky :z = 220z/min
-hloubka vpichu :h = -3mm
-počet průchodů strojem :c = 1
-rychlost odváděcího válce vpichovacího stroje :v_o = 0,45m/min
-rychlost pásu teplovzdušné komory :v = 0,2m/min
-pojící teplota :t = 120°C

2.4. PARAMETRY MATERIÁLŮ PRO EXPERIMENT

Před zahájením zkoušek byly u všech typů materiálů zjištěny stejné parametry a to: plošná hmotnost, tloušťka a objemová hmotnost.

2.4.1. PLOŠNÁ HMOTNOST ρ_s

Postupováno bylo podle normy ČSN 80 6131.

rozměr materiálu : 250×200mm (0,05m²)

počet měření : 10

přesnost vážení : 0,1g

POZNÁMKA: tyto parametry byly dodrženy u materiálu **a** a **c**. Z nedostatku materiálu **b** musely být parametry změněny.

rozměr materiálu : 250×250mm (0,0625 m²)

počet měření : 1

Plošná hmotnost se vypočítá dle vzorce:

$$\rho_s = \frac{m}{l \cdot b} \left[\frac{\text{g}}{\text{m}^2} \right] \quad (34)$$

m : hmotnost vzorku

l : délka materiálu [m]

b : šířka materiálu [m]

Hodnoty hmotností materiálů jsou uvedeny v příloze tabulka č.1 a jejich vypočítané plošné hmotnosti jsou uvedeny v příloze tabulka č.2.

2.4.2. TLOUŠŤKA Y VE SMĚRU OSY y

Postupováno bylo podle normy ČSN 80 6132.

U objemné NT s maximální tloušťkou 20mm je tloušťka definovaná jako vzdálenost mezi lící a rubovou stranou měřená mezi svislou základní deskou a rovnoběžným přitlačným kotoučem pod tlakem po určitou dobu. Do této kategorie patří materiál **c**.

POZNÁMKA: zařízení pro tento způsob zjišťování tloušťky nebylo k dispozici, proto se měřilo na zařízení používaném pro objemné NT s tloušťkou nad 20mm.

U objemné NT s tloušťkou nad 20mm je tloušťka vzdálenost mezi lící a rubovou stranou vzorku měřená mezi vodorovnou základní deskou a dotykovým hrotem umístěným na vodorovném měřícím jezdcí, který se pohybuje svisle po stupnici po určitou dobu /20/. Do této kategorie patří materiály **a** a **b**.

POZNÁMKA: zařízení pro tento způsob zjišťování tloušťky nebylo k dispozici, proto se měření upravilo *obr. 17*.

rozměr materiálů : 200×200mm (0,04m²)

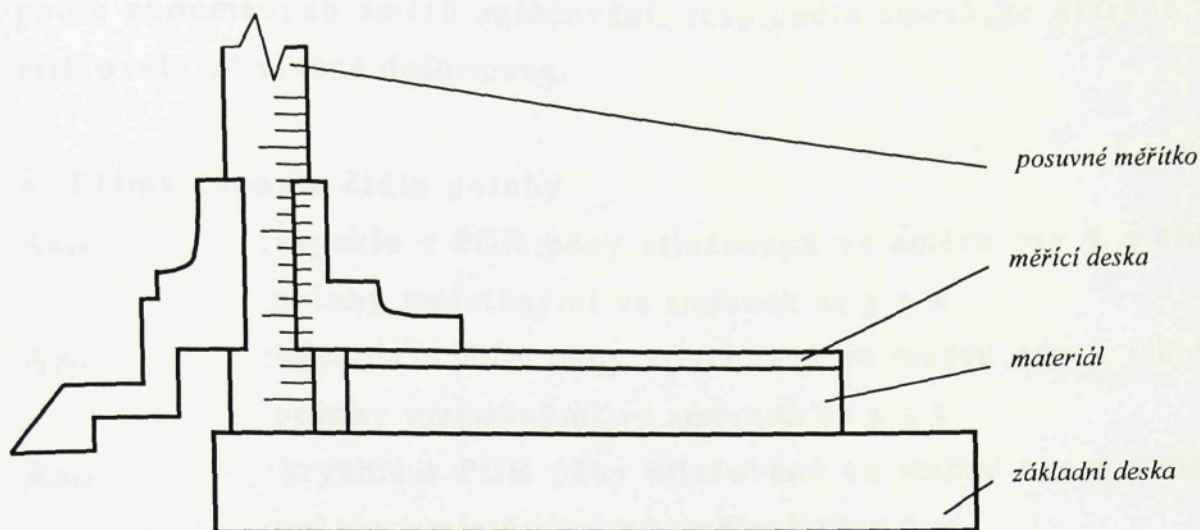
tlak : 0,02kPa

počet měření : 10

přesnost měření : 0,1mm

POZNÁMKA: tyto parametry byly dodrženy u materiálu **a** a **c**.
Z nedostatku materiálu **b** musely být parametry změněny.

počet měření : 1



obr.17 Měření tloušťky materiálu.

Hodnoty tlouštěk materiálů jsou uvedeny v příloze tabulka č.3.

2.4.3. OBJEMOVÁ HMOTNOST ρ_v

Ze zjištěných parametrů materiálů byla vypočtena objemová hmotnost dle vzorce:

$$\rho_v = \frac{m}{l \cdot b \cdot Y} \quad \left[\frac{\text{g}}{\text{m}^3} \right] \quad (35)$$

Hodnoty objemových hmotností materiálů byly vypočítány z průměrných hodnot parametrů a jsou uvedeny v příloze tabulka č.4.

2.5. PŘÍPRAVA VZORKŮ PRO EXPERIMENT

Po zjištění parametrů ρ_s , Y a ρ_v se vzorky rozřezaly (dle tloušťky) na krychle. Byly získány ze tří typů materiálů označené A, B a C viz. obr.16. Vzorky od každého typu materiálu byly označeny

podle zkoumaných směrů zatěžování, resp. podle směrů, ve kterých se zjišťovaly příslušné deformace.

• **Přímý záznam čidla polohy**

$A_{x_{yz}}$	:krychle z PUR pěny stlačovaná ve směru osy x s čidly polohy umístěnými ve směrech os y a z
$A_{y_{xz}}$	:krychle z PUR pěny stlačovaná ve směru osy y s čidly polohy umístěnými ve směrech os x a z
$A_{z_{xy}}$	:krychle z PUR pěny stlačovaná ve směru osy z s čidly polohy umístěnými ve směrech os x a y
$B_{x_{yz}}$	:krychle z kolmo kladené vrstvy stlačovaná ve směru osy x s čidly polohy umístěnými ve směrech os y a z
$B_{y_{xz}}$	:krychle z kolmo kladené vrstvy stlačovaná ve směru osy y s čidly polohy umístěnými ve směrech os x a z
$B_{z_{xy}}$	:krychle z kolmo kladené vrstvy stlačovaná ve směru osy z s čidly polohy umístěnými ve směrech os x a y
$C_{x_{yz}}$	:krychle z příčně kladené vrstvy stlačovaná ve směru osy x s čidly polohy umístěnými ve směrech os y a z
$C_{y_{xz}}$	:krychle z příčně kladené vrstvy stlačovaná ve směru osy y s čidly polohy umístěnými ve směrech os x a z
$C_{z_{xy}}$	:krychle z příčně kladené vrstvy stlačovaná ve směru osy z s čidly polohy umístěnými ve směrech os x a y

• **Jednoosé zatěžování-zatěžovací křivky a relaxace napětí**

A_x	:krychle z PUR pěny stlačovaná ve směru osy x
A_y	:krychle z PUR pěny stlačovaná ve směru osy y
A_z	:krychle z PUR pěny stlačovaná ve směru osy z
B_x	:krychle z kolmo kladené vrstvy stlačovaná ve směru osy x
B_y	:krychle z kolmo kladené vrstvy stlačovaná ve směru osy y
B_z	:krychle z kolmo kladené vrstvy stlačovaná ve směru osy z
C_x	:krychle z příčně kladené vrstvy stlačovaná ve směru osy x

- C_y** :krychle z příčně kladené vrstvy stlačovaná ve směru osy **y**
- C_z** :krychle z příčně kladené vrstvy stlačovaná ve směru osy **z**

• Fotografie

- A_{xy}** :krychle z PUR pěny stlačovaná ve směru osy **x** z pohledu ve směru osy **y**
- A_{xz}** :krychle z PUR pěny stlačovaná ve směru osy **x** z pohledu ve směru osy **z**
- A_{yx}** :krychle z PUR pěny stlačovaná ve směru osy **y** z pohledu ve směru osy **x**
- A_{yz}** :krychle z PUR pěny stlačovaná ve směru osy **y** z pohledu ve směru osy **z**
- A_{zx}** :krychle z PUR pěny stlačovaná ve směru osy **z** z pohledu ve směru osy **x**
- A_{zy}** :krychle z PUR pěny stlačovaná ve směru osy **z** z pohledu ve směru osy **y**
- B_{xy}** :krychle z kolmo kladené vrstvy stlačovaná ve směru osy **x** z pohledu ve směru osy **y**
- B_{xz}** :krychle z kolmo kladené vrstvy stlačovaná ve směru osy **x** z pohledu ve směru osy **z**
- B_{yx}** :krychle z kolmo kladené vrstvy stlačovaná ve směru osy **y** z pohledu ve směru osy **x**
- B_{yz}** :krychle z kolmo kladené vrstvy stlačovaná ve směru osy **y** z pohledu ve směru osy **z**
- B_{zx}** :krychle z kolmo kladené vrstvy stlačovaná ve směru osy **z** z pohledu ve směru osy **x**
- B_{zy}** :krychle z kolmo kladené vrstvy stlačovaná ve směru osy **z** z pohledu ve směru osy **y**
- C_{xy}** :krychle z příčně kladené vrstvy stlačovaná ve směru osy **x** z pohledu ve směru osy **y**
- C_{xz}** :krychle z příčně kladené vrstvy stlačovaná ve směru osy **x** z pohledu ve směru osy **z**

C_{yx}	:krychle z příčně kladené vrstvy stlačovaná ve směru osy y z pohledu ve směru osy x
C_{yz}	:krychle z příčně kladené vrstvy stlačovaná ve směru osy y z pohledu ve směru osy z
C_{zx}	:krychle z příčně kladené vrstvy stlačovaná ve směru osy z z pohledu ve směru osy x
C_{zy}	:krychle z příčně kladené vrstvy stlačovaná ve směru osy z z pohledu ve směru osy y

Skutečné rozměry X ve směru osy x a Z ve směru osy z vzorků byly změřeny stejným postupem jako při měření tloušťky Y ve směru osy y a jsou uvedeny v příloze tabulka č.5. Hodnoty ploch vzorků při stlačování ve směrech os x , y a z jsou uvedeny v příloze tabulka č.6.

2.6. PARAMETRY A POPIS MĚŘENÍ

2.6.1. JEDNOOSÉ ZATĚŽOVÁNÍ - ZATĚŽOVACÍ KŘIVKY

Parametry nastavení dynamometru:

rychlost deformace	:40mm/min
počet cyklů	:5
rozsah zatížení	:0,4-16N (pro vzorky A a C) :0,4-32N (pro vzorek B)
rychlost záznamu	:80mm/min

Překreslené grafické záznamy průběhů zatěžovacích křivek vzorků jsou uvedeny v příloze graf č.2 -10. Jsou v nich zaznamenány celé průběhy 1. a 5. cyklu stlačování vzorků (označení s) a část průběhů 1.a 5. cyklu odlehčování (označení o).

Z grafů byly odečteny hodnoty plastických deformací vzorků mezi 1. a 5. cyklem stlačování a jsou uvedeny v příloze tabulka č.7 -9. Hodnoty napětí při 50% deformaci 1. a 5. cyklu

stlačování a z nich vypočtené moduly pružností podle vzorce (3) při $\varepsilon=0,5$, jsou uvedeny v příloze tabulka č.10 -12.

2.6.2.RELAXACE NAPĚTÍ

Parametry nastavení dynamometru:

rychlost deformace :40mm/min
hodnota deformace o :67% původní tloušťky vzorku
rychlost záznamu :0,5mm/s

Překreslené grafické záznamy průběhů relaxace napětí vzorků jsou uvedeny v příloze graf č.11 -19. Tečky znamenají experimentálně naměřené hodnoty a spojitá křivka představuje regresní křivku, u níž je zobrazena rovnice regrese.

Z grafů byly odečteny hodnoty napětí $\sigma_{\max}$ a $\sigma(t)$, přičemž $t=300s$ (σ_{300}) a jejich rozdíly jsou uvedeny v příloze tabulka č.13 -15.

2.6.3.FOTOGRAFIE

Parametry nastavení dynamometru:

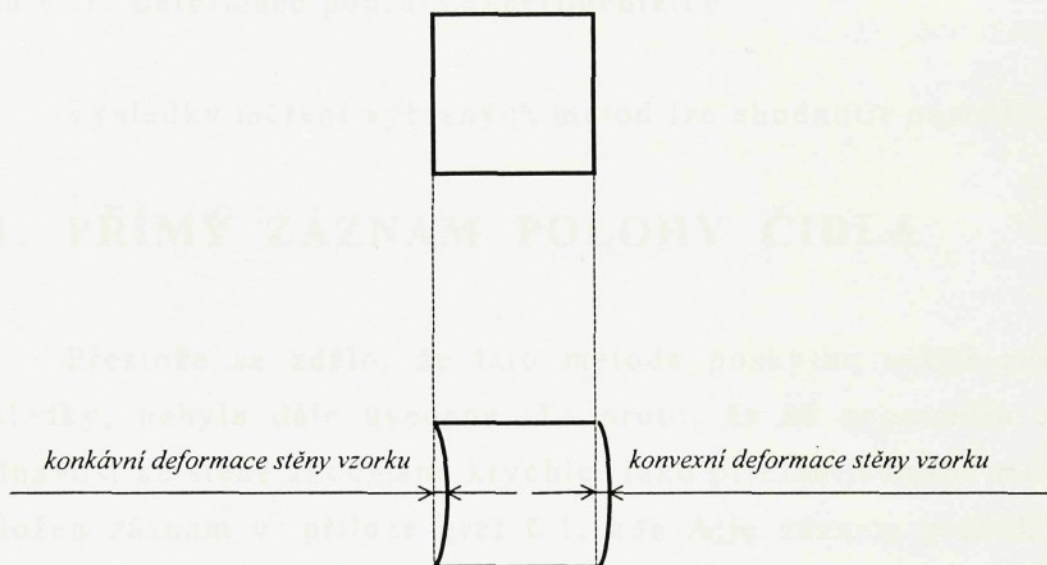
rychlost deformace :40mm/min
zatěžovací kroky o :10% původní tloušťky vzorku

Fotografie byly pořízeny vždy v klidové poloze dynamometru v pěti fázích stlačování vzorků. První snímek byl pořízen ve fázi těsně před deformací vzorku a zbylé čtyři ve fázích stlačení vždy o hodnotu 10% původní tloušťky vzorku (celková deformace tedy 40%).

