

Technická univerzita v Liberci
Fakulta textilní

NETKANÁ TEXTILIE
S LOKÁLNĚ ROZDÍLNÝM KOMPRESNÍM ODPOREM

Disertační práce v oboru Textilní technika

Ing. Jaroslav Hanuš

UNIVERZITNÍ KNIHOVNA
TECHNICKÉ UNIVERZITY V LIBERCI



3146115273

Školitel: Doc. RNDr. Oldřich Jirsák, CSc.

Liberec, březen 1999

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Univerzitní knihovna
Voroněžská 1520, Liberec 1
PSČ 461 17

U 584 T

77s, [40]s. pub.

ob. lib. 1 go.

KNT

OBSAH:

1. ÚVOD	4
1.1. Pracovní hypotéza	5
1.2. Pracovní postup	5
2. TEORETICKÉ ASPEKTY PROBLÉMU	6
2.1. Struktura netkaných textilií	6
2.1.1. Prvky struktury a jejich analýza	8
2.1.1.1. Orientace prvků	14
2.1.1.2. Křivost a torze	15
2.1.1.3. Prostory v anizotropických strukturách	17
2.2. Současná teorie komprese vláknenných struktur	18
2.3. Jednotka struktury a konstrukční jednotka	23
2.4. Shrnutí	24
3. PRAKTICKÉ ASPEKTY PROBLÉMU	26
3.1. Popis deformace struktury při kompresi	26
3.1.1. Měření kompresibility	26
3.1.1.1. Měření lokálního kompresního odporu	27
3.1.2. Změny ve struktuře	31
3.2. Změny vlastností vyvolané kompresí	32
3.3. Struktury netkaných textilií s lokálně rozdílným kompresním odporem	32
3.3.1. Prvky struktury a konstrukční jednotky netkaných textilií s lokálně rozdílným kompresním odporem	33
3.3.1.1. Využití konstrukčních jednotek s konstantní plošnou hmotností	34
3.3.1.2. Využití konstrukčních jednotek s rozdílnou plošnou hmotností	34
3.3.2. Textilní dynamický systém	35
3.4. Alternativy realizace konstrukčních jednotek	36
3.4.1. Výroba kolmo kladených roun	37
3.4.1.1. Systém vibrační	37
3.4.1.2. Systém rotační	38
3.4.2. Fixace kolmo kladených roun	42
3.4.2.1. Struktury fixované teplem	43
3.4.2.2. Struktury fixované mechanicky	43
4. EXPERIMENT	45
4.1. Označení vzorků	46
4.1.1. Vzorky pro měření průměrného kompresního odporu	46
4.1.2. Vzorky pro měření lokálního kompresního odporu	47
4.2. Technika použitá k výrobě vzorků textilií	47
4.3. Technika použitá k měření a naměřené hodnoty	48
4.3.1. Hodnoty průměrného kompresního odporu	48
4.3.2. Hodnoty lokálního kompresního odporu	50
4.3.3. Hodnoty z kontrolního měření lokálního kompresního odporu	53
4.3.4. Hodnoty lokálního kompresního odporu modelu textilního dynamického systému	55

4.4. Vyhodnocení naměřených hodnot	56
4.4.1. Průměrný kompresní odpor	57
4.4.2. Lokální kompresní odpor	60
4.4.3. Kontrolní měření lokálního kompresního odporu	63
4.4.4. Lokální kompresní odpor modelu textilního dynamického systému	66
5. DISKUSE	68
5.1. Poznatky z měření průměrného kompresního odporu	69
5.2. Poznatky z měření lokálního kompresního odporu	70
5.3. Poznatky z kontrolního měření	71
5.4. Poznatky z měření lokálního kompresního odporu na modelu textilního dynamického systému	71
6. ZÁVĚR	72
Seznam literatury	73

PŘÍLOHA

1. ÚVOD

Technické textilie, podle jedné z definic inženýrsky konstruované textilní struktury, plní dnes řadu speciálních funkcí v různých oblastech lidské činnosti. Snaha výrobců zvyšovat odbyt textilií na straně jedné a požadavky uživatelů na speciální vlastnosti výrobků na straně druhé tvoří pozadí k návrhům nových, speciálních struktur a následně speciálních technologií, od kterých se očekává, že umožní snahy obou zainteresovaných realizovat.

Textilní technologické postupy, především postupy výroby netkaných textilií a jejich vhodné syntézy, umožňují splnit poměrně komplikované požadavky uživatelů z mnoha oblastí lidské činnosti [1].

Obory jako čalounictví (výplňkové materiály), stavebnictví (izolace), zdravotnictví (kompresy, podložky) využívají tří dimenzionální netkané textilie (označované 3D), u kterých hraje významnou roli jejich třetí dimenze - tloušťka a z vlastností pak především jejich kompresní odpor.

Pro většinu současných uživatelů je „konstantní“ tloušťka v každé lokalitě definované na povrchu textilie základním kritériem kvality. Ostatní mechanicko-fyzikální vlastnosti v týchž lokalitách nebývají zkoumány a jsou tak a priori považovány rovněž za „konstantní“ nebo alespoň za velmi podobné.

Avšak textilie s lokálně rozdílnými vlastnostmi, tj. různě rozloženými po svém povrchu i v průřezu, nabízejí zcela nové užité vlastnosti, užitečné v řadě konkrétních aplikací. Např. lokálně rozdílný kompresní odpor by mohl být úspěšně využit ve zdravotnictví. Z prací, které popisují typy výrobků používané v oblasti preventivní péče o pacienty s omezenou hybností a porovnávají jejich funkčnost [57, 58] i z prací pojednávajících o prevenci a léčení dekubitů [59, 60, 61] je možné usoudit, že lokálně rozdílný kompresní odpor textilní podložky by pomohl zvýšit její současnou účinnost. Lze předpokládat, že pro určité fyzioterapeutické výhody by takovéto typy výrobků našly uplatnění i v čalounickém průmyslu.

Textilie s lokálně rozdílným kompresním odporem však nejsou dosud k dispozici.

Odpovědí na otázky, je-li vůbec možné za současného stavu techniky takovou textilní podložku vyrobit, jaké typy textilních struktur mohou lokálně rozdílný kompresní odpor zajistit a jakými technologiemi by bylo možné takové struktury realizovat, se zabývá tato práce. Jsou v ní využity poslední poznatky z teorie komprese vlákněných útvarů i poznatky o současném stavu techniky k tomu, aby mohly být definovány konstrukční jednotky a aby mohly být rozpracovány úvahy o vztahu konstrukčních jednotek a jejich charakteristik

k technologickým parametrům techniky navržené k realizaci takové textilní struktury, o které se předpokládá, že bude vykazovat lokálně rozdílný kompresní odpor. Kladné odpovědi na zmíněné otázky mohou otevřít další oblast výzkumu nejen v teorii těchto textilních struktur, v jejich konstrukci a v technologii výroby, ale také v řešení nových aplikací 3D netkaných textilií.

1.1. Pracovní hypotéza

Dnešní teoretické poznatky o struktuře a mechanických vlastnostech netkaných textilií obsahují řadu informací, o kterých lze předpokládat, že jejich aplikace v konstrukci textilií by vedla k dosažení jejich lokálně rozdílných vlastností [2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10]. Ukazují nejméně na dva způsoby dosažení lokálně rozdílného kompresního odporu. Jeden spočívá ve využití především rozdílných deformačních vlastností prvků struktury. Vlastnosti výrobku pak může být dosaženo i při konstantní plošné hmotnosti, tzv. konstrukčních jednotek ve výrobku. Druhý je založený na využití rozdílných deformačních vlastností především různého množství hmoty ve zkoumané lokalitě. Vlastnosti výrobku pak může být dosaženo rozdílnou plošnou hmotností konstrukčních jednotek. Další možnosti dosažení lokálně rozdílného kompresního odporu lze získat vhodnými kombinacemi předchozích dvou.

Studie geometrických změn určitého typu struktury vyvolaných deformací [11] ukazují na vzájemný posuv povrchů sledovaných 3D textilií při jejich kompresi. Lze proto očekávat, že opačný postup, tj. účelově vyvolaný vzájemný posuv povrchů způsobí takové změny ve struktuře, které se projeví i ve změně kompresního odporu. Zmíněný princip by mohl být využit v tzv. textilních dynamických systémech (např. antidekubitních).

Ověření výše zmíněných úvah je považováno za cíl této práce a v tomto smyslu byl formulován i pracovní postup.

1.2. Pracovní postup

- Rozpracovat současné teoretické poznatky o struktuře a kompresních vlastnostech netkaných textilií, poznatky o technice a poznatky o technologiích používaných k jejich výrobě do úrovně využitelné ke konstrukci a k výrobě takových textilií, které budou vykazovat lokálně rozdílný kompresní odpor.
- Popsat kompresní vlastnosti vyrobených textilií.
- Posoudit shodu pracovní hypotézy s výsledky experimentu.

2. TEORETICKÉ ASPEKTY PROBLÉMU

Obecné řešení úlohy formulované v úvodní kapitole, je poměrně snadné. Je obsaženo v poznatku, že vlastnosti objektu určuje jeho struktura. Stačí ji proto definovat a pro konkrétní požadavky specifikovat.

Struktura je úplně definována tehdy [12], jsou-li definovány

- prvky struktury (takové části objektu, které lze s požadovanou přesností odlišit a které souvisí se sledovanými vlastnostmi objektu),
- jejich prostorové rozložení,
- jejich vzájemné interakce,
- časové průběhy jejich interakcí.

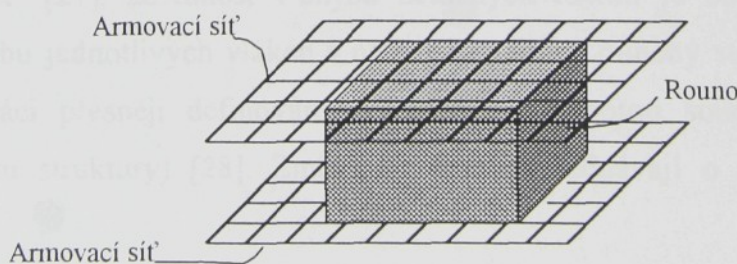
Aplikace tohoto obecného poznatku na konkrétní objekty, tj. 3D netkané textilie samozřejmě naráží na řadu problémů. Do dnešního dne nejsou k dispozici úplné definice konkrétních struktur ani jednoduchých netkaných textilií. Přes upřímné snahy řady autorů [9, 10, 13, 14] neexistuje obecně platná teorie rozpracovaná do takových podrobností, které by bylo možné s přijatelnou přesností využít pro konstrukci technických netkaných textilií.

Teoretické práce však formulují jak prvky struktury tak jejich předpokládané vzájemné vztahy. Obojí lze ke konstrukci nových struktur s výhodou využít. Je pravdou, že současné teoretické modely lze považovat z pohledu „konstruktéra“ reálných netkaných textilií za příliš zjednodušené. Je však také pravdou, že pro úspěšnou konstrukci konkrétních výrobků jsou teoretické modely, právě pro své abstrakce, nepostradatelné. Inspirují k myšlenkovým konstrukcím, které lze snadno vhodnými experimenty upřesňovat a umožňují tím připravit výrobek k realizaci daleko rychleji než je obvyklé při dosud používaných empirických postupech.

2.1. Struktura netkaných textilií

Struktury netkaných textilií bývají, v porovnání s klasickými textiliemi, považovány za komplikovanější. Nejsou totiž ve většině případů složeny pouze z jednoho typu materiálu, tj. např. pouze z textilních vláken. V řadě případů obsahují pojivý případně armovací prvek. Popis jejich konkrétní struktury není snadný ani u dvou dimenzionálních (2D) textilií. Popsat strukturu 3D netkané textilie je ještě komplikovanější právě pro její třetí rozměr. To je jeden z řady důvodů proč úplná definice jejich struktury dosud chybí a je nahrazována tzv.

charakteristickými parametry struktury, mezi které patří např. vlákna, jejich orientace, počet kontaktů těchto vláken, resp. volný úsek vláken [4, 5, 8] a některé odvozené charakteristiky jako např. součinitel zaplnění objektu vláknem [6] apod. Ukazuje se však, že ani s těmito charakteristickými parametry nelze experimentálně pracovat s požadovanou přesností [15, 16, 17] právě pro problémy s jejich vizualizací, především pak u tří dimenzionálních textilií. Stereologie jako vědní obor, který se zabývá řešením těchto problémů, poskytuje odhady studovaných veličin objektů z údajů získaných měřeními na řezech či jejich projekcích [12]. Její aplikace v textilních strukturách se však pro experimentální obtížnost stereologických postupů často obchází nepřímým měřením. Používají se různá fyzikální měření, ze kterých lze usuzovat na charakteristický parametr struktury textilie (např. odhad orientace vláken z naměřených pevností netkané textilie apod.). Další komplikace s popisem textilních struktur přinesly tzv. složené struktury [19, 20], které vznikají proto, že tzv. jednoduché struktury představované běžnými 3D netkanými textiliemi nevyhovují v řadě případů pro svou malou soudržnost požadavkům ani zpracovatelů, ani uživatelů. Konstrukteři doplňují běžné struktury dalšími konstrukčními prvky, které zmíněný nedostatek odstraňují. V konkrétních případech je využíváno tzv. armovacích textilií nebo sítí, které jsou „přípevněny“ k jednomu nebo oběma povrchům kolmo kladeného rouna. Jejich „přípevnění“ k povrchu rouna může být provedeno buď klasickým postupem, tj. přilepením nebo mechanickým postupem, např. pomocí quasipřízí [48, 49]. Ve struktuře se armování projeví např. nárůstem počtu neprokluzujících kontaktů, v orientaci a v asymetrii rozložení neprokluzujících kontaktů. Schéma příkladu složené struktury 3D netkané textilie s armovací sítí je na obr. 1.



Obr. 1

Vlastnosti textilií získaných tímto způsobem byly již popsány v řadě prací [18, 19, 20, 21]. Pro své výhody jsou složené struktury využity i v této práci.

2.1.1. Prvky struktury a jejich analýza

Za prvky struktury zkoumaného objektu jsou obecně považovány takové jednotky objektu, které po definovaném sjednocení, strukturu zkoumaného objektu vytvoří. Jak již bylo uvedeno, prvky struktury musí být experimentálně, s dostatečnou mírou přesnosti odlišitelné a musí existovat korelace mezi vlastnostmi prvků struktury a vlastnostmi objektu, jehož strukturu tvoří [12]. Vhodnou kombinací (sjednocením) různých prvků struktury mohou jistě vznikat objekty různých vlastností. Lze předpokládat, že objekty složené ze shodných prvků struktury, s jejich rovnoměrným rozložením, budou vykazovat rovnoměrné rozložení vlastností v prostoru objektu. Objekty složené z rozdílných prvků struktury s jejich rovnoměrným rozložením, nebo i ze shodných prvků struktury nerovnoměrně rozložených, mohou za určitých předpokladů vykazovat v lokalitách určitých rozměrů rozdílné vlastnosti. Prvky struktury, v řadě prací nahrazované pojmem „strukturální charakteristika“, používané v teoretických modelech k popisu struktury netkaných textilií, jsou definovány ve většině prací pouze geometricky. Absentují definice fyzikálně-mechanických vlastností těchto prvků struktury. Experimenty však potvrzují, že jejich mechanicko-fyzikální vlastnosti, tj. stručně jejich kvalita, mají na vlastnosti objektu přinejmenším stejný vliv jako jejich geometrie [22] či jejich počet.

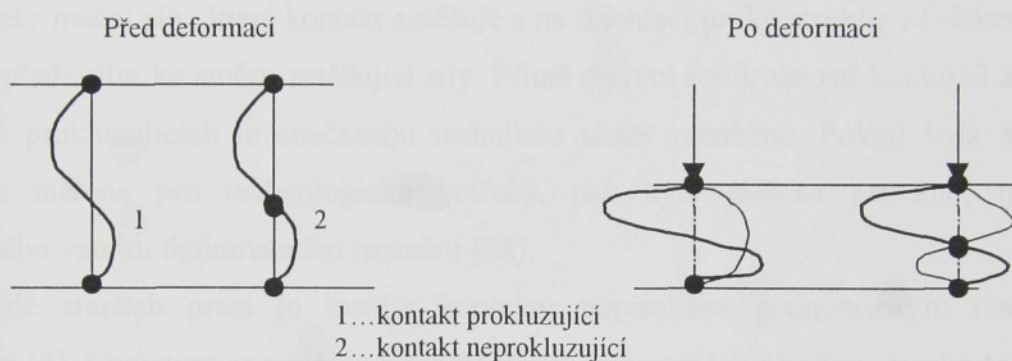
O důležitosti počtu kontaktů mezi prvky struktury v objektu, resp. o vlivu jejich počtu na vlastnost struktury, není pochyb. Svědčí o tom jak řada teoretických prací, které se zabývají především určením množství kontaktů, resp. jejich reciproké hodnoty, která vyjadřuje vzdálenost mezi kontakty [4, 6, 8], tak i řada prací experimentálních [53, 54].

Vliv „kvality“ kontaktu na vlastnosti struktury však není v literatuře zmiňován často. Uvádí se např. [27], že tuhost v ohybu netkaných textilií je obecně ovlivněna stupněm volnosti pohybu jednotlivých vláken v netkané textilii. Zmíněný stupeň volnosti, který není v citované práci přesněji definován, je ovlivněn hodnotou soudružnosti kontaktů (tedy kvalitou prvku struktury) [28]. Zmíněné odkazy pojednávají o tenkých (2D) netkaných textiliích.

O „prokluzujících“ a „neprokluzujících“ kontaktech v souvislosti se stlačováním shluku textilních vláken pojednává až práce autorů Carnaby, Pan [9]. Důležitost pojmu neprokluzující kontakt a prokluzující kontakt je teoreticky na modelu potvrzena a byla potvrzena i v aplikaci [21, 48], i když jakékoliv experimentální určení konkrétní hodnoty soudružnosti kontaktu v konkrétním výrobku je velmi náročné.

V souvislosti s problematikou řešenou v této práci je třeba podotknout, že při kompresi 3D netkaných textilií nedochází ve většině případů k porušení neprokluzujících kontaktů mezi vlákny (spojených např. pojivem nebo mechanicky). Tyto kontakty však nejsou dokonale tuhé a lze je jako ostatně i vlákna, které kontakty vytvářejí, rozdělit podle jejich chování v průběhu deformace a po deformaci na elastické, visko-elastické, případně visko-plastické [30, 31].

Zjednodušené schéma mechanismu možné deformace dvou vláken (se třemi kontakty) vybraných ze shluku charakteristického pro 3D netkané textilie, je možné znázornit podle obr. 2.



Obr. 2

Z takto zidealizovaného mechanismu lze usoudit na rozdíl v chování celého vlákenného shluku a tedy i netkané textilie. U shluku s prokluzujícími kontakty bude jeho chování závislé především na chování jednotlivých vláken. Každé vlákno bude mít snahu zaujmout polohu s minimální deformační energií. Prokluzující kontakty lze pravděpodobně dávat do souvislosti s již zmíněným, blíže však nedefinovaným stupněm volnosti vzájemného pohybu jednotlivých vláken [8]. Lze předpokládat, že stupeň volnosti konstrukčního prvku v kontaktu závisí na řadě faktorů, které lze ovlivnit technologickými podmínkami jeho realizace, tj. technologickými postupy výroby netkané textilie. Jiného stupně volnosti bude dosaženo např. po mechanickém zauzlování vláken, jiného po provázání svazku vláken (Arabeva), jiného po speciálním postupu pojení (adhezní, případně neadhezní styk pojivě a vlákenné fáze) [32].

U shluku s neprokluzujícími kontakty bude jeho chování závislé na chování svazků vláken pevně navzájem spojených (příhradové konstrukce, Svatoplukovy pruty). Lze proto očekávat větší odpor proti kompresi.

Za neprokluzující kontakt je v této práci považován takový, který při kompresi zachovává svou polohu na vláknech, která ho tvoří (poloha je měřena na křivce osy vlákna). Jejich počet se při deformaci nemění. Za takové je možné považovat kontakty spojené adhezí, kohezí nebo mechanickým vpichováním či spřádáním. Za prokluzující kontakt je považován takový, který nezachovává při deformaci svou polohu na vláknech. Počet takovýchto kontaktů s rostoucí deformací roste. Jsou to kontakty, ve kterých se vlákna pouze dotýkají, soudružnost takových kontaktů je závislá na tlaku mezi vlákny, který je vyvolán jejich deformací vnějším zatížením a na součiniteli tření. Kontakty nejsou tedy stabilní, deformací struktury původní kontakty zanikají, nové se vytvářejí.

Fyzikálně-mechanické projevy kontaktů, resp. jejich chování při deformaci, je závislé na směru deformační síly, která kontakt zatěžuje a na orientaci prvků struktury (vláken) tvořících kontakt především ke směru zatěžující síly. Přímé měření soudružnosti kontaktů a především kontaktů prokluzujících je současnou technikou téměř nemožné. Pokud byla soudružnost kontaktu měřena pro technologické potřeby, pak byla měřena nepřímo, tj. pevností zkoušeného vzorku definovaného rozměru [22].

V řadě starších prací je kvalita kontaktu popisována geometrickým tvarem místa propojení [8]. Literatura se zmiňuje o segmentové, aglomerační a bodové struktuře, fyzikálně-mechanické rozdíly těchto typů kontaktů však nejsou definovány. Je zmiňován význam adheze a význam tzv. kritické plochy definované jako $F_k = \frac{P_v}{P_a}$, kde P_v je pevnost vlákna v tahu [N], P_a je specifická adheze [$\text{N} \cdot \text{mm}^{-2}$], F_k je pak kritická kontaktní plocha [mm^2].

Přestože práce obsahují především vztahy a závislosti pro tahové deformace tenkých (2D) netkaných textilií, závěry, že mechanické vlastnosti závisí na

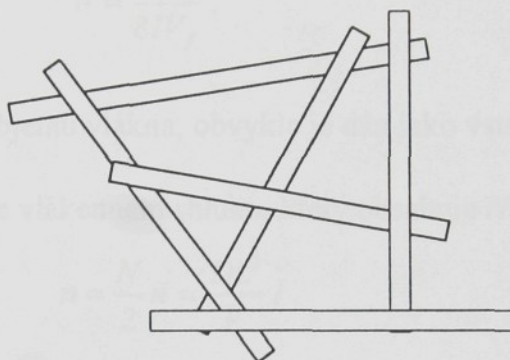
- vlastnostech vláken,
- vlastnostech kontaktů,
- distribuci kontaktů,

platí také pro 3D netkané textilie.

Detailnější analýze prvků struktury obecných vlákenných systémů, než jakou nabízejí zmíněné starší práce, je věnována řada prací z posledního období. Protože existují rozdílné přístupy autorů k definici prvků struktury i k výpočtům různých strukturálních charakteristik, existují i rozdíly v presentovaných výsledcích. Zmíněné rozdíly však nejsou pro účely této práce podstatné. Teoretických modelů struktury je v ní využito především pro **predikci**

způsobů jakými lze požadované vlastnosti struktury dosáhnout, nikoliv k určení kvalitativních charakteristik navržené struktury.

Protože prvky struktury musí vyhovět obecné definici [12], což je v řadě případů velmi obtížné splnit, pracují autoři, jak již bylo zmíněno s tzv. mikrostrukturálními charakteristikami, které si blíže definují sami. Pro různě modifikované současné analýzy mikrostrukturálních charakteristik [4, 6] je společné to, že autoři považují textilní produkt za dvoukomponentní systém složený z vláken a vzduchu, přičemž za typickou strukturní jednotku vlákenného shluku je považován element struktury např. podle obr. 3.



Obr. 3

Zobrazený element struktury obsahuje tři „části“. Kontakt mezi vlákny, délku vláken mezi kontakty a prázdný prostor mezi přilehlými vlákny. Dimenze těchto mikrostrukturálních parametrů jsou v relaci k rozměrům vláken, jejich objemovému podílu a k funkci hustoty orientace [4].

V pracích, studovaných v souvislosti s konstrukcí netkaných textilií s lokálně rozdílným kompresním odporem [4, 5], jsou odvozeny vztahy k výpočtu průměrného počtu kontaktů $\bar{n}$ na libovolném vlákně, středního počtu kontaktů $\bar{n}_l$, a střední délky $\bar{b}$ mezi středy dvou sousedních kontaktů na vlákně

$$\bar{n} = \frac{2DNI_f^2}{V} I, \quad (1)$$

kde I je faktor reflektující orientaci vlákna a je definovaný jako

$$I = \int_0^\pi d\theta \int_0^\pi d\phi J(\theta, \phi) \Omega(\theta, \phi) \sin \theta, \quad (2)$$

kde

$$J(\theta, \phi) = \int_0^\pi d\theta' \int_0^\pi d\phi' \Omega(\theta', \phi') \sin \chi(\theta, \phi, \theta', \phi') \sin \theta', \quad (3)$$

a kde
$$\sin \chi = \left[1 - (\cos \theta \cos \theta' + \sin \theta \sin \theta' \cos(\phi - \phi'))^2 \right]^{1/2}, \quad (4)$$

χ je úhel mezi libovolnými vlákny,

N je počet vláken válcového průřezu o průměru $D=2r_f$ a délky l_f ve vlákenném systému o objemu V .

$$\bar{n}_l = \frac{\bar{n}}{l_f} = \frac{2DNl_f}{V} I = \frac{2DL}{V} I, \quad (5)$$

kde $L = Nl_f$ je celková délka vláken v objemu V .

Reciproká hodnota $\bar{n}_l$ je střední délka $\bar{b}$ mezi středy dvou sousedních kontaktů na vlákně.

$$\bar{b} = \frac{\pi D}{8IV_f}, \quad (6)$$

kde $V_f = \frac{\pi D^2 L}{4V}$ je zlomek objemu vlákna, obvykle je dán jako vstupní parametr.

Pro celkový počet kontaktů ve vlákenném shluku, který obsahuje N vláken byl odvozen vztah

$$n = \frac{N}{2} \bar{n} = \frac{DL^2}{V} I. \quad (7)$$

Pro nesrovnalosti s vypočtenými a experimentálně zjišťovanými počty kontaktů byly uvedené vztahy modifikovány a pro výpočet počtu kontaktů na jednotku délky vlákna byl navržen vztah

$$\bar{n}_l = \frac{\bar{n}}{l_f} = \frac{8sV_f I}{l_f(\pi + 4V_f \Psi)}, \quad (8)$$

pro výpočet střední vzdálenosti mezi kontakty byl odvozen vztah

$$\bar{b} = \frac{l_f}{\bar{n}} = \frac{l_f(\pi + 4V_f \Psi)}{8sV_f I}. \quad (9)$$

Pro celkový počet kontaktů byl pak odvozen vztah

$$n = \frac{N}{2} \bar{n} = \frac{4sV_f I}{\pi + 4V_f \Psi}, \quad (10)$$

kde $s = \frac{l_f}{D}$.

Postup odvození byl aplikován i na 3D systém s náhodnou orientací vláken, pro který byly odvozeny následující vztahy

$$\bar{n} = \frac{8sV_f I}{\pi + 4V_f \Psi} = \frac{4sV_f}{2 + \pi V_f}, \quad (11)$$

$$\bar{n}_l = \frac{8sV_f I}{l_f(\pi + 4V_f \Psi)} = \frac{4V_f}{D(2 + \pi V_f)}, \quad (12)$$

$$\bar{b} = \frac{l_f \pi + 4V_f \Psi}{8sV_f I} = \frac{D(2 + \pi V_f)}{4V_f}, \quad (13)$$

$$\text{kde } I = \int_0^\pi d\theta \int_0^\pi d\phi J(0,0) \Omega(\theta, \phi) \sin \theta = \frac{\pi}{4}, \quad (14)$$

$$\text{a } \Psi = \int_0^\pi d\theta \int_0^\pi d\phi J(\theta, \phi) K(\theta, \phi) \Omega(\theta, \phi) \sin \theta = \frac{\pi^2}{8}. \quad (15)$$

Výpočet předpokládá znalost funkce hustoty orientace a pro 3D vlákenný systém, ve kterém jsou vlákna orientována náhodně, tj. není preferován žádný směr, se předpokládá, že funkce hustoty orientace má tvar $\Omega(\theta, \phi) = \frac{1}{2\pi}$. Předchozí vztahy byly odvozeny bez zřetele na kvalitu kontaktů. Předpokládá se a priori, že kontakty mají stejné vlastnosti jako vlákna sama [4], jsou považovány za geometrické body, takže jejich efekt se na systému neprojeví.

Tento příliš zjednodušující předpoklad další autoři nepřijímají a odvozují vztahy, které respektují rozdílnost kontaktů. Dělí kontakty na neprokluzující a prokluzující [5].

Určení počtu kontaktů mezi vlákny tvořícími vlákenný shluk a střední délky mezi středy dvou sousedících kontaktů je mezi teoretiky považováno za rozhodující pro popis vlákenného shluku. Vztahy pro výpočet těchto mikrostrukturálních charakteristik jsou neustále ověřovány a ani zdaleka je nelze považovat za konečné. Nové studie zobecňují zjednodušující pohledy na „zidealizované“ vlákenné systémy, ve kterých byly napřímené vlákenné elementy rozmístěny zcela náhodně, bez jakýchkoliv překážek mezi elementy a vlákna se mohla překrývat. Ve skutečném vlákenném systému se vlákna nepřekrývají a tak existují překážky, které ovlivňují pravděpodobnost vzniku kontaktu. Tato pravděpodobnost není na rozdíl od zidealizovaných teorií konstantní, ale klesá s rostoucím počtem vláken v systému. To vedlo k tomu, že dřívější teorie uvádějí počet kontaktů vyšší než je tomu ve skutečnosti [5].