Překreslené deformace vzorků s informací o směru orientace vláken (nevyznačení znamená orientaci vláken směrem kolmo ke stránce) jsou uvedeny v příloze obrázků č.19 -27.

Z fotografií stlačování vzorků byly postupně odečteny od čárové hranice původních rozměrů hodnoty deformací (v 1/2 tloušťky

vzorků) pravé a levé stěny v horizontálním směru a jsou uvedeny v příloze tabulka č.16 -33. V nich +představuje konvexní, -konkávní deformaci stěny vzorku *obr.18*. Nevyznačení znamená stejnou hodnotu deformace po celé stěně vzorku.



obr.18 Příklad odečítání hodnot deformací vzorků.

3. VYHODNOCENÍ A ZÁVĚR

Popis deformací teoretickým modelem vyžaduje studium deformovaného vlákna metodou stereologie, které je náročné v odhadu délky úseků vláken b , kterým lze přiřadit křivost k . Proto jsem v DP deformace popsala experimentálně.

Výsledky měření vybraných metod lze zhodnotit následovně.

3.1. PŘÍMÝ ZÁZNAM POLOHY ČIDLA

Přestože se zdálo, že tato metoda poskytne velmi zajímavé výsledky, nebyla dále uvedena. To proto, že se nepovedlo zajistit přilnavost ke stěně zkoumané krychle. Jako příklad jednoho měření je přiložen záznam v příloze graf č.1, kde A: je záznam průběhu síly, B: je záznam průběhu polohy čidla y , C: je záznam průběhu polohy čidla x a D: je záznam průběhu polohy čidla z . Zatěžování bylo prováděno na vzorku B_{y_x} .

3.2. JEDNOOSÉ ZATĚŽOVÁNÍ - ZATĚŽOVACÍ KŘIVKY

Touto metodou byly zaznamenány zatěžovací křivky vzorků při zatěžování ve 3 různých směrech os x , y a z . Směr osy x je ve směru délky materiálu, y je ve směru tloušťky materiálu a z je ve směru šířky materiálu.

U vzorku A viz. obr. 16 lze konstatovat:

- zpočátku stlačování největší odpor proti stlačení klade vzorek A_x . Nejmenší odpor klade vzorek A_y . Vysvětlit to lze pouze na základě studia tvaru a uspořádání vzduchových pórů.
- hodnota plastické deformace je nulová.

- největší hodnoty napětí a modulu pružnosti při stlačení (50%) vykazuje vzorek **A_x** a nejmenší hodnoty vykazuje vzorek **A_z**.

Nutno poznamenat, že volba směrů os **x**, **y** a **z** vzorků byla v tomto případě náhodná, protože nebyl známý směr řezání bloku PUR pěny.

U vzorku **B** viz. *obr. 16* lze konstatovat:

- zpočátku stlačování největší odpor proti stlačení klade vzorek **B_y**. Je to dáno uspořádáním skladů vrstvy a vláken, které je rovnoběžné se směrem osy stlačování. Nejmenší odpor klade vzorek **B_x**. Je to dáno uspořádáním skladů vrstvy a vláken, které je kolmé ke směru osy stlačování.
- největší hodnotu plastické deformace vykazuje vzorek **B_z** a nejmenší hodnotu vykazuje vzorek **B_y**.
- největší hodnoty napětí a modulu pružnosti při stlačení o 50% vykazuje vzorek **B_x** a nejmenší hodnoty vykazuje vzorek **B_z**.

U vzorku **C** viz. *obr. 16* lze konstatovat:

- zpočátku stlačování největší odpor proti stlačení klade vzorek **C_z**. Je to dáno uspořádáním skladů vrstvy a vláken, které je přibližně rovnoběžné se směrem osy stlačování. Nejmenší odpor klade vzorek **C_y**. Je to dáno uspořádáním skladů vrstvy a vláken, které je přibližně kolmé ke směru osy stlačování.
- největší hodnotu plastické deformace vykazuje vzorek **C_z** a nejmenší hodnotu vykazuje vzorek **C_x**.
- největší hodnoty napětí a modulu pružnosti při stlačení 50% vykazuje vzorek **C_x**. Nejmenší hodnoty v 1. cyklu stlačování vykazuje vzorek **C_y** a v 5. cyklu stlačování vykazuje vzorek **C_z**.

Srovnávat naměřené hodnoty sil působících při stlačování ve vzorcích z vláken s vypočtenými silami podle vzorce (30) nelze, protože daný vztah platí pouze pro deformaci tlakem jednoho vlákna vertikálně upevněného v dynamometru. Naměřené hodnoty sil jsou tedy ovlivněny vzájemným působením (třením) vláken ve vzorcích.

Průběhy zatěžovacích křivek u všech vzorků jsou podobné chování houževnaté plastické hmoty při tlakové zkoušce.

3.2.1. RELAXACE NAPĚTÍ

Touto metodou byl zaznamenáván úbytek hodnot napětí v čase $F=f(t)$ při konstantní deformaci ve 3 různých směrech os x , y a z vzorků. Směr osy x je ve směru délky materiálu, y je ve směru tloušťky materiálu a z je ve směru šířky materiálu.

U vzorku **A** viz. *obr. 16* lze konstatovat:

- největší hodnotu relaxace napětí ihned po nastavení deformace vykazuje vzorek **A_y** a nejmenší hodnotu vykazuje vzorek **A_x**.
- největší rozdíl $\sigma_{\max}-\sigma_{300}$ vykazuje vzorek **A_z** a nejmenší vykazuje vzorek **A_x**.

U vzorku **B** viz. *obr. 16* lze konstatovat:

- největší hodnotu relaxace napětí ihned po nastavení deformace vykazuje vzorek **B_x** a nejmenší hodnotu vykazuje vzorek **B_z**.
- největší rozdíl $\sigma_{\max}-\sigma_{300}$ vykazuje vzorek **B_y** a nejmenší vykazuje vzorek **B_x**.

U vzorku **C** viz. *obr. 16* lze konstatovat:

- největší hodnotu relaxace napětí ihned po nastavení deformace vykazuje vzorek **C_z** a nejmenší hodnotu vykazuje vzorek **C_y**.
- největší rozdíl $\sigma_{\max}-\sigma_{300}$ vykazuje vzorek **C_x** a nejmenší vykazuje vzorek **C_z**.

3.3. FOTOGRAFIE

Tímto postupem byly zaznamenány průběhy deformací vzorků při zatěžování ve 3 různých směrech os x , y a z . Směr osy x je ve směru délky materiálu, y je ve směru tloušťky materiálu a z je ve směru šířky materiálu.

U vzorku **A** viz. *obr. 16* lze konstatovat:

- průběhy deformací jsou téměř shodné.

Při stlačování dochází ve struktuře vzorku především k deformaci vzduchových pórů.

U vzorku nelze přesně vysvětlit, proč jsou hodnoty deformací právě takové jaké jsou. Pravděpodobně by pomohlo vyšetření tvaru a směru orientace pórů ve vzorku.

U vzorku **B** viz. *obr. 16* lze konstatovat:

- největší hodnoty deformací vykazují vzorky B_{yz} a B_{zy} . Chování je dáno uspořádáním skladů vrstvy a vláken, které je rovnoběžné se směrem osy stlačování. Při stlačování se uplatňují jejich ohybové vlastnosti, přičemž ve střezech vzorků dochází k porušení soudržnosti skladů vrstvy.
- u vzorků B_{xy} , B_{xz} , B_{yx} a B_{zx} jsou sklady vrstvy kolmé ke směru osy stlačování a hodnoty deformací jsou nízké.

U vzorku **C** viz. *obr. 16* lze konstatovat:

- největší hodnoty deformací vykazují vzorky C_{xz} a C_{zx} . Chování je dáno uspořádáním skladů vrstvy a vláken, které je přibližně rovnoběžné se směrem osy stlačování. Při stlačování se uplatňují jejich ohybové vlastnosti, přičemž nedochází k porušení soudržnosti skladů vrstvy a oba obrysy vzorků se chovají stejně.
- u vzorků C_{xy} , C_{yx} , C_{yz} a C_{zy} jsou sklady vrstvy přibližně kolmé ke směru osy stlačování a hodnoty deformací jsou nízké.

Průběhy deformací všech vzorků při jednoosém stlačování jsou složité a nelze je odvozovat z průběhu deformace plastických hmot.

Některé uvedené výsledky deformací a napětí vzorků nemusejí zcela odpovídat teoretickým předpokladům. Lze to vysvětlit:

- nepřesností a malou citlivostí měřícího přístroje dynamometru
- nepřesnými rozměry vzorků
- nedostatečným počtem provedených měření, který musel být omezen kvůli rozsahu práce.

Jsem přesvědčena, že i přes nedostatky které tato práce jistě má, může posloužit jako podklad a návod pro příští práce podobného charakteru. Pro praxi má tato práce význam především pro zpracovatele výplňkových a elastických materiálů, kteří se mohou

jednou z v DP provedených zkoušek doplnit informace potřebné k výběru vhodného materiálu z poměrně široké nabídky trhu.

4.1. TABULKY

Tabulka 4.1	Hmotnosti materiálů	17
Tabulka 4.2	Plochy hmotnosti materiálů	17
Tabulka 4.3	Tloušťky materiálů	18
Tabulka 4.4	Objemové hmotnosti materiálů	18
Tabulka 4.5	Křivky vzorků	19
Tabulka 4.6	Plochy vzorků	19
Tabulka 4.7	Plastické deformace vzorků při přetáčení ve směru osy x	20
Tabulka 4.8	Plastické deformace vzorků při přetáčení ve směru osy y	20
Tabulka 4.9	Plastické deformace vzorků při přetáčení ve směru osy z	20
Tabulka 4.10	Modul a moduly pružnosti vzorků při přetáčení ve směru osy x	21
Tabulka 4.11	Modul a moduly pružnosti vzorků při přetáčení ve směru osy y	21
Tabulka 4.12	Modul a moduly pružnosti vzorků při přetáčení ve směru osy z	21
Tabulka 4.13	Deformace vzorků při přetáčení ve směru osy x	22
Tabulka 4.14	Deformace vzorků při přetáčení ve směru osy y	22
Tabulka 4.15	Deformace vzorků při přetáčení ve směru osy z	22
Tabulka 4.16	Deformace vzorků	23
Tabulka 4.17	Deformace vzorků	23
Tabulka 4.18	Deformace vzorků	23
Tabulka 4.19	Deformace vzorků	23
Tabulka 4.20	Deformace vzorků	23
Tabulka 4.21	Deformace vzorků	23
Tabulka 4.22	Deformace vzorků	23
Tabulka 4.23	Deformace vzorků	23
Tabulka 4.24	Deformace vzorků	23
Tabulka 4.25	Deformace vzorků	23
Tabulka 4.26	Deformace vzorků	23
Tabulka 4.27	Deformace vzorků	23
Tabulka 4.28	Deformace vzorků	23
Tabulka 4.29	Deformace vzorků	23
Tabulka 4.30	Deformace vzorků	23

4. PŘÍLOHA

4.1. TABULKY

Tabulka č.1	Hmotnosti materiálů.	57
Tabulka č.2	Plošné hmotnosti materiálů.	57
Tabulka č.3	Tloušťky materiálů.	58
Tabulka č.4	Objemové hmotnosti materiálů.	58
Tabulka č.5	Rozměry vzorků.	59
Tabulka č.6	Plochy vzorků.	59
Tabulka č.7	Plastické deformace vzorků při stlačování ve směru osy x.	60
Tabulka č.8	Plastické deformace vzorků při stlačování ve směru osy y.	60
Tabulka č.9	Plastické deformace vzorků při stlačování ve směru osy z.	60
Tabulka č.10	Napětí a moduly pružností vzorků při stlačování ve směru osy x.	61
Tabulka č.11	Napětí a moduly pružností vzorků při stlačování ve směru osy y.	61
Tabulka č.12	Napětí a moduly pružností vzorků při stlačování ve směru osy z.	61
Tabulka č.13	Relaxace napětí vzorků při stlačení ve směru osy x.	62
Tabulka č.14	Relaxace napětí vzorků při stlačení ve směru osy y.	62
Tabulka č.15	Relaxace napětí vzorků při stlačení ve směru osy z.	62
Tabulka č.16	Deformace vzorku A_{xy} .	63
Tabulka č.17	Deformace vzorku A_{xz} .	63
Tabulka č.18	Deformace vzorku A_{yx} .	63
Tabulka č.19	Deformace vzorku A_{yz} .	64
Tabulka č.20	Deformace vzorku A_{zx} .	64
Tabulka č.21	Deformace vzorku A_{zy} .	64
Tabulka č.22	Deformace vzorku B_{xy} .	65
Tabulka č.23	Deformace vzorku B_{xz} .	65
Tabulka č.24	Deformace vzorku B_{yx} .	65
Tabulka č.25	Deformace vzorku B_{yz} .	66
Tabulka č.26	Deformace vzorku B_{zx} .	66
Tabulka č.27	Deformace vzorku B_{zy} .	66
Tabulka č.28	Deformace vzorku C_{xy} .	67
Tabulka č.29	Deformace vzorku C_{xz} .	67

Tabulka č.30 Deformace vzorku C_{yx} .	67
Tabulka č.31 Deformace vzorku C_{yz} .	68
Tabulka č.32 Deformace vzorku C_{zx} .	68
Tabulka č.33 Deformace vzorku C_{zy} .	68

Číslo	Průměr	Průměr	Průměr
1	1127	1127	1127
2	1127	1127	1127
3	1127	1127	1127
4	1127	1127	1127
5	1127	1127	1127
6	1127	1127	1127
7	1127	1127	1127
8	1127	1127	1127
9	1127	1127	1127
10	1127	1127	1127
11	1127	1127	1127
12	1127	1127	1127
13	1127	1127	1127
14	1127	1127	1127
15	1127	1127	1127
16	1127	1127	1127
17	1127	1127	1127
18	1127	1127	1127
19	1127	1127	1127
20	1127	1127	1127
21	1127	1127	1127
22	1127	1127	1127
23	1127	1127	1127
24	1127	1127	1127
25	1127	1127	1127
26	1127	1127	1127
27	1127	1127	1127
28	1127	1127	1127
29	1127	1127	1127
30	1127	1127	1127
31	1127	1127	1127
32	1127	1127	1127
33	1127	1127	1127
34	1127	1127	1127
35	1127	1127	1127
36	1127	1127	1127
37	1127	1127	1127
38	1127	1127	1127
39	1127	1127	1127
40	1127	1127	1127
41	1127	1127	1127
42	1127	1127	1127
43	1127	1127	1127
44	1127	1127	1127
45	1127	1127	1127
46	1127	1127	1127
47	1127	1127	1127
48	1127	1127	1127
49	1127	1127	1127
50	1127	1127	1127
51	1127	1127	1127
52	1127	1127	1127
53	1127	1127	1127
54	1127	1127	1127
55	1127	1127	1127
56	1127	1127	1127
57	1127	1127	1127
58	1127	1127	1127
59	1127	1127	1127
60	1127	1127	1127
61	1127	1127	1127
62	1127	1127	1127
63	1127	1127	1127
64	1127	1127	1127
65	1127	1127	1127
66	1127	1127	1127
67	1127	1127	1127
68	1127	1127	1127
69	1127	1127	1127
70	1127	1127	1127
71	1127	1127	1127
72	1127	1127	1127
73	1127	1127	1127
74	1127	1127	1127
75	1127	1127	1127
76	1127	1127	1127
77	1127	1127	1127
78	1127	1127	1127
79	1127	1127	1127
80	1127	1127	1127
81	1127	1127	1127
82	1127	1127	1127
83	1127	1127	1127
84	1127	1127	1127
85	1127	1127	1127
86	1127	1127	1127
87	1127	1127	1127
88	1127	1127	1127
89	1127	1127	1127
90	1127	1127	1127
91	1127	1127	1127
92	1127	1127	1127
93	1127	1127	1127
94	1127	1127	1127
95	1127	1127	1127
96	1127	1127	1127
97	1127	1127	1127
98	1127	1127	1127
99	1127	1127	1127
100	1127	1127	1127

Tabulka č.1: Hmotnosti materiálů.

měření č.	hmotnosti materiálů $m[g]$		
	plochy $l \times b [m \times m]$		
	0,25×0,2		0,25×0,25
	a	b	c
1	58,5	83,3	29,5
2	58,1		28,5
3	58,3		29,0
4	58,4		28,8
5	57,9		28,4
6	57,7		27,5
7	58,0		28,1
8	58,1		27,6
9	57,8		28,2
10	58,2		27,8
$\overline{m}$	58,1	83,3	28,34
$s [g]$	0,26		0,64
$v [\%]$	0,44		2,26

Tabulka č.2: Plošné hmotnosti materiálů.

měření č.	plošné hmotnosti materiálů $\rho_s [g/m^2]$		
	a	b	c
1	1170	1666	472
2	1162		456
3	1166		464
4	1168		460,8
5	1158		454,4
6	1154		440
7	1160		449,6
8	1162		441,6
9	1156		451,2
10	1164		444,8
$\overline{\rho_s}$	1162	1666	453,44
$s [g/m^2]$	5,16		10,18
$v [\%]$	0,44		2,25

Tabulka č.3: Tloušťky materiálů.

měření č.	tloušťky materiálů Y [mm]		
	a	b	c
1	29,0	23,3	19,1
2	28,9		19,3
3	28,9		19,4
4	29,0		19,2
5	29,0		19,3
6	29,0		19,4
7	28,9		19,2
8	29,0		19,5
9	29,0		19,4
10	28,9		19,1
$\overline{Y}$	28,96	23,3	19,29
s [mm]	0,05		0,14
v [%]	0,17		0,71

Tabulka č.4: Objemové hmotnosti materiálů.

z průměrných hodnot	objemové hmotnosti materiálů ρ_v [kg/m ³]		
	a	b	c
$\overline{\rho_v}$	40,12	71,5	23,5

Tabulka č.5: Rozměry vzorků.

měření č.	rozměry vzorků $X \times Z$ [mm×mm]		
	A	B	C
1	28,0×28,2	21,9×22,0	19,4×19,4
2	28,3×27,5	22,3×22,6	18,6×18,8
3	28,4×27,8	22,3×23,7	18,7×19,3
4	28,2×28,1	22,8×22,8	18,8×19,5
5	27,5×27,7	23,1×22,7	19,3×19,6
6	28,5×27,9	23,2×22,5	18,8×18,7
7	27,4×28,4	22,1×23,9	18,9×18,3
8	28,5×28,4	23,0×23,3	18,8×18,6
9	28,4×28,3	22,7×23,9	18,9×18,4
10	27,9×27,9	23,2×22,6	18,6×19,7
$\overline{X \times Z}$	28,11×28,02	22,66×23	18,88×19,03

Tabulka č.6: Plochy vzorků.

při stlačování ve směru osy	$\overline{\text{plochy vzorků } S_v \cdot 10^{-4} [\text{m}^2]}$		
	A	B	C
x	8,11	5,36	3,67
y	7,88	5,21	3,59
z	8,14	5,28	3,64

Tabulka č.7: Plastické deformace vzorků při stlačování ve směru osy x.

vzorek	plastické deformace ε_p [%]
Ax	0
Bx	15,4
Cx	13,2

Tabulka č.8: Plastické deformace vzorků při stlačování ve směru osy y.

vzorek	plastické deformace ε_p [%]
Ay	0
By	12
Cy	21,8

Tabulka č.9: Plastické deformace vzorků při stlačování ve směru osy z.

vzorek	plastické deformace ε_p [%]
Az	0
Bz	20,2
Cz	24,5

Tabulka č.10: Napětí a moduly pružností vzorků při stlačování ve směru osy x.

vzorek	napětí vzorků v cyklu σ [kPa]		modul pružnosti vzorků v cyklu E[kPa]	
	1.	5.	1.	5.
Ax	4,351	3,87	8,7	7,74
Bx	59,562	46,788	119,124	93,577
Cx	12,949	6,103	25,897	12,205

Tabulka č.11: Napětí a moduly pružností vzorků při stlačování ve směru osy y.

vzorek	napětí vzorků v cyklu σ [kPa]		modul pružnosti vzorků v cyklu E[kPa]	
	1.	5.	1.	5.
Ay	4,191	3,655	8,381	7,311
By	23,273	9,709	46,545	19,418
Cy	3,953	2,461	7,906	4,921

Tabulka č.12: Napětí a moduly pružností vzorků při stlačování ve směru osy z.

vzorek	napětí vzorků v cyklu σ [kPa]		modul pružnosti vzorků v cyklu E[kPa]	
	1.	5.	1.	5.
Az	4,099	3,498	8,198	6,997
Bz	22,727	8,545	45,454	17,091
Cz	4,447	1,711	8,895	3,421

Tabulka č.13: Relaxace napětí vzorků při stlačení ve směru osy x.

vzorek	relaxace napětí[kPa]		
	σ_{max}	σ_{300}	$\sigma_{max}-\sigma_{300}$
Ax	6,511	5,708	0,803
Bx	54,988	50,668	4,32
Cx	9,886	7,777	2,109

Tabulka č.14: Relaxace napětí vzorků při stlačení ve směru osy y.

vzorek	relaxace napětí[kPa]		
	σ_{max}	σ_{300}	$\sigma_{max}-\sigma_{300}$
Ay	7,005	6,159	0,846
By	43,293	37,556	5,737
Cy	7,92	7,143	0,777

Tabulka č.15: Relaxace napětí vzorků při stlačení ve směru osy z.

vzorek	relaxace napětí[kPa]		
	σ_{max}	σ_{300}	$\sigma_{max}-\sigma_{300}$
Az	6,8	5,91	0,89
Bz	40,3	35,354	4,946
Cz	10,989	10,217	0,772

Tabulka č.16: Deformace vzorku A_{xy} .

fáze stlačování	deformace stěny [mm]	
	pravé	levé
1.	0	0
2.	0	0
3.	0	0
4.	0	0
5.	-0,5	-0,5

Tabulka č.17: Deformace vzorku A_{xz} .

fáze stlačování	deformace stěny [mm]	
	pravé	levé
1.	0	0
2.	0	0
3.	0	0
4.	0	0
5.	-0,5	-0,5

Tabulka č.18: Deformace vzorku A_{yx} .

fáze stlačování	deformace stěny [mm]	
	pravé	levé
1.	0	0
2.	0	0
3.	0	0
4.	0	0
5.	-0,5	-0,5

Tabulka č.19: Deformace vzorku Ayz.

fáze stlačování	deformace stěny [mm]	
	pravé	levé
1.	0	0
2.	0	0
3.	0	0
4.	0	0
5.	-0,5	-0,5

Tabulka č.20: Deformace vzorku Azx.

fáze stlačování	deformace stěny [mm]	
	pravé	levé
1.	0	0
2.	0	0
3.	0	0
4.	0	0
5.	-0,5	-0,5

Tabulka č.21: Deformace vzorku Azy.

fáze stlačování	deformace stěny [mm]	
	pravé	levé
1.	0	0
2.	0	0
3.	0	0
4.	0	0
5.	-0,5	-0,5

Tabulka č.22: Deformace vzorku B_{xy} .

fáze stlačování	deformace stěny [mm]	
	pravé	levé
1.	0	0
2.	0,25	0,25
3.	0,5	0,5
4.	0,5	0,5
5.	1	1

Tabulka č.23: Deformace vzorku B_{xz} .

fáze stlačování	deformace stěny [mm]	
	pravé	levé
1.	0	0
2.	0,25	0,25
3.	0,5	0,5
4.	0,75	0,75
5.	1	1

Tabulka č.24: Deformace vzorku B_{yx} .

fáze stlačování	deformace stěny [mm]	
	pravé	levé
1.	0	0
2.	0,25	0,25
3.	0,5	0,5
4.	0,75	0,75
5.	1	1

Tabulka č.25: Deformace vzorku **Byz.**

fáze stlačování	deformace stěny [mm]	
	pravé	levé
1.	0	0
2.	0,25	0,25
3.	+3,5	+2,5
4.	+5,5	+4
5.	+6,5	+4,5

Tabulka č.26: Deformace vzorku **Bzx.**

fáze stlačování	deformace stěny [mm]	
	pravé	levé
1.	0	0
2.	1	1
3.	2	2
4.	2	2
5.	2,25	2,25

Tabulka č.27: Deformace vzorku **Bzy.**

fáze stlačování	deformace stěny [mm]	
	pravé	levé
1.	0	0
2.	+1,5	+2
3.	+4,5	+4
4.	+6	+5,5
5.	+6,5	+6

Tabulka č.28: Deformace vzorku C_{xy} .

fáze stlačování	deformace stěny [mm]	
	pravé	levé
1.	0	0
2.	0,25	0,25
3.	0,5	0,5
4.	1	1
5.	1	1

Tabulka č.29: Deformace vzorku C_{xz} .

fáze stlačování	deformace stěny [mm]	
	pravé	levé
1.	0	0
2.	-2,5	+2,5
3.	-3	+3
4.	-3	+3
5.	-3,5	+3,5

Tabulka č.30: Deformace vzorku C_{yx} .

fáze stlačování	deformace stěny [mm]	
	pravé	levé
1.	0	0
2.	0,25	0,25
3.	0,25	0,25
4.	0,25	0,25
5.	0,25	0,25

Tabulka č.31: Deformace vzorku Cyz.

fáze stlačování	deformace stěny [mm]	
	pravé	levé
1.	0	0
2.	0	0
3.	0	0
4.	0	0
5.	0	0

Tabulka č.32: Deformace vzorku Cz_x.

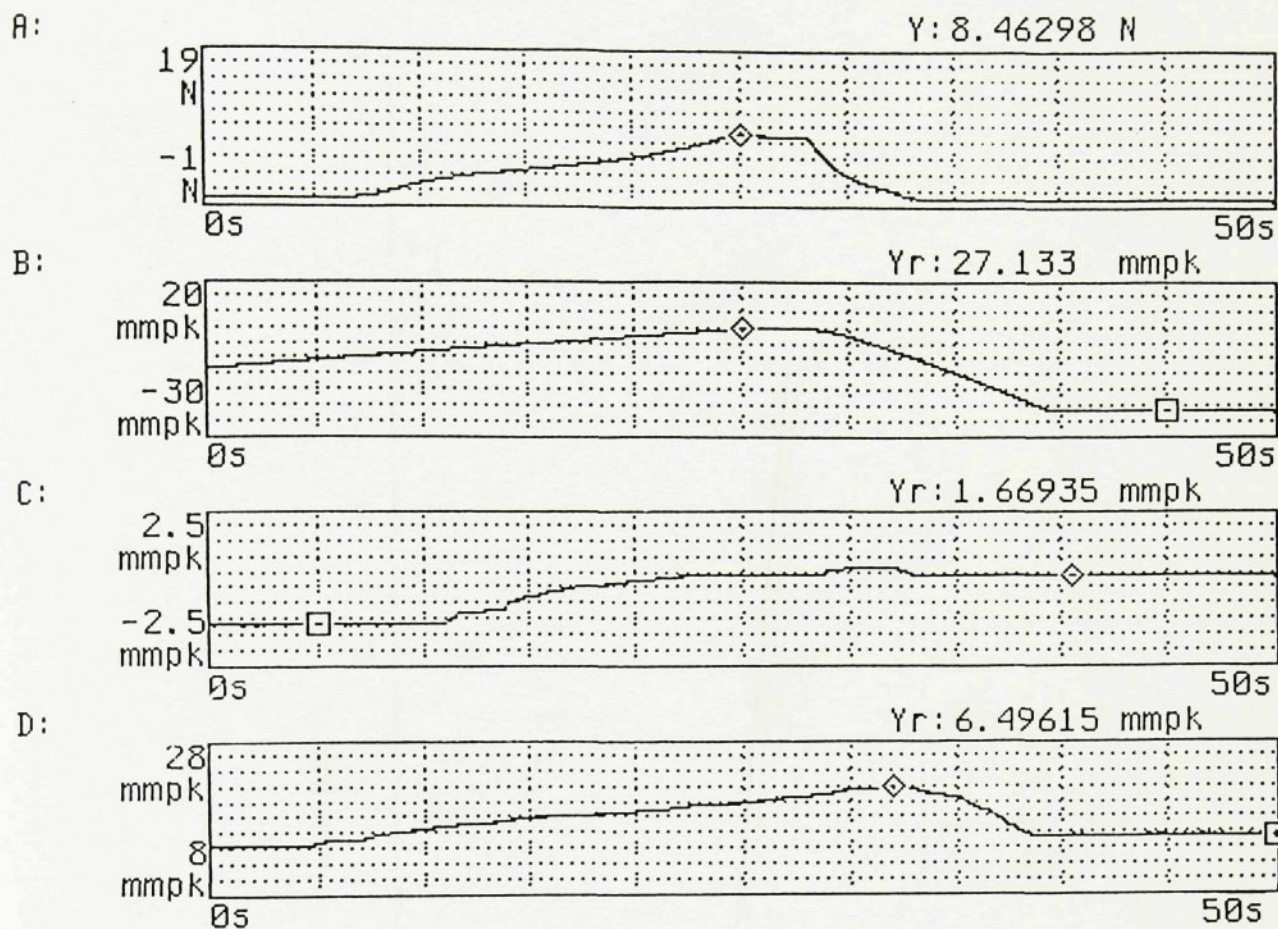
fáze stlačování	deformace stěny [mm]	
	pravé	levé
1.	0	0
2.	-1,5	+1,5
3.	-2	+2
4.	-3	+3
5.	-3	+3