Nové teorie definují pojmy „kritické“ nebo také „trvalé“ délky vláken λ , která závisí na napřímenosti vláken (jsou-li vlákna napřímená je λ maximum, jsou-li vlákna nepravidelně zkadeřená, klesá λ s rostoucí nepravidelností) a definují pojem „překážkový faktor“. Oba tyto faktory jsou zahrnuty do výpočtu průměrného počtu kontaktů a volné délky vláken. Aby bylo možné experimentem určit „trvalou délku λ “ pro daný vlákenný systém je třeba obdržet určitou autokorelační funkci [5], bohužel se autorům zatím nepodařilo určit způsob, jak ji nalézt. Zatím je uvažováno o využití ultrazvuku.

Přestože uváděné teoretické vztahy jsou poměrně komplikované, ukazují přinejmenším na důležitost přesné definice prvků struktury v souvislosti s jejich rozdílnými vlastnostmi a ukazují na důležitost pojmu „kvality prvků“ pro stavbu, tzv. konstrukčních jednotek definovaných v této práci.

2.1.1.1. Orientace prvků

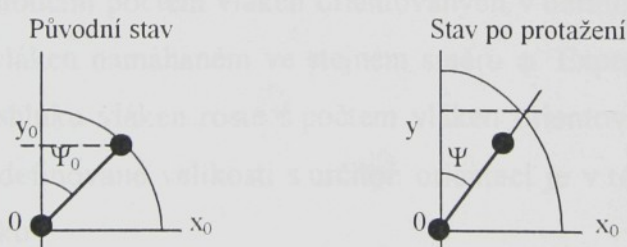
S pojmem orientace vláken se běžně pracuje a využívá se poměrně dobře praxí ověřené souvislosti „orientace“ s vlastnostmi textilních výrobků [26]. Je třeba podotknout, že i v běžné textilní literatuře je „orientace“ **intuitivním** pojmem. Ani v literatuře oboru netkaných textilií není vždy jednoznačně definována. Hodnoty orientace závisí totiž na délce vlákenného úseku, jehož „orientace“ je popisována. Popisem orientace vláken v textilních útvarech se zabývala řada autorů. Např. Neckář [6] popisuje orientaci vláken v rovině pomocí hustoty pravděpodobnosti neorientovaných úhlů

$$g(\vartheta) = \frac{2}{\pi} \frac{C}{\cos^2 \vartheta (1 + C^2 \tan^2 \vartheta)}, \quad (16)$$

kde $g(\vartheta) = 2f(\Psi)$, $f(\Psi)$ nazývá hustotou pravděpodobnosti směrového uspořádání vláken.

Ψ je úhel podle obr. 4, C je „mírou preference podélného směru“ vyjádřena poměrem

$\sqrt{\frac{f_{\max}}{f_{\min}}}$, přičemž $f_{\max}$ a $f_{\min}$ jsou maxima a minima hustoty pravděpodobnosti $f(\Psi)$.



Obr. 4

Komori a Makishima odvodili vztahy pro určení orientace vláken a jejich distribuci ve vlákenných shlucích tvořenými vlákny libovolně zkadeřenými [7]. K určení parametrů použitých ve vztazích lze, jak autoři tvrdí, využít stereologických metod. Ze zcela praktického důvodu - odstranění problémů s délkou hypoteticky napříměných elementů vláken, jejichž orientaci zjišťujeme [6] - jsou vztahy sestaveny pro infinitesimálně malé délky vlákna. Předpokládá se, že vlákna jsou hladké křivky, že distribuce délky vlákna je libovolná

a zanedbává se průměr vlákna. Autoři odvodili, že funkce hustoty orientace může být určena řešením rovnice

$$\nu(\Theta, \Phi) = L \int_0^\pi d\theta \int_0^\pi d\varphi A(\theta, \varphi; \Theta, \Phi) \Omega(\theta, \varphi) \sin \theta, \quad (17)$$

kde L je celková délka vláken v jednotce objemu, $\Omega(\theta, \varphi) \sin \theta$ je funkce hustoty orientace vláken, $\nu(\Theta, \Phi)$ je plošná hustota průsečíků vytvořených sekantovou plochou s orientací (Θ, Φ) a $A(\theta, \varphi; \Theta, \Phi)$ je definovaná jako $|\sin \theta \sin \Theta \cos(\varphi - \Phi) + \cos \theta \cos \Theta|$.

Aplikace metod stereologie k určení funkce hustoty orientace vede i k určení celkové délky vláken v jednotce objemu. Máme-li experimentálně určenou plošnou hustotu $\nu(\Theta, \Phi)$ počtu průsečíků jako funkci Θ a Φ , doporučují autoři řešit rovnici

$$\nu(\Theta, \Phi) = \lambda N \int_0^\pi d\theta \int_0^\pi d\varphi A(\theta, \varphi; \Theta, \Phi) \Omega(\theta, \varphi) \sin \theta, \quad (18)$$

jako integrální rovnici neznámé funkce $\Omega(\theta, \varphi)$ a určit tak celkovou délku vláken L .

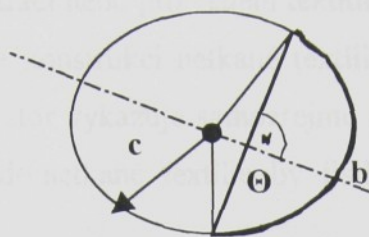
λ je délka napřímeného vlákna, N je počet vláken v jednotce [7].

Protože experimenty potřebné k měření orientace v 3D objektech jsou velmi náročné, nebyly v této práci prováděny. Vztahy jsou uváděny proto, že orientace má pro účely této práce význam při volbě typu struktury navrhovaných konstrukčních jednotek. Umožňují navrhnout vhodnou orientaci prvků struktury, v tomto případě lamel (kap. 3), vzhledem ke směru jejich zatěžování.

Z řady prací v oboru předení i z praktických zkušeností je známo, že s rostoucí hodnotou „orientace“, tj. s rostoucím počtem vláken orientovaných v definovaném směru např. φ roste soudržnost shluku vláken namáhaném ve stejném směru φ . Experimenty bylo potvrzeno, že i kompresní odpor shluku vláken roste s počtem vláken orientovaných do směru stlačování [25]. Shluk vláken definované velikosti s určitou orientací je v této práci považován za tzv. „konstrukční jednotku“.

2.1.1.2. Křivost a torze

Vlákna v 3D rounu připomínají na první pohled pruty soustavy (příhradové konstrukce) dobře známé z mechaniky. Teorie ohybu prutů jsou propracovány a není proto divu, že existují snahy různých autorů využít výsledků i pro popis chování deformované textilní vlákenné soustavy [23, 24]. Autor vychází z předpokladů, že vlákno je-li zatěžováno v ose, deformuje se do dokonale kruhového oblouku podle obr. 5.



Obr. 5

Ve své práci uvádí, že energie ohybu U v jednotce délky ohnutého elastického prutu s křivostí

$$k \text{ je } U = \frac{Gk^2}{2} \quad (19)$$

kde $G = \frac{\pi D^4}{64} E$; D ... průměr vlákna; E ... Youngův modul.

Z délky kruhového oblouku b a jeho tětivy c (viz obr. 5) odvozuje vztah pro křivost k ;

$$k = \frac{2}{b} f^{-1}\left(\frac{c}{b}\right) \quad (20)$$

$$\text{kde } b = \frac{\Theta}{k}; \quad \sin\left(\frac{\Theta}{2}\right) = k \frac{c}{2}.$$

Řešení pak spočívá v numerickém výpočtu inverzní funkce k funkci $f(x) = \frac{\sin x}{x}$ [23].

Pro konstrukci netkané textilie s lokálně rozdílným kompresním odporem lze s výhodou využít obou vztahů (19, 20) především v návrhu struktury s konstantní plošnou hmotností (kap. 3.3.1.1.).

Stejně jako reagují vlákna na zatížení změnou křivosti, reagují také torzí. Bylo zjištěno, že celková torze soustavy vláken se deformací nemění [25].

2.1.1.3. Prostory v anizotropických strukturách

Prázdný prostor je součástí struktury, lze ho dokonce považovat za prvek struktury (na rozdíl od poloměru křivosti nebo torze). Pro textilní konstrukce resp. určité funkce netkaných textilií jako např. filtraci nebo pro vedení tekutin (nasákavost, vzlínavost) je velmi důležitý. Je však zajímavý i pro konstrukci netkané textilie s lokálně rozdílným kompresním odporem, protože prázdný prostor vykazuje samozřejmě nulový kompresní odpor. Vhodné zabudování prázdných prostor do netkané textilie by jistě splnilo podmínku rozdílného kompresního odporu.

Prostory byly teoreticky popsány autory Komori a Makishima. K popisu používají pojmů „průměr kruhového otvoru“ a „volná délka“. Zjistili [2], že přibližné funkce hustoty pravděpodobnosti poloměru kruhového otvoru r a volné délky l lze vyjádřit vztahy

$$f(r) = 2\pi v(r + \rho) \exp\{-\pi v(r + \rho)^2\} \quad (21)$$

$$a \quad h(l) = n \exp\{-n(l + \lambda)\}, \quad (22)$$

kde v je počet průsečíků s rovinou α ,

$$v(\Theta, \Phi) = \Lambda \int_0^\pi d\theta \int_0^\pi d\varphi |\cos \chi| \Omega(\theta, \varphi) \sin \theta, \quad (23)$$

ρ je poloměr kruhové (náhradní) plochy vlákna σ ,

$$\sigma = \pi \rho^2 = \frac{\Lambda_{\sigma 0}}{v(\Theta, \Phi)}, \quad (24)$$

n je průměrný počet průsečíků s testovací linií na jednotku délky

$$n(\Theta, \Phi) = 2\rho_0 \Lambda \int_0^\pi d\theta \int_0^\pi d\varphi \sin \chi \Omega(\theta, \varphi) \sin \theta, \quad (25)$$

λ je délka vlákna,

l je „volná délka“ definovaná jako vzdálenost, podél které částice plovoucí ve vláknenné struktuře může projít bez ovlivnění základními vlákny,

r je poloměr kruhového otvoru – prázdného prostoru,

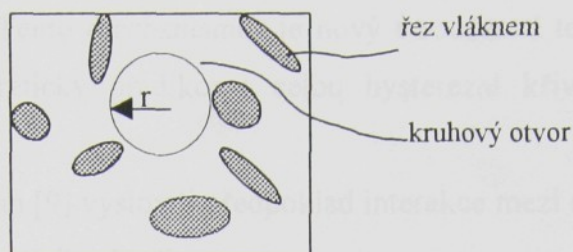
Λ je celková délka vláken ve zkoumané jednotce,

θ, φ jsou úhly testovací roviny,

Θ, Φ jsou úhly orientace vlákna,

χ je úhel mezi osou vlákna a kolmicí k jeho řezu testovací rovinou [2].

Základní představa vychází z obr. 6.



Obr. 6

Pro rychlé stanovení prázdných prostorů – pórů - jsou využívány „automatické“ metody pro zjišťování charakteristik tvaru pórů (ne pouze poloměrů náhradních otvorů), které k řešení využívají Fourierových řad funkcí ohraničujících póry [3]. Metody jsou zatím použitelné pouze pro tenké textilie.

Pro účely této práce bylo využito uvedených vztahů k zajištění dobré prodyšnosti textilií (k zajištění maximální volné délky l). Podle vztahu (22) je třeba uspořádat vlákna do směru proudění media textilií. K tomu lze s výhodou využít kolmého kladení vláknenných vrstev při výrobě rouna.

2.2. Současná teorie komprese vláknenných struktur

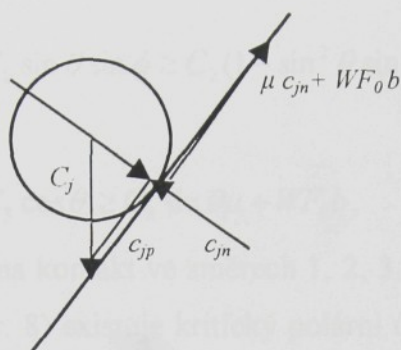
Teorie komprese vláknenných struktur konkretizovaných různými shluky vláken je rozpracována opět několika autory. Míra souhlasu teoretických závěrů s výsledky experimentu je ovlivněna, stejně jako při analýze prvků struktury, jednak experimentálními nepřesnostmi při aplikaci stereologických metod, jednak mírou zjednodušení teoretických předpokladů. Podstata problémů spočívá především ve „velké deformaci textilních systémů“ (s vyhovující přesností jsou zpracovány teorie popisující malé deformace) a v obtížné „vizualizaci“ prvků struktury ve třech dimenzích 3D textilie.

Teorie popisu komprese vláknenných struktur z posledního období [9, 13, 14] je založena na klasifikaci všech kontaktů vláken v systému na „prokluzující“ a „neprokluzující“ a na předpokladu, že o nich může být pojednáno samostatně. Jsou teoreticky odvozovány kompresní moduly a Poissonův poměr. Autoři využívají algoritmu, který pracuje s inkrementy geometrického systému, neuvažují viskoelasticitu systému [9]. Porovnání mezi teoretickými predikcemi a experimentem indikují, podle autorů, „rozumný“ souhlas.

Vychází ze základních studií [33, 34], které předpokládají, že kompresní deformace vláknenného shluku je přeměněna přímo v ohybové deformace individuálních vláken a že odpor vláknenného shluku proti vnějšímu zatížení je vyvolán pouze ohybovou energií vláken. Připouští se také, že komprese vláknenného shluku způsobí významné posuny vláken, z nichž

většina je ireversibilní. Tento mechanismus je nový v současné teorii komprese vlákných shluků a umožňuje teoreticky predikovat celou hysterezní křivku (složenou z komprese a dekomprese).

Autoři Carnaby a Pan [9] vyslovili předpoklad interakce mezi dvěma vlákny na libovolně vybraném bodu kontaktu podle obr. 7.



Obr. 7

Předpokládají, že totiž i absence externího zatížení aplikovaného na shluk vláken způsobuje existenci významných nenulových kontaktních sil mezi vlákny ve shluku, které dokonce brání vláknům zaujmout konfiguraci s jejich nejnižší energií právě kvůli vzájemným interferencím – frikčnímu brzdění prokluzů. Interpretaci tohoto předpokladu zapisují jako

$$WF = \mu' P + WF_0, \quad (26)$$

kde WF je síla potřebná k posunutí vlákna ve shluku,

P je vnější tlak aplikovaný na shluk vláken,

μ' je faktor proporcionality (s dimenzí délky),

WF_0 je hodnota WF když $P=0$.

Podle obr. 7 začne vrchní vlákno klouzat po spodním jestliže

$$C_{jp} \geq C_{jn} \mu + WF_0 b, \quad (27)$$

kde μ je součinitel tření, b je volná délka vlákna.

Pro celkové zatížení shluku pak definují

$$\sum_i C_{jp} \geq \mu \sum_i C_{jn} + WF_0 b, \quad (28)$$

celkové analytické řešení však nebylo zatím nalezeno. Autoři proto řeší speciální případ - jednoosou kompresi. Efekt prokluzu na geometrické parametry shluku vláken popisují třemi separátními rovnicemi:

pro $C_1 \neq 0, C_2=C_3=0$,

$$C_1 \sin \theta \cos \phi \geq C_1 (1 - \sin^2 \theta \cos^2 \phi)^{\frac{1}{2}} \mu + WF_0 b, \quad (29)$$

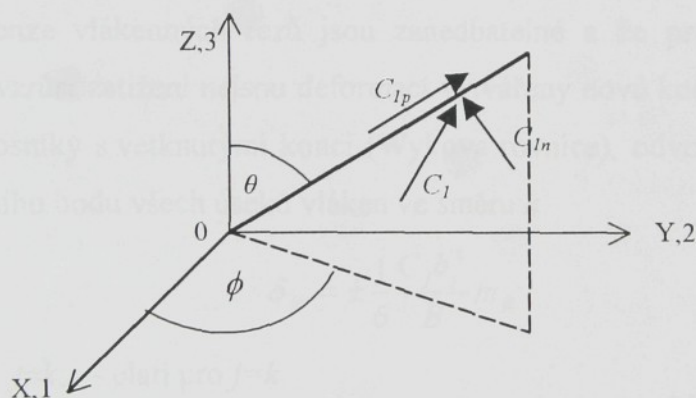
pro $C_2 \neq 0, C_1=C_3=0$,

$$C_2 \sin \theta \sin \phi \geq C_2 (1 - \sin^2 \theta \sin^2 \phi)^{\frac{1}{2}} \mu + WF_0 b, \quad (30)$$

pro $C_3 \neq 0, C_1=C_2=0$,

$$C_3 \cos \theta \geq C_3 \sin \theta \mu + WF_0 b, \quad (31)$$

přičemž C_1, C_2, C_3 jsou síly na kontakt ve směrech 1, 2, 3. Poslední rovnice odhaluje, že pro kompresi ve směru 3 (viz obr. 8) existuje kritický polární úhel θ_c , který určuje zda se vlákna v kontaktu budou chovat podle obr. 7, tj. zda dotýkající se vlákna proklouznou či nikoliv.



Obr. 8

Tento kritický úhel je nezávislý na azimutálním úhlu ϕ .

Autoři dále odvozují efektivní volnou délku vláken mezi neprokluzujícími kontakty b_j' jejíž hodnota závisí na směru j aplikované síly, střední hodnotu z projekcí b_j' do tří směrů $\bar{b}_{jj}'$ a efektivní počet kontaktů na jednotku objemu n_{vj}' orientovaný do tří směrů, kde

$$n_{vj}' = \frac{DL^2 I_j}{V}, \quad (32)$$

ve kterém jsou kontakty, které při deformaci proklouznou, eliminovány ve výpočtu I_j .

Za předpokladu, že SN je poměrná část kontaktů, které proklouznou odvozují vztah pro externí napětí

$$P_j = SNn_{\bar{b}j}C_{sj} + (1 - SN)n_{\bar{b}j}C_j, \quad (33)$$

kde C_{sj} je střední hodnota odporu prokluzujícího kontaktu s $\bar{b}$ a C_j je průměrná síla připadající na neprokluzující kontakt.

$$n_{\bar{b}j} = \frac{2LK_j}{V}, \quad (34)$$

$$SN = 4 \int_0^{x_{cj}} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \Omega(\chi_j, \tau_j) \sin \chi_j d\chi_j d\tau_j. \quad (35)$$

Autoři uvažují, že všechny neprokluzující kontakty nesou stejné zatížení

$$C_j = \frac{(P_j - SNn_{\bar{b}j}C_{sj})}{(1 - SN)n_{\bar{b}j}}, \quad (36)$$

kde

$$C_{sj} = 4 \int_0^{x_{cj}} d\chi_j \int_0^{\frac{\pi}{2}} d\tau_j \frac{\Omega(\chi_j, \tau_j) \sin \chi_j W F_0 b}{\cos \chi_j - \mu \sin \chi_j}. \quad (37)$$

Dále za předpokladu, že vlákna jsou identická, lineárně elastická v ohybu, že torze, stlačení a extenze vlákných řezů jsou zanedbatelné a že pro malé zatížení nebo pro inkrementální vzrůst zatížení nejsou deformací vytvářeny nové kontakty a za předpokladu, že vlákna tvoří nosníky s vetknutými konci (Wykova rovnice), odvozují autoři střední hodnotu průhybu středního bodu všech úseků vláken ve směru k

$$\delta_{jk} = \pm \frac{1}{6} \frac{C_j b_j'^3}{B} m_{jk}, \quad (38)$$

kde $+$ platí pro $j \neq k$; $-$ platí pro $j = k$.

Protože tento vztah lze aplikovat pouze pro malé deformace ohybových elementů nejsou zde citovány další detaily. Pro velké deformace vlákného shluku jako celku autoři předpokládají, že skutečné ohybové deformace vláken zůstávají malé (validizace tohoto předpokladu závisí na geometrii a částečně na vzdálenosti mezi kontakty). Pak inkrementální forma předchozí rovnice má tvar

$$\Delta \delta_{jk} = \pm \frac{1}{6} \frac{\Delta C_j b_j'^3}{B} m_{jk}. \quad (39)$$

Zmíněná teorie byla doplněna dalšími autory (Takashi Komori a Motoyoshi Itoh), kteří uvažují vláknennou masu jako shluk vláknenných elementů, jejichž individuální ohybové chování je sloučeno do celkové odpovědi masy na vnější deformaci [13]. Vláknennou masu

uvažují jako shluk elementárních vláken, která jsou spojena body kontaktu (dvě vlákna tvoří kontakt) a ohýbána při relativní změně polohy, když je masa stlačována. Předpokládají, že každý ohýbající se element vlákna má střední délku závislou na své orientaci. Dokazují, že směrová závislost ohybových elementů je základní faktor, který nesmí být v žádném případě ignorován. Upozorňují na důležitost klasifikace kontaktů ve shluku na prokluzující a neprokluzující, avšak zdůrazňují důležitost formulace vhodného kritéria pro jejich dělení.

Ve své další práci [14] autoři předkládají teorii založenou na „energetické metodě“. Masa vláken je uvažována jako síť složená z mnoha vláknenných segmentů, které jsou spolu spojeny po dvou do kontaktů a individuální chování segmentů je spojeno do celkové odpovědi masy na obecnou deformaci, tj. včetně komprese, tahu i smyku.

Moduly pružnosti a Poisonovy konstanty vztahují k hustotě orientace, k prostorové hustotě délky vláken a k vlastnostem vláken. Upozorňují na tři problémy, které je třeba v teorii mikromechanických modelů vláknenných systémů zodpovědět

- jak vztáhnout přemístění a deformaci vláken tvořících shluk k celé mase jako ke kontinuu;
- jakou energii uvažovat jako mechanickou odpověď každé části vlákna;
- jak sečíst lokální odpovědi přes celou masu.

Jiný model, který doplňuje předchozí představy [10, 55], předpokládá shluk vláken, ve kterém se vyskytuje mnoho vláknenných úseků různých směrů. Hustota pravděpodobnosti jejich výskytu je popsána frekvenční funkcí orientace $f(\alpha, \beta)$. Autor nahrazuje shluk vláken vektorovým polem, kde délky vektorů odpovídají zaplnění a směry vyjadřují orientaci. Zaplnění je definováno vztahem

$$\mu = \frac{V}{V_c} = \frac{Nl\pi d^2}{4V_c}, \quad (40)$$

kde V je souhrnný objem vláken v útvaru o celkovém objemu V_c ,

N je počet válcových vláken s průměrem d , délky l , v objemu V_c ,

a kde hustota kontaktů jako jejich počet v objemové jednotce je definován vztahem

$$\nu = \frac{n}{V_c} = \frac{16I}{\pi^2 d^3} \mu^2 = k_v \mu^2 \quad (41)$$

$$I = \int \int \int \int |\sin \chi| f(\alpha_B, \beta_B) f(\alpha_A, \beta_A) d\alpha_B d\beta_B d\alpha_A d\beta_A, \quad (42)$$

$$\text{a kde počet kontaktů v útvaru je} \quad n = \frac{N^2 dl^2}{V_c}, \quad (43)$$

kde k_v je konstanta zahrnující vliv jemnosti vlákna a jeho orientaci. Střední vzdálenost kontaktu autor definuje vztahem

$$\delta = \frac{NI}{2n} = \frac{\pi d}{8I\mu} = \frac{k_\delta}{\mu}, \quad (44)$$

konstanta k_δ zahrnuje vliv jemnosti a orientace.

Autor také definuje tlak vzniklý deformací vlákenného shluku vztahem

$$p = k_p \mu^3, \quad (45)$$

kde $k_p = \frac{2k_F y_0^2}{\pi d^2 k_\delta h_0^3 \mu_0}$ je souhrnná konstanta charakterizující vliv hmoty, tvaru a uspořádání vláken.

Autor upozorňuje na důležité zjištění, že v nezatíženém shluku výpočtem vychází počáteční tlak $p_0 = k_p \mu^3 \neq 0$ při $\mu = \mu_0$, který je zřejmě zachycován pasivními odpory mezi vlákny struktury. (Pozn.: Tento fakt je jedním z předpokladů, se kterým pracují Carnaby a Pan [9]).

Autor zavádí pojem mezního zaplnění μ_m a pojem nestlačitelný objem vláken

${}^mV = KV_c V \mu = KV_c k_v \mu^3$. Tohoto vztahu autor využívá k upřesnění vztahu pro určení tlaku v deformovaném shluku vláken

$$p = \frac{k_p \mu^3}{\left(1 - \frac{\mu^3}{\mu_m^3}\right)^3}. \quad (46)$$

Pro praktické výpočty doporučuje nahradit rovnici pro výpočet p obecnou parabolou $p = k_p c \mu^b$, hodnoty b , c určuje aproximací z předchozího výrazu (46).

2.3. Jednotka struktury a konstrukční jednotka

Pravidla syntézy prvků ve výsledný produkt jsou ve vztahu k jeho vlastnostem stejně důležitá jako prvky struktury samé. Je zřejmé, že vlastnosti produktu složeného ze stejných prvků struktury (počet, geometrie i kvalita) uspořádaných v jednotce objemu izotropně budou jiné než při uspořádání anizotropním. Příkladem prvního případu je kolmo kladená netkaná textilie zpevněná natavením pojivých vláken teplem v komoře, ve které je horký vzduch výrobkem prosáván - neprokluzující kontakty jsou rozděleny rovnoměrně v celém objemu výrobků. Příkladem druhého případu je netkaná textilie, která je v komoře horkým vzduchem ofukována z obou stran - neprokluzující kontakty jsou pak vytvořeny ve větší míře u povrchu

rouna, kolem neutrální osy je počet neprokluzujících kontaktů mnohem menší, než u jeho povrchů. To se samozřejmě projeví v hodnotě kompresního odporu výrobku.

Jak je zřejmé z tohoto příkladu, lokálně rozdílné rozložení prvků struktury ve sledovaném objektu (v objemu, na průřezu) skutečně ovlivňuje jeho mechanicko-fyzikální vlastnosti. Pak naopak lze důvodně předpokládat, že lokálně rozdílného rozložení prvků struktury lze využít k plánované změně vlastností výrobků.

Publikace o vlivu lokálně rozdílného rozložení prvků struktury v 3D netkané textilií na její vlastnosti, dosud neexistují.

Studie prováděné v diplomových pracích na KNT, ve kterých bylo posuzováno chování produktu při stlačování v souvislosti s délkou volných úseků vláken mezi kontakty, nevypovídaly jednoznačně ani o vlivu těchto úseku na zotavovací schopnost produktu ani o vlivu těchto úseků na velikost deformace při definovaném zatížení [15, 16, 17]. Důvod spočíval, podle názoru autorů prací, v nepřesnosti stereologických měření.

Je zřejmé, že velikost lokalit, ve kterých je mikrostruktura definována jako „jednotná“ a velikost lokalit, na kterých je prováděno měření (je určena velikostí měřících čelistí), ovlivní výsledný popis struktury. Stejně tak je zřejmé, že velikost lokalit, na kterých je prováděno měření, může kolísat mezi **minimální hodnotou**, v tom případě je velikost této lokality rovna velikosti prvku struktury a **maximální hodnotou**, kdy velikost této lokality je rovna velikosti objektu - produktu.

Pro konstrukci a především pro realizaci navrhované struktury netkané textilie je důležitá taková definice lokality objektu (co do velikosti, tvaru i počtu prvků struktury), kterou lze plynule ovlivňovat změnou parametrů technologie. V této práci je taková lokalita nazvána **jednotkou struktury**. Násobky velikosti jednotky struktury i parametrů jejího tvaru pak lze snadno definovat (a také realizovat) tzv. **konstrukční jednotky**. Jejich velikost závisí na požadovaných užitečných vlastnostech výrobku. Vhodnou definicí **jednotky struktury** objektu je zajištěna vazba mezi strukturou netkané textilie a její výrobní technologií. Bez takovéto vazby není úspěšná realizace 3D netkané textilie s lokálně rozdílnými vlastnostmi možná.

2.4. Shrnutí

Pro konstrukci 3D netkaných textilií s lokálně rozdílným kompresním odporem lze s výhodou využít teoretických představ autorů formulovaných do vztahů (33, 34, resp. 43, 45). K jejich formulaci položila základ řada prací autorů již citovaných v předchozím [9, 10, 13, 14, 55]. Také jejich dílčí výsledky např. (11, 12, 13) lze s výhodou využít k návrhu struktury dvou typů konstrukčních jednotek, jejichž vhodná syntéza by vedla ke konstrukci

textilní podložky, o které lze předpokládat, že bude vykazovat lokálně rozdílný kompresní odpor v lokalitách o velikosti použitých konstrukčních jednotek.

Teoretické představy citovaných autorů jsou v této práci využity i pro návrh konstrukce textilního dynamického systému, jehož funkce je založena na využití změny hustoty orientace prvků struktury ke změně kompresního odporu. Reálnost této představy bude ověřena experimentem.

Objasnění role, kterou hrají prokluzující kontakty v kompresním odporu (29, 30, 31, 33) vede k technologiím, které omezují počet prokluzujících kontaktů a tak ke zvýšení kompresního odporu výrobku. K zajištění lokálně rozdílného kompresního odporu se tak nabízí řada dalších zajímavých řešení. Pokusy v tomto směru však tato práce neobsahuje.

3. PRAKTICKÉ ASPEKTY PROBLÉMU

Kompresní vlastnosti 3D netkaných textilií vystupují do popředí zájmu uživatelů při jejich praktickém využití, ať v čalounictví, automobilovém průmyslu nebo ve zdravotnictví. Ve většině případů jsou spojovány s elasticitou a trvalými deformacemi výrobků. Jsou to vlastnosti, které se projevují jako reakce textilního materiálu na jeho deformaci a charakteristické pro ně jsou jejich časové závislosti. Uživatelé textilií ne vždy zajímá jejich chování v průběhu deformace, ale zcela určitě ho zajímá chování výrobku bezprostředně po ukončení deformace a chování výrobku několik hodin po ukončení deformace. Zajímají ho především globální změny výrobku např. změna rozměrů, již méně ho zajímají geometrické změny ve struktuře. Pro uživatele jsou proto vypracovány různé, účelově zaměřené metody měření i způsoby deformování textilií. Jsou popsány v normách ČSN, v doporučeních EDANA i v amerických normách ISTM. S metodami pro určení geometrických změn struktury je situace mnohem komplikovanější.