Tabulka č.33: Deformace vzorku Cz_y.

fáze stlačování	deformace stěny [mm]	
	pravé	levé
1.	0	0
2.	0,5	0,5
3.	0,75	0,75
4.	0,75	0,75
5.	1	1

4.2. GRAFY

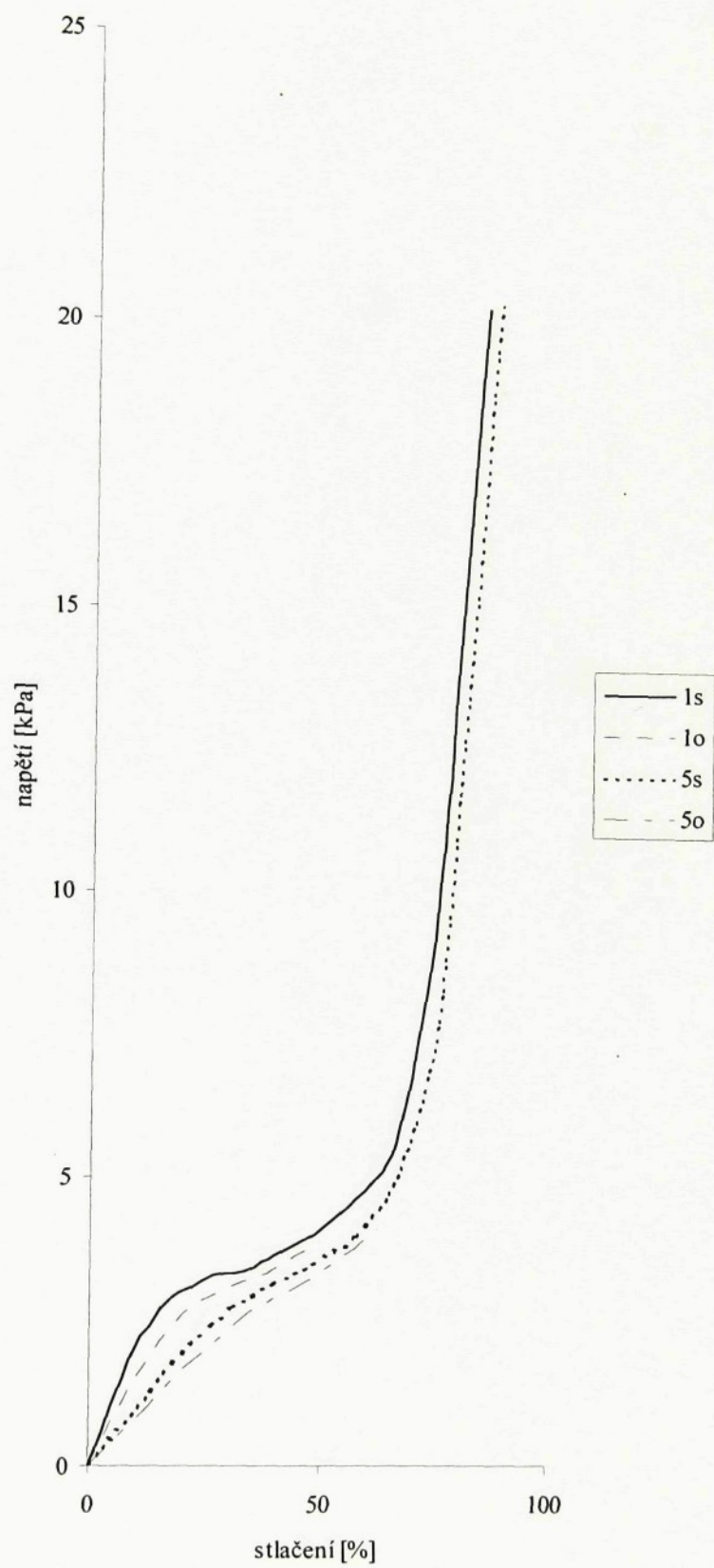
graf č.1	Přímý záznam polohy čidla.	70
graf č.2	Zatěžovací křivky vzorku A_x , 1.a 5.cykl.	71
graf č.3	Zatěžovací křivky vzorku A_y , 1.a 5.cykl.	72
graf č.4	Zatěžovací křivky vzorku A_z , 1.a 5.cykl.	73
graf č.5	Zatěžovací křivky vzorku B_x , 1.a 5.cykl.	74
graf č.6	Zatěžovací křivky vzorku B_y , 1.a 5.cykl.	75
graf č.7	Zatěžovací křivky vzorku B_z , 1.a 5.cykl.	76
graf č.8	Zatěžovací křivky vzorku C_x , 1.a 5.cykl.	77
graf č.9	Zatěžovací křivky vzorku C_y , 1.a 5.cykl.	78
graf č.10	Zatěžovací křivky vzorku C_z , 1.a 5.cykl.	79
graf č.11	Relaxace napětí vzorku A_x .	80
graf č.12	Relaxace napětí vzorku A_y .	80
graf č.13	Relaxace napětí vzorku A_z .	80
graf č.14	Relaxace napětí vzorku B_x .	81
graf č.15	Relaxace napětí vzorku B_y .	81
graf č.16	Relaxace napětí vzorku B_z .	81
graf č.17	Relaxace napětí vzorku C_x .	82
graf č.18	Relaxace napětí vzorku C_y .	82
graf č.19	Relaxace napětí vzorku C_z .	82



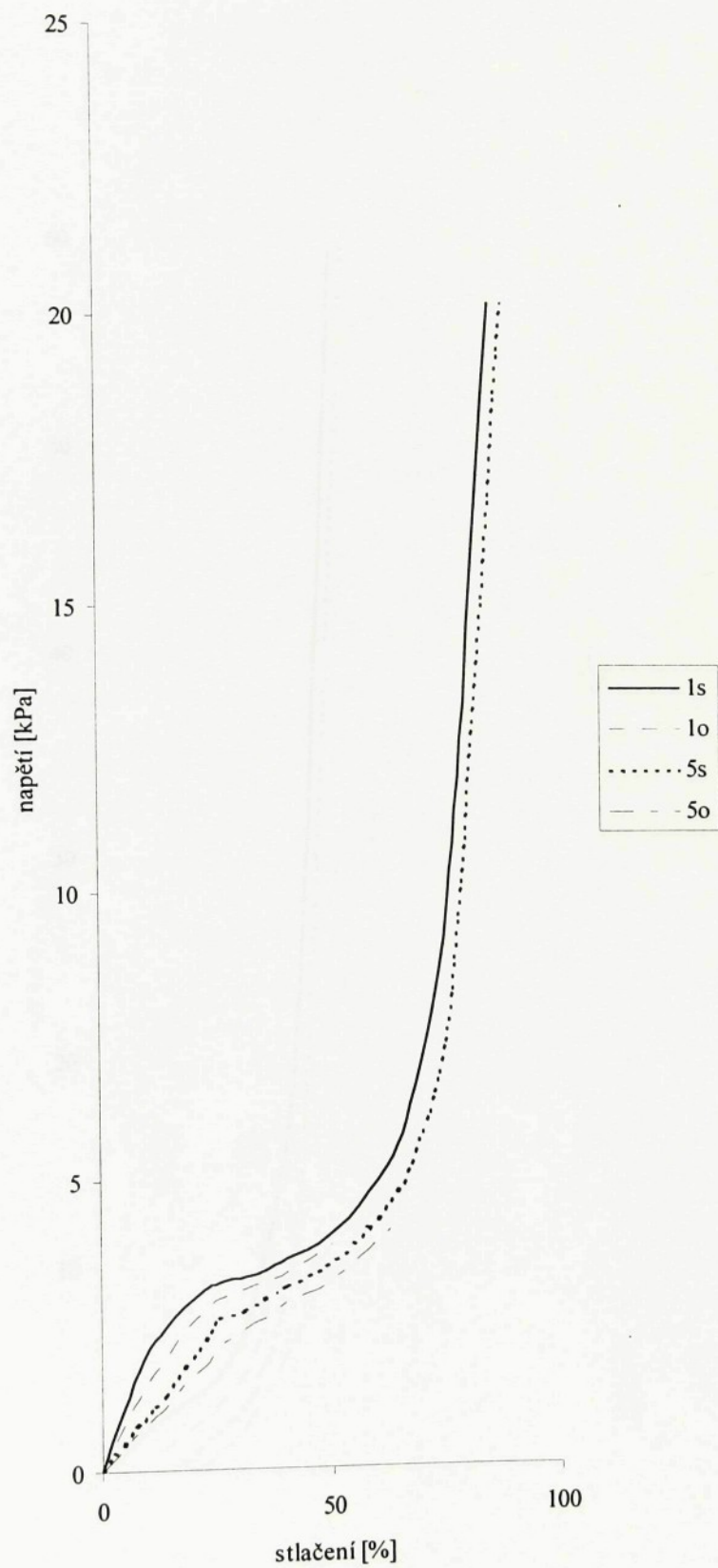
graf č.1 Přímý záznam polohy čidla.



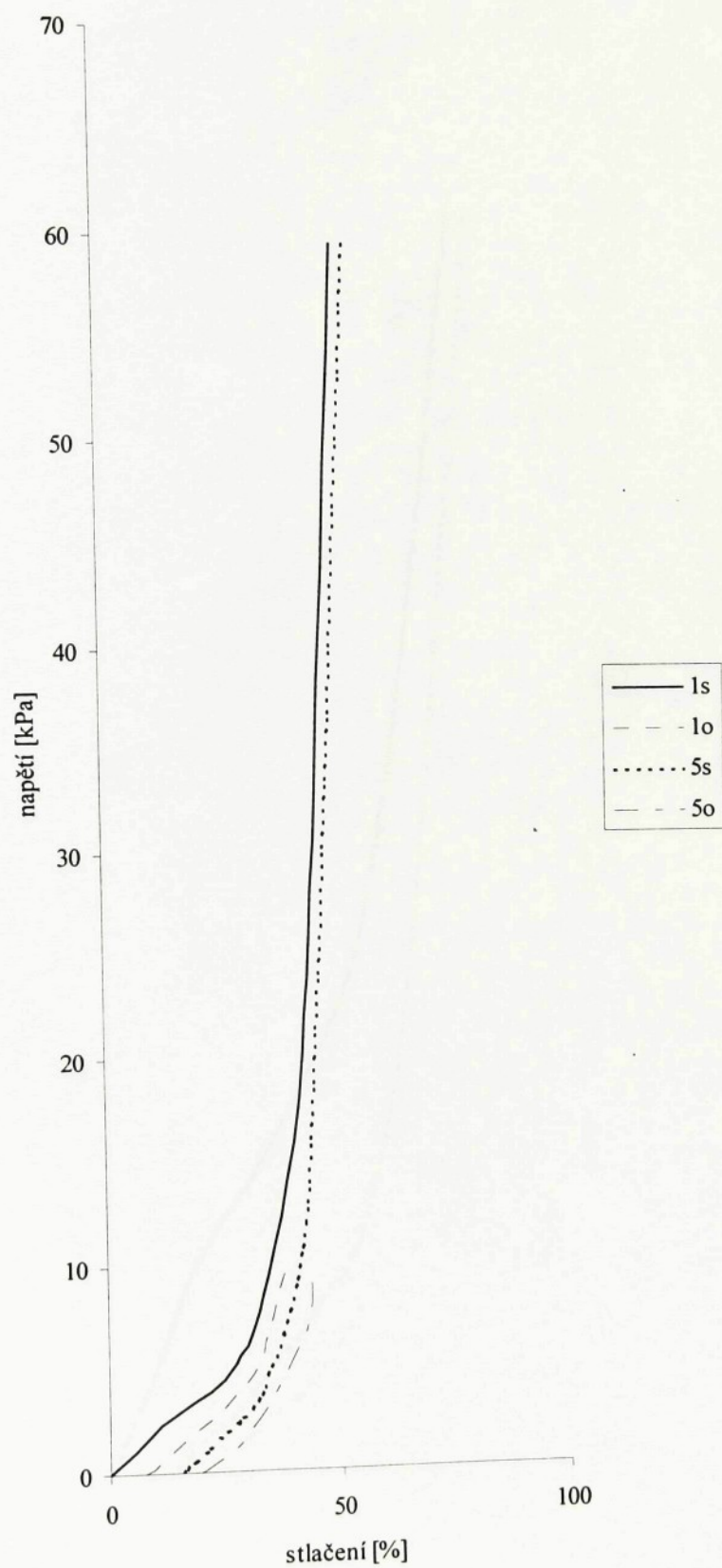
graf č.2 Zatěžovací křivky vzorku Ax, 1.a 5.cykl.