3.1. Popis deformace struktury při kompresi

Ucelená studie o geometrických změnách struktury 3D netkaných textilií při kompresi nebyla dosud zpracována. Existují pouze dílčí studie prováděné, buď v rámci diplomových prací na katedře netkaných textilií [11, 38, 40] nebo účelové publikace, které neobsahují potřebné detaily [26, 35]. V současné době nejsou autorovi k dispozici ani metody popisu, ani zařízení, které by s přijatelnou mírou přesnosti reprodukce experimentu umožnily popsat změny prvků deformované textilní struktury. Proto je v této práci využito běžného postupu, kdy je popis deformace prvků struktury nahrazován popisem závislosti napětí na deformaci, a to nikoliv jediného prvku struktury, ale struktury celého objektu předem definované velikosti. Popisem je pak deformační křivka.

První studie o geometrických změnách struktury resp. o borcení vlákenné struktury při kompresi [11] nebyla dosud pro obtížnost experimentu ověřena a proto ani publikována. Pro potřeby této práce jsou uvedeny pouze základní poznatky.

3.1.1. Měření kompresibility

Měření kompresibility spočívá v měření odporu, který klade deformovaný objekt proti kompresi v závislosti na deformaci. V této práci se vždy jedná o jednoosé deformování zkoumaného vzorku. Měření se provádí mezi dvěma rovnoběžnými deskami definované

velikosti, které tvoří „testovací čelisti“ měřicího zařízení. Většinou se posuzuje průběh tzv. deformační křivky, v některých případech její 1. a 2. derivace, případně integrální křivka [37, 38]. Pokud nás zajímají i časové závislosti kompresibility, posuzují se, kromě zatěžovacích křivek, relaxační nebo krepové křivky případně jejich derivace či integrální křivky. Při dynamickém zatěžování se hodnotí kromě dynamických modulů také např. zpoždění napětí za deformací [30, 31] apod. S výhodou je toto možné provádět při počítačových simulacích dynamické deformace nebo dynamického zatěžování [30, 38].

Na katedře netkaných textilií Technické univerzity v Liberci byla cílená měření kompresibility 3D netkaných textilií zahájena až v souvislosti s vývojem tzv. kolmo kladené textilie označované STRUTO. K měření bylo a dosud je využíváno běžného trhacího stroje doplněného přípravkem pro transformaci tahové deformace vzorku na deformaci tlakem. V této souvislosti byla vyvinuta řada měřících přípravků a testovacích postupů s cílem nalézt charakteristiky umožňující jednak vzájemné porovnání vlastností 3D netkaných textilií, jednak jejich porovnání s PU pěnou. Práce využívající zmíněné testovací postupy potvrdily, že kompresibilitu ovlivňují

- parametry textilních vláken,
- geometrické uspořádání vláken v 3D textilií,
- počet a kvalita kontaktů mezi vlákny,
- rozložení kontaktů v průřezu netkané textilie.

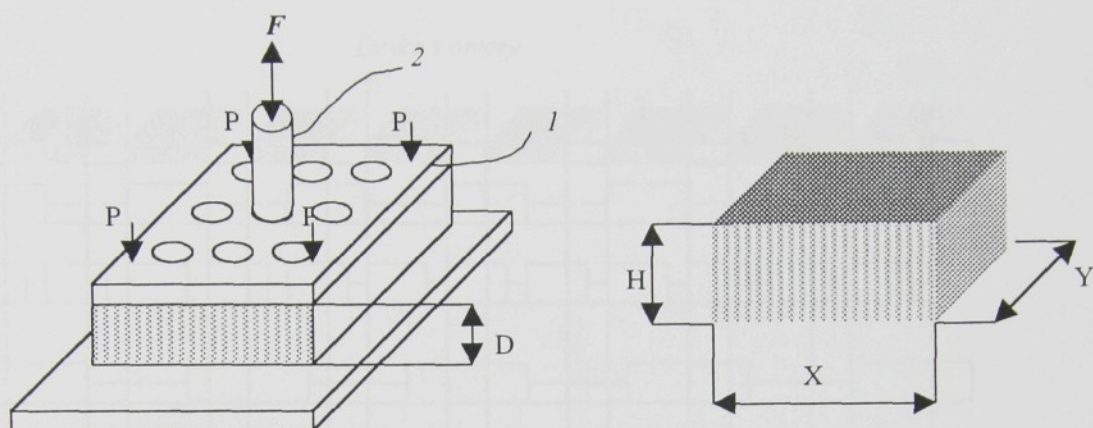
Je zřejmé, že tyto experimentální poznatky nejsou v rozporu s teoretickými pracemi zmíněnými v předchozím textu. Popsaný postup měření však neposkytuje žádnou informaci o deformaci struktury na úrovni lokalit blízkých se svými rozměry velikosti jednotlivých prvků struktury nebo alespoň jejich vhodně definovaným násobkům, např. konstrukční jednotce, protože proměřovaná lokalita je plocha řádově větší než je rozměr prvku struktury. V konkrétním případě má plocha čelisti rozměr 100 cm^2 .

Hodnoty mechanicko-fyzikálních veličin, proměřované na lokalitě 100 krát menší, tj. na lokalitě o velikosti 1 cm^2 jsou detailněji sledovány poprvé v této práci, publikovány byly pouze dílčí výsledky [62]. Hodnoty odporu naměřené na lokalitě 1 cm^2 jsou v této práci nazývány **lokálním kompresním odporem**.

3.1.1.1. Měření lokálního kompresního odporu

Pro měření lokálního kompresního odporu byly navrženy jak postupy měření a vyhodnocení, tak i velikost a tvar proměřované lokality. Proměřovanou lokalitou je kruh

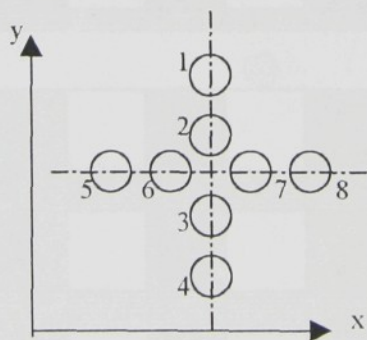
o průměru 11,5 mm. Schéma přípravku, který umožňuje „osahat“ plochu vzorku **zdeformovaného** s původní výšky H na výšku D zatížením P a tak lokální odpor měřit, je na obr. 9 a obr. 10.



Obr. 9

Otvory o průměru 20 mm v děrované tuhé desce I , která udržuje vzorek textilie zdeformovaný na tloušťku D v celém průběhu měření, je do vzorku vlačován trn 2 o průměru 11,5 mm. Síla F potřebná k zatlačení trnu do definované hloubky je snímána a graficky registrována. K měření a k záznamu výsledků je vhodné využít přístroje INSTRON typ 4441.

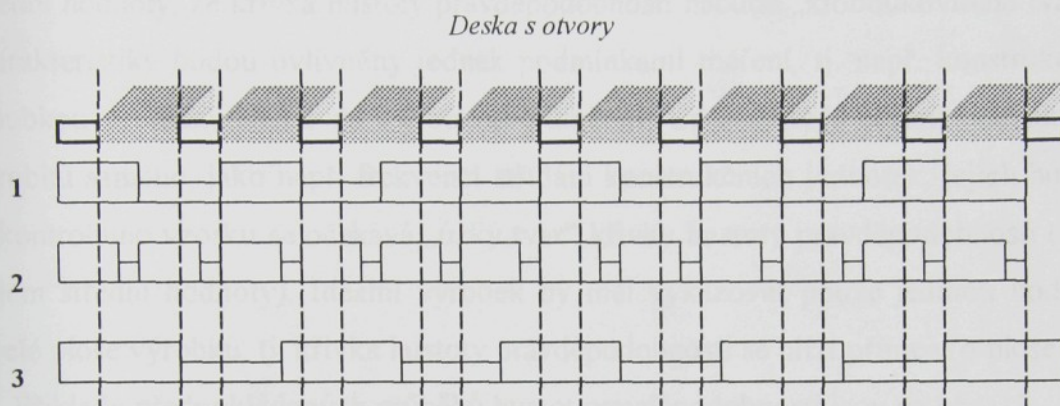
Z technického důvodu, kterým je málo prostoru v měřicím místě, je nutné vzorek proměřovat pouze v „kříži“ postupem podle obr. 10.



Obr. 10

Číselné označení otvorů v desce I je využito v označování vzorků v tab. 2.

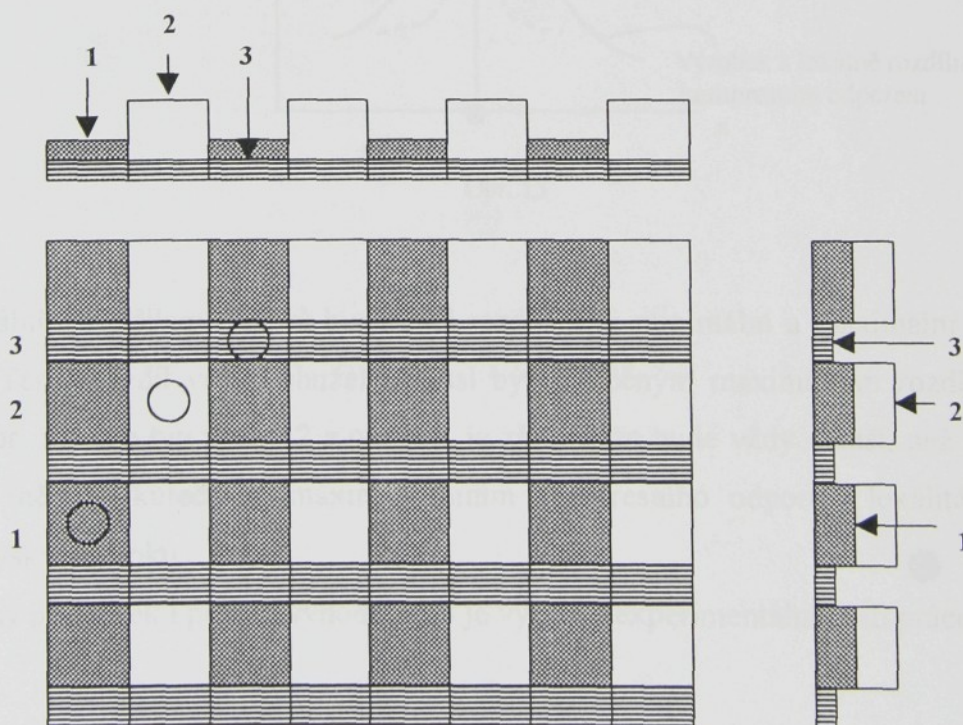
Protože rozteč otvorů v přitlačné desce *I* a rozteč lokalit rozdílných struktur ve výrobku (konstrukčních jednotek) nelze jednoduše ztotožnit, budou naměřené hodnoty odporu sousedních lokalit závislé na místě měření např. podle obr. 11.



1, 2, 3, typ netkané textilie s různě velkými konstrukčními jednotkami (lokalitami s různou strukturou).

Obr. 11

Lze předpokládat, že bude výhodné pokládat přitlačnou desku *I* na textilní vzorek podle schématu na obr. 12. U vzorku č. 1 bude tak první otvor přitlačné desky v poloze 1, u vzorku č. 2 v poloze 2 a u vzorku č. 3 v poloze 3 (viz tab. 2, pořadové číslo vzorku).

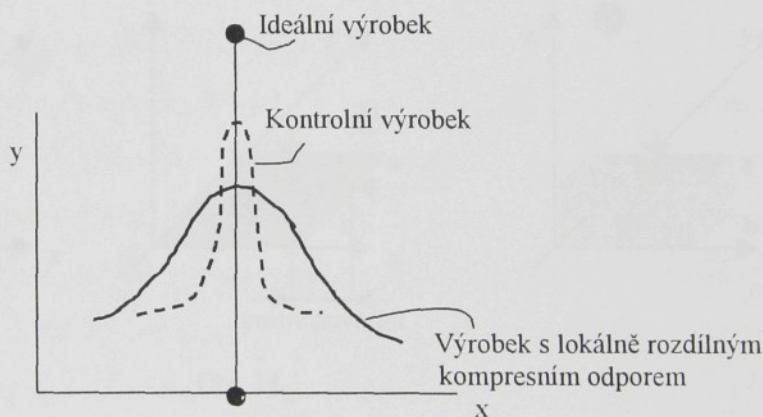


Obr. 12

Střední hodnota odporu i rozložení hodnot kolem této střední hodnoty bude tímto postupem, tj. nenáhodným pokládáním přitlačné desky na povrch vzorku, jistě ovlivněno.

Vyhodnocení naměřených hodnot je založeno na předpokladu, že u výrobku s lokálně rozdílným kompresním odporem budou hodnoty rozloženy v širokém intervalu kolem jejich střední hodnoty, že křivka hustoty pravděpodobnosti nabude „kloboukovitého tvaru“ a že její charakteristiky budou ovlivněny jednak podmínkami měření, tj. např. konstrukcí přípravku, hloubkou proniknutí trnu do výrobku, průměrem trnu, roztečí otvorů, jednak vlastnostmi výrobku samého, jako např. frekvencí střídání konstrukčních jednotek, jejich hustotou apod. U kontrolního vzorku se očekává „úzký tvar“ křivky hustoty pravděpodobnosti (malý rozptyl kolem střední hodnoty). Ideální výrobek by měl vykazovat pouze jedinou hodnotu odporu v celé ploše výrobku, tj. křivka hustoty pravděpodobnosti se blíží přímce (o ploše rovné 1).

Příklady předpokládaných průběhů hustot pravděpodobností jsou na obr. 13.



Obr. 13

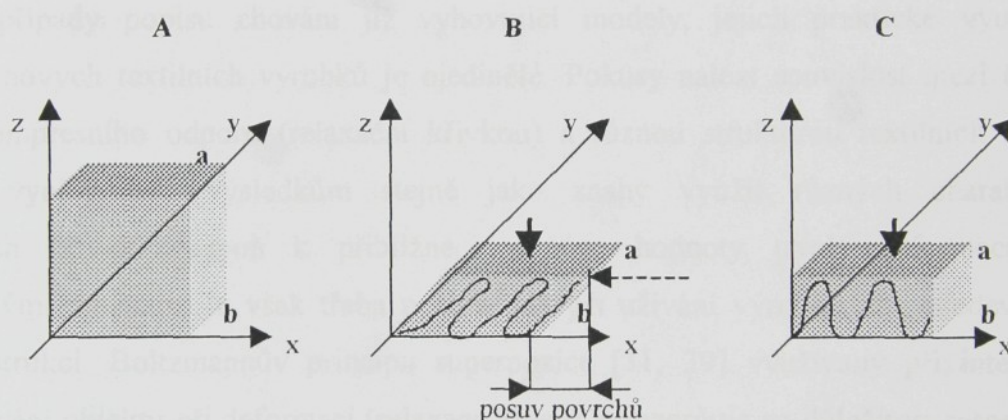
Maximálním rozdílem odporů bude jistě rozdíl mezi minimální a maximální naměřenou hodnotou. Tento rozdíl však bohužel nemusí být skutečným maximálním rozdílem, jak je zřejmé z obr. 11. Pro typ vrstvy 2 z obr. 11 je zřejmé, že bude vždy menší, než jaký by byl zjištěn při měření skutečných maxim a minim kompresního odporu v lokalitách „velké“ a „malé“ výšky výrobku.

Popsaný přípravek i postup vyhodnocení je využit v experimentální části práce.

3.1.2. Změny ve struktuře

Vizuální sledování geometrických změn tří stěn krychle, vyříznuté z 3D netkané textilie, při kompresi [11] poskytlo velmi zajímavé informace. Lze jimi vysvětlovat řadu zjištěných anomálií v chování 3D netkaných textilií jako např. zakřivení průběhu zatěžovacích křivek apod.

Cílem popisovaného experimentu bylo sledovat rozměrové změny krychle při jednoosé deformaci, kdy krychle byla postupně zatěžována v každé své ose x , y , z (vždy byl použit nový vzorek). Při pozorování rozměrových změn však bylo zjištěno, že v řadě případů docházelo díky speciální orientaci vláken v krychli k takovému jejímu borcení, které se vyznačovalo vzájemným posuvem povrchů (a , b) podle obr. 14. **A** značí krychli před deformací, **B** po deformaci kompresí.



Obr. 14

Právě tohoto jevu je navrhováno využít při konstrukci, tzv. systémů s proměnným kompresním odporem, kdy jevu „napřímení krychle“ smykovým namáháním výrobku by mohlo být využito ke změně struktury v konstrukční jednotce a tak ke změně jejího kompresního odporu. Návrh je založen na předpokladu, že každé geometrické změně struktury náleží změna v odporu této struktury proti deformaci. Lze proto důvodně předpokládat, že každé vzájemné poloze povrchů (a , b) podle obr. 14 odpovídá jiný kompresní odpor. Poloha **C** v obr. 14 zobrazuje idealizovanou představu předpokládaného tvaru lamel po uměle vyvolaném posuvu povrchů.

Aplikace tohoto principu „ovládání“ kompresního odporu ve zmíněných systémech předpokládá realizovat vzájemný posuv povrchů při zatížení textilie. Rychlost posuvu povrchů by byla závislá od požadavku na časový průběh změny kompresního odporu.

Praktické využití tohoto faktu by znamenalo další pokrok při vývoji různých typů matrací s textilní vložkou, u kterých lze očekávat jistý fyzioterapeutický účinek.

3.2. Změny vlastností vyvolané kompresí

Je známo, že opakovaným stlačováním textilních výrobků (cyklické zatěžování na konstantní deformaci) dochází k poklesu maximálního odporu i hystereze. Tento jev je zohledněn i v různých zkušebních normách (DIN 54305). Pro hodnocení výrobků se proto využívají hodnoty naměřené až v pátém cyklu deformace.

Časové závislosti (kreep, relaxace) sledovaných veličin textilních výrobků „kopírují“ reologické vlastnosti textilních materiálů [30, 31]. I když reologové dokáží sestavit pro konkrétní případy popisu chování již vyhovující modely, jejich praktické využití při konstrukci nových textilních výrobků je ojedinělé. Pokusy nalézt souvislost mezi časovou změnou kompresního odporu (relaxační křivkou) a různou strukturou textilních systémů nevedly k využitelným výsledkům stejně jako snahy využít různých charakteristik zatěžovacích křivek alespoň k přibližné prognóze hodnoty trvalé deformace [38]. S reologickými změnami je však třeba počítat, jak při užívání výrobků, tak především při jejich konstrukci. Boltzmannův principu superpozice [31, 39] využívaný při integrálním popisu chování objektu při deformaci (relaxace kreep), upozorňuje na důležitost respektování „historie deformace“ zkoumaného objektu a tak nepřímou navádí ke zkoumání vlastností při simulovaném „pracovním zatížení“ výrobku. Při měření lokálního kompresního odporu je tento princip respektován (viz obr. 9).

3.3. Struktury netkaných textilií s lokálně rozdílným kompresním odporem

Jak již bylo uvedeno, hodnoty odporu proti kompresi s minimálním rozptylem kolem střední hodnoty měřené v náhodně vybraných místech plochy výrobku (čidlem velikosti 100 cm²) jsou samozřejmostí pro běžné uživatele 3D netkaných textilií, stejně jako „hladký“ povrch textilie, tj. takový, jehož strukturální nerovnosti se „neprokopírují“ další, většinou potahovou textilií, na povrch konečného výrobku. Oba požadavky jistě splňuje textilní struktura sestavená z prvků struktury **stejně** kvality rovnoměrně rozloženými v celém objektu textilie. Struktura s rovnoměrně rozloženými prvky struktury **různé** kvality bude splňovat požadavek „konstantního“ odporu za předpokladu, že rozměr zkoumané lokality objektu

definovaný velikostí měřicí plochy F tlakové čelisti bude mnohem větší než rozměr samotných prvků struktury. Pojem lokální odpor je tedy v tomto smyslu pojmem relativním. Je-li velikost plochy měřicí čelisti $F \gg$ rozměr lokality objektu f shodných prvků struktury (viz kap. 2.3.), pak lze naměřené hodnoty odporu považovat za hodnoty „**průměrného kompresního odporu**“. Je-li velikost plochy měřicí čelisti $F \geq f$, pak lze naměřené hodnoty považovat za hodnoty „**lokálního kompresního odporu**“. Takové rozdělení kompresního odporu je užito v této práci.

3.3.1. Prvky struktury a konstrukční jednotky netkaných textilií s lokálně rozdílným kompresním odporem

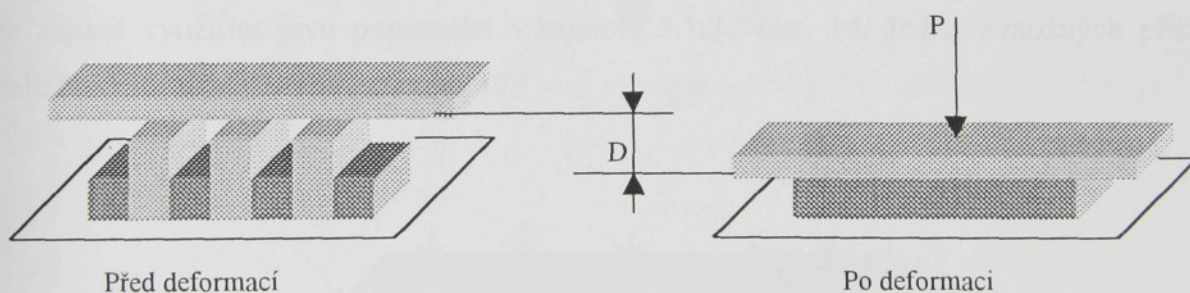
Prvky struktury netkaných textilií nejsou ve většině případů vhodnými objekty pro přímou aplikaci při konstrukci textilie, jak již bylo naznačeno v kap. 2.3. Svou úrovní ani způsobem popisu nenavazují totiž na technologické parametry výrobního zařízení. Ve většině případů nelze na zařízení plynule „nastavit“ například orientaci, volný úsek vlákna mezi kontakty ani poloměr křivosti, torzi, ani tvar volného prostoru mezi vlákny. Zatím prvky struktury „neodpovídají“ řídicí úrovni techniky. Změny mikrostrukturálních parametrů, pokud je lze vůbec v průběhu technologického procesu plánovitě provádět, se v mnoha případech uskutečňují skokem (orientace, počet neprokluzujících kontaktů), nikoliv plynule. Aby se odstranila tato „nespojitosť“ mezi řídicími parametry technologie a prvky struktury, tj. odstranila se nemožnost změnit jednotlivý prvek struktury přímou změnou technologického parametru, byl v této práci uplatněn pojem **jednotka struktury**. Vzniká sjednocením základních prvků struktury do takového vyššího celku, jehož velikost lze v technologii nejen realizovat, ale také do jisté míry změnou technologických parametrů měnit. Spojováním jednotek struktury lze vytvářet různé lokality objektu. Definicí pravidel syntézy a definicí rozměrů těchto lokalit vzniklých syntézou jsou vytvářeny **konstrukční jednotky**, které jsou základem konstrukce textilií s lokálně rozdílnými vlastnostmi.

Obecně známé prvky struktury byly tak v této práci sjednoceny do vyššího celku - do jednotky struktury. **Jednotkou struktury** textilie s lokálně rozdílným kompresním odporem je **lamela**. Definovanou syntézou lamel do lokalit požadovaných rozměrů vznikne konstrukční jednotka. Nejmenší konstrukční jednotkou může být v tomto případě lamela. Prvky struktury lamely jsou pak samozřejmě již známé kontakty, volná délka mezi kontakty, orientace vláken apod. Kvalitu žádného z nich však nelze při výrobě pavučiny plynule ovládat.

Konkrétní konstrukční jednotky používané v této práci jsou lokality s definovanou délkou lamely a definovaným počtem lamel na jednotku délky (viz . obr. 26).

3.3.1.1. Využití konstrukčních jednotek s konstantní plošnou hmotností

Využití konstrukčních jednotek s konstantní plošnou hmotností lze demonstrovat na objektu sestaveném minimálně ze **dvou** konstrukčních jednotek, jejichž plošná hmotnost je shodná, jejich strukturální charakteristiky jsou různé. Každá konstrukční jednotka obsahuje tytéž jednotky struktury - lamely - avšak různé kvality (viz obr. 26). Liší se **výškou lamel** a jejich **četností** na jednotku délky. Uspořádání konstrukčních jednotek v netkané textilií je zřejmé z obr. 15. Lze předpokládat, že při určité deformaci D bude k deformaci vysokých lamel (s nižší četností) zapotřebí jiné síly P , než k deformaci nízkých lamel (s vyšší četností). Lze také předpokládat, že při určité deformaci D „více zborcené“ vyšší lamely budou vykazovat menší odpor proti kompresi než lamely ještě napřímené nebo „méně zborcené“ (po deformaci je již hustota $\rho = \rho_1 = \rho_2$). Předpokládané chování objektu s konstantní plošnou hmotností je odvozeno z poznatku rozdílného chování textilních struktur s „vyšší“ a „nižší“ orientací prvku struktury do směru zatížení [26] a poznatků o vzpěrné pevnosti.

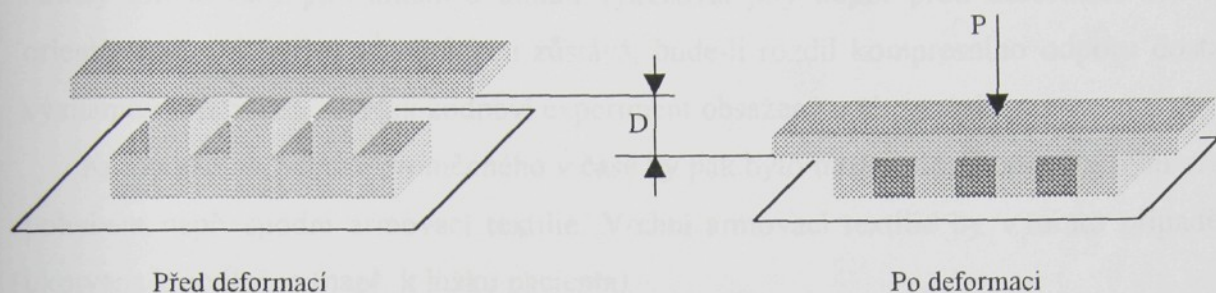


Obr. 15

3.3.1.2. Využití konstrukčních jednotek s rozdílnou plošnou hmotností

Tento typ objektu je sestaven rovněž minimálně ze **dvou** konstrukčních jednotek, jejichž jednotky struktury jsou lamely z pavučiny orientované vertikálně k rovině netkané textilie. Lamely v konstrukčních jednotkách se mohou lišit např. výškou, četnost lamel na jednotku délky může být shodná. Pak plošná hmotnost konstrukčních jednotek bude jistě rozdílná. Uspořádání konstrukčních jednotek ve výrobku je zřejmé z obr. 16. V tomto případě je

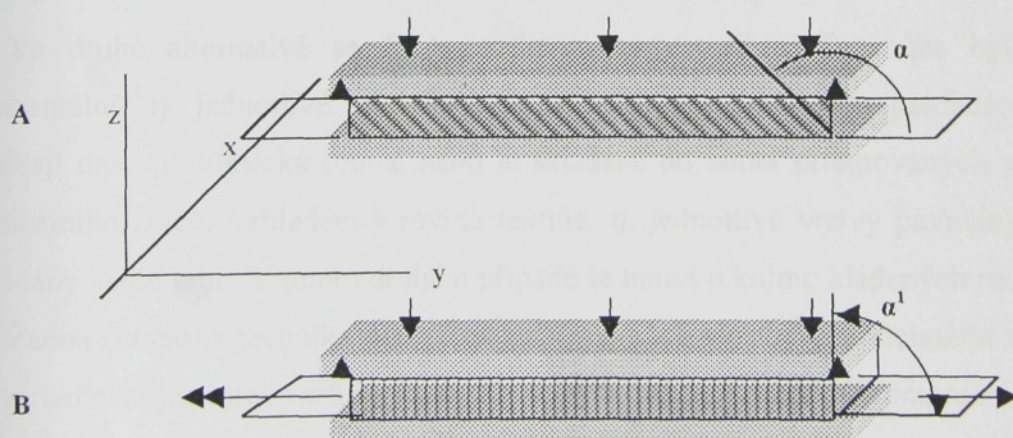
využito známého faktu, že deformace většího množství materiálu v jednotce objemu, tj. deformace lokality objektu s větší hustotou (větším zaplněním), vyžaduje větší síly.



Obr. 16

3.3.2. Textilní dynamický systém

Měl by sloužit k zajištění kompresního odporu proměnného v čase, využitelného např. pro antidekubitní systémy, které dnes využívají zcela jiných fyzikálních principů. Teoretické předpoklady pro jeho funkci existují a ani realizace by nemusela být obtížná. Lokálně rozdílný kompresní odpor je možné zrealizovat podle předchozích kapitol, dynamiku systému lze zajistit využitím jevu popsaného v kapitole 3.1.2., obr. 14. Jeden z možných příkladů realizace znázorňuje schéma na obr. 17.



Obr. 17

Znázorněný systém by využíval smykové deformace vedené v podélném směru netkané textilie (ve směru osy y na obr. 17) ke změně její struktury. Při výrobě 3D textilie jsou vlákna orientována pod úhlem α (viz kapitola 3.4.1.2.) k zatěžované ploše podle **A** na obr. 17. Smyková deformace přeorientuje vlákna do polohy α^1 podle **B** na obr. 17. Předpokládá se, že lamely orientované pod úhlem α budou vykazovat jiný odpor proti deformaci než lamely orientované pod úhlem α^1 . Otázkou zůstává, bude-li rozdíl kompresního odporu dostatečně významný pro praxi. To však zodpoví experiment obsažený v této práci.

Kompresního odporu proměnného v čase by pak bylo možné dosáhnout řízeným vratným pohybem např. spodní armovací textilie. Vrchní armovací textilie by v tomto případě byla ukotvena k podložce (např. k lůžku pacienta).

3.4. Alternativy realizace konstrukčních jednotek

Technologické alternativy výroby 3D netkaných textilií se liší jak ve způsobu formování vláknenné vrstvy do rouna, tak ve způsobu fixace tohoto rouna. Technologické odlišnosti se transformují do různých prvků struktury, do jejich kvality i rozložení v objektu a nakonec se projeví na rozdílných vlastnostech produktu. Technika používaná k výrobě tyto technologické alternativy plně respektuje, což se projevuje v bohatém výběru strojů k výrobě rouna i k jeho fixaci.

Při výrobě roun lze mluvit o dvou základních technologických alternativách. V první se formuje do rouna ojednocené staplové vlákno případně vložka (shluk vláken). Sem patří pneumatické postupy tvorby rouna a lze sem zařadit i tvorbu 3D vrstev technologií Melt-blown.

Ve druhé alternativě se formuje do rouna pavučina. Ta může být vrstvena buď horizontálně, tj. jednotlivé vrstvy rouna tvořené pavučinou jsou pokládány na sebe, tak vznikají dnes již klasická rouna, nebo je skládána do lamel orientovaných více či méně do vertikálního směru vzhledem k rovině textilie, tj. jednotlivé vrstvy pavučiny jsou do rouna ukládány vedle sebe. V tomto druhém případě se mluví o kolmo kladených rounech.

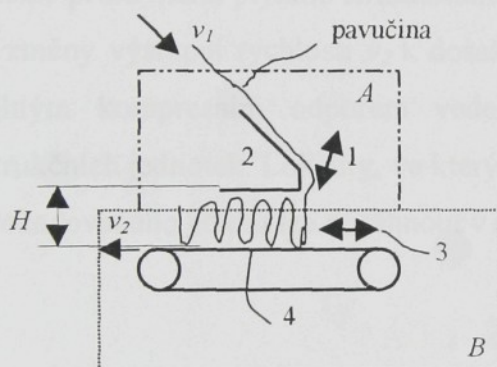
Žádná současná technika není však uzpůsobena k výrobě v předchozím textu popsaných konstrukčních jednotek textilie, které by zajistily lokálně rozdílný kompresní odpor výrobku. Jako nejsnáze upravitelná technika pro tyto účely se nabízí zařízení k výrobě kolmo kladených roun. Umožňuje totiž snadno ovlivňovat rozměry jednotek struktury i konstrukčních jednotek. To je důvod, proč je v dalším pojednáno pouze o kolmo kladených rounech.

3.4.1. Výroba kolmo kladených roun

Technika používaná k výrobě roun i 3D netkaných textilií byla obecně popsána v řadě publikací [21, 41, 42, 43, 44]. K výrobě kolmo kladených roun se používají dva výrobní systémy. Jejich principy a detaily důležité pro výrobu netkaných textilií s lokálně rozdílným kompresním odporem jsou zmíněny v dalším.

3.4.1.1. Systém vibrační

Podstatu systému tvoří dva na sobě závislé kmitající mechanické podsystemy. Jeden pavučinu přehýbá (*A*), vytváří z pavučiny každým kmitem jednu lamelu, kterou druhý podsystem (*B*) přitlačuje k lamele předcházející. Ve šterbině mezi dopravníkem 4 a nosem 2 umístěným v horní rovině vrstvy vzniká kolmo kladené rouno charakteristické hladkým povrchem a přesně složenými lamelami. Postup je patentován [45], uspořádání obou kmitajících podsystemů je zřejmé z obr. 18.



1 pilka, 2 nos, 3 lišta, 4 dopravník. v_1 vstupní rychlost pavučiny, v_2 výstupní rychlost rouna, n počet kmitů pilky 1 (shodný s počtem kmitů lišty 3)

Obr. 18

Podsystem skládání lamely (*A*) tvoří pilka 1 a nos 2, podsystem pěchovací (*B*) tvoří lišta 3 a dopravník 4. Vzájemné sladění všech zmíněných prvků umožňuje vytvářet rozdílné struktury, o kterých lze tvrdit, že jejich společným znakem je kolmé uspořádání lamel (nepřesně vláken v rounu). Speciální seřízení pak umožňuje formovat i jiné typy lamel [43], které však nejsou pro tuto práci důležité. Vlastnosti výrobků pak závisí (vedle suroviny) na typu a kvalitě lamely, na kvalitě kontaktu mezi lamelami. Kvalita lamely je dána celou řadou parametrů, jako jsou kvalita vlákna, kvalita kontaktů jednak mezi vlákny tvořících lamelu, jednak mezi lamelami, počet kontaktů, orientace vláken v kontaktu, rozložení kontaktů v ploše i v průřezu, volná délka vláken mezi kontakty apod.

Počet lamel N v 1 m délky rouna je pak určen

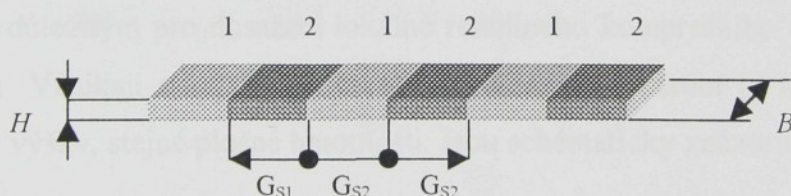
$$N = \frac{n}{v_2}, \quad (47)$$

počet kmitů n pilky 1 i lišty 3 je při dané výšce H lamely a dané vstupní rychlosti v_1 dán vztahem

$$n = \frac{v_1}{2H}, \quad (48)$$

kde v_1 je vstupní rychlost pavučiny, v_2 je výstupní rychlost rouna a n je počet kmitů podsystemů (stejný pro A i B).

V případě použití vibračního kladeče lze rozdílné konstrukční jednotky vytvářet pouze změnou frekvence lamel (pokud považujeme pavučinu za útvar neměnný pro konkrétní technologické podmínky). Toho lze snadno dosáhnout změnou výstupní rychlosti v_2 dopravníku 4. Vzájemné nastavení podsystemu (A) a (B) nelze provádět za chodu mechanismů a nelze proto měnit plynule strukturální charakteristiky jednotek struktury (délku lamel). Využití změny výstupní rychlosti v_2 k dosažení hledaného efektu – vytvoření rouna s lokálně rozdílným kompresním odporem vede k typu výrobku s rozdílnou plošnou hmotností konstrukčních jednotek. Lokality, ve kterých se kompresní odpor liší mají pak tvar podle obr. 19. Požadovaného efektu lze dosáhnout v lokalitách o rozměrech $G_{Si} \cdot B$.



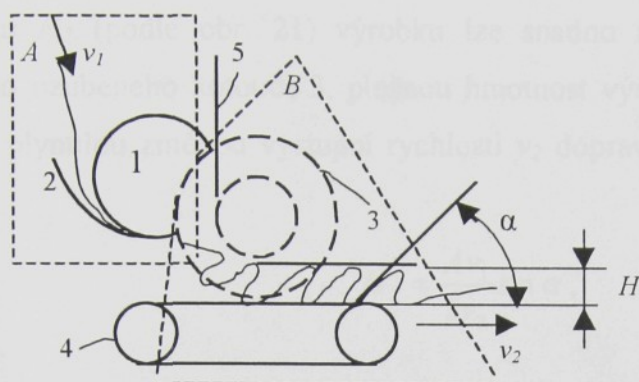
Obr. 19

Vibrační systém poskytuje tedy poněkud omezenou možnost výroby 3D netkaných textilií s lokálně rozdílným kompresním odporem. Charakteristickým rysem takového výrobku je, že jeden z rozměrů konstrukčních jednotek 1 a 2 (obr. 19) je šířka výrobku B .

3.4.1.2. Systém rotační

I tento systém je již popsán v řadě publikací [21, 41, 42] a je chráněn evropským patentem [46]. Systém lze opět rozdělit na dva podsystemy - první podsystem dodávky (A),

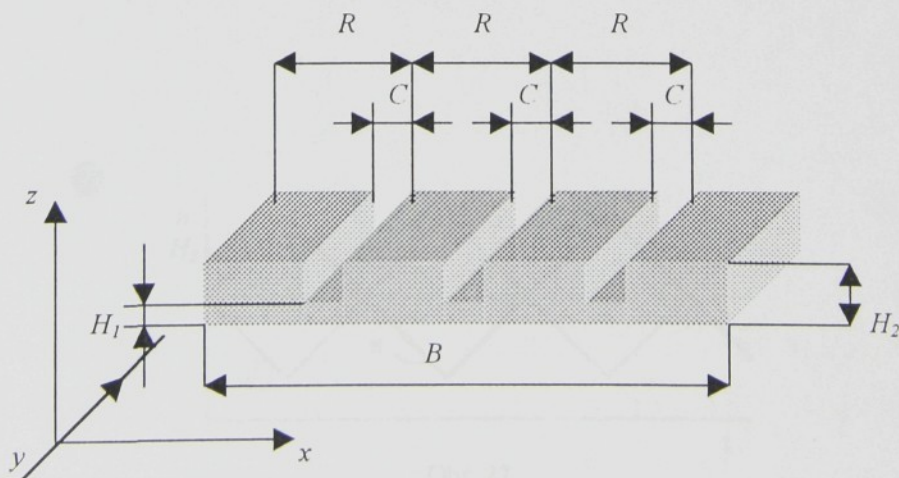
přivádí pavučinu do druhého podsystému (B) pro skládání lamel, který lamely vytváří a současně je stlačuje na patřičnou hustotu (frekvenci lamel). Funkce systému je zřejmá z obr. 20.



1 podávací kotouč, 2 pánev, 3 pracovní ozubený kotouč, 4 dopravník, 5 vodící hřeben
 v_1 vstupní rychlost pavučiny, v_2 výstupní rychlost rouna, H výška rouna

Obr. 20

Podsystém (A) je tvořen podávacími kotouči 1 a pávní 2, podsystém (B) je tvořen pracovními ozubenými kotouči 3, dopravníkem 4 a hřebenem 5. Podávací kotouče 1 a pracovní kotouče 3 tvoří „společný průnik“, který zajišťuje bezpečné předávání pavučiny mezi kotouči. Charakteristickým rysem rouna je sklon α jeho lamely, který nedosahuje 90° jako u systému vibračního (viz obr. 20). Sklon α se pohybuje v intervalu $70^\circ - 75^\circ$. Dalším rysem rouna, důležitým pro dosažení lokálně rozdílného kompresního odporu je „rýhovaný“ povrch rouna. Vznikají tak podélné lokality (podélným směrem je míněn směr osy y na obr. 21) dvojí výšky, stejné plošné hmotnosti. Jsou schématicky znázorněny na obr. 21.



Obr. 21

Frekvence a šířka C těchto podélných lokalit je dána konstrukcí systému, je určena vzájemnou roztečí R pracovních ozubených kotoučů 3 a jejich šířkou C . Výška (amplituda) těchto lokalit je závislá na vlastnostech skládané pavučiny [47] a na seřízení podsystému B .

Výšku H_2 (podle obr. 21) výrobku lze snadno regulovat plynulou změnou otáček pracovního ozubeného kotouče 3, plošnou hmotnost výrobku (frekvenci lamel) lze snadno regulovat plynulou změnou výstupní rychlosti v_2 dopravníku 6, jak vyplývá ze vztahů (49) a (50)

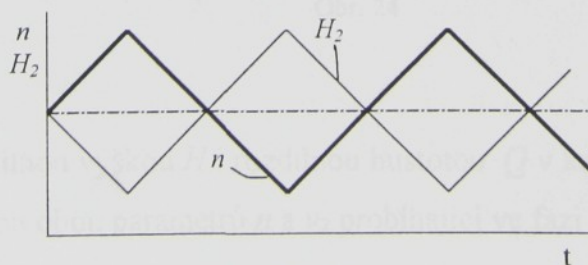
$$H_2 = \frac{Av_1}{2v_3} \sin \alpha, \quad (49)$$

$$v_2 = \frac{v_1 g_p}{H_2 \gamma}, \quad (50)$$

kde H_2 je výška výrobku, A je rozteč zubů pracovního kotouče, v_3 je obvodová rychlost pracovního kotouče, g_p je plošná hmotnost pavučiny, γ je hustota výrobku, α je sklon lamely. Možnost plynulé změny výšky lamel i jejich frekvence pouhou změnou otáček pracovních prvků vytváří výhodné podmínky pro dosažení hledaného efektu - lokálně rozdílného kompresního odporu.

V praxi to znamená měnit s vhodnou periodou buď otáčky n pracovního válce (tvoří ho řada ozubených kotoučů 3, obr. 20) nebo výstupní rychlost v_2 , nebo oba tyto parametry. Lze tak získat lokality požadovaných rozměrů a vytvářet konstrukční jednotky potřebných parametrů.

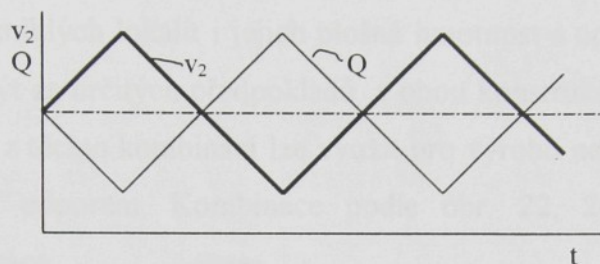
Periodickou změnou pouze otáček n pracovního válce např. podle obr. 22



Obr. 22

lze vytvořit výrobek, jehož výška H_2 kolísá s opačnou amplitudou než otáčky n . Plošná hmotnost g [gm^{-2}] vzniklých lokalit je konstantní, protože výstupní rychlost v_2 i vstupní rychlost v_1 jsou také konstantní. Může tak vzniknout výrobek s konstantní plošnou hmotností konstrukčních jednotek.

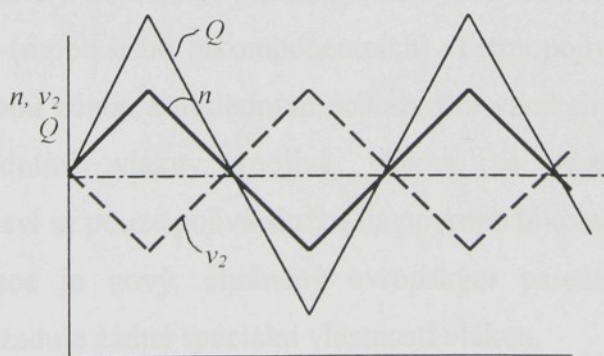
Periodickou změnou pouze výstupní rychlosti v_2 např. podle obr. 23 (otáčky pracovního válce jsou konstantní),



Obr. 23

lze dosáhnout toho, že plošná hmotnost g [gm^{-2}] stejně jako hustota Q [gm^{-3}] vzniklých lokalit bude kolísat s opačnou amplitudou než výstupní rychlost v_2 . Může tak vzniknout výrobek s rozdílnou plošnou hmotností konstrukčních jednotek.

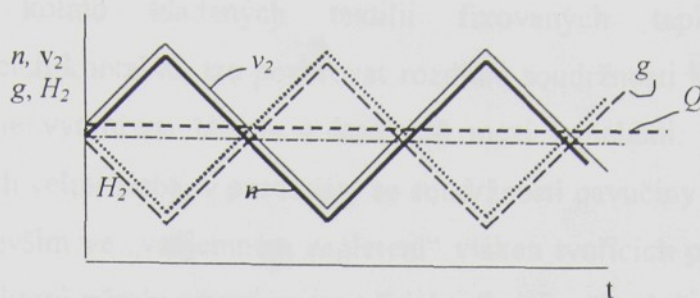
Periodickou změnou obou parametrů n i v_2 probíhající v protifázi podle křivek na obr. 24



Obr. 24

vznikne výrobek s rozdílnou výškou H i rozdílnou hustotou Q v každé lokalitě.

Periodickou změnou obou parametrů n a v_2 probíhající ve fázi podle křivek na obr. 25



Obr. 25

bude kolísat výška H vzniklých lokalit i jejich plošná hmotnost s opačnou amplitudou než n a v_2 . Hustota Q může být za určitých předpokladů v obou konstrukčních jednotkách shodná.

Je zřejmé, že každou z těchto kombinací lze využít pro výrobu netkaných textilií s lokálně rozdílným kompresním odporem. Kombinace podle obr. 22, 24 a 25 budou využity v experimentální části práce.

3.4.2. Fixace kolmo kladených roun

Krokem, který musí bezprostředně následovat po vytvoření rouna technikou využívající, kterýkoliv ze zmíněných systémů je fixace vytvořené struktury rouna. Ta totiž teprve vytvoří a zajistí konečný stav prvků struktury. Technologie výroby 3D netkaných textilií nabízí tři typy fixačních postupů.

První, dnes již klasický postup, je založený na vytvoření rouna ze směsi základních a termopojivých vláken (mono nebo bikomponentních). Termopojivá vlákna se pak aktivují průchodem rouna tepelnou zónou a následným ochlazením vznikají neprokluzující, „pevné“, kontakty mezi základními vlákny (pojivá vlákna se roztaví) nebo základními a bikomponentními (nataví se pouze pojivá složka na povrchu bikomponentních vláken).

Druhý postup fixace je nový, chráněný evropským patentem [50]. Je to postup mechanický, který nevyžaduje žádné speciální vlastnosti vláken.

Třetí postup fixace je kombinací obou předchozích. Po použití mechanického způsobu fixace následuje fixace termická.

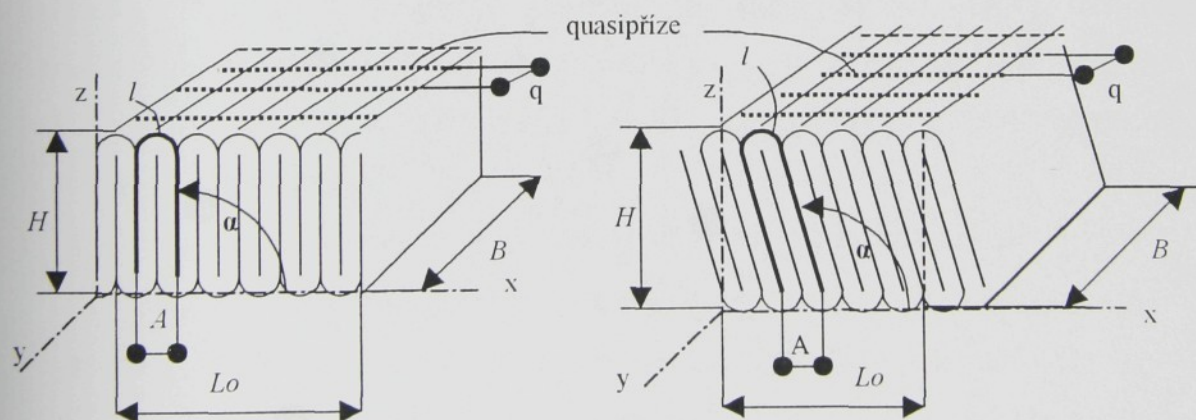
Mechanický způsob fixace bude využit v experimentální části práce.

3.4.2.1. Struktury fixované teplem

U netkaných, kolmo kladených textilií fixovaných teplem, tj. s určitým počtem neprokluzujících kontaktů, lze pozorovat rozdílné soudržnosti kontaktů mezi vlákny pavučiny, ze které je vytvořena lamela a kontaktů mezi lamelami. Soudržnost lamel je v některých případech velmi slabá, v porovnání se soudržností pavučiny samé. Příčiny tohoto jevu lze hledat především ve „vzájemném zapletení“ vláken tvořících pavučinu, v tlacích na jednotlivé kontakty, které působí uvnitř rouna při jeho fixaci, případně v nevhodné viskozitě taveniny [22]. Protože struktury fixované teplem nejsou v této práci využity, nejsou problémy s nimi související podrobněji komentovány.

3.4.2.2. Struktury fixované mechanicky

Využívá se faktu známého z pevnosti a pružnosti, že totiž povrchová vlákna tělesa přenášejí při deformacích největší napětí, faktu, že lamelová struktura zajišťuje propojení obou povrchů rouna a konečně faktu, že pohybem rotujícího tělesa po povrchu rouna vzniká tzv. quasipříze [48, 51], která lamely spojí. Vzájemným spojením těchto lamel, a to pouze na jejich vrcholech, zmíněnými quasipřízemi vznikne struktura podle obr. 26. Ke zvýšení pevnosti vzájemného spojení lamel se s výhodou využívá armovacích sítí. Technologie, zařízení i výrobky nesou název Rotis a byly popsány v řadě publikací [21, 41].



Obr. 26

Výšku lamely H , její délku l a tloušťku lamely A lze plynule, především plánovitě měnit. Šířka B lamely je dána konstrukcí zařízení, délku konstrukční jednotky (počet lamel v jednotce) L_0 lze rovněž plánovitě měnit.

Základní mikrostrukturální charakteristiky lamely, jako jsou orientace vláken ve výrobku, počet neprokluzujících kontaktů, volná délka vláken mezi kontakty, nejsou měnitelné ani plynule, ani v libovolném rozsahu. K řízení vlastností výrobků jich však lze využít podle následujících pravidel:

- Počet kontaktů lze ovlivnit hmotností pavučiny (produktu), jemností a délkou vláken [53, 54];
- Orientaci lze ovlivnit délkou vláken, jemností vláken, typem použitého zařízení a typem jeho potahů [56];
- Volnou délku vláken mezi kontakty lze ovlivnit podobně jako počet kontaktů [4];
- Počet quasipřízí na jednotku délky lze ovlivnit při konstrukci zařízení [50].

4. EXPERIMENT

Z kapitoly 2 vyplývají teoretické podmínky, které je třeba pro dosažení maximálního a lokálně rozdílného kompresního odporu splnit. V kapitole 3 jsou diskutovány praktické stránky zajištění zmíněných podmínek, jsou diskutovány možnosti popisu deformací struktury i způsoby měření kompresního odporu, jsou navrženy principy konstrukce textilie s lokálně rozdílným kompresním odporem a jsou také navrženy technické prostředky a technologické postupy, o kterých se předpokládá, že výrobu netkaných textilií s lokálně kompresním odporem zajistí. Informace obsažené v těchto kapitolách tvoří pozadí experimentu, od kterého se očekávají výsledky potřebné k posouzení reálnosti pracovní hypotézy uvedené v kap. 1, což detailněji znamená poskytnout konkrétní odpovědi na otázky

- zda je možné vyrobit textilií s lokálně rozdílným kompresním odporem;
- jak významně ovlivní v této práci navržené technologické postupy hodnotu kompresního odporu vyrobené textilie;
- jak ovlivní navržené technologické postupy výroby rozložení lokálního kompresního odporu v ploše textilie a kolem střední hodnoty kompresního odporu;
- zda je reálné uvažovat o realizaci dynamického textilního systému.

Hledání odpovědí na tyto otázky byly podřízeny jak experimentální postupy tak výroba vzorků textilií. Bylo rozhodnuto vyrobit vzorky 3 typů textilií pomocí 3 typů výrobních postupů podle obr. 22, 24 a 25, v každém typu pak použít dvou úrovní technologických parametrů n a v_2 podle tab. 3a. Vyrobeno bylo pak celkem 6 variant vzorků textilií, vzorky pro kontrolu měření byly nakoupeny. Všechny vzorky připravené pro experiment byly rozděleny do čtyř kategorií:

- kategorie 1 - pro měření průměrného kompresního odporu (viz. tab. 1);
- kategorie 2 - pro měření lokálního kompresního odporu (viz. tab. 2);
- kategorie 3 - pro kontrolní měření lokálního kompresního odporu;
- kategorie 4 - pro měření lokálního kompresního odporu dynamického textilního systému.

Pro měření průměrného kompresního odporu podle metody DIN 54305 byly připraveny kruhové vzorky o průměru 150 mm, pro měření lokálního kompresního odporu byly připraveny vzorky ve tvaru čtverců o rozměru strany 210 mm. Pro kontrolní měření byly vzorky připraveny z výrobků běžné produkce.

4.1. Označení vzorků

Před výrobou vzorků textilií byl připraven systém jejich číslování, který umožňuje dokonalou orientaci jak mezi textilními vzorky, tak i mezi jednotlivými měřeními. Označování je zřejmé z následujících tabulek. Tabulky byly po vyrobení vzorků doplněny údaji o jejich hmotnostech a tloušťce.

4.1.1. Vzorky pro měření průměrného kompresního odporu

Tab. 1

Označení vzorků			Hmotnost vzorku [g]	Plošná hmotnost [gm ⁻²]	Střední hodnota tloušťky [mm]	Příklad označení
Typ vzorku	Varianta vzorku (mez rozsahu parametru)	Pořadové číslo vzorku				
1	1	1	7,55	427,46		1.1.1
1	1	2	8,10	458,60		1.1.2
1	1	3	7,70	435,95	21,04	1.1.3
1	1	4	7,95	443,55		1.1.4
1	2	1	7,20	407,64		1.2.1
1	2	2	7,65	433,12		1.2.2
1	2	3	7,75	438,78	21,80	1.2.3
1	2	4	7,55	425,35		1.2.4
2	1	1	6,65	376,50		2.1.1
2	1	2	6,50	368,01		2.1.2
2	1	3	5,90	334,04	19,83	2.1.3
2	1	4	6,35	355,25		2.1.4
2	2	1	6,10	345,36		2.2.1
2	2	2	6,90	390,66		2.2.2
2	2	3	6,45	365,18	19,94	2.2.3
2	2	4	6,75	382,30		2.2.4
3	1	1	7,85	444,44		3.1.1
3	1	2	8,90	503,89		3.1.2
3	1	3	8,70	492,57	23,33	3.1.3
3	1	4	8,35	475,50		3.1.4
3	2	1	8,65	489,74		3.2.1
3	2	2	8,40	475,58		3.2.2
3	2	3	8,30	469,92	22,75	3.2.3
3	2	4	8,46	483,75		3.2.4

Poznámka: Typ vzorku 1 je vzorek textilie vyrobený pouze řízením otáček n pracovního válce podle obr. 22
2 je vzorek textilie vyrobený řízením otáček n pracovního válce současně s řízením výstupní rychlosti v_2 v protifázi podle obr. 24
3 je vzorek textilie vyrobený řízením otáček n pracovního válce současně s řízením výstupní rychlosti v_2 ve fázi podle obr. 25

Varianta vzorku 1 je minimální hodnota intervalu změny parametru (podle tab. 3a)
2 je maximální hodnota intervalu změny parametru (podle tab. 3a)

Pořadové číslo vzorku 1, 2, 3, 4 značí pořadí zkušební vzorku vystřiženého ze stejné varianty vzorku textilie. Zkušební vzorky byly odebírány v řadě (ve směru osy y v obr. 21), aby byly z hodnocení vyloučeny náhodné chyby způsobené nerovnoměrností výrobků v příčném směru.

Tloušťka byla měřena při zatížení 28,3 Pa a stanovena jako střední hodnota ze 3 měření.

4.1.2. Vzorky pro měření lokálního kompresního odporu

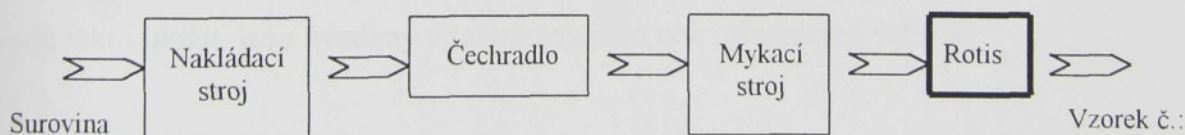
Tab. 2

Označení vzorků			Pořadové číslo měření na vzorku podle obr. 10	Hmotnost vzorku [g]	Plošná Hmotnost [gm ⁻²]	Střední hodnota tloušťky [mm]	Příklad označení
Typ vzorku	Varianta vzorku (mez rozsahu parametru)	Pořadové číslo vzorku					
1	1	1	laž 8	19,55	443,31		1.1.1.1-8
1	1	2	laž 8	19,70	446,71		1.1.2.1-8
1	1	3	laž 8	21,30	482,99	21,04	1.1.3.1-8
1	2	1	laž 8	20,65	468,25		1.2.1.1-8
1	2	2	laž 8	19,70	446,71		1.2.2.1-8
1	2	3	laž 8	23,10	523,81	21,80	1.2.3.1-8
2	1	1	laž 8	19,90	383,22		2.1.1.1-8
2	1	2	laž 8	15,50	351,47		2.1.2.1-8
2	1	3	laž 8	16,75	379,82	19,83	2.1.3.1-8
2	2	1	laž 8	14,90	337,87		2.2.1.1-8
2	2	2	laž 8	15,23	345,80		2.2.2.1-8
2	2	3	laž 8	14,85	336,73	19,94	2.2.3.1-8
3	1	1	laž 8	18,40	417,23		3.1.1.1-8
3	1	2	laž 8	21,00	476,19		3.1.2.1-8
3	1	3	laž 8	20,40	462,59	23,33	3.1.3.1-8
3	2	1	laž 8	22,10	501,13		3.2.1.1-8
3	2	2	laž 8	22,50	510,20		3.2.2.1-8
3	2	3	laž 8	22,50	510,20	22,75	3.2.3.1-8

Poznámka: Označení je shodné s předchozí kapitolou. Čtvrté číslo 1 – 8 je přiřazeno podle místa měření na vzorku (viz obr. 10). Pořadové číslo vzorku označuje místo odběru podle obr. 12.

4.2. Technika použitá k výrobě vzorků textilií

V experimentu bylo využito zařízení instalované ve firmě STEELS uspořádané podle obr. 27.