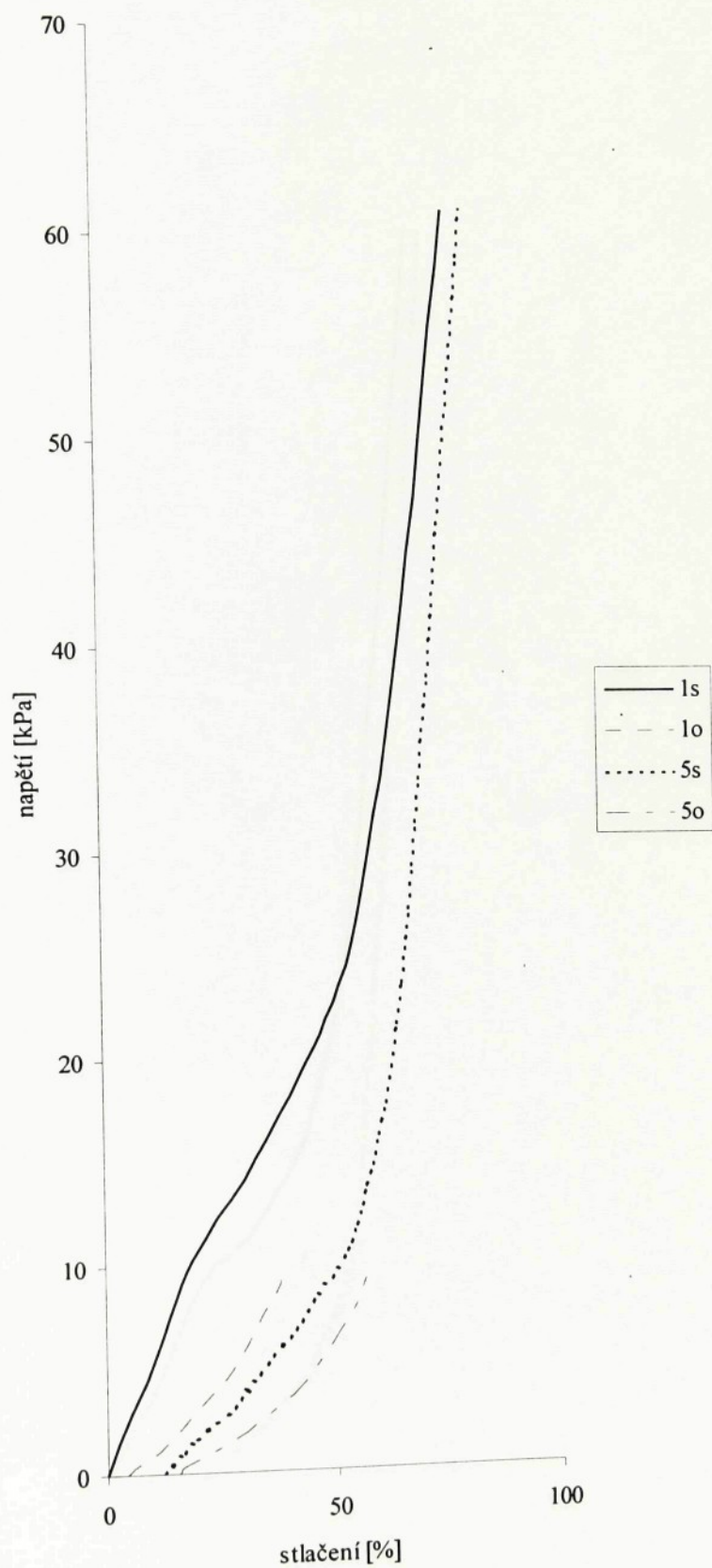
graf č.3 Zatěžovací křivky vzorku Ay, 1.a 5.cykl.



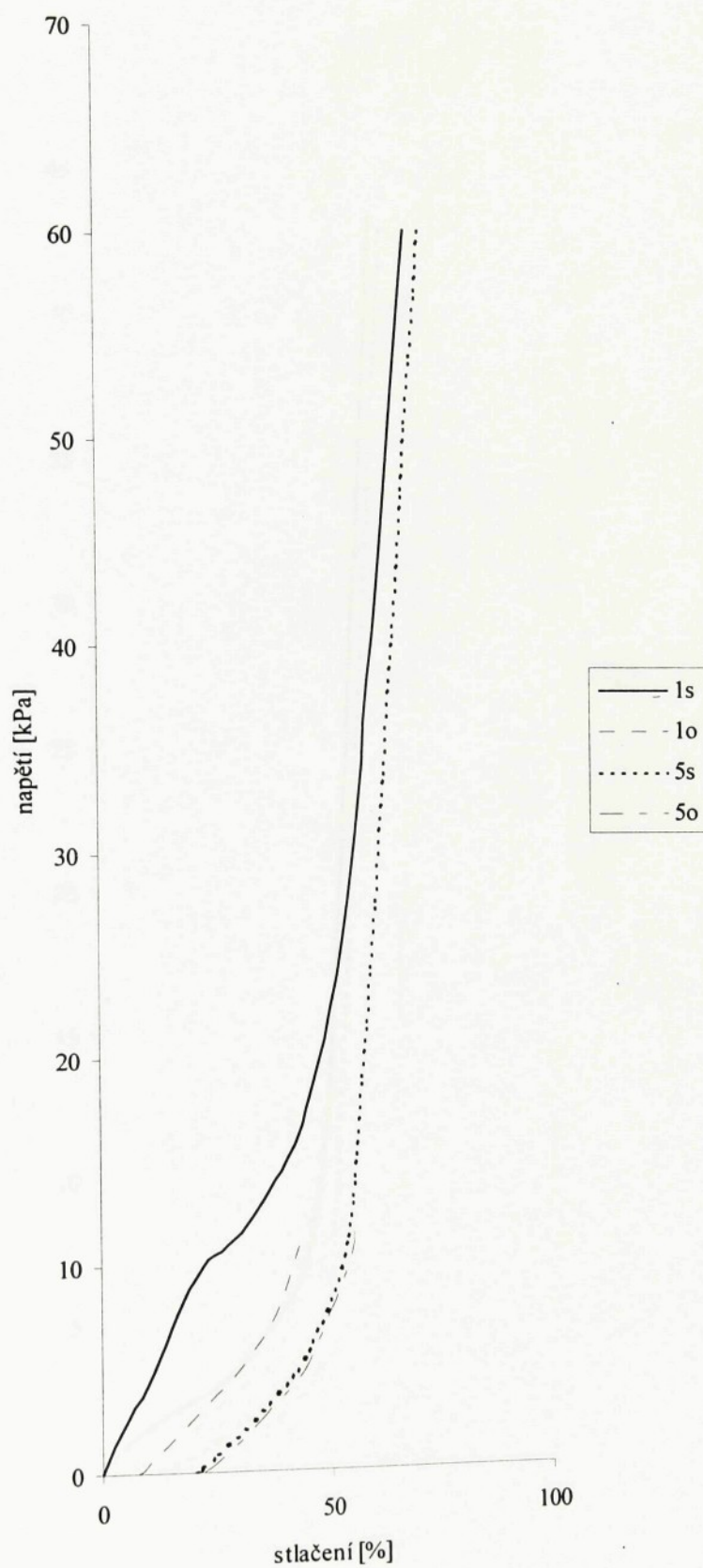
graf č.4 Zatěžovací křivky vzorku Az, 1. a 5. cykl.



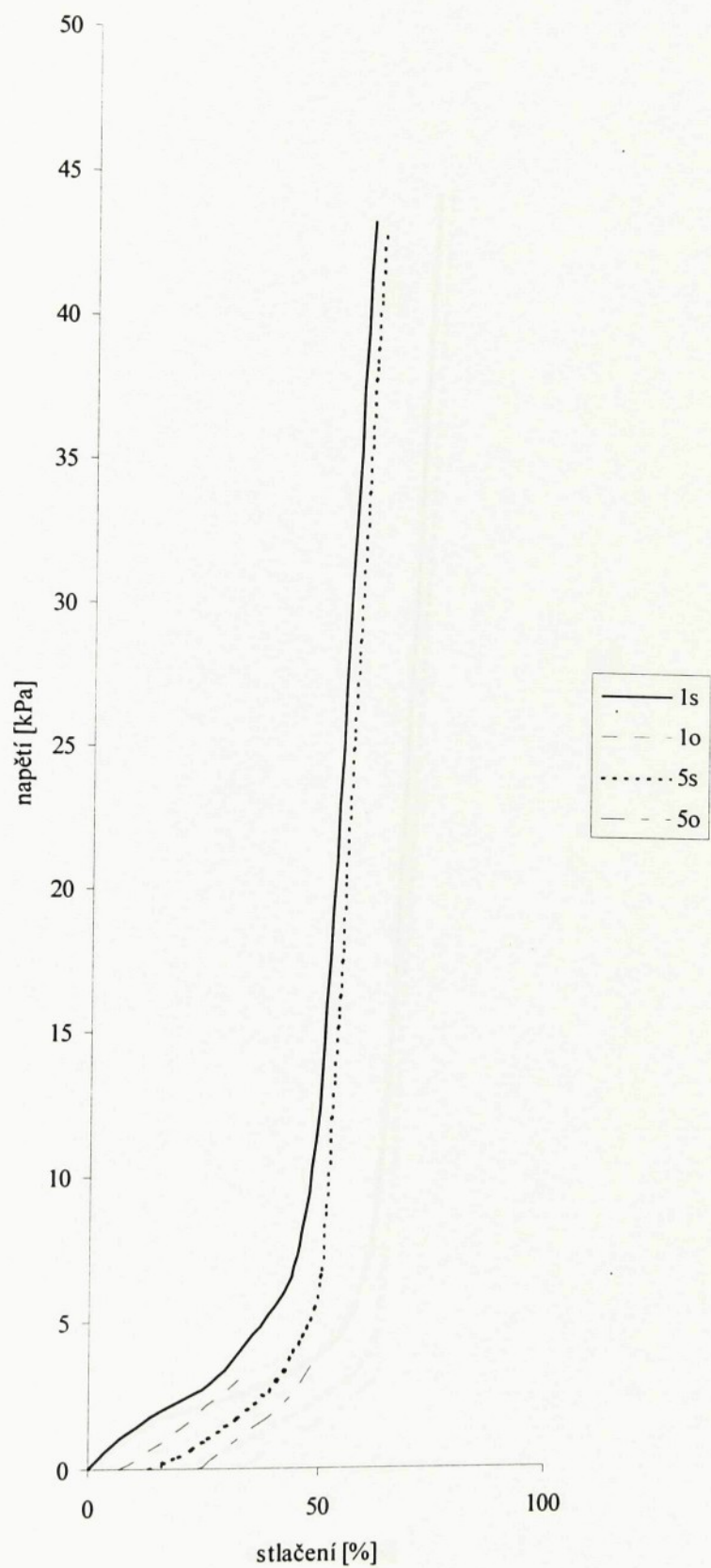
graf č.5 Zatěžovací křivky vzorku Bx, 1.a 5.cykl.



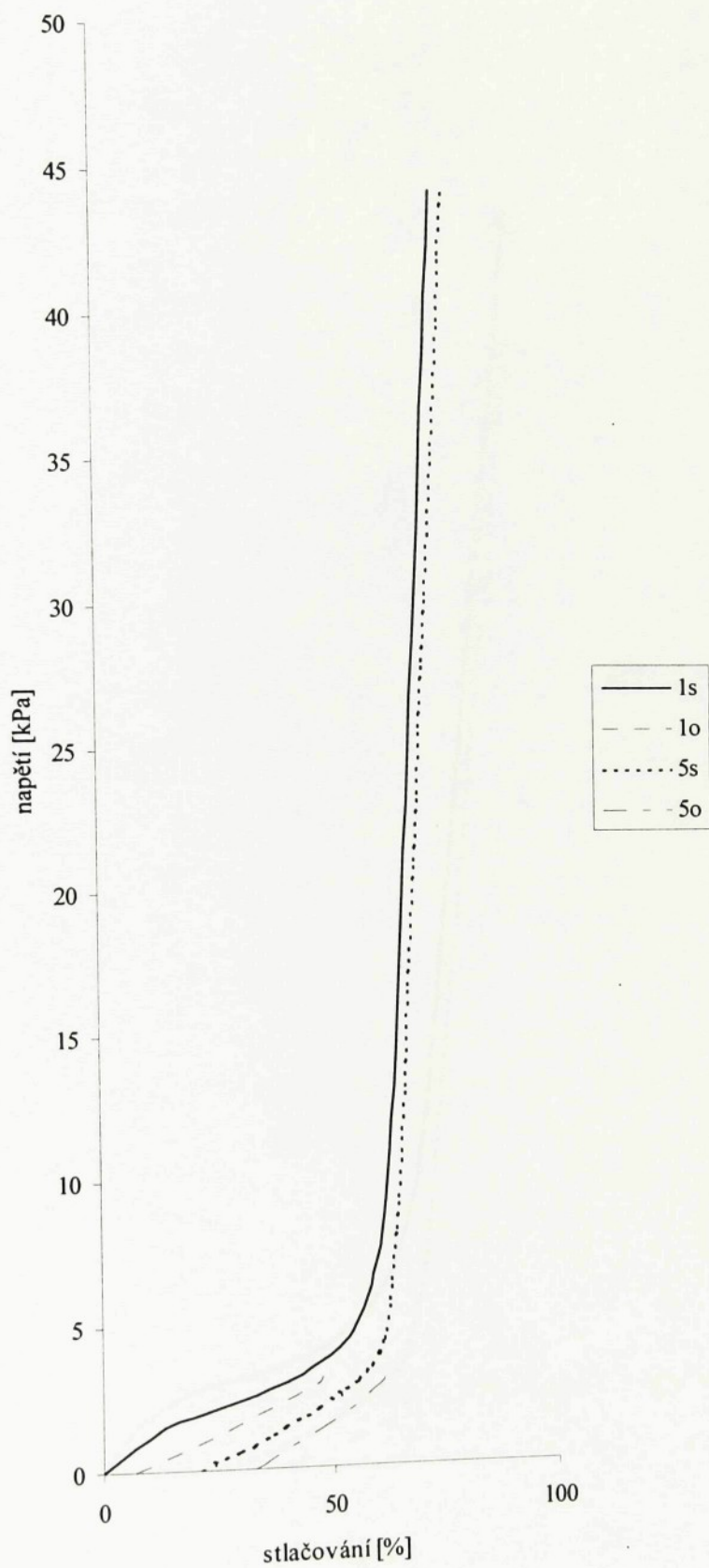
graf č.6 Zatěžovací křivky vzorku By, 1.a 5.cykl.