Obr. 27

V řídicím systému stroje Rotis (který využívá rotační systém pro tvorbu rouna a quisipřízí s armovací sítí k jeho fixaci) byla provedena úprava, která umožnila řídit otáčky jednotlivých pohonů tak, aby byly proměnné v čase. Byla zhotovena pomocná řídicí jednotka ke generaci analogových signálů, které přivedené na vstup frekvenčního měniče, mění frekvenci výstupního třífázového napětí z měniče, kterým je napájen příslušný asynchronní motor. Analogový signál je časově proměnný, jeho tvar je trojúhelníkový. Řídicí jednotka zhotovená

na fakultě mechatroniky (autor Ing. Rydlo) umožnila měnit otáčky n pracovního válce a výstupní rychlost v_2 podle obr. 22, 24 a 25 v kap. 3.4. Intervaly, ve kterých byly změny prováděny jsou v tabulce 3a, ostatní nastavení je uvedeno v tabulkách 3b, 3c.

Intervaly změn regulovaných parametrů zařízení Rotis

Tab. 3a

Název regulované části	Frekvence [Hz]	Obvodová rychlost [m min ⁻¹]	Perioda změny struktury [s]
Pracovní kotouče	7-27	3,95-15,19	5,5-11
Výstupní dopravník	5-15	0,31-0,93	5,5-11

Seřízení parametrů, které nebyly v průběhu experimentu měněny

Tab. 3b

Vstupní rychlost v_1	15,5 m min ⁻¹
Výstupní rychlost před počátkem regulace (stejná v každé variantě) v_2	0,62 m min ⁻¹ (10 Hz)
Výška hřebenu nad dopravníkem v_d	15 mm
Vzdálenost mezi operačními hlavami Rotis q	10 mm

Údaje o výrobku

Tab. 3c

Surovina	PES typ 291; 3,4 dtex/76 mm; firma HOECHST – Celanese
Pavučina	hmotnost 18 g/m ²
Výrobek	plánovaná hmotnost 450 g/m ²

4.3. Technika použitá k měření a naměřené hodnoty

K měření bylo použito zařízení INSTRON typ 4441 instalované na katedře textilních struktur a přípravků zhotovených pro měření průměrného i lokálního kompresního odporu (viz kap. 3.1.1.1.). Většina naměřených hodnot byla ihned při měření převedena do ASCII kódu a uložena na disketu. Jen ty naměřené hodnoty, které nebylo možné z technických důvodů takto uložit, jsou uvedeny v tabulkách jako tzv. „sledované veličiny“.

4.3.1. Hodnoty průměrného kompresního odporu

K měření tzv. průměrné hodnoty kompresního odporu bylo použito dvou kruhových desek o průměru 150 mm. Byl vytvořen softwarový program (označený NETKA), který obsahuje cyklickou deformaci vzorku 5 úplnými cykly a relaxaci odporu při deformaci v 6. (nedokončeném) cyklu. Na displeji byly vypisovány tyto údaje:

Hystereze v 1. cyklu [%];

Hystereze v 5. cyklu [%];

Maximální hodnota odporu v 5. cyklu;

Relaxace odporu z hodnoty dosažené v 6. (nedokončeném) cyklu [N].

Nastavení trhačky INSTRON :

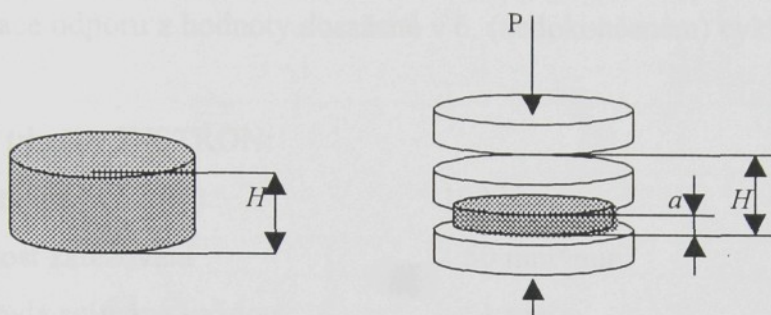
Použitá hlava (čidlo) : 5 kN

Rychlost zatěžování : $100 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$

Doba snímání dat: 1 sec.

Vzorek byl zdeformován na tloušťku : $a = 2,5 \text{ mm}$ (viz obr. 28)

Čas relaxace : 30 s



Obr. 28

Tabulka hodnot sledovaných veličin při měření průměrného kompresního odporu

Tab. 4

Označení vzorku	Hystereze 1.cykl [%]	Hystereze 5. cykl [%]	Maximální odpor v 5. cyklu [N]	Relaxace 6. cykl [N]
1.1.1	42,509	26,888	-373,96,	-54,630
1.1.2	41,548	26,630	-415,110	-57,720
1.1.3	42,103	27,198	-409,900	-33,150
1.1.4	41,932	26,913	-386,510	-55,179
1.2.1	42,243	27,668	-359,200	-42,010
1.2.2	42,500	27,415	-382,560	-53,560
1.2.3	42,031	26,690	-386,580	-40,670
1.2.4	42,115	27,320	-367,815	-49,510
2.1.1	43,536	29,304	-272,220	-34,230
2.1.2	44,354	29,490	-255,040	-30,600
2.1.3	45,592	30,549	-197,720	-23,620
2.1.4	44,935	30,218	-239,245	-32,113
2.2.1	45,912	31,978	-202,820	-25,500
2.2.2	43,833	28,814	-303,360	-39,200
2.2.3	44,254	29,775	-248,330	-27,380
2.2.4	44,635	30,160	-280,312	-31,289
3.1.1	40,491	25,334	-435,580	-52,350
3.1.2	38,104	23,569	-650,210	-74,630
3.1.3	38,593	24,471	-643,900	-74,630
3.1.4	39,200	24,913	-530,354	-69,550
3.2.1	39,969	24,391	-570,470	-78,920
3.2.2	40,352	25,014	-527,250	-69,530
3.2.3	40,100	25,280	-506,850	-56,510
3.2.4	40,100	24,830	-553,314	-74,310

4.3.2. Hodnoty lokálního kompresního odporu

K měření hodnoty lokálního kompresního odporu bylo použito speciálního přípravku podle obr. 9 a 10. Pro postup měření byl vytvořen software (označený SITO), který (stejně jako software NETKA) obsahuje cyklickou deformaci vzorku 5 úplnými cykly a relaxaci odporu z 6. (nedokončeného) cyklu. Na displeji byly vypisovány tyto údaje:

Hystereze v 1. cyklu [%];

Hystereze v 5. cyklu [%];

Hodnota maximálního odporu v 5. cyklu;

Relaxace odporu z hodnoty dosažené v 6. (nedokončeném) cyklu [N].

Nastavení trhačky INSTRON:

Použitá hlava (čidlo) : 100 N

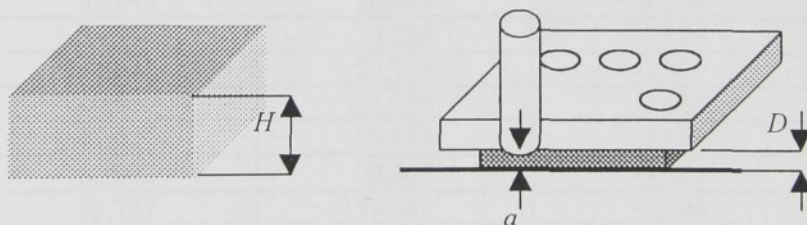
Rychlost zatěžování : $50 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$

Data byla snímána každou : 1 sec.

Vzorek byl zdeformován na: $a = 1 \text{ mm}$ (viz obr. 29)

Čas relaxace: 30 s

Hodnota tloušťky D zdeformovaného vzorku (viz obr. 9 a 29), při které bylo prováděno měření: $D = 5 \text{ mm}$



Obr. 29

Tabulky hodnot sledovaných veličin při měření lokálního kompresního odporu

Tab. 5

Označení vzorku	Hystereze 1.cykl [%]	Hystereze 5. cykl [%]	Maximální odpor v 5. cyklu [N]	Relaxace 6. cykl [N]
1.1.1.1	46,793	27,864	-2,851	-0,094
1.1.1.2	57,731	39,790	-2,792	-0,277
1.1.1.3	61,581	42,845	-1,944	-0,215
1.1.1.4	54,110	39,363	-1,812	-0,164
1.1.1.5	73,043	49,428	-3,117	-0,357
1.1.1.6	75,960	65,006	-3,130	-0,416
1.1.1.7	74,027	53,125	-3,028	-0,411
1.1.1.8	67,130	56,697	-4,134	-0,467

1.1.2.1	53,989	34,475	-2,548	-0,212
1.1.2.2	57,520	42,776	-2,575	-0,252
1.1.2.3	62,195	47,357	-1,774	-0,204
1.1.2.4	64,051	51,854	-2,282	-0,263
1.1.2.5	69,990	46,684	-2,545	-0,338
1.1.2.6	75,092	63,204	-2,009	-0,271
1.1.2.7	71,161	58,970	-2,021	-0,287
1.1.2.8	72,603	53,363	-2,056	-0,268
1.1.3.1	50,195	33,619	-2,475	-0,121
1.1.3.2	59,927	42,449	-2,405	-0,244
1.1.3.3	51,943	32,885	-2,830	-0,282
1.1.3.4	49,001	30,969	-2,787	-0,255
1.1.3.5	61,160	45,470	-2,220	-0,266
1.1.3.6	69,743	44,228	-1,863	-0,212
1.1.3.7	56,727	44,644	-2,655	-0,354
1.1.3.8	58,359	43,616	-2,811	-0,354

Tab. 6

Označení vzorku	Hystereze 1.cykl [%]	Hystereze 5. cykl [%]	Maximální odpor v 5. cyklu [N]	Relaxace 6. cykl [N]
1.2.1.1	53,868	29,014	-1,597	-0,166
1.2.1.2	58,424	39,078	-1,651	-0,196
1.2.1.3	52,655	33,416	-2,583	-0,207
1.2.1.4	56,297	40,288	-3,152	-0,271
1.2.1.5	49,930	22,763	-1,705	-0,121
1.2.1.6	41,853	17,706	-1,750	-0,161
1.2.1.7	31,018	12,980	-2,918	-0,188
1.2.1.8	33,549	10,298	-2,070	-0,150
1.2.2.1	53,737	30,908	-2,185	-0,260
1.2.2.2	53,443	36,195	-2,478	-0,263
1.2.2.3	50,202	27,748	-2,030	-0,196
1.2.2.4	52,740	30,945	-1,936	-0,201
1.2.2.5	39,388	15,285	-2,239	-0,236
1.2.2.6	44,443	22,735	-2,494	-0,217
1.2.2.7	40,629	21,225	-2,062	-0,134
1.2.2.8	41,697	29,474	-2,658	-0,212
1.2.3.1	50,072	34,067	-4,365	-0,446
1.2.3.2	55,747	39,042	-3,726	-0,395
1.2.3.3	60,679	41,182	-2,864	-0,314
1.2.3.4	52,640	32,076	-3,337	-0,306
1.2.3.5	51,008	29,428	-4,905	-0,435
1.2.3.6	62,170	36,273	-3,815	-0,354
1.2.3.7	59,076	38,505	-3,200	-0,277
1.2.3.8	47,176	23,464	-4,416	-0,319

Tab. 7

Označení vzorku	Hystereze 1.cykl [%]	Hystereze 5. cykl [%]	Maximální odpor v 5. cyklu [N]	Relaxace 6. cykl [N]
2.1.1.1	51,058	31,957	-2,108	-0,223
2.1.1.2	74,964	47,897	-2,091	-0,277
2.1.1.3	54,279	30,957	-1,715	-0,117
2.1.1.4	60,532	43,032	-2,577	-0,279
2.1.1.5	54,169	26,544	-3,216	-0,319
2.1.1.6	39,467	19,076	-2,902	-0,255
2.1.1.7	30,039	4,854	-3,527	-0,220
2.1.1.8	42,275	15,824	-2,472	-0,188

2.1.2.1	61,948	45,118	-2,021	-0,317
2.1.2.2	54,144	38,738	-1,576	-0,180
2.1.2.3	95,970	80,899	-2,148	-0,301
2.1.2.4	72,630	46,372	-1,334	-0,150
2.1.2.5	58,958	34,306	-1,181	-0,099
2.1.2.6	56,714	40,266	-1,393	-0,166
2.1.2.7	59,106	42,274	-1,122	-0,094
2.1.2.8	52,804	34,878	-1,890	-0,191
2.1.3.1	52,058	34,124	-3,264	-0,333
2.1.3.2	58,004	44,224	-1,694	-0,223
2.1.3.3	50,118	33,435	-2,534	-0,212
2.1.3.4	60,621	40,136	-1,409	-0,126
2.1.3.5	35,036	-3,286	-1,420	-0,102
2.1.3.6	46,996	27,947	-1,605	-0,156
2.1.3.7	45,745	20,160	-1,240	-0,064
2.1.3.8	44,298	19,570	-1,646	-0,126

Tab. 8

Označení vzorku	Hystereze 1.cykl [%]	Hystereze 5. cykl [%]	Maximální odpor v 5. cyklu [N]	Relaxace 6. cykl [N]
2.2.1.1	53,694	34,884	-1,501	-0,100
2.2.1.2	54,269	40,586	-1,691	-0,183
2.2.1.3	50,255	36,789	-1,068	-0,113
2.2.1.4	41,660	22,529	-1,039	-0,089
2.2.1.5	77,754	68,138	-1,224	-0,158
2.2.1.6	81,648	75,946	-1,455	-0,204
2.2.1.7	88,440	82,254	-1,785	-0,266
2.2.1.8	86,737	60,238	-2,768	-0,360
2.2.2.1	49,476	29,125	-0,929	-0,097
2.2.2.2	42,251	23,777	-0,805	-0,083
2.2.2.3	43,817	25,315	-1,098	-0,094
2.2.2.4	38,408	13,511	-1,267	-0,083
2.2.2.5	78,354	53,203	-1,785	-0,220
2.2.2.5	69,953	61,011	-1,259	-0,156
2.2.2.7	75,109	65,968	-1,277	-0,164
2.2.2.8	82,611	72,371	-1,715	-0,260
2.2.3.1	48,742	32,267	-0,921	-0,110
2.2.3.2	55,248	37,678	-1,254	-0,115
2.2.3.3	70,978	42,274	-1,286	-0,129
2.2.3.4	50,069	29,119	-1,173	-0,102
2.2.3.5	74,419	44,320	-1,374	-0,191
2.2.3.6	75,884	66,909	-1,541	-0,196
2.2.3.7	83,231	74,884	-1,562	-0,215
2.2.3.8	63,414	52,577	-2,330	-0,293

Tab. 9

Označení vzorku	Hystereze 1.cykl [%]	Hystereze 5. cykl [%]	Maximální odpor v 5. cyklu [N]	Relaxace 6. cykl [N]
3.1.1.1	58,050	45,670	-3,117	-0,311
3.1.1.2	59,811	42,768	-2,932	-0,314
3.1.1.3	51,818	36,117	-1,313	-0,099
3.1.1.4	72,629	46,495	-1,216	-0,132
3.1.1.5	61,439	48,773	-3,063	-0,346
3.1.1.6	63,874	50,035	-2,306	-0,266
3.1.1.7	80,963	58,992	-2,405	-0,295

3.1.1.8	65,983	57,570	-3,337	-0,373
3.1.2.1	48,567	33,974	-3,149	-0,330
3.1.2.2	58,017	43,250	-2,977	-0,317
3.1.2.3	60,375	41,345	-2,797	-0,317
3.1.2.4	61,246	43,776	-2,714	-0,303
3.1.2.5	82,945	72,211	-3,232	-0,370
3.1.2.6	80,837	75,475	-2,408	-0,317
3.1.2.7	76,647	67,096	-2,985	-0,397
3.1.2.8	87,974	80,795	-3,162	-0,360
3.1.3.1	46,631	27,688	-3,366	-0,333
3.1.3.2	60,399	44,946	-2,623	-0,285
3.1.3.3	56,227	40,918	-2,703	-0,268
3.1.3.4	60,961	42,041	-2,612	-0,303
3.1.3.5	78,982	73,245	-1,745	-0,215
3.1.3.6	79,975	74,178	-2,290	-0,319
3.1.3.7	70,307	40,769	-2,271	-0,290
3.1.3.8	77,484	55,428	-2,333	-0,352

Tab. 10

Označení vzorku	Hystereze 1. cykl [%]	Hystereze 5. cykl [%]	Maximální odpor v 5. cyklu [N]	Relaxace 6. cykl [N]
3.2.1.1	56,141	41,864	-3,409	-0,368
3.2.1.2	56,955	42,978	-3,119	-0,341
3.2.1.3	59,860	42,492	-3,200	-0,309
3.2.1.4	58,363	37,954	-2,588	-0,220
3.2.1.5	56,057	36,885	-3,584	-0,295
3.2.1.6	52,950	32,926	-3,616	-0,322
3.2.1.7	52,854	34,579	-2,848	-0,244
3.2.1.8	45,564	29,980	-4,215	-0,344
3.2.2.1	53,625	38,577	-5,882	-0,636
3.2.2.2	61,680	42,816	-3,697	-0,314
3.2.2.3	62,472	46,913	-3,573	-0,344
3.2.2.4	58,214	45,870	-2,607	-0,260
3.2.2.5	57,561	35,300	-3,305	-0,287
3.2.2.6	53,112	34,098	-3,117	-0,306
3.2.2.7	48,344	18,239	-2,685	-0,132
3.2.2.8	37,557	19,716	-3,938	-0,303
3.2.3.1	55,352	41,664	-4,094	-0,411
3.2.3.2	58,681	43,957	-3,114	-0,279
3.2.3.3	48,130	32,574	-2,813	-0,234
3.2.3.4	55,433	37,691	-2,360	-0,158
3.2.3.5	50,744	28,220	-3,240	-0,322
3.2.3.6	51,715	36,210	-2,674	-0,247
3.2.3.7	48,484	29,746	-2,379	-0,172
3.2.3.8	56,296	38,541	-3,170	-0,271

4.3.3. Hodnoty z kontrolního měření lokálního kompresního odporu

Jako kontrolní vzorek, o kterém se předpokládá, že hodnoty jeho lokálního kompresního odporu vykazují malý rozptyl kolem střední hodnoty, byla vybrána PU pěna o hustotě 30 kgm⁻³. Vzorek PU byl proměřen stejným způsobem jako vzorky textilní. Výsledky jsou v následující tabulce 11.

Tabulka hodnot sledovaných veličin při měření lokálního kompresního odporu vzorku z PU pěny

Tab. 11

Označení vzorku	Hystereze 1.cykl [%]	Hystereze 5. cykl [%]	Maximální odpor v 5. cyklu [N]	Relaxace 6. cykl [N]
PU 1.1	55,240	29,366	-1,949	-0,346
PU 1.2	53,709	30,249	-1,895	-0,311
PU 1.3	53,160	27,743	-1,863	-0,295
PU 1.4	43,996	25,773	-1,761	-0,271
PU 1.5	55,431	23,476	-2,295	-0,392
PU 1.6	46,964	24,650	-2,134	-0,357
PU 1.7	43,767	25,223	-2,000	-0,317
PU 1.8	41,744	22,585	-2,072	-0,309

Druhým kontrolním vzorkem byl textilní výrobek obchodního názvu ORBIK 400, vyrobený z PES/kPES vláken technologií Struto, o kterém se a priori předpokládá, že je rovnoměrný, jak ve struktuře, tak v rozložení lokálního kompresního odporu. Výsledky jsou opět v tabulce 12.

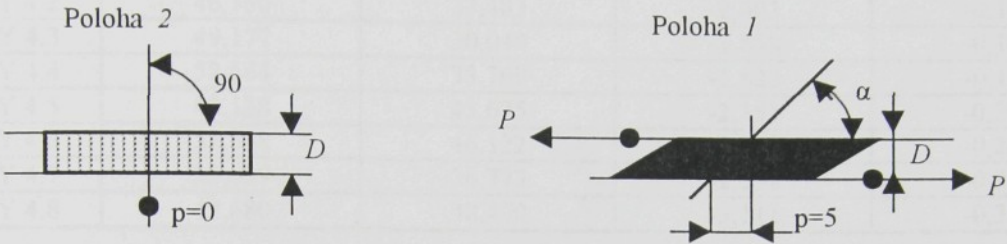
Tabulka hodnot sledovaných veličin při měření lokálního kompresního odporu vzorku ORBIK 400

Tab. 12

Označení vzorku	Hystereze 1.cykl [%]	Hystereze 5. cykl [%]	Maximální odpor v 5. cyklu [N]	Relaxace 6. cykl [N]
K 1.1	48,576	20,189	-7,702	-0,668
K 1.2	55,341	39,658	-6,156	-0,620
K 1.3	50,203	34,261	-4,872	-0,505
K 1.4	42,073	26,279	-5,170	-0,505
K 1.5	74,576	59,646	-5,796	-0,658
K 1.6	146,845	67,190	-4,719	-0,556
K 1.7	137,024	62,715	-4,746	-0,523
K 1.8	85,387	85,014	-4,663	-0,636
K 2.1	40,837	18,195	-7,326	-0,639
K 2.2	33,182	22,159	-6,805	-0,677
K 2.3	67,318	64,684	-5,358	-0,619
K 2.4	45,203	27,531	-5,895	-0,593
K 2.5	88,729	58,970	-5,369	-0,596
K 2.6	82,557	69,130	-6,787	-0,899
K 2.7	139,789	75,579	-3,992	-0,472
K 2.8	85,413	93,360	-3,839	-0,542
K 3.1	20,689	12,352	-6,242	-0,462
K 3.2	35,992	24,624	-6,062	-0,532
K 3.3	35,607	31,530	-5,200	-0,542
K 3.4	28,128	19,018	-5,858	-0,481
K 3.5	76,117	61,560	-4,854	-0,550
K 3.6	113,265	60,811	-4,132	-0,515
K 3.7	144,995	60,875	-3,640	-0,462
K 3.8	72,953	59,356	-4,446	-0,556

4.3.4. Hodnoty lokálního kompresního odporu modelu textilního dynamického systému

Měření bylo provedeno na náhodně vybraném vzorku 3D netkané textilie (označené 3.2) stejnou metodou jako v kapitole 4.3.2. pouze s tou změnou, že na jednom vzorku byla provedena měření dvě, ve dvou polohách lamel (před a po smykové deformaci vzorku) podle obr. 30.



Obr. 30

Pokus byl realizován tak, že po prvním měření v poloze 1 byla vrchní armovací síť potažena oproti spodní armovací síti o 5 mm - lamely se zdeformovaly, do polohy 2 (obr. 30 situaci silně idealizuje) a měření odporu bylo zopakováno stejným postupem jako při měření prvním. Jak již bylo uvedeno v kap. 3.3.2., předpokládá se, že smykovou deformací textilie dojde ke změně orientace lamel v textilií a že důsledkem této změny v orientaci bude i změna kompresního odporu. Naměřené hodnoty jsou v následující tabulce 13.

Tabulka hodnot sledovaných veličin při měření lokálního kompresního odporu na modelu textilního dynamického systému

Tab. 13

* *	Označení vzorku	Hystereze 1.cykl [%]	Hystereze 5. cykl [%]	Maximální odpor v 5. cyklu [N]	Relaxace 6. cykl [N]
P	SY 1.1	54,138	38,259	-2,489	-0,287
O	SY 1.2	61,604	46,246	-2,515	-0,277
L	SY 1.3	65,092	51,089	-2,027	-0,263
O	SY 1.4	61,874	43,732	-2,207	-0,244
H	SY 1.5	44,044	22,638	-1,555	-0,150
A	SY 1.6	41,081	15,069	-1,777	-0,156
*	SY 1.7	38,521	17,336	-1,823	-0,188
1	SY 1.8	51,569	30,985	-2,279	-0,204
P	SY 2.1	39,065	36,416	-2,330	-0,234
O	SY 2.2	46,254	37,171	-2,502	-0,217
L	SY 2.3	59,052	44,399	-1,930	-0,215
O	SY 2.4	63,030	46,436	-1,893	-0,234
H	SY 2.5	52,600	9,482	-1,699	-0,153

A	SY 2.6	23,776	16,195	-1,850	-0,140
*	SY 2.7	17,680	15,674	-1,992	-0,158
2	SY 2.8	36,928	28,977	-2,196	-0,199
P	SY 3.1	54,737	41,293	-2,123	-0,226
O	SY 3.2	47,289	34,605	-2,132	-0,188
L	SY 3.3	50,934	33,128	-1,783	-0,180
O	SY 3.4	47,937	33,673	-2,097	-0,209
H	SY 3.5	83,430	71,066	-2,121	-0,325
A	SY 3.6	85,231	75,633	-2,070	-0,319
*	SY 3.7	78,365	69,374	-2,199	-0,298
1	SY 3.8	76,279	52,089	-2,827	-0,376
P	SY 4.1	47,254	38,674	-1,901	-0,196
O	SY 4.2	46,180	33,483	-2,003	-0,156
L	SY 4.3	49,177	30,049	-1,858	-0,145
O	SY 4.4	52,564	33,769	-1,823	-0,172
H	SY 4.5	45,138	43,675	-2,352	-0,293
A	SY 4.6	51,548	46,122	-1,938	-0,242
*	SY 4.7	35,639	36,773	-2,592	-0,282
2	SY 4.8	42,680	38,460	-3,111	-0,344

4.4. Vyhodnocení naměřených hodnot

Pro porovnání a vyhodnocení výsledků byly vybrány stejné typy parametrů pro všechny 4 kategorie vzorků (viz kap. 4.). Jsou to

- střední hodnota hystereze v 1. cyklu nebo její maximální a minimální hodnota,
- střední hodnota hystereze v 5. cyklu nebo její maximální a minimální hodnota,
- střední hodnota maximálního odporu v 5. cyklu nebo jeho maximální a minimální hodnota,
- střední hodnota relaxace odporu z hodnoty v 6. cyklu nebo její maximální a minimální hodnota,
- výběrová směrodatná odchylka výše uvedených hodnot,
- variační koeficient výše uvedených hodnot,
- interval spolehlivosti,
- statistické diagnostiky analýzy dat získané metodou „Základní předpoklady“ (software ADSTAT 2),
- graf bodový a krabicový (Exploratorní analýza, software ADSTAT 2),
- graf hustoty pravděpodobnosti (Exploratorní analýza, software ADSTAT 2),
- graf rozptýlení s kvantily (Exploratorní analýza, software ADSTAT 2),
- statistické diagnostiky porovnání dvou výběrů (Dva výběry, software ADSTAT 2),
- statistické diagnostiky analýzy rozptylu (Jednostupňová analýza rozptylu ANOVA An # 1, software ADSTAT 2),

- průběhy deformačních křivek v 1. a 5. cyklu z měření buď průměrných nebo maximálních a minimálních hodnot,
- průběhy relaxačních křivek z 6. cyklu deformace podle naměřených hodnot,
- průběh disipace kompresního odporu (metoda Spline, software FAMULUS),
- derivace průběhu disipace,
- integrál průběhu disipace.

Hodnoty disipace byly určeny podle vztahu $D(t) = R_6 - R_R(t)$, (51)

kde $D(t)$ je hodnota disipace [N] v čase t [s],

R_6 je maximální hodnota odporu v 6. cyklu deformace, od kterého probíhá relaxace napětí [N],

$R_R(t)$ je hodnota odporu [N] v čase t [s].

Hodnoty disipace byly definovány proto, že usnadňují rozbor relaxačních křivek.

4.4.1. Průměrný kompresní odpor

Od poměrně snadného a rychlého měření průměrného kompresního odporu se očekávalo rychlé a tudíž pouze orientační posouzení vlivu technologií použitých k formování konstrukčních jednotek na hodnotu průměrného kompresního odporu. Předpokládalo se zachování stejných vstupních parametrů (materiálových vstupů a rychlosti v_I) i výstupního parametru (výstupní rychlosti $\bar{v}_2$) v celém experimentu. Výsledky vyhodnocení naměřených hodnot jsou v tabulce 14, grafické zpracování je v příloze.

Aby bylo možné posoudit vliv pouze tří základních technologických postupů (obr. 22, 24, 25) na průměrný kompresní odpor (bez ohledu na velikost konstrukčních jednotek), byly hodnoty kompresního odporu naměřené na vzorcích textilií označených 1.1 a 1.2 sjednoceny do výběru N1, na vzorcích označených 2.1 a 2.2 byly sjednoceny do výběru N2 a na vzorcích označených 3.1 a 3.2 sjednoceny do výběru N3. U těchto výběrů byla (na hladině významnosti $\alpha=0,05$) prokázána normalita.

Na tytéž výběry byla aplikována jednak statistická diagnostika pro porovnání dvou výběrů (ADSTAT 2, dva výběry), jednak statistická diagnostika pro analýzu rozptylu (ANOVA An#1). Výsledky porovnání dvou výběrů jsou v tab. 15, výsledkem analýzy rozptylu je zamítnutí nulové hypotézy na hladině významnosti $\alpha=0,05$.

Grafické zpracování výsledků uvedené v příloze bylo provedeno pro všech 6 variant vzorků. Ukazuje detailněji vliv velikosti konstrukčních jednotek (jejich délky L_0) na průměrný kompresní odpor naměřený u všech šesti variant textilních vzorků.

Výsledky vyhodnocení měření průměrného kompresního odporu

Tabulka výsledků

Tab. 14

Označení vzorku	Para- metr	Hystereze 1.cykl [%]	Hystereze 5. cykl [%]	Maximální odpor v 5. cyklu [N]	Relaxace 6. cykl [N]
1.1	$\bar{x}$	42,021	26,907	-396,370	-55,169
	s	0,399	0,232	19,439	1,904
	v	0,950	0,863	4,904	3,451
	i	0,384	0,227	19,050	1,866
	špičatost			1,303	
	šikmost			0,165	
1.2	$\bar{x}$	42,222	27,273	-374,039	-46,438
	s	0,205	0,416	12,765	6,138
	v	0,485	1,524	3,413	13,218
	i	0,201	0,408	12,509	6,015
	špičatost			1,339	
	šikmost			0,170	
2.1	$\bar{x}$	44,604	29,890	-241,056	-30,141
	s	0,874	0,590	31,875	4,595
	v	1,958	1,975	13,223	15,245
	i	0,856	0,578	31,237	4,503
	špičatost			1,941	
	šikmost			0,575	
2.2	$\bar{x}$	44,659	30,182	-258,706	-30,842
	s	0,898	1,325	43,557	6,071
	v	2,010	4,389	16,837	19,685
	i	0,878	1,298	42,685	5,949
	špičatost			1,724	
	šikmost			0,356	
3.1	$\bar{x}$	39,097	24,572	-565,011	-67,791
	s	1,032	0,756	102,365	10,569
	v	2,639	3,075	18,117	15,590
	i	1,011	0,741	100,316	10,357
	špičatost			1,512	
	šikmost			0,394	
3.2	$\bar{x}$	40,130	24,878	-539,471	-69,818
	s	0,160	0,374	28,084	9,665
	v	0,399	1,503	5,206	13,843
	i	0,157	0,366	27,522	9,472
	špičatost			1,511	
	šikmost			0,071	

Poznámka: $\bar{x}$ střední hodnota
s směrodatná odchylka
v variační koeficient [%]
i interval spolehlivosti na hladině významnosti $\alpha = 0,05$

Porovnání výběrů

Tabulka porovnání výběrů

Tab. 15

Výběry	Parametry	N1	N2	N3
N1	1	-	H0 přijata	H0 zamítnuta
	2	-	H0 přijata	H0 zamítnuta
	3	-	H0 přijata	H0 zamítnuta

	1	-	H0 zamítnuta	H0 zamítnuta
	2	-	H0 zamítnuta	H0 zamítnuta
	3	-	H0 zamítnuta	H0 zamítnuta
	4	-	H0 zamítnuta	H0 zamítnuta
	5	-	H0 zamítnuta	H0 zamítnuta
	6		H0 zamítnuta	H0 zamítnuta
N2	1		-	H0 přijata
	2		-	H0 přijata
	3		-	H0 přijata
	1		-	H0 zamítnuta
	2		-	H0 zamítnuta
	3		-	H0 zamítnuta
	4		-	H0 zamítnuta
	5		-	H0 zamítnuta
	6		-	H0 zamítnuta

- Poznámka: Test homogenity rozptylu, hypotéza H0: $S_1^2 = S_2^2$
1. Fisher – Snedocor F test
2. Opravený F test
3. Jackknife F test

- Test shody průměru, hypotéza H0: $\mu_1 = \mu_2$
1. t test (shodné rozptyly)
2. t test (různé rozptyly)
3. t test (modifikovaná šikmost)
4. t test (párový)
5. t test (robustní, shodné rozptyly)
6. t test (robustní, různé rozptyly)

Analýza rozptylu

H0: Efekty zkoumaného faktoru jsou nulové

HA: Efekty zkoumaného faktoru nejsou nulové

Závěr: H0 je zamítnuta na hladině významnosti $\alpha=0,05$.

Vicenasobná porovnání (Shefeho procedura):

- N1 = N2 Zamítnuto na hladině významnosti $\alpha=0,05$
- N1 = N3 Zamítnuto na hladině významnosti $\alpha=0,05$
- N2 = N3 Zamítnuto na hladině významnosti $\alpha=0,05$

Vyhodnocení:

Především z analýzy rozptylu a vzájemného porovnání dvou výběrů lze vyvodit, že jednotlivé technologické postupy významně ovlivňují průměrný kompresní odpor. Rozbor potvrzuje vliv vybraných technologických parametrů na strukturální charakteristiky konstrukčních jednotek a tudíž i na globální strukturu produktu a tím potvrzuje i reálnost výroby textilií s lokálně rozdílným kompresním odporem.

Z údajů v tabulce 14 vyplývá, že nejvyšší hodnoty průměrného kompresního odporu v 5. cyklu deformace bylo dosaženo technologickou alternativou označenou N3, tj. postupem podle obr. 25, kdy změna otáček pracovního kotouče n a změna výstupní rychlosti v_2 se dějí ve fázi.

4.4.2. Lokální kompresní odpor

Od měření a vyhodnocení lokálního kompresního odporu se očekávalo detailní zodpovězení otázek obsažených v pracovní hypotéze uvedené v úvodu této práce a poskytnutí informací pro další reálný vývoj textilií s lokálně rozdílným kompresním odporem. Předpokládalo se, že vyhodnocení poskytne informace potřebné k výběru jednoho ze šesti variant textilních vzorků, který bude dále zdokonalován. K usnadnění výběru mělo přispět zpracování výsledků do paprskových grafů a vybraných grafů statistické analýzy. Výsledky jsou uspořádány do tabulky 16, grafické zpracování je v příloze. K posouzení vlivu jednotlivých šesti variant technologických postupů na lokální odpor textilních vzorků bylo využito především hodnot variačního koeficientu z tab. 16, analýzy rozptylu a paprskových grafů. K údajům statistické diagnostiky je třeba přistupovat s vědomím toho, že naměřené hodnoty lokálního kompresního odporu nemusí vyhovovat normálnímu rozložení. Předpoklad normality byl u některých vzorků na hladině významnosti $\alpha=0,05$ prokázán, u jiných zamítnut.

Protože je pracováno se zápornými hodnotami (tlakem) nebyla transformace hodnot na jiný typ rozložení (např. lognormální) provedena.

Výsledky vyhodnocení měření lokálního kompresního odporu.

Tabulka výsledků				Tab. 16	
Označení vzorku	Para- metr	Hystereze 1.cykl [%]	Hystereze 5. cykl [%]	Maximální odpor v 5. cyklu [N]	Relaxace 6. cykl [N]
1.1	$\bar{x}$	62,251	45,445	-2,528	-0,274
	s	8,929	9,629	0,542	0,090
	v	14,344	21,188	21,844	32,794
	i	3,572	3,852	0,222	0,036
	špičatost			4,260	
	šikmost			-0,866	
1.2	$\bar{x}$	49,685	28,921	-2,756	-0,251
	s	8,222	8,916	0,941	0,091
	v	16,548	30,830	34,148	36,168
	i	3,282	3,567	0,376	0,036
	špičatost			2,597	
	šikmost			-0,751	
2.1	$\bar{x}$	54,664	33,304	-2,004	-0,197
	s	13,648	16,565	0,699	0,080
	v	24,967	49,738	34,937	40,508

	i	5,460	6,627	0,280	0,032
	špičatost			2,463	
	šíkmost			-0,729	
2.2	$\bar{x}$	64,018	47,736	-1,421	-0,166
	s	16,330	19,921	0,446	0,075
	v	25,508	41,732	31,375	45,212
	i	6,533	7,970	0,178	0,030
	špičatost			4,985	
	šíkmost			-1,347	
3.1	$\bar{x}$	66,756	51,815	-2,627	-0,300
	s	11,701	14,810	0,583	0,069
	v	17,528	28,582	22,185	23,012
	i	4,681	5,925	0,233	0,027
	špičatost			3,375	
	šíkmost			0,972	
3.2	$\bar{x}$	54,006	36,241	-3,301	-0,297
	s	5,598	7,362	0,753	0,098
	v	10,365	20,314	22,799	33,043
	i	2,240	2,945	0,301	0,039
	špičatost			6,797	
	šíkmost			-1,648	

Poznámka:

$\bar{x}$

střední hodnota

s

směrodatná odchylka

v

variační koeficient [%]

i

interval spolehlivosti na hladině významnosti $\alpha=0,05$

Analýza rozptylu

H0: Efekty faktoru jsou nulové

HA: Efekty faktoru nejsou nulové

H0 je zamítnuta na hladině významnosti $\alpha=0,05$.

Vicenásobná porovnání (Sheffeho procedura)

Tab. 17

Označení vzorků	1.1	1.2	2.1	2.2	3.1	3.2
1.1	-	Akceptována	Akceptována	Zamítnuta	Akceptována	Zamítnuta
1.2		-	Zamítnuta	Zamítnuta	Akceptována	Akceptována
2.1	-	-	-	Akceptována	Akceptována	Zamítnuta
2.2	-	-	-	-	Zamítnuta	Zamítnuta
3.1	-	-	-	-	-	Zamítnuta
3.2	-	-	-	-	-	-

Poznámka: Efekty faktoru jsou nulové, je-li hypotéza akceptována, porovnání byla provedena na hladině významnosti $\alpha=0,05$.

Analýza rozptylu uvnitř výběru vzorků

Cílem této analýzy bylo určit vliv způsobu nastavení šablony (viz kap. 3.1.1.1.) na výsledek měření.

H0: Efekty faktorů jsou nulové

HA: Efekty faktorů nejsou nulové

Výsledek analýzy mezi vzorky 1.1

H0 je akceptována na hladině významnosti $\alpha=0,05$.

Vicenásobné porovnání:

Tab. 18

Označení vzorků	1.1.1	1.1.2	1.1.3
1.1.1	-	Akceptována	Akceptována
1.1.2	-	-	Akceptována

Výsledek analýzy mezi vzorky 1.2

H0 je zamítnuta na hladině významnosti $\alpha=0,05$.

Vicenásobné porovnání:

Tab. 19

Označení vzorků	1.2.1	1.2.2	1.2.3
1.2.1	-	Akceptována	Zamítnuta
1.2.2	-	-	Zamítnuta

Výsledek analýzy mezi vzorky 2.1

H0 je zamítnuta na hladině významnosti $\alpha=0,05$.

Vicenásobné porovnání:

Tab. 20

Označení vzorků	2.1.1	2.1.2	2.1.3
2.1.1	-	Zamítnuta	Akceptována
2.1.2	-	-	Akceptována

Výsledek analýzy mezi vzorky 2.2

H0 je akceptována na hladině významnosti $\alpha=0,05$.

Vicenásobné porovnání:

Tab. 21

Označení vzorků	2.2.1	2.2.2	2.2.3
2.2.1	-	Akceptována	Akceptována
2.2.2	-	-	Akceptována

Výsledek analýzy mezi vzorky 3.1

H0 je akceptována na hladině významnosti $\alpha=0,05$.

Vícenásobné porovnání:

Tab. 22

Označení vzorků	3.1.1	3.1.2	3.1.3
3.1.1	-	Akceptována	Akceptována
3.1.2	-	-	Akceptována

Výsledek analýzy mezi vzorky 3.2

H0 je akceptována na hladině významnosti $\alpha=0,05$.

Vícenásobné porovnání:

Tab. 23

Označení vzorků	3.2.1	3.2.2	3.2.3
3.2.1	-	Akceptována	Akceptována
3.2.2	-	-	Akceptována

Vyhodnocení

Nejvyšší hodnotu variačního koeficientu (35% a 31%) maximálního odporu v 5. cyklu deformace vykazují textilní vzorky 2.1 a 2.2. Jsou zhotoveny postupem podle obr. 24, kdy změna otáček pracovního kotouče n a výstupní rychlosti v_2 probíhá v protifázi. Vyšší hodnotu dosahuje vzorek s minimální hodnotou intervalu změny parametru, tj. při periodě změny 5,5 s. U všech vzorků však variační koeficient odporu překračuje hodnotu 20%.

Z analýzy rozptylu lze vyvodit, že efekty jednotlivých technologií nejsou nulové, nulová hypotéza H0 je zamítnuta na hladině významnosti $\alpha=0,05$.

Z analýzy rozptylu uvnitř výběru vzorků nelze jednoznačně posoudit vliv umístění přítlačné desky I (obr. 12) na ploše textilního vzorku při jeho přípravě pro měření na hodnoty kompresního odporu. Ve většině případu je přijata nulová hypotéza, poloha desky, tudíž neovlivňuje výsledek měření.

Paprskové grafy potvrzují, že největší kolísání hodnot maximálního kompresního odporu lze nalézt u textilního vzorku 2.1 a 2.2 a že je tedy k dispozici technologie k výrobě netkaných textilií s lokálně rozdílným kompresním odporem.

4.4.3. Kontrolní měření lokálního kompresního odporu

Kontrolní měření bylo provedeno s cílem prověřit metodu měření i vyhodnocování naměřených hodnot. Proto byly pro kontrolní měření vybrány vzorky, o kterých se a priori

předpokládá, že jejich lokální odpor je v každém místě „stejný“. Byl vybrán vzorek PU pěny a vzorek výrobku typu ORBIK 400. Postup měření a vyhodnocení byl zcela shodný s postupy použitými u testovaných vzorků. Výsledky vyhodnocení naměřených hodnot, u kterých byla na hladině významnosti $\alpha=0,05$ prokázána normalita, jsou uspořádány do tabulky výsledků 24, grafické zpracování výsledků je v příloze.

Protože u kontrolního vzorku ORBIK 400 byl zjištěn neočekávaně vysoký variační koeficient maximálního odporu v 5. cyklu (20%), byly hodnoty naměřené na jednotlivých proměřovaných vzorcích odebraných z běžně vyráběného výrobku vzájemně porovnávány. Byla použita statistická diagnostika pro porovnání dvou výběrů i pro analýzu rozptylu. Normalita rozložení naměřených hodnot byla na hladině významnosti $\alpha=0,05$ prokázána.

Vyhodnocení výsledků kontrolního měření

Tabulka výsledků

Tab. 24

Označení vzorku		Hystereze 1.cykl [%]	Hystereze 5. cykl [%]	Maximální odpor v 5. cyklu [N]	Relaxace 6. cykl [N]
PU	$\bar{x}$	49,251	26,133	-1,996	-0,324
	s	5,713	2,746	0,169	0,038
	v	11,600	10,508	8,459	11,804
	i	3,959	1,903	0,117	0,026
	špičatost			2,381	
	šikmost			-0,421	
ORBIK 400	$\bar{x}$	72,950	48,112	-5,401	-0,529
	s	38,899	23,594	1,091	0,250
	v	53,324	49,039	20,200	47,266
	i	15,563	9,439	0,434	0,100
	špičatost			2,378	
	šikmost			-0,342	

Poznámka: $\bar{x}$ střední hodnota
s směrodatná odchylka
v variační koeficient [%]
i interval spolehlivosti na hladině významnosti $\alpha = 0,05$

Porovnání vzorků metodou dvou výběrů

Tabulka porovnání výběrů

Tab. 25

Výběry	Parametry	K1	K2	K3
K1	1	-	Akceptována	Akceptována
	2	-	Akceptována	Akceptována
	3	-	Akceptována	Akceptována
	1	-	Akceptována	Akceptována
	2	-	Akceptována	Akceptována
	3	-	Akceptována	Zamítnuto
	4	-	Akceptována	Akceptována
	5	-	Akceptována	Akceptována
	6	-	Akceptována	Akceptována
K2	1	-	-	Akceptována
	2	-	-	Akceptována

	3	-	-	Akceptována
	1	-	-	Akceptována
	2	-	-	Akceptována
	3	-	-	Zamítnuto
	4	-	-	Akceptována
	5	-	-	Akceptována
	6	-	-	Akceptována

Poznámka: Test homogenity rozptylu, hypotéza $H_0: S_1^2 = S_2^2$

1. Fisher – Snedocor F test
2. Opravný test
3. Jacknife F test

Test shody průměru, hypotéza $H_0: \mu_1 = \mu_2$

1. t test (shodné rozptyly)
2. t test (různé rozptyly)
3. t test (modifikovaná šikmost)
4. t test (párový)
5. t test (robustní, shodné rozptyly)
6. t test (robustní, různé rozptyly)

Analýza rozptylu

H_0 : Efekty faktoru jsou nulové

H_A : Efekty faktoru nejsou nulové

H_0 je akceptována na hladině významnosti $\alpha=0,05$.

Vicenásobná porovnání: Tab. 26

Označení vzorků	K1	K2	K3
K1	-	Akceptována	Akceptována
K2	-	-	Akceptována

Vyhodnocení

Hodnoty lokálního kompresního odporu měřené na vzorku PU pěny vykazují skutečně nízký variační koeficient (8%). Soustředění hodnot maximálního odporu v 5. cyklu deformace kolem střední hodnoty vykazuje i grafické zpracování naměřených hodnot. Hodnoty odporu u vzorku ORBIK 400 vykazují neočekávaně vysoký variační koeficient. Oba použité diagnostické postupy (porovnání dvou výběrů, analýza rozptylu) potvrzují nulovou hypotézu H_0 na hladině významnosti $\alpha=0,05$ a je tedy zřejmé, že naměřené výsledky nejsou ovlivněny v experimentu nepředvídanými faktory.

4.4.4. Lokální kompresní odpor modelu textilního dynamického systému

Vyhodnocování bylo vedeno s cílem posoudit změny kompresního odporu, ke kterým by podle předpokladu mělo dojít po smykové deformaci zkoumaného vzorku. Normalita naměřených hodnot byla u polohy 1 prokázána, u polohy 2 zamítnuta na hladině významnosti $\alpha=0,05$. Výsledky jsou opět uspořádány do tabulky výsledků, grafické zpracování výsledků je v příloze. Pro posouzení změny kompresního odporu bylo využito především statistické diagnostiky pro porovnání dvou výběrů a diagnostiky pro analýzu rozptylu na hladině významnosti $\alpha=0,05$ a paprskového grafu.

Vyhodnocení výsledků měření lokálního odporu dynamického systému

Tabulka výsledků

Tab. 27

Označení vzorku	Parametr	Hystereze 1.cykl [%]	Hystereze 5. cykl [%]	Maximální odpor v 5. cyklu [N]	Relaxace 6. cykl [N]
SY pol.1	$\bar{x}$	58,883	42,263	-2,127	-0,243
	s	14,569	17,636	0,314	0,064
	v	24,743	41,730	14,307	26,399
	i	7,139	8,641	0,149	0,031
	špičatost			3,105	
	šikmost			-0,345	
SY pol.2	$\bar{x}$	44,285	33,485	-2,123	-0,211
	s	11,424	10,781	0,371	0,057
	v	25,795	32,196	16,901	26,989
	i	5,598	5,283	0,176	0,028
	špičatost			4,091	
	šikmost			-1,298	

Poznámka: $\bar{x}$ střední hodnota
s směrodatná odchylka
v variační koeficient [%]
i interval spolehlivosti na hladině významnosti $\alpha =0,05$

Porovnání vzorků metodou dvou výběrů

Tabulka porovnání výběrů

Tab. 28

Vzorky	Parametr	SY pol.2
SYpol.1	1	Zamítnuto
	2	Akceptována
	3	Akceptována
	1	Akceptována
	2	Akceptována
	3	Akceptována
	4	Zamítnuto
	5	Akceptována
	6	Akceptována

Poznámka: Test homogenity rozptylu, hypotéza $H0: S_1^2 = S_2^2$
1. Fisher – Snedocor F test
2. Opravný test
3. Jackknife F test

Test shody průměru, hypotéza $H_0: \mu_1 = \mu_2$

1. t test (shodné rozptyly)
2. t test (různé rozptyly)
3. t test (modifikovaná šikmost)
4. t test (párový)
5. t test (robustní, shodné rozptyly)
6. t test (robustní, různé rozptyly)

Analýza rozptylu

H_0 : Efekty faktoru jsou nulové

H_A : Efekty faktoru nejsou nulové

H_0 je akceptována na hladině významnosti $\alpha=0,05$.

Vyhodnocení

Ze statistické diagnostiky pro porovnání dvou výběrů je zřejmé, že přijetí nulové hypotézy na hladině významnosti $\alpha=0,05$ připouští možnost změny kompresního odporu aplikací smykové deformace na testovaný vzorek pouze velmi sporadicky. Je nutné přijmout hypotézu, že oba výběry pochází ze stejného souboru a že tudíž nelze na hladině významnosti $\alpha=0,05$ statisticky potvrdit původní předpoklad o významném vlivu změny struktury způsobené smykovou deformací na hodnoty kompresního odporu. Grafická zpracování výsledků, především do paprskového grafu však tento závěr nepodporují.

5. DISKUSE

Vyhodnocení naměřených hodnot ze všech šesti variant vzorků textilií vyrobených v experimentu potvrzuje funkčnost tří typů technologických postupů podle obr. 22, 24, 25 s hodnotami technologických parametrů n a v_2 podle tab. 3a, navržených v této práci k výrobě textilií s lokálně rozdílným kompresním odporem. Stručné vyhodnocení hodnot naměřených v každé kategorii vzorků provedené v předchozí kapitole neobsahuje úvahy o možném zkreslení naměřených hodnot v experimentu nepředvídanými vlivy jako např. kolísáním hmotnosti materiálu v plnicí šachtě mykacího stroje, nelineárními průběhy změn otáček n a v_2 při jejich řízení apod. Míru těchto nepředvídaných vlivů na naměřené hodnoty lze pouze odhadovat na základě podobnosti s podobnými technologickými postupy výroby kolmo kladených textilií. Stejně tak i vyhodnocovací metody založené na ne vždy v experimentu splněných předpokladech, jako např. předpoklad normálního rozložení naměřených hodnot, mohou vlivy některých jevů chybně interpretovat. Je třeba připomenout, že v experimentu byly cílevědomě měněny pouze ty parametry, o kterých se předpokládalo, že mají bezprostřední vliv na tvorbu jednotky struktury, resp. na stavbu konstrukčních jednotek (kap. 2.3). Byly měněny otáčky n pracovního válce a výstupní rychlost v_2 (kap. 3.4.1.2.), a to u všech tj. tří technologických variant ve stejných intervalech (viz tab. 3a). Ostatní technologické parametry (viz tab. 3b, 3c) byly nastaveny pro všechny v experimentu připravované vzorky textilií shodně a snahou bylo udržet je během výroby neměnné.

Za těchto podmínek by však plošné hmotnosti všech vzorků textilií měly vykazovat „blízké“ hodnoty. Z tabulek 1 a 2 je však zřejmé kolísání plošné hmotnosti vzorků v mezích mezi 334 gm^{-2} až 523 gm^{-2} . Takové rozdíly nelze přehlédnout. Naopak je třeba připustit, že tyto rozdíly ovlivní naměřené hodnoty, jak průměrného, tak lokálního kompresního odporu. Původ rozdílu v plošných hmotnostech vzorků lze hledat buď již ve zmíněném kolísání hmotnosti materiálu při vstupu do technologického zařízení nebo v nelinearitě řízení regulovaných parametrů ve fázi a protifázi, tj. ve funkci pomocné řídicí jednotky. Tento fakt by mohl být příčinou rozdílné průměrné výstupní rychlosti $\bar{v}_2$ a tím i rozdílné plošné hmotnosti textilního vzorku.

Zmíněné kolísání plošných hmotností je třeba brát v úvahu především při hodnocení výsledků těmi statistickými diagnostickými metodami, které pracují se středními hodnotami naměřených veličin. Proto nelze výsledky těchto metod považovat za zcela přesvědčivé a je třeba je doplnit dalšími způsoby hodnocení, které pracují s relativními hodnotami a nejsou tak přímo závislé na velikosti naměřených hodnot. V práci je proto využito variačního koeficientu

kompresního odporu, špičatosti křivky hustoty pravděpodobnosti a paprskového grafu. Paprskový graf znázorňuje kolísání hodnot kolem středu pravidelného n úhelníku, v konkrétním případě měření v osmi místech je n úhelníkem **osmiúhelník** (viz příloha).

Zajímavým doplňkem statistických diagnostik je porovnání hysterezí, jak různých typů textilních vzorků, tak i hysterezí mezi 1. a 5. cyklem týchž vzorků. Neméně zajímavé je porovnání deformačních křivek zjištěných v lokalitách s minimálním a maximálním odporem, doplněné průběhem relaxačních křivek v týchž lokalitách. Pro usnadnění rozboru relaxačních křivek byly tyto křivky transformovány do tzv. disipačních křivek podle vztahu (51), ke kterým byly vytvořeny průběhy jejich derivací i integrálů.

5.1. Poznatky z měření průměrného kompresního odporu

Očekávalo se, že změnou struktury textilie v určitých lokalitách se změní i její průměrný kompresní odpor. Vyhodnocení hodnot získaných měřením průměrného kompresního odporu toto očekávání potvrzuje. Potvrzuje také, že parametry i jejich konkrétní hodnoty, které byly vybrány pro regulaci typu i velikosti konstrukčních jednotek, tj. n a v_2 , jsou účinné a že byly vybrány správně. Současně však zjištěné hodnoty plošné hmotnosti varují před neuváženými závěry. Upozorňují na nutnost prověřit dodržení „neměnnosti“ technologických parametrů, především kolísání hmotností suroviny při vstupu do výrobního zařízení a na nutnost prověřit funkci techniky použité k řízení parametrů n a v_2 . Bohužel výsledky tohoto prověření již nebudou součástí této práce, přestože je zřejmé, že dosažený výsledek by byl jistě hodnotnější. Přes tento fakt se domnívám, že dosažený výsledek je pro další práci povzbudivý a že měření průměrného kompresního odporu u výrobků s lokálně rozdílným kompresním odporem má své opodstatnění. Především je snadné a rychlé a umožňuje nastavit základní hodnotu požadovaného kompresního odporu. Získané výsledky ve spojení se základními údaji o plošné hmotnosti vzorku rychle upozorní na případné nesrovnalosti v technologickém procesu.

V průbězích deformačních křivek jednotlivých vzorků i křivek relaxace napětí (odporu) jsou rozdíly, které je možné přisoudit, se stejnou opatrností jako v předchozím, rozdílným strukturám konstrukčních jednotek textilních vzorků. Zajímavé je např. zjištění rozdílných průběhů derivací a integrálů křivek disipace. Je zajímavé, že nejnižší hodnoty relaxace vykazují opět vzorky vyrobené postupem podle obr. 24. Poměr maximálního napětí a zjištěné relaxace (podle tabulky 14) zůstává však u všech vzorků blízký hodnotě 8. Pohybuje se v intervalu 7,2 u vzorku označeného 1.1 až 8,4 u vzorku označeného 2.2. Grafy z exploratorní

analýzy sestavené z hodnot měření průměrného kompresního odporu slouží k doplnění představy o vyšetřovaných výběrech.

5.2. Poznatky z měření lokálního kompresního odporu

Jeho měření i vyhodnocení je základním zdrojem informací potřebných pro posouzení reálnosti pracovní hypotézy. Je samozřejmé, že absolutní hodnoty kompresního odporu naměřené na jednotlivých vzorcích jsou ovlivněny stejnými efekty jako hodnoty průměrného kompresního odporu. Základní informace o lokálně rozdílném kompresním odporu však těmito efekty dotčena není. Z vyhodnocení vyplývá, že byly vyrobeny textilie, které skutečně vykazují lokálně rozdílný kompresní odpor. Nepotvrdil se vliv polohy přitlačné desky na naměřené hodnoty kompresního odporu. Podle hodnoty variačního koeficientu vykazují nejvyšší rozptyl hodnot kolem střední hodnoty vzorky 2.1 a 2.2, tudíž technologický postup podle obr. 24. Protože statistický způsob vyhodnocení neříká nic o uspořádání lokalit s definovaným kompresním odporem v ploše textilie a protože není k dispozici více měření, než je uvedeno v tabulkách 5 až 10, byly pro popis kolísání lokálního odporu v závislosti na místě měření (viz obr. 12) vybrány tzv. paprskové grafy. Ideální výrobek, tj. s lokálním odporem „stejným“ ve všech proměřovaných místech (v osmi), by byl v tomto grafu zobrazen pravidelným osmiúhelníkem. Nepravidelnost osmiúhelníku vypovídá o lokální rozdílnosti kompresního odporu. Paprskové grafy doplňují grafy získané z exploratorní analýzy naměřených hodnot.

Zajímavé je i porovnání deformačních křivek zjištěných v lokalitách s maximálním a minimálním kompresním odporem, a to jak v 1. cyklu, tak i v 5. cyklu. Neméně zajímavé je i porovnání disipačních křivek týchž lokalit.

Informace obsažené v grafickém zpracování naměřených hodnot nejsou v této práci plně využity, protože práce neobsahuje rozборы struktury konstrukčních jednotek. Teprve s těmito rozborů, tj. ve spojitosti s měřením např. úhlu sklonu lamel α , jejich hustot apod., by mohly být vysvětleny některé anomálie zjištěné např. v průbězích deformačních křivek apod. To však přesahuje rozsah této práce. Ten je obsažen v pracovní hypotéze v kapitole 1.

Výsledky dosažené měřením lokálního kompresního odporu potvrzují, že je možné vyrobit textilie s rozdílným lokálním kompresním odporem. Je řečeno jakými technologickými postupy, jakou technikou, jakými technologickými parametry, případně jakými jejich změnami lze požadovaného efektu dosáhnout.

5.3. Poznatky z kontrolního měření

Výsledky kontrolního měření potvrzují původní předpoklady o nízkém rozptylu hodnot kompresního odporu kolem jeho střední hodnoty u vzorku z PU pěny. Hodnoty naměřené na textilií ORBIK 400, o které se a priori předpokládala jistá dokonalost, však vykazaly vysoký variační koeficient, téměř podobný jako u testovaných vzorků, u kterých bylo dosažení vysokého variačního koeficientu cílem. Příčinu tohoto jevu lze hledat v nerovnoměrně promísené surovině. Ta obsahuje shluky pojivých vláken, které po fixaci teplem vytvoří „tvrdší“ lokality, než by vznikly při rovnoměrném promísení suroviny. Nabízí se tu další cesta jak dosáhnout rozdílného kompresního odporu - řízeným mísením surovin různých typů.

Lze konstatovat, že kontrolní měření na PU pění potvrdilo reálnost v práci navrženého postupu měření i vyhodnocování lokálního kompresního odporu. Dokladem tohoto tvrzení je i grafické zpracování naměřených hodnot uvedené v příloze.