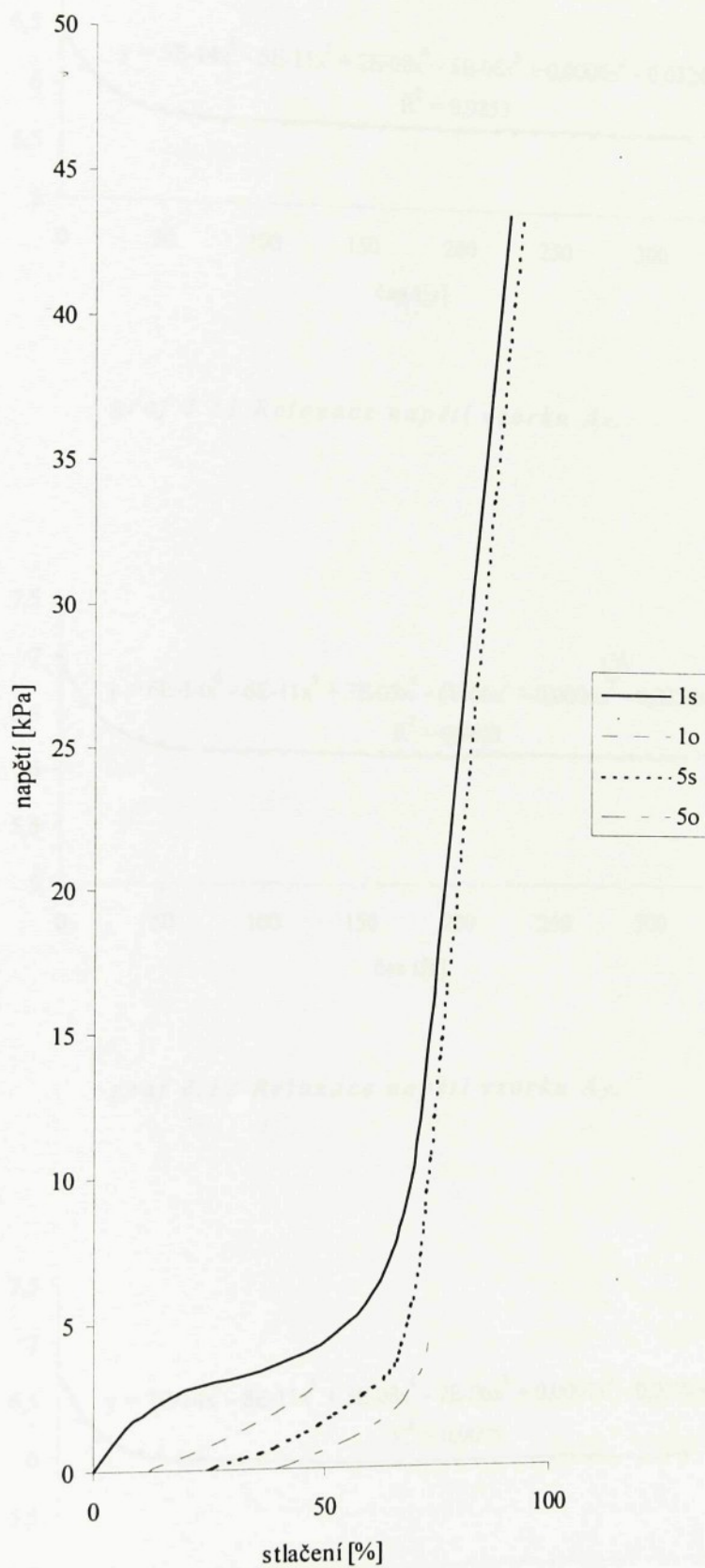
graf č.7 Zatěžovací křivky vzorku Bz, 1.a 5.cykl.



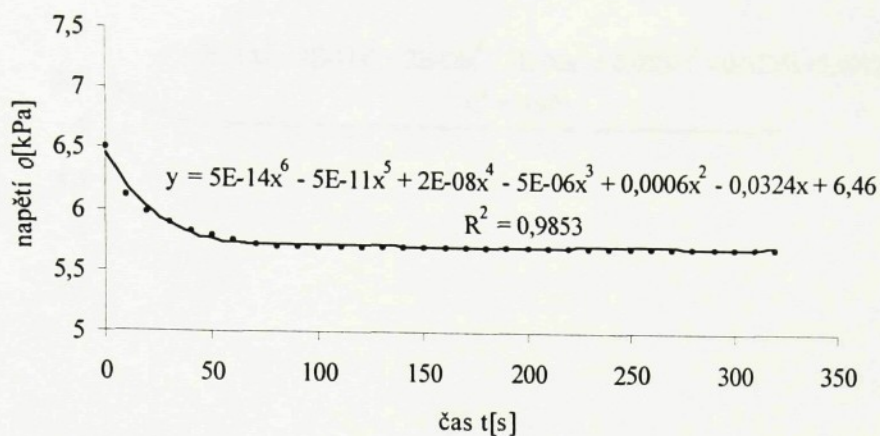
graf č.8 Zatěžovací křivky vzorku Cx, 1.a 5.cykl.



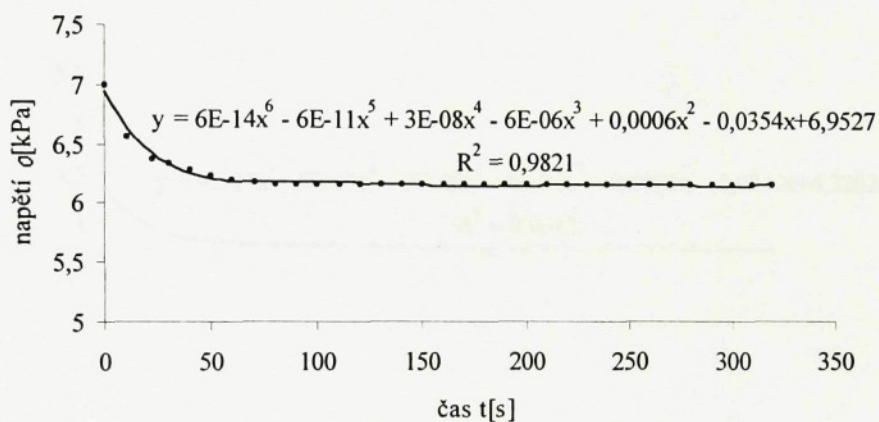
graf č.9 Zatěžovací křivky vzorku Cy, 1.a 5.cykl.



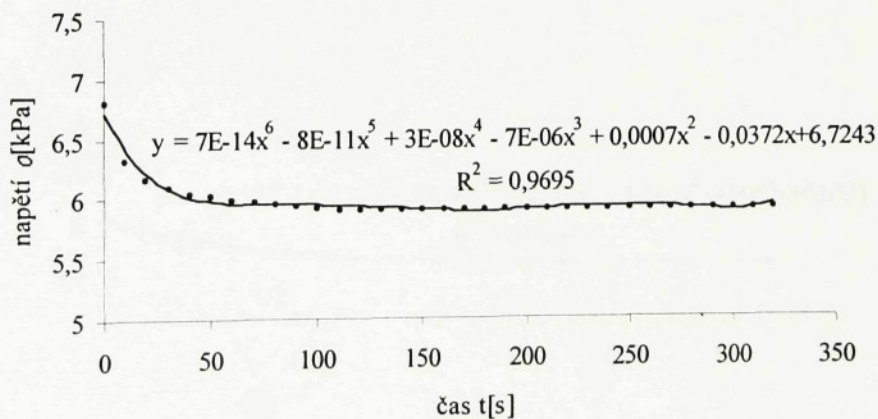
graf č.10 Zatěžovací křivky vzorku Cz, 1.a 5.cykl.



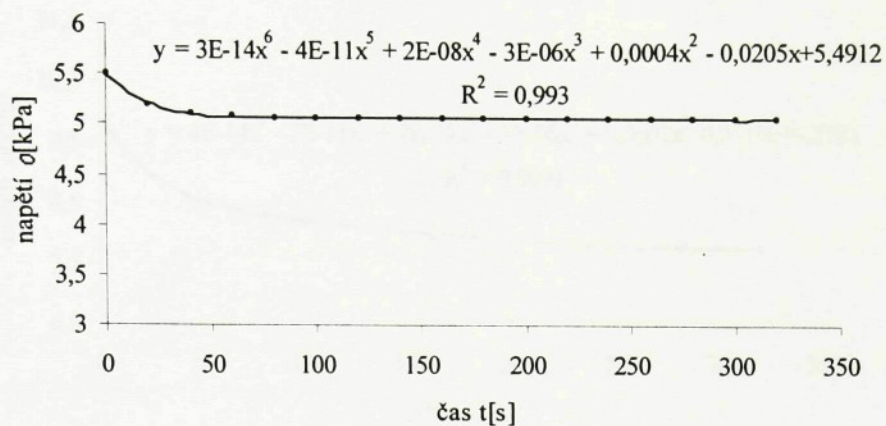
graf č.11 Relaxace napětí vzorku Ax.



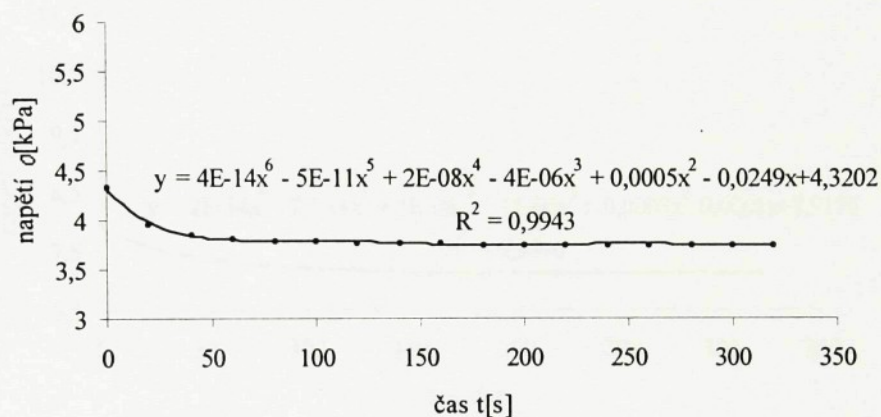
graf č.12 Relaxace napětí vzorku Ay.



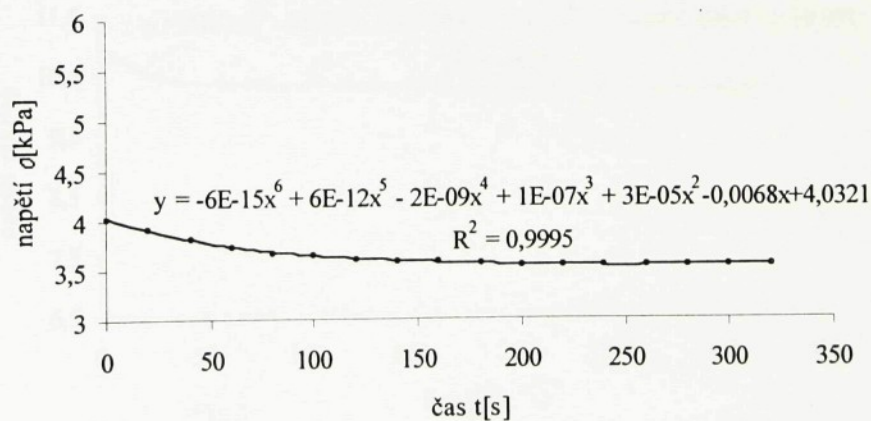
graf č.13 Relaxace napětí vzorku Az.



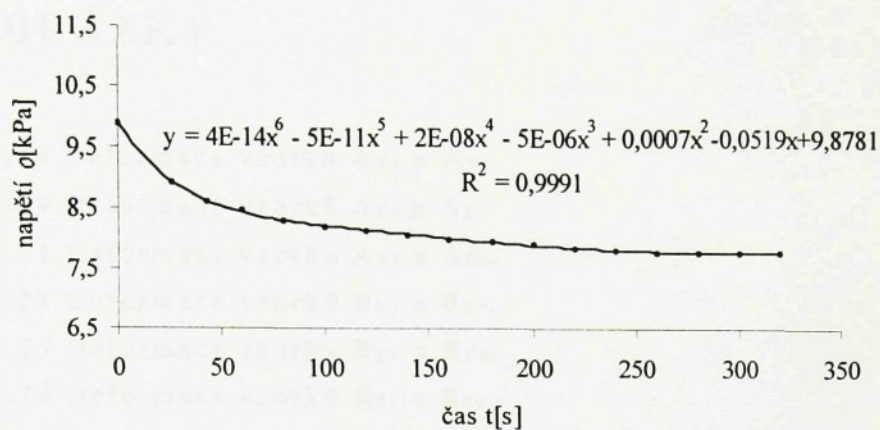
graf č.14 Relaxace napětí vzorku Bx.



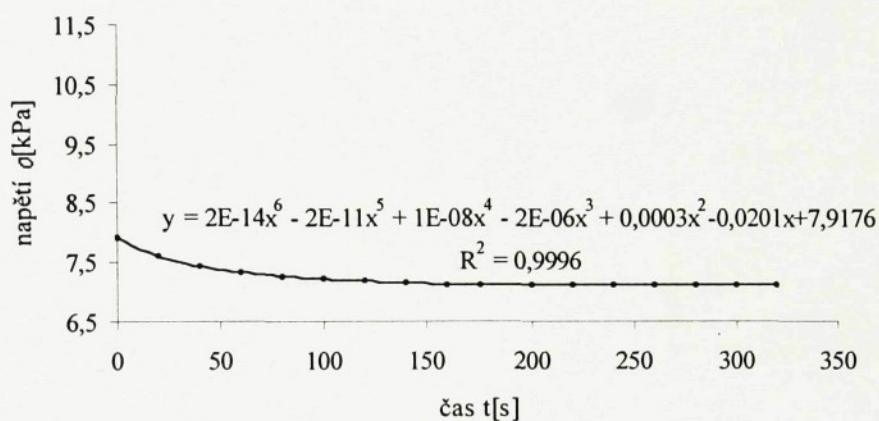
graf č.15 Relaxace napětí vzorku By.