5.4. Poznatky z měření lokálního kompresního odporu na modelu textilního dynamického systému

Z vyhodnocení v kapitole 4.4.4. vyplývá, že testy statistické diagnózy prováděné na hladině významnosti $\alpha=0,05$ nepotvrdily hypotézu o využití smykové deformace 3D netkané textilie ke změně jejího kompresního odporu. Vysvětlení tohoto výsledku je možné podložit úvahou, že smyková deformace změní strukturu konstrukčních jednotek v jiné rovině, než v jaké byla změna předpokládána na obr. 17 a 30, tj. že dojde ke změně geometrie struktury především v rovinách kolmých k zatěžovací síle.

Přes tento „nepříznivý“ výsledek statistické diagnózy jsem toho názoru, že lze nalézt způsob jak textilní systém s proměnným kompresním odporem zrealizovat. Podporou tohoto názoru je i grafické zpracování výsledků pro jednotlivé polohy systému uvedené v příloze, ze kterých vyplývá, že byly naměřeny rozdílné hodnoty kompresního odporu. Pro nejednoznačný výsledek experimentu nezbývá, než ho zopakovat, ovšem na vyšší experimentální úrovni, než na jaké mohl být připraven pro tuto práci.

6. ZÁVĚR

Na všechny otázky položené v úvodní kapitole této práce lze odpovědět kladně.

Současný stav poznání i techniky umožňuje vyrobit podložku s lokálně rozdílným kompresním odporem. Už pouze tento fakt je dostačujícím potvrzením pracovní hypotézy.

V jednotlivých kapitolách předkládané práce jsou popsány textilní struktury, které tuto vlastnost vykazují. Je popsáno složení i tvar jednotek struktury, pravidla syntézy těchto jednotek struktury do konstrukčních jednotek i pravidla syntézy konstrukčních jednotek do výrobku. Jsou popsány i technologické postupy, kterými lze textilní struktury s lokálně rozdílným kompresním odporem realizovat.

Je popsáno, jak teoretické pozadí, ze kterého celé řešení vychází, tak výsledky dosažené aplikací teoretických představ o struktuře textilních útvarů na konkrétní textilní vzorky. Jsou diskutovány kompresní vlastnosti vzorků textilií, které byly podle popsaných technologických postupů vyrobeny. I z tohoto pohledu lze hovořit o shodě pracovní hypotézy s výsledky experimentu.

Příčiny v diskusi zmíněných odchylek od předpokladů uvedených v pracovní hypotéze lze hledat jednak v neúmyslném porušení tzv. „konstantních podmínek“ experimentu, jednak v předpokladu většiny statistických diagnostických postupů, tj. v předpokladu normality diagnostikovaných hodnot. Ta byla u některých vzorků na hladině významnosti $\alpha=0,05$ prokázána, u jiných zamítnuta.

Neméně důležitou příčinou ne zcela jednoznačného potvrzení předpokladů pracovní hypotézy je i malý počet měření. Ten však lze zdůvodnit účelem této práce. Je první studií zabývající se lokálně rozdílným kompresním odporem netkaných textilií a jejím smyslem bylo především definovat oblasti dalšího výzkumu 3D netkaných textilií, ukázat na možnosti využití textilních struktur v nových oblastech lidské činnosti, nikoliv vysvětlovat anomálie, které odhalil v práci popsaný experiment. Jejich vysvětlení by vyžadovalo připravit nový experiment zcela jinak vedený. S největší pravděpodobností bude náplní dalších prací.

Věřím, že se záměr této práce definovaný v úvodní kapitole podařilo splnit a že netkané 3D textilie s lokálně rozdílným kompresním odporem naleznou mezi ostatními textiliemi své místo. Především věřím, že pomohou zlepšit péči o dlouhodobě ležící pacienty. Přeměna této víry v realitu si samozřejmě vyžádá řadu dalších prací, ke kterým, jak opět věřím, bude právě tato práce využitelným východiskem.

Seznam literatury

- [1] ADANUR, S.: State of the Art in Technical Textiles. In: Textile Technology Forum'95. Charlotte, N.C. USA, 1995, s.1.
- [2] KOMORI, T.-MAKISHIMA, K.: Geometrical Expression of Spaces in Anisotropic Fiber Assemblies. Textile Research Journal, September 1979, s. 550.
- [3] POURDEYHIMI, B.-XU, B.: Pore Characterization In: Nonwoven Fabrics. Shape Considerations. INJ, Vol. 6, No.1, s. 26.
- [4] PAN, N.: A Modified Analysis of the Microstructural Characteristics of General Fiber Assemblies. Textile Research Journal, 63 (6), 1993, s. 336.
- [5] KOMORI, T.-ITO, M.: A Modified Theory of Fiber Contact in General Fiber Assemblies. Textile Research Journal, 64 (9), 1994, s. 519.
- [6] NECKÁŘ, B.: Morfologie a strukturní mechanika obecných vlákenných útvarů. Liberec, TUL Fakulta textilní 1998.
- [7] KOMORI, T.-MAKISHIMA, K.: Estimation of Fiber Orientation and Length in Fiber Assemblies. Textile Research Journal, 1977, s. 309
- [8] KRČMA, R.: Nové teoretické aspekty struktury, vlastností a technologických principů výroby netkaných textilií. /Doktorská disertační práce/. Liberec 1973. 137 s. VŠST. Fakulta textilní.
- [9] CARNABY, G. A.-PAN. N.: Theory of the Compression Hysteresis of Fibrous Assemblies. Textile Research Journal, May 1989, s. 275.
- [10] NECKÁŘ, B.: Stlačování a zaplnění textilních vlákenných svazků. In: Struktura a strukturní mechanika textilií. Liberec 1994, s. 9.
- [11] STRÁNSKÁ, G.: Popis deformací 3D netkaných textilií při jednoosém stlačování. /Diplomová práce/. Liberec 1998. - TUL. Fakulta textilní.
- [12] LUKÁŠ, D.: Stereologie textilních materiálů. Liberec, TUL Fakulta textilní 1998.
- [13] KOMORI, T.-ITO, M.: A New Approach to the Theory of the Compression of Fiber Assemblies. Textile Research Journal, 61 (7), 1991, s. 420.
- [14] KOMORI, T.-ITO, M.: Theory of the General Deformation of Fiber Assemblies. Textile Research Journal, 61 (10), 1991, s. 588.
- [15] DALECKÝ, M.: Zjišťování počtu kontaktů mezi vlákny v objemných textiliích. /Diplomová práce /. Liberec 1997. -TUL. Fakulta textilní.

- [16] MRÁZEK, V.: Souvislost orientace volných úseků vláken a vlastností pojených textilií ve stlačení. /Diplomová práce/. Liberec 1997. -TUL. Fakulta textilní.
- [17] MRÁZEK, T.: Souvislost délky volných úseků vláken a stlačitelnosti pojených textilií. /Diplomová práce/. Liberec 1997. -TUL. Fakulta textilní.
- [18] POKORNÁ, M.: Složené struktury 3D NT a jejich vlastnosti. /Diplomová práce/. Liberec 1997. -TUL. Fakulta textilní.
- [19] MARCUS, I.: Neue Faserstrukturen für Füllungen mit hoher Dichte. Chemiefasern /Textilindustrie, 41 August 1991, s. 857.
- [20] HANUŠ, J.-JIRSÁK, O.: Perpendicular Laid Textiles. In: Young Textile Science. Liberec, TUL 1995, s. 95.
- [21] KRČMA, R.-JIRSÁK, O.-HANUŠ, J.: Anlage zur Herstellung von senkrecht Vliesstoffen und deren Anwendungsbereich. In: Hofer Vliesstoffseminar. Hof 1996, s.13.
- [22] MARTINOVÁ, L.: Struktura a mechanické vlastnosti tepelně pojených textilií. /Kandidátská disertační práce/. Liberec 1993. -VŠST. Fakulta textilní.
- [23] LUKÁŠ, D.: Teorie netkaných textilií. Liberec, TUL Fakulta textilní 1997.
- [24] DE HOFF, R. T.: Quantitative microscopy of linear features in three dimensions. In: Fourth International Congress for Stereology. Gaitherburg, September 4-9, 1975, s. 29.
- [25] LUKÁŠ, D.-HANUŠ, J.-PLOCAROVÁ, M.: Quantitative Microscopy of Nonwoven Material „Struto“. In: 6th European Conference of Stereology. Prague 1993, s. 13.
- [26] HANUŠ, J.-JIRSÁK, O.: Compression of Thick Textile Fabrics Made from Several Layers. In: Textile Reinforced Composites for Engineering. Bolton 1994, s.23.
- [27] FREESTON, D. W.-MILTON, IR.-PLATT, M.: Mechanics of Elastic Performance of Textile Materials. Part XVI – Bonding Rigidity of Nonwoven Fabrics. Textile Research Journal, 35, 1965, s. 48.
- [28] GUSICK, G. E.-HEARLE, J.W. S.-MICHIE, R. J. C.: PETERS R. H.-STEVENSON, P. J.: Fyzikální vlastnosti netkaných textilií. In: Symposium netkaných textilií. Praha 1961.
- [29] HEARLE, J. W. S.-SULTAN, M. A. J.: A Study of Needled Fabrics. Part V. Journal of the Textile Institute, 59, 1968, s. 138.
- [30] Institut Textile de France: Viscoelastic properties of fibers. Textiles à Usages Techniques, 16, 1995, s. 17.
- [31] KOŠKOVÁ, B.: Struktura vlastností vláken. Liberec, VŠST 1989, 316 s.

- [32] ZÁSTĚRA, S.: Struktura a vlastnosti netkaných textilií s neadhezním stykem vláknenné a pojivé fáze. /Kandidátská disertační práce/. Liberec 1986. -VŠST. Fakulta textilní.
- [33] LEE, D. H.-LEE, J. K.: Initial Compressional Behaviour of Fibre Assembly in „Objective Measurement: Applications to Product Design and Process Control“, Kawabata S.-Postle R.-Niwa M.,Eds., The Textile Machinery Society of Japan, Osaka 1985, s. 613.
- [34] VAN WYK, C. M.: Note on the Compressibility of Wool. J. Textile Inst. 37, 1946, s. 285.
- [35] PLOCAROVÁ, M.-JIRSÁK, O.-HANUŠ, J.: Compressibility of Perpendicular-Laid Textiles. In: Textile Science '93. Liberec 1993, s. 74.
- [36] KRČMA, R.-JIRSÁK, O.-PLOCAROVÁ, M.-HANUŠ, J.: Vlastnosti kolmo kladených textilií ve stlačení. In: 23. mezinárodní kolokvium netkaných textilií. Brno 1993, s. 110.
- [37] SEDLÁČEK, A.: Vliv technologie výroby pojených netkaných textilií na jejich deformaci po dlouhodobém stlačení. /Diplomová práce/. Liberec 1996. -TUL. Fakulta textilní.
- [38] MAMULOVÁ, M.: Relaxace a trvalá deformace 3D NT po stlačení. /Diplomová práce/. Liberec 1997. -TUL. Fakulta textilní.
- [39] MEVALD, J.: Pružnost a pevnost pro textilní inženýry. Liberec, VŠST 1984. 257 s.
- [40] DUFKOVÁ, M.: Souvislost mezi uspořádáním vláken v objemné netkané textilií a odporem proti mechanickému namáhání stlačováním. /Diplomová práce/. Liberec 1995. -TUL. Fakulta textilní.
- [41] KRČMA, R.-JIRSÁK, O.-HANUŠ, J.-SAUNDERS, T.: What's New in Highloft Production? Nonwovens Industry 28, 10, 1997, s. 74.
- [42] KRČMA, R.-JIRSÁK, O.-HANUŠ, J.: Stav výroby kolmo kladených objemových textilií. In: XXV. mezinárodní kolokvium netkaných textilií. Brno 1997.
- [43] KRČMA, R.-JIRSÁK, O.: New Perpendicular-Laid Nonwovens and their Properties. In: Edana's 1991, International Nonwovens Symposium. Monte-Carlo 1991, s. 1.
- [44] KRČMA, R.-JIRSÁK, O.: Fortschritte bei der Entwicklung hochvoluminöser senkrecht verlegter Textilien. Technische Textilien/Technical Textiles 39, 1, 1997, s. 32.
- [45] Pat.AO 269300. KRČMA, R. HÝBL, J.-JIRSÁK, O.-HANZL, J.: Zařízení na výrobu objemné vláknenné vrstvy.
- [46] Pat.CZ 280 153 (EP 0 516 964 A1). KRČMA, R.-HANUŠ, J.-SCHMITD, R.: Zařízení na vrstvení rouna z vertikálně ukládané pavučiny. 13.09.95.

- [47] LANKOVÁ, A.: Studium povrchu Struto výrobků. /Diplomová práce/. Liberec 1994. - TUL. Fakulta textilní.
- [48] HANUŠ, J.-JIRSÁK, O.: Twist May Produce Nonwovens. In: Textile Technology Forum '95. Charlotte, N.C. USA, 1995, s. 82.
- [49] RADOSTNÁ, B.: Povrchové zpevňování vláknenných útvarů. /Diplomová práce/. Liberec 1995. -TUL. Fakulta textilní.
- [50] Pat. EP 0 648 877 A1 (CZ 192 693). KRČMA, R.-HANUŠ, J.-SANETRŇÍK, F.: Befestigungsverfahren für voluminöse Fasergebilde und Anlage zur Realisierung dieses Verfahrens. Europäische Patentanmeldung. 19.04.95.
- [51] HANUŠ, J.: Příspěvek k mechanickému zpevňování 3D textilních vrstev. In: Struktura a strukturní mechaniky textilií. Liberec 1994, s. 119.
- [52] GADOR, W.: Visko-elastische Eigenschaften der Kleb-Vliesstoffe. Textiltechnik 39, 1989, s. 30.
- [53] ŠIMEROVÁ, B.: Souvislosti mezi množstvím a velikostí spojů mezi vlákny vertikálně skládaných netkaných textilií a jejich odpor proti deformaci. /Diplomová práce/. Liberec 1994. -TUL. Fakulta textilní.
- [54] ČEŘOVSKÝ, J.: Odpor proti stlačení a nevratné deformace vertikálně skládaných netkaných textilií typu Struto. /Diplomová práce/. Liberec 1993. -VŠST. Fakulta textilní.
- [55] NECKÁŘ, B.: Příze. Tvorba, struktura, vlastnosti. Praha, SNTL 1990.
- [56] KYOWA MACHINE WORKS, LTD. FUJINO, K.-ITANI, W.: Effects of Carding on Fiber Orientation. 1955.
- [57] BLISS, M. R.: Preventing Pressure Sores in Elderly Patients: A Comparison of Seven Mattress Overlays. Age and Ageing 24, 1995, s. 297.
- [58] HAWKINS, J. E.: The Effectiveness of Pressure-Reducing Table Pads as an Intervention to Reduce the Risk of Intraoperatively Acquired Pressure Sores, Military Medicine. Vol.162, 1997, s. 759.
- [59] RIEBELOVÁ, V.-VÁLKA, J.-FRANCŮ, M.: Dekubity, prevence, konzervativní a chirurgická léčba. Sborník prací lékařské fakulty 110. Brno, Masarykova univerzita.
- [60] MÜLLROVÁ, N.-BÍLEK, M.: Prevence, ošetřování a monitorování výskytu dekubitů ve FN Plzeň. Tematický sešit časopisu Sestra 4/96.

- [61] HISAKAZU, K.-TORAKICHY, I.-SYUHEY, T. : A New Postoperative Managment Scheme for Preventing Sacral Pressure Sores in Patients with Spinal Cord Injuries, *Applied Nursing Research*, Vol. 10, No.3 (August), 1997, s. 111.
- [62] HANUŠ, J. : Lokální kompresní odpor v 3D netkané textílii. In.: *Strutex*, Liberec 1998, s. 293.
- [63] BRESEE, R. R.-YAN, Z.: Image Analysis Techniques to Characterize Nonwoven Web Structure. Sixth Annual TANDEC Conference, November 18-20, Knoxville 1996.

PŘÍLOHA

Obsah přílohy:

1. Grafické zpracování výsledků měření průměrného kompresního odporu
2. Grafické zpracování výsledků měření lokálního kompresního odporu
3. Grafické zpracování výsledků kontrolních měření
4. Grafické zpracování výsledků měření lokálního kompresního odporu modelu textilního dynamického systému

1. Grafické zpracování výsledků měření průměrného kompresního odporu

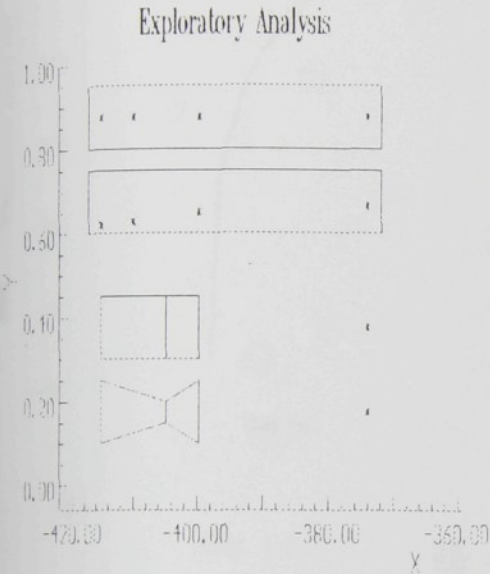
Naměřené hodnoty průměrného kompresního odporu v 5. cyklu deformace a relaxace odporu z maximální hodnoty odporu 6. cyklu deformace jsou pro každou variantu textilního vzorku zpracovány do grafů č. 1.1. – 1.8. Průběh deformačních křivek je uveden v 1. a 5. cyklu deformace.

Označení grafů:

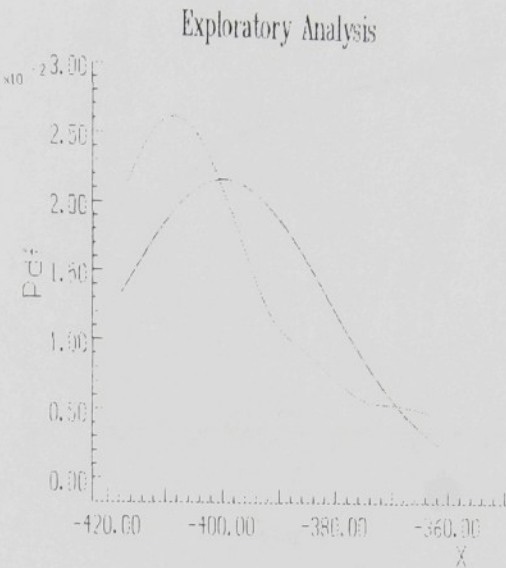
- 1.1. Bodový a krabicový graf sestavený z max. hodnot odporu v 5. cyklu deformace
- 1.2. Graf hustoty pravděpodobnosti max. hodnot odporu v 5. cyklu deformace
- 1.3. Graf rozptýlení s kvantily max. hodnot odporu v 5. cyklu deformace
- 1.4. Průběh deformačních křivek v 1. a 5. cyklu deformace
- 1.5. Průběh relaxace průměrného kompresního odporu z max. hodnoty v 6. cyklu deformace
- 1.6. Průběh křivky disipace sestrojené podle vztahu (51) v kap. 4.4
- 1.7. Průběh derivace křivky disipace
- 1.8. Průběh integrálu disipace

Průměrný kompresní odpor

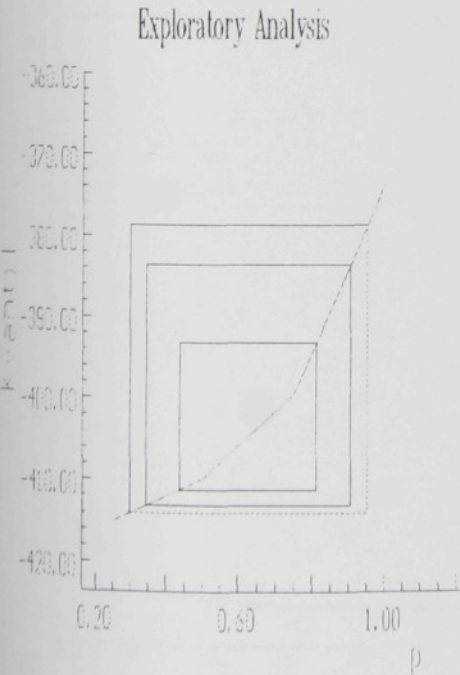
Varianta 1.1



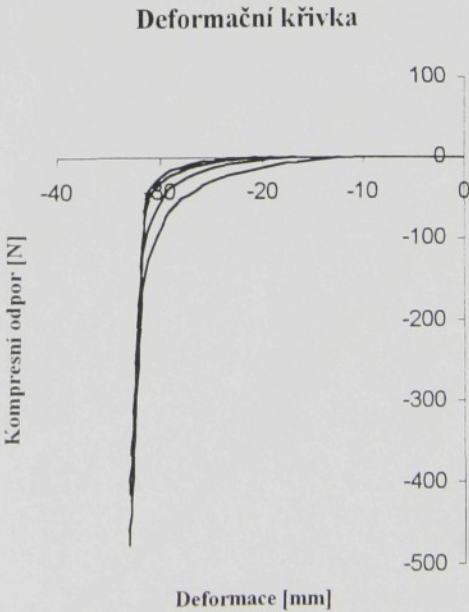
Obr. 1.1



Obr. 1.2

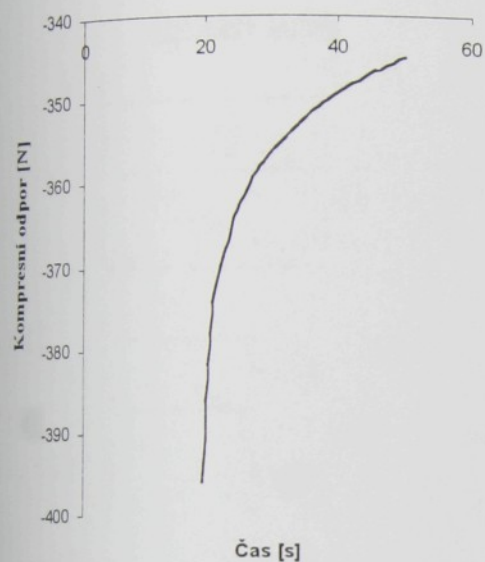


Obr. 1.3

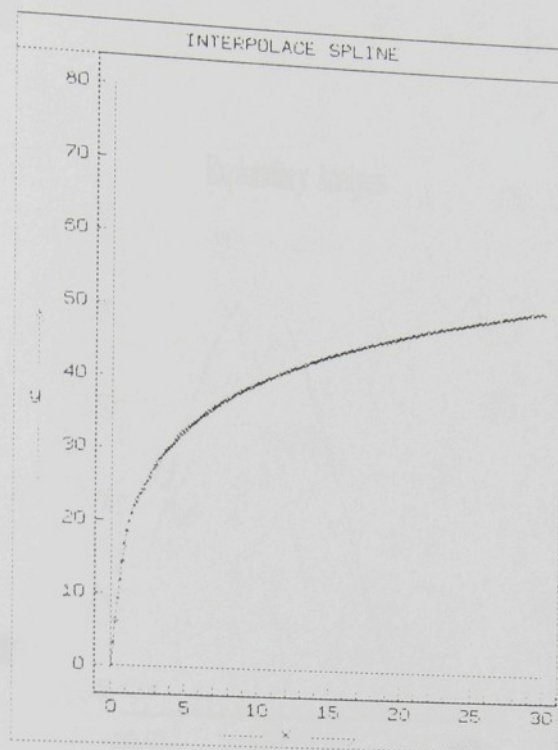


Obr. 1.4

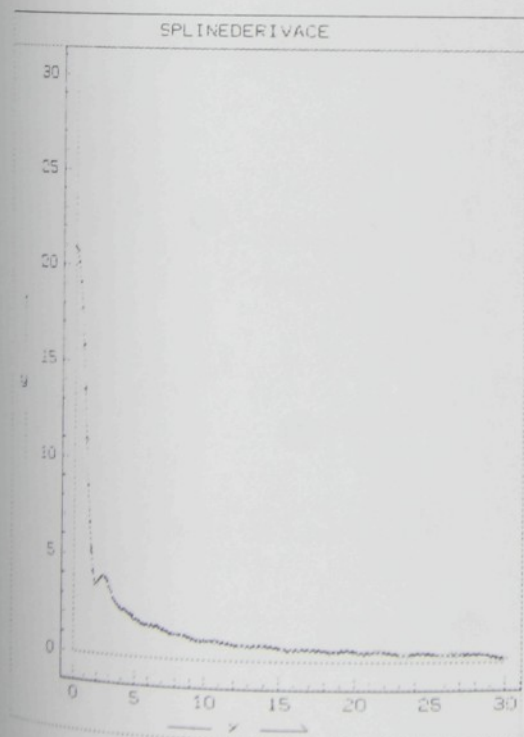
Relaxace odporu [N]