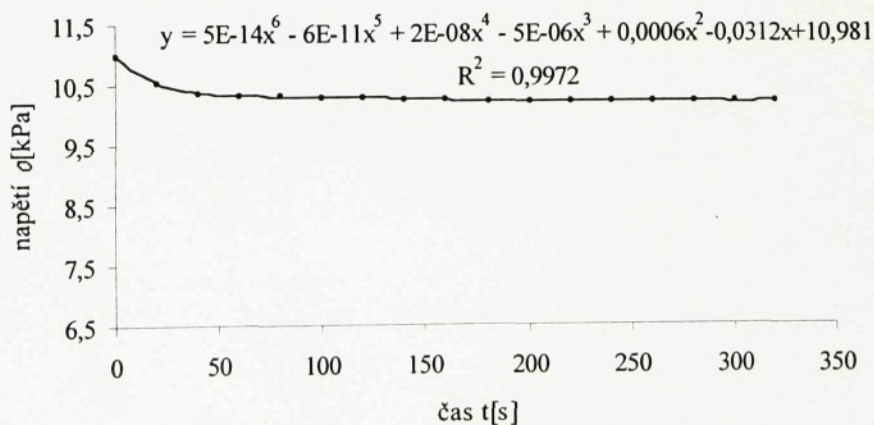
graf č.16 Relaxace napětí vzorku Bz.



graf č. 17 Relaxace napětí vzorku Cx.



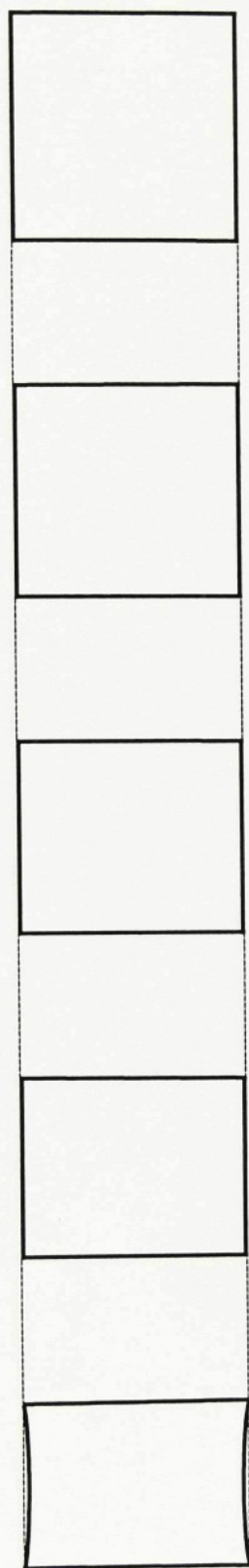
graf č. 18 Relaxace napětí vzorku Cy.



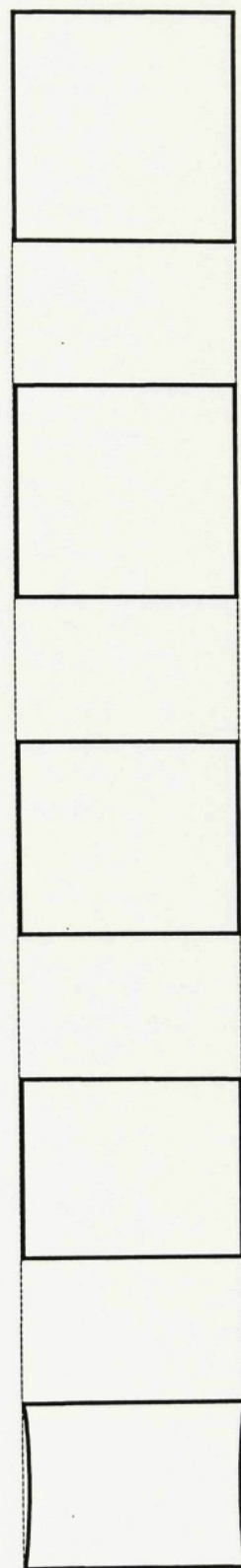
graf č. 19 Relaxace napětí vzorku Cz.

4.3. OBRÁZKY

Obrázek č.19 Deformace vzorků A_{xy} a A_{xz} .	84
Obrázek č.20 Deformace vzorků A_{yx} a A_{yz} .	85
Obrázek č.21 Deformace vzorků A_{zx} a A_{zy} .	86
Obrázek č.22 Deformace vzorků B_{xy} a B_{xz} .	87
Obrázek č.23 Deformace vzorků B_{yx} a B_{yz} .	88
Obrázek č.24 Deformace vzorků B_{zx} a B_{zy} .	89
Obrázek č.25 Deformace vzorků C_{xy} a C_{xz} .	90
Obrázek č.26 Deformace vzorků C_{yx} a C_{yz} .	91
Obrázek č.27 Deformace vzorků C_{zx} a C_{zy} .	92

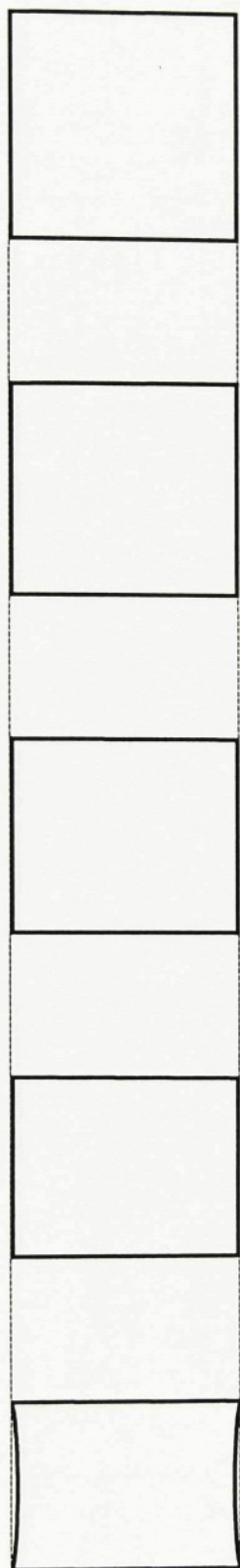


A_{xy}

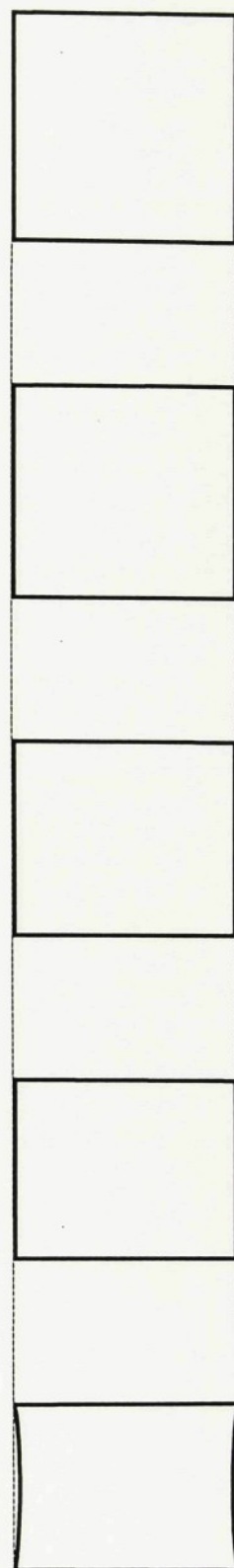


A_{xz}

Obrázek č.19 Deformace vzorků A.(měřítko 1:1)

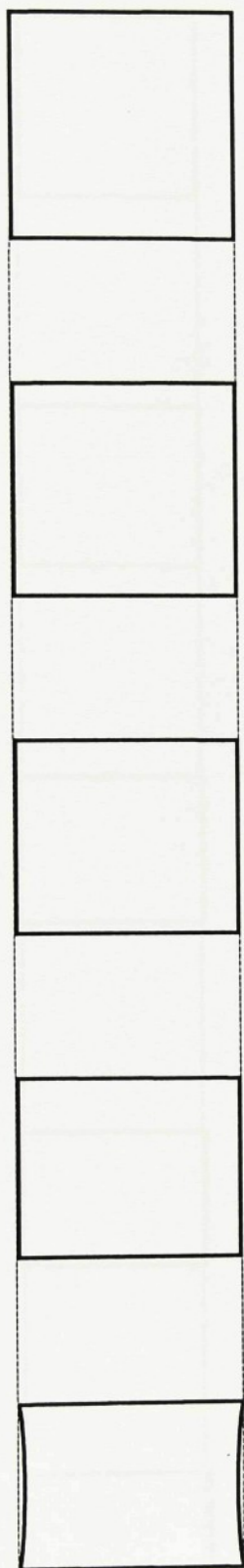


A_{yx}

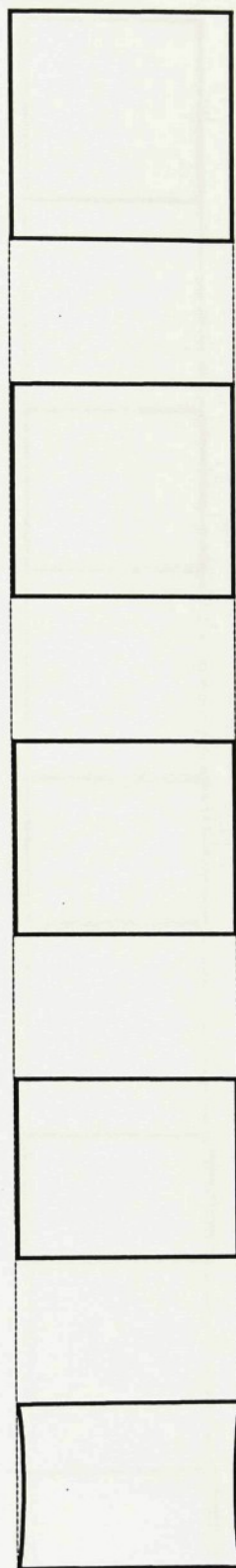


A_{yz}

Obrázek č.20 Deformace vzorků A . (měřítko 1:1)

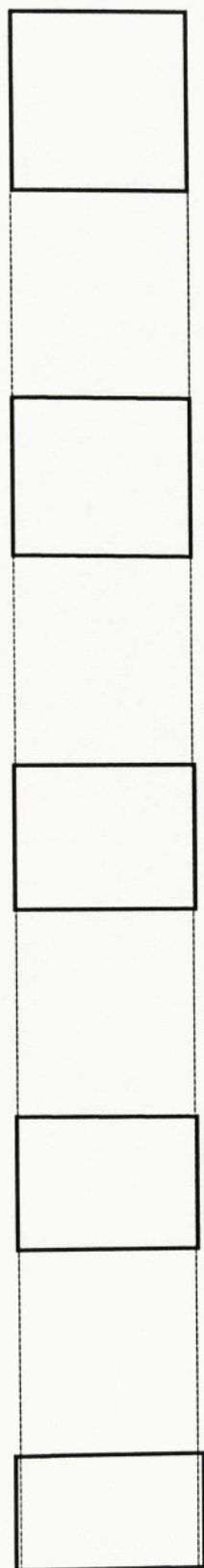


A_{zx}

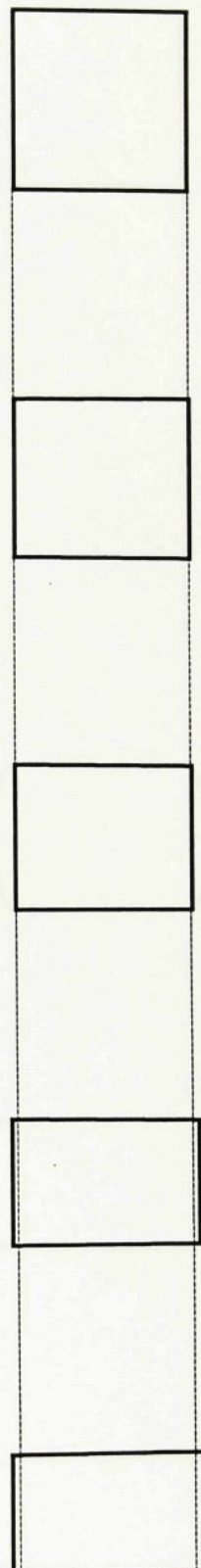


A_{zy}

Obrázek č.21 Deformace vzorků A.(měřítko 1:1)

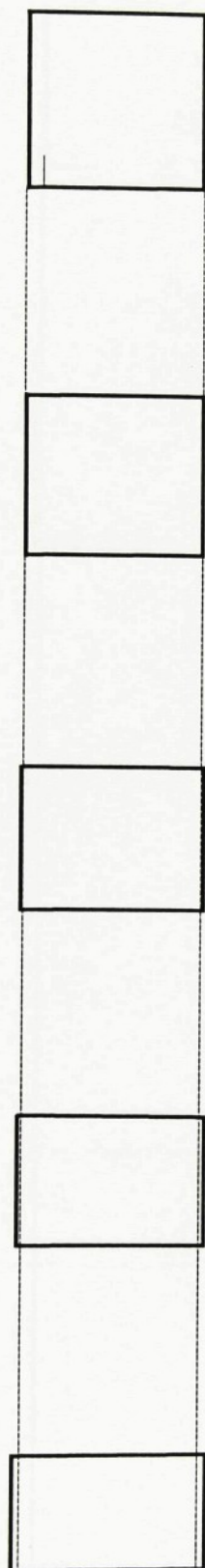


B_{xy}

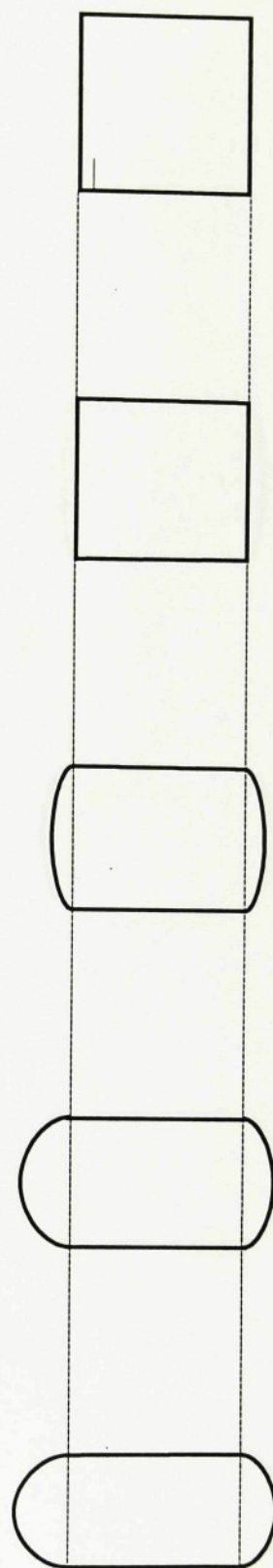


B_{xz}

Obrázek č.22 Deformace vzorků B . (měřítko 1:1)

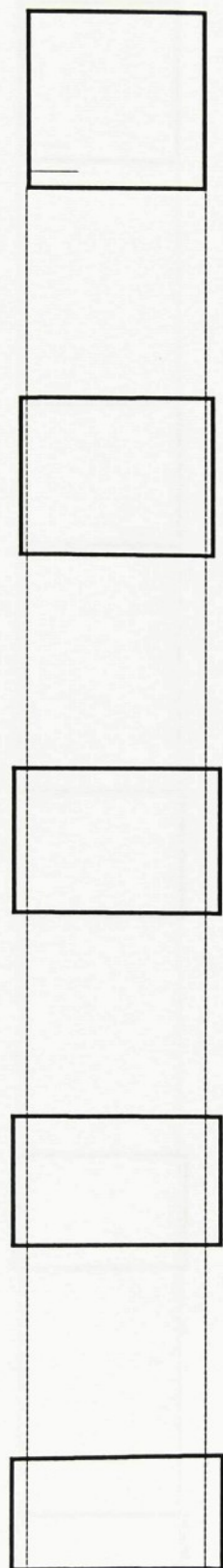


B_{yx}

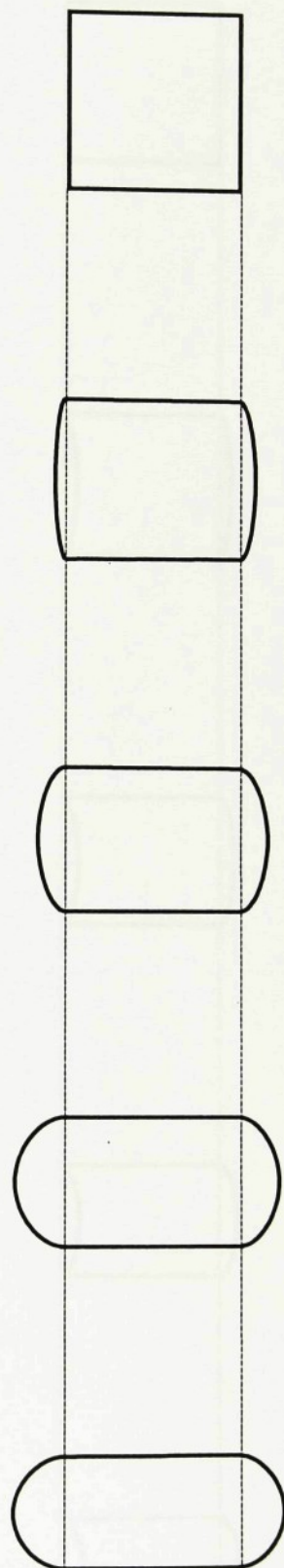


B_{yz}

Obrázek č.23 Deformace vzorků *B*. (měřítko 1:1)

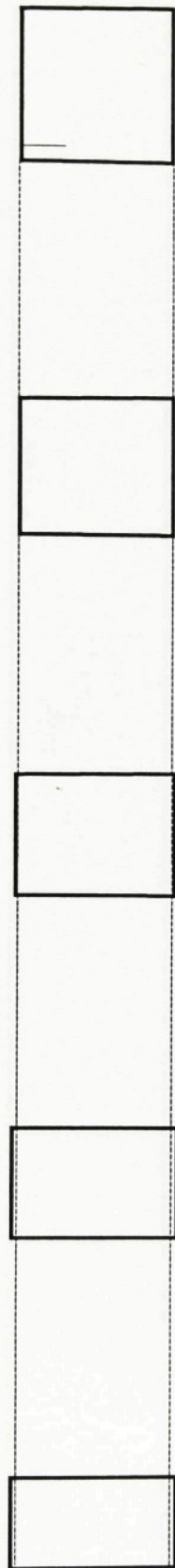


B_{zx}

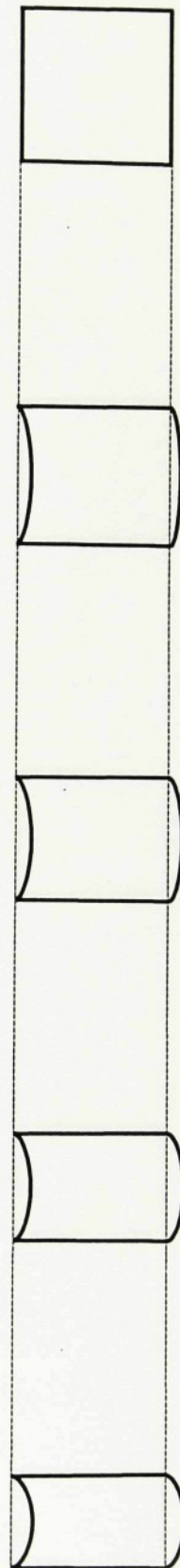


B_{zy}

Obrázek č.24 Deformace vzorků B . (měřítko 1:1)

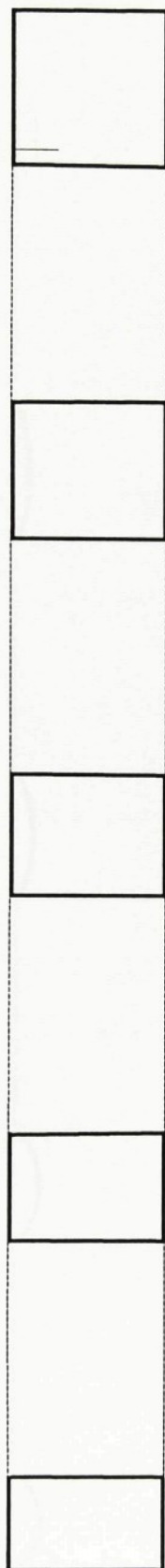


C_{xy}

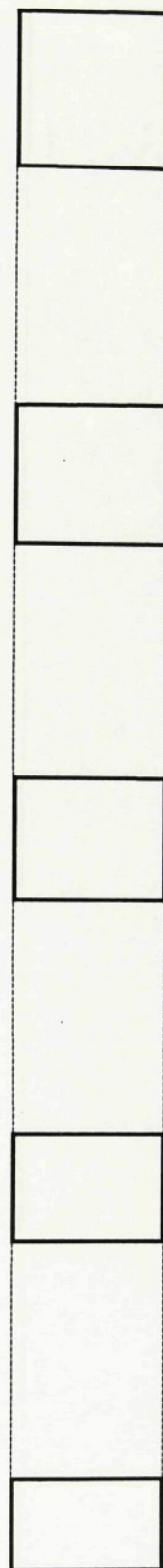


C_{xz}

Obrázek č.25 Deformace vzorků C. (měřítko 1:1)

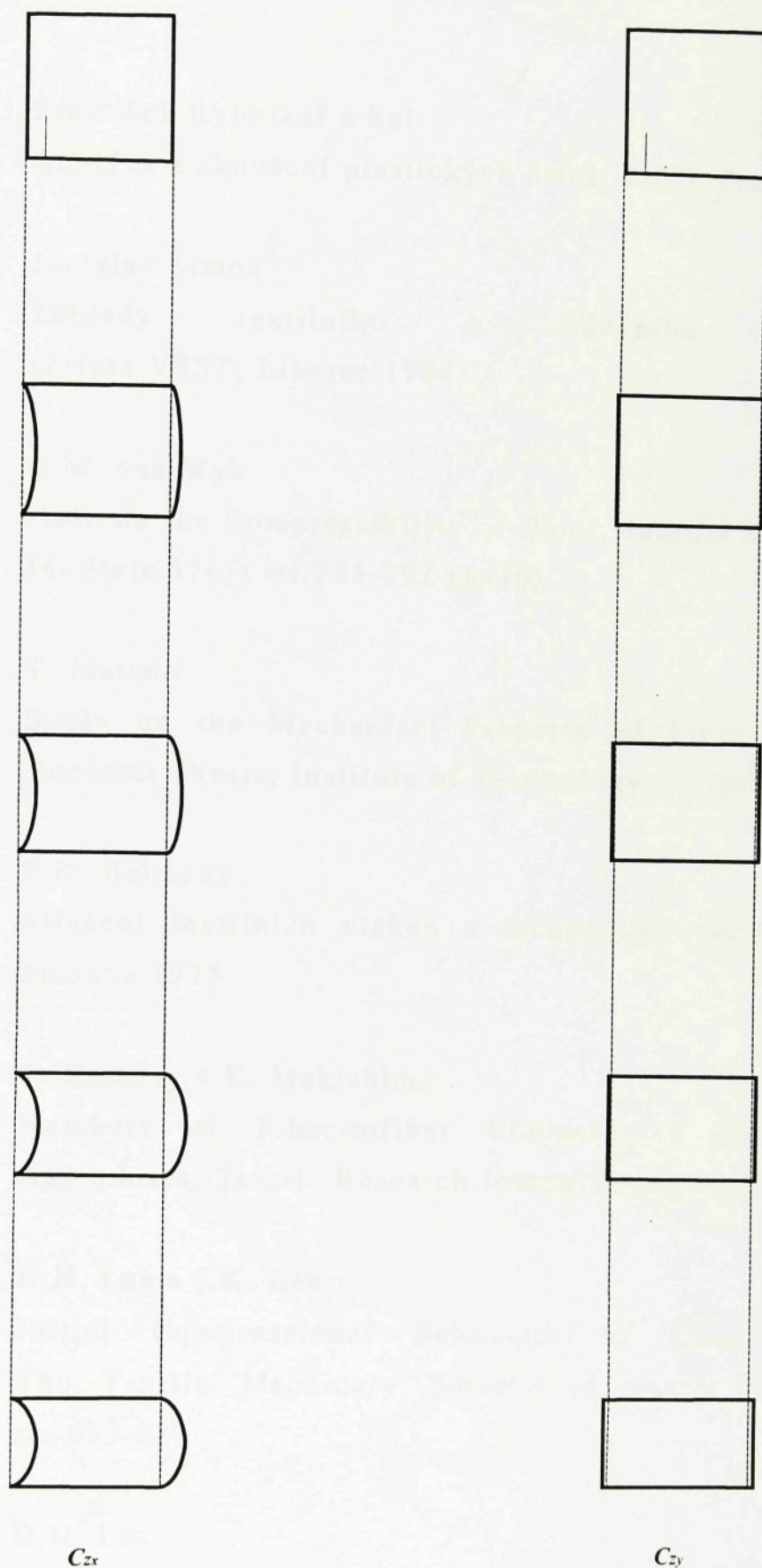


C_{yx}



C_{yz}

Obrázek č.26 Deformace vzorků C.(měřítko 1:1)



Obrázek č.27 Deformace vzorků C.(měřítko 1:1)

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- /1/ František Rybníkář a kol.
Analýza a zkoušení plastických hmot; SNTL Praha 1965
- /2/ Jaroslav Simon
Základy textilního a oděvního inženýrství;
skripta VŠST, Liberec 1984
- /3/ C.M. van Wyk
Note on the Compressibility of Wool; Journal of the Textile
Institute 37(5) str.285-292 (1946)
- /4/ T. Matsuo
Study on the Mechanical Property of Fiber Assemblies;
Doctoral Thesis; Institute of Technology, Tokyo 1968
- /5/ P.D. Beljasov
Stlačení textilních vláken a technologie textilní výroby;
Moskva 1975
- /6/ T. Komory a K. Makishima
Numbers of Fiber-to-fiber Contacts in General Fiber
Assemblies; Textile Research Journal 47(1) str.13-17 (1977)
- /7/ D.H. Lee a J.K. Lee
Initial Compressional Behaviour of Fiber Assembly;
The Textile Machinery Society of Japan, Osaka 1985
str.613-622
- /8/ D.H. Lee
Initial Compressional Behaviour of Fiber Assemblies;
Doctoral Thesis; Seoul National University, Seoul 1985

- /9/ B. Neckář
Vztah mezi stlačováním a zaplněním vláknenných útvarů;
Textil(10) 1989
- /10/ G.A. Carnaby a N. Pan
Theory of the Compression Hysteresis of Fibrous
Assemblies; Textile Research Journal 59(5) str.275-284
(1989)
- /11/ D.H. Lee, G.A. Carnaby a S.K. Tandom
An Energy Analyssis of the Compression of a Random Fibre
Assembly; Proc. 8th International Wool Textile Conference,
Christchurch 1990 str.34-44
- /12/ T. Komory a M. Itoh
A new Approach to the Theory of the Compression of Fiber
Assemblies; Textile Research Journal 61(7)
str.420-428 (1991)
- /13/ T. Komory a M. Itoh
Theory of the General Deformation of Fiber Assemblies;
Textile Research Journal 61(10) str.588-594 (1991)
- /14/ D.H. Lee a G.A. Carnaby
Compressional Energy of the Random Fiber Assembly,
Part 1:Theory; Textile Research Journal 62(4)
str.185-191 (1992)
- /15/ D.H. Lee, G.A. Carnaby a S.K. Tandom
Compressional Energy of the Random Fiber Assembly,
Part 2:Evaluation; Textile Research Journal 62(5)
str.258-265 (1992)

- /16/ T. Komory, M. Itoh a A. Tanaku
A Model Analysis of the Compressibility of Fiber
Assemblies; Textile Research Journal 62(10)
str.567-574 (1992)
- /17/ Josef Polák
Přehled středoškolské matematiky; SPN Praha 1991
- /18/ Bohumila Košková
Struktura a vlastnosti vláken; skripta VŠST, Liberec 1989

POZNÁMKA:Práce byla napsána v programu Microsoft Word 97.
Grafy byly zhotoveny v tabulkovém procesoru
Microsoft Excel 97. Obrázky byly nakresleny
v programu pro přípravu prezentací Microsoft
Power Point 97.