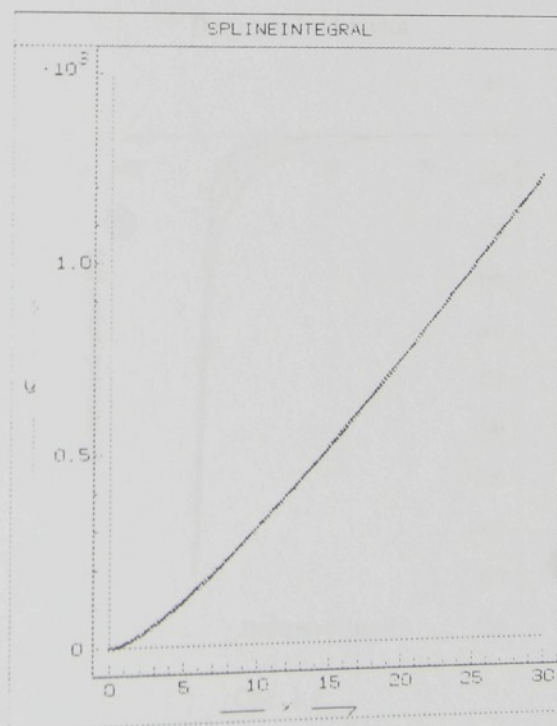
Obr. 1.5



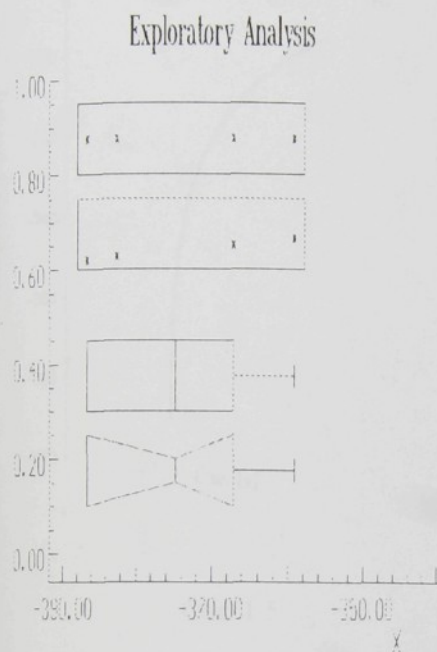
Obr. 1.6



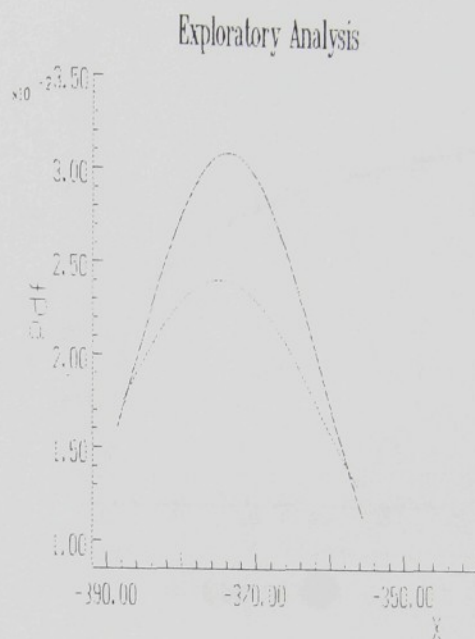
Obr. 1.7



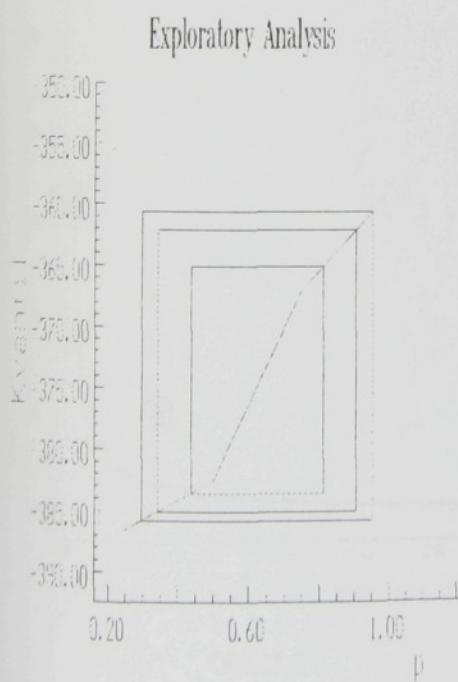
Obr. 1.8



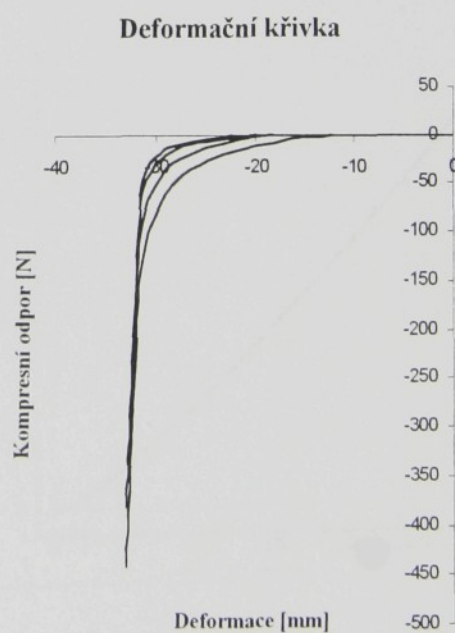
Obr. 1.1



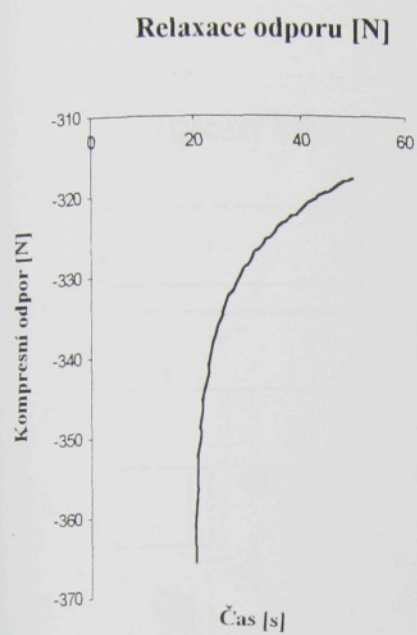
Obr. 1.2



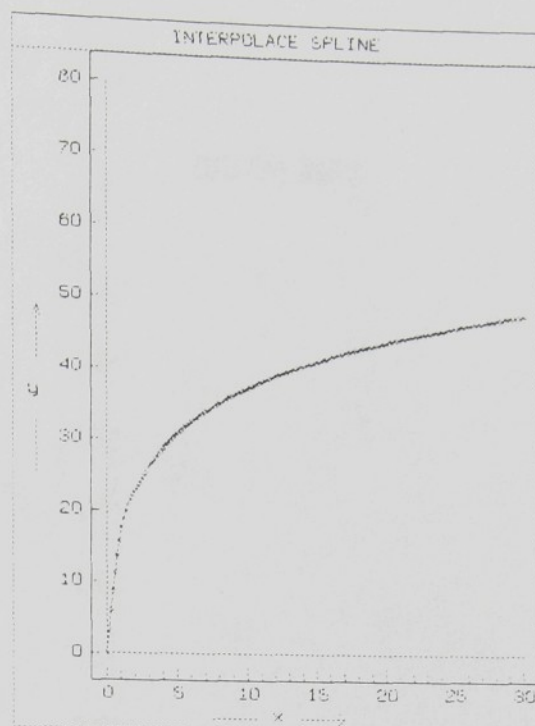
Obr. 1.3



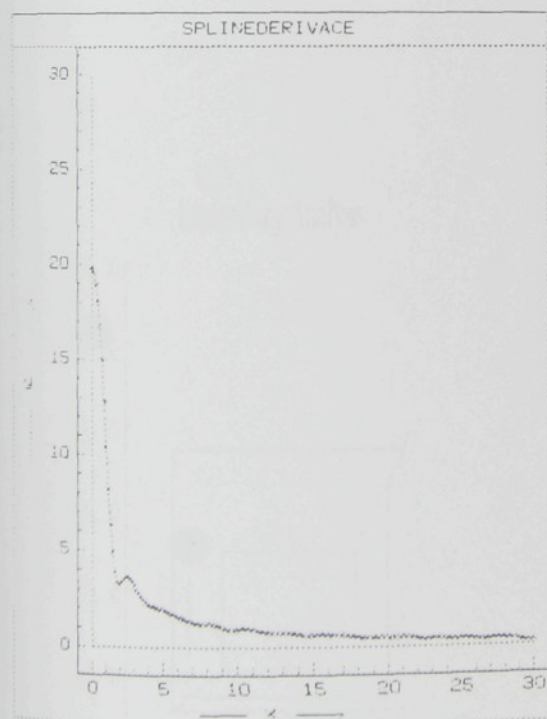
Obr. 1.4



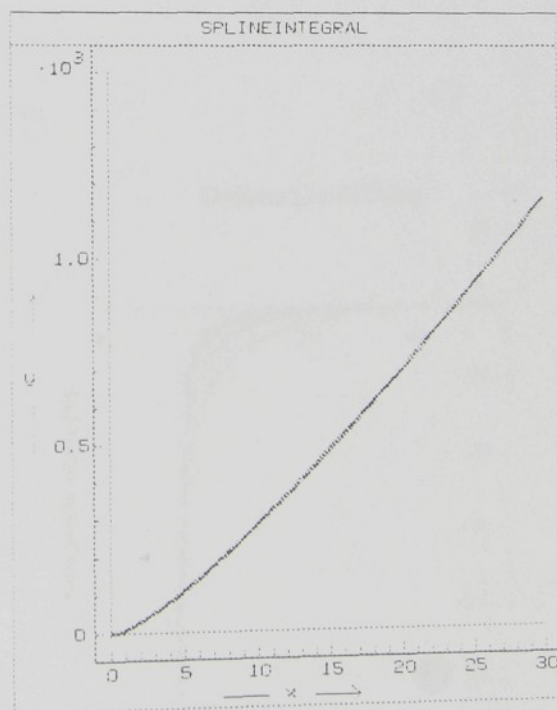
Obr. 1.5



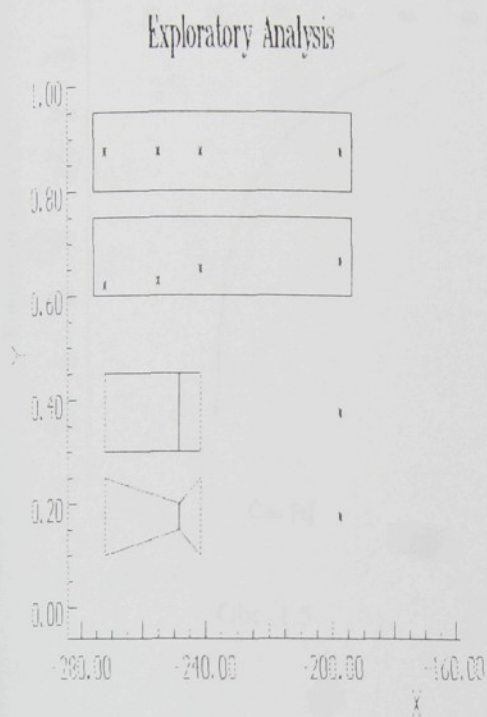
Obr. 1.6



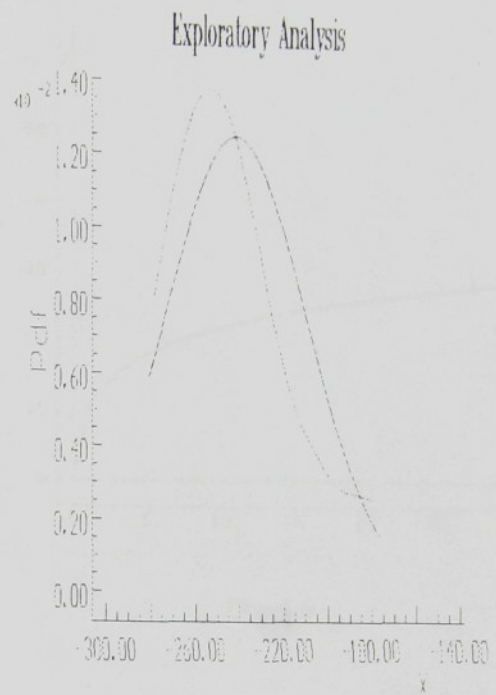
Obr. 1.7



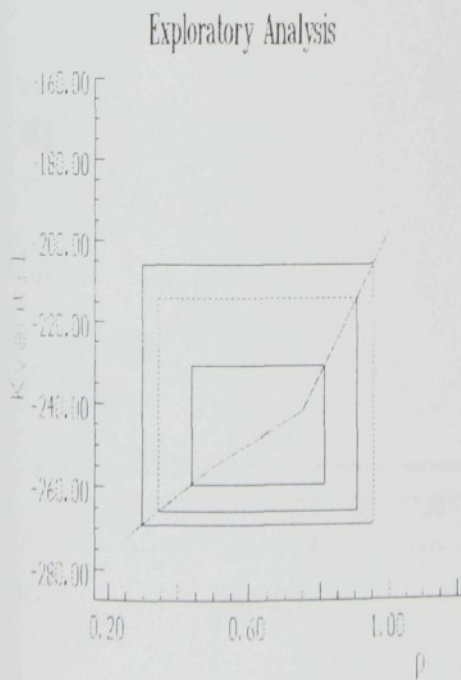
Obr. 1.8



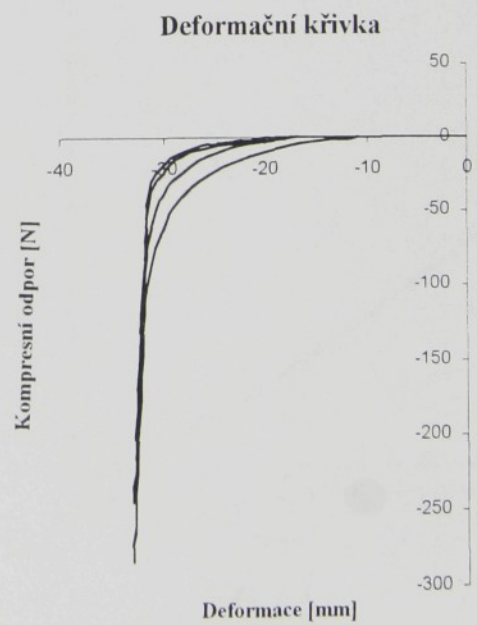
Obr. 1.1



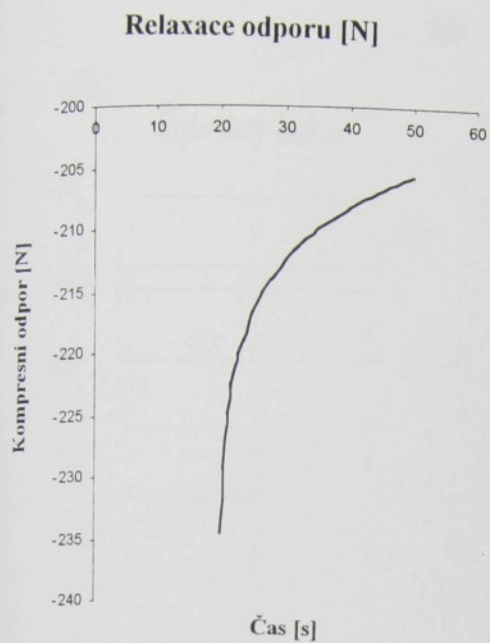
Obr. 1.2



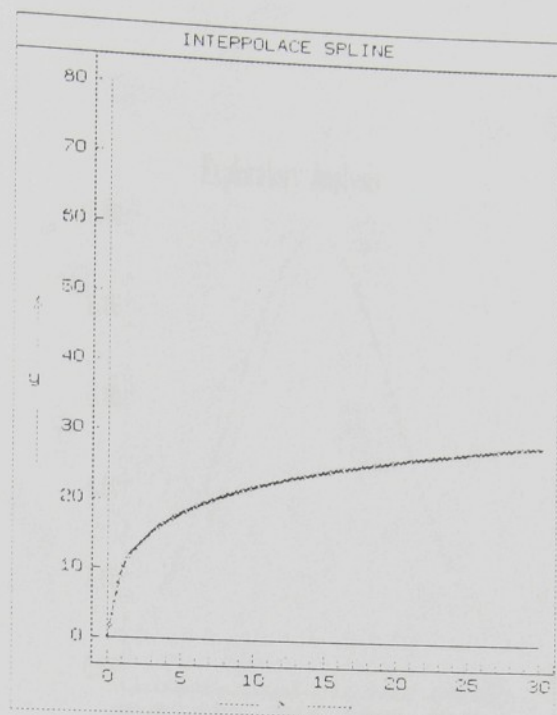
Obr. 1.3



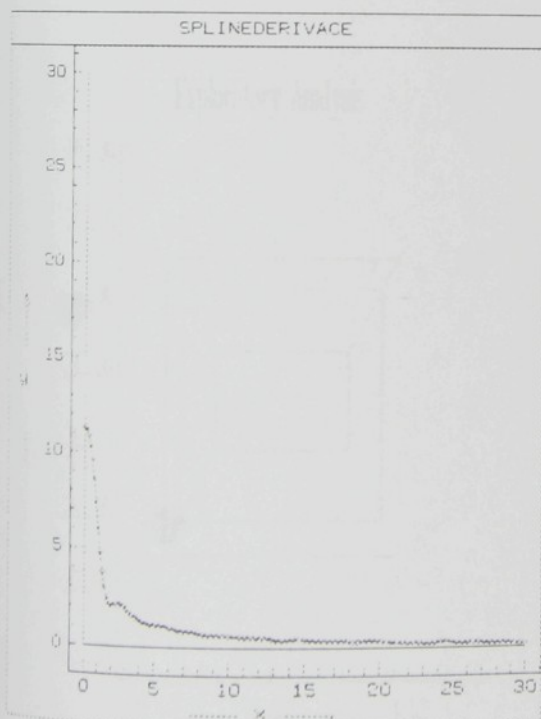
Obr. 1.4



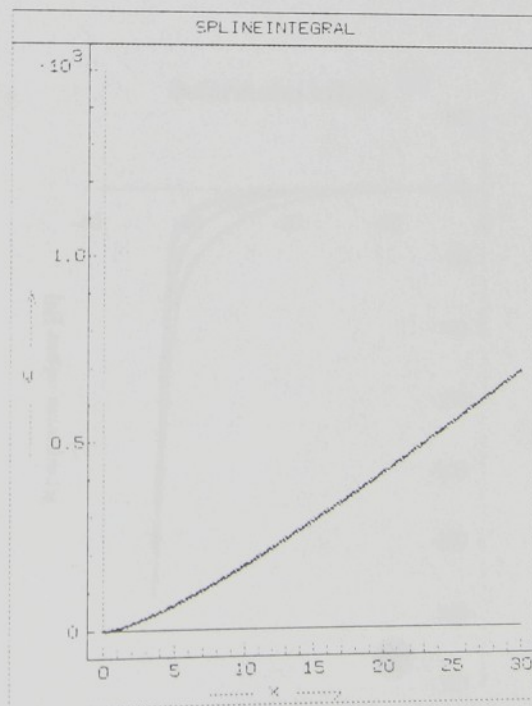
Obr. 1.5



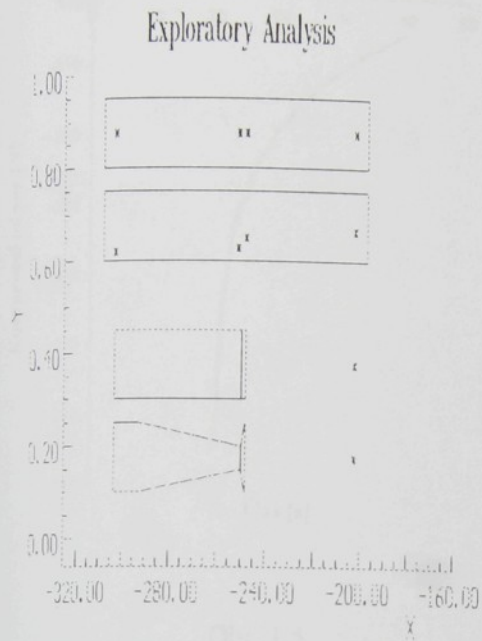
Obr. 1.6



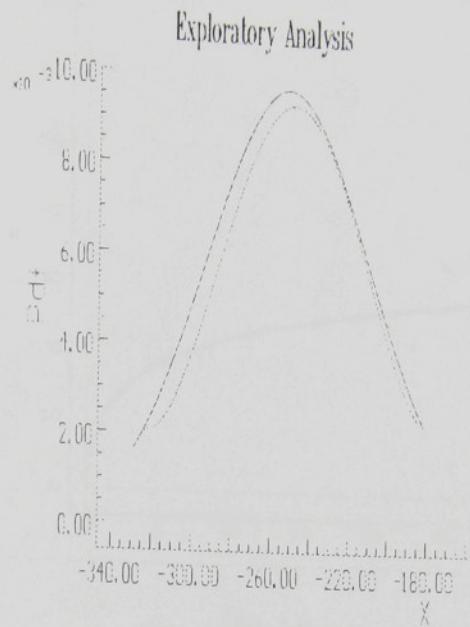
Obr. 1.7



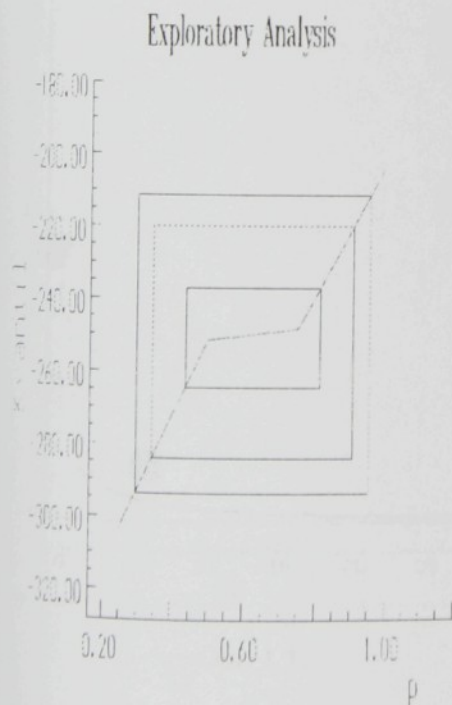
Obr. 1.8



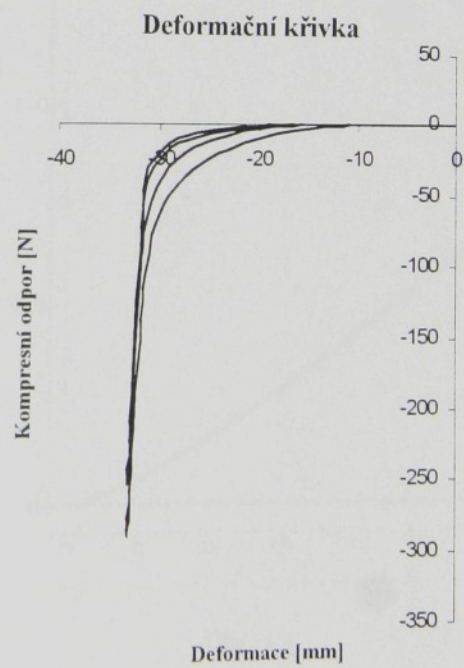
Obr. 1.1



Obr. 1.2

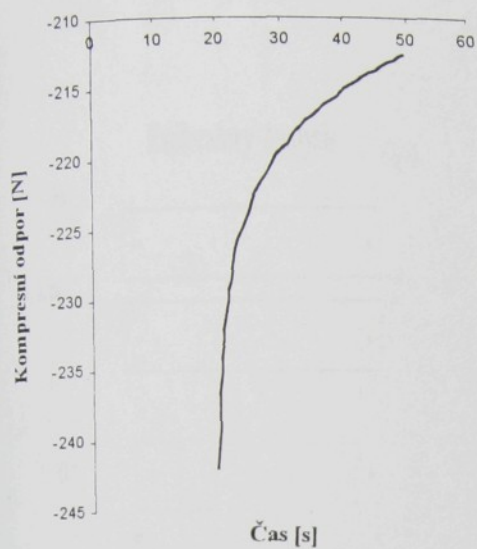


Obr. 1.3

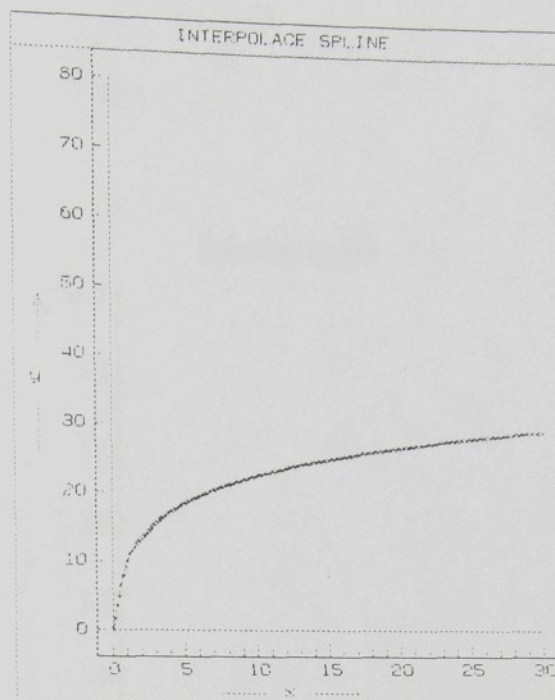


Obr. 1.4

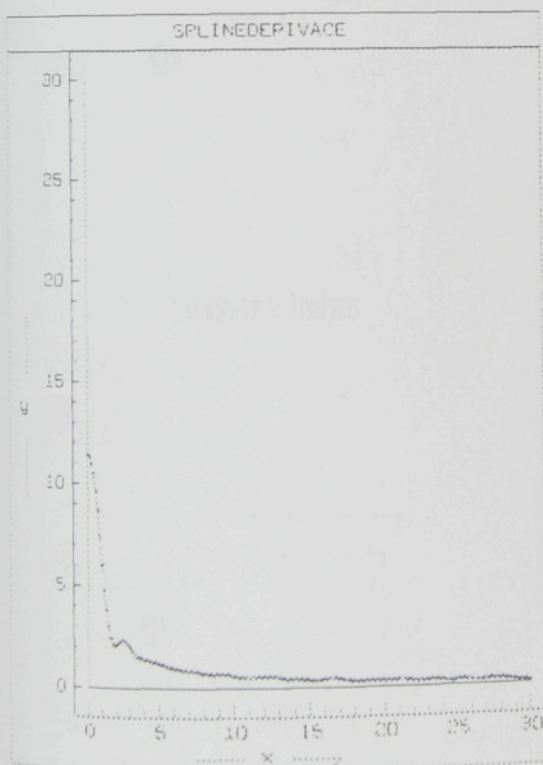
Relaxace odporu [N]



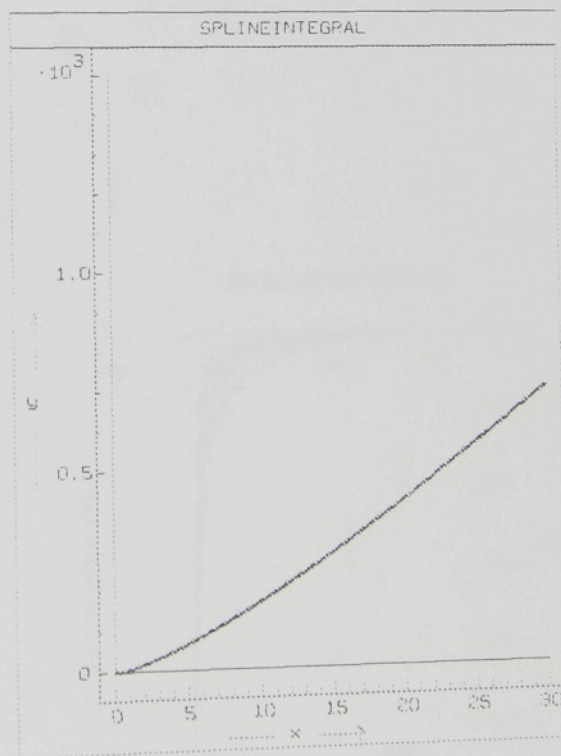
Obr. 1.5



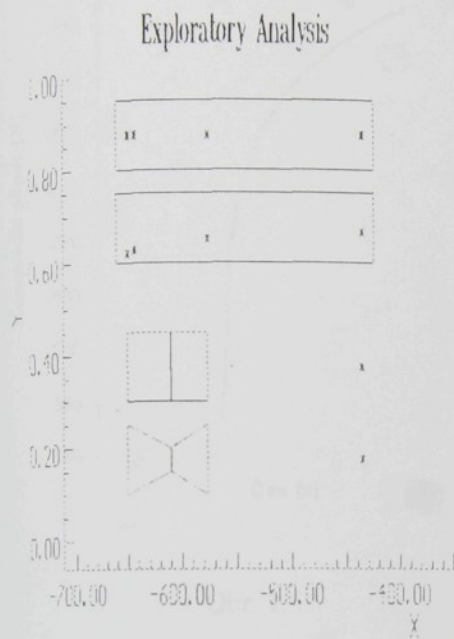
Obr. 1.6



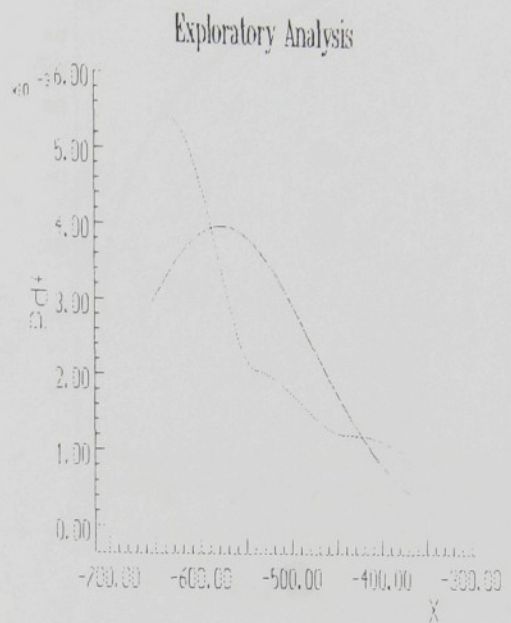
Obr. 1.7



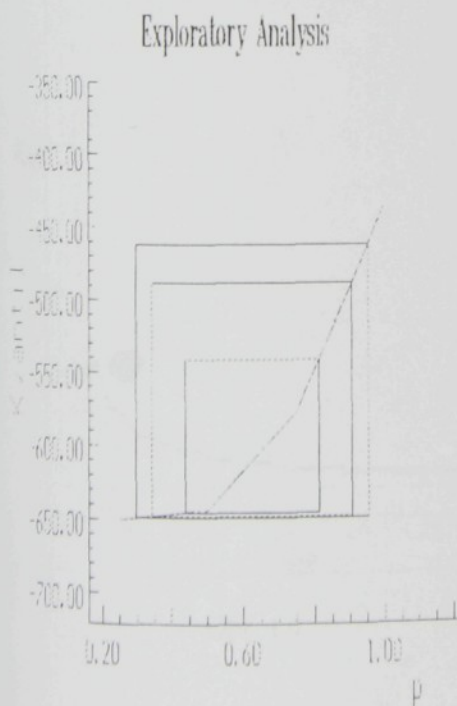
Obr. 1.8



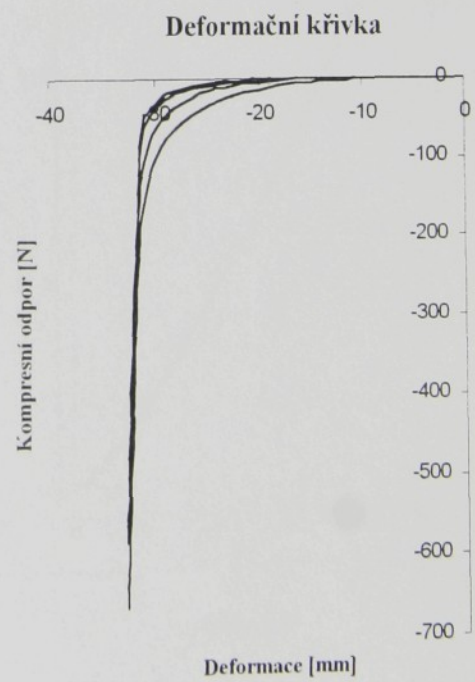
Obr. 1.1



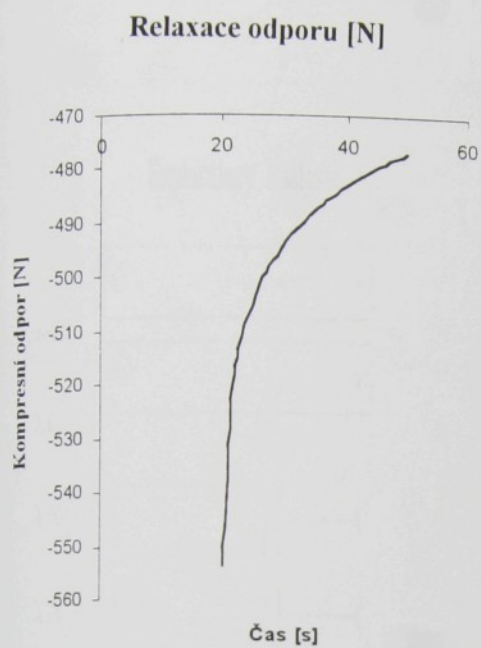
Obr. 1.2



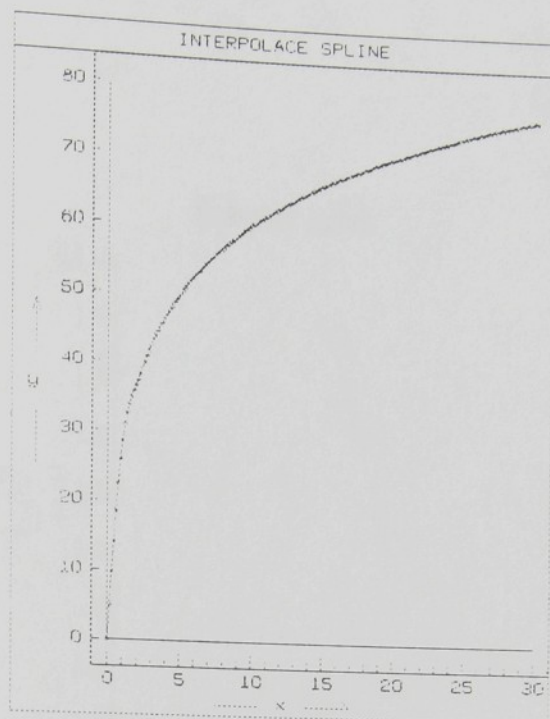
Obr. 1.3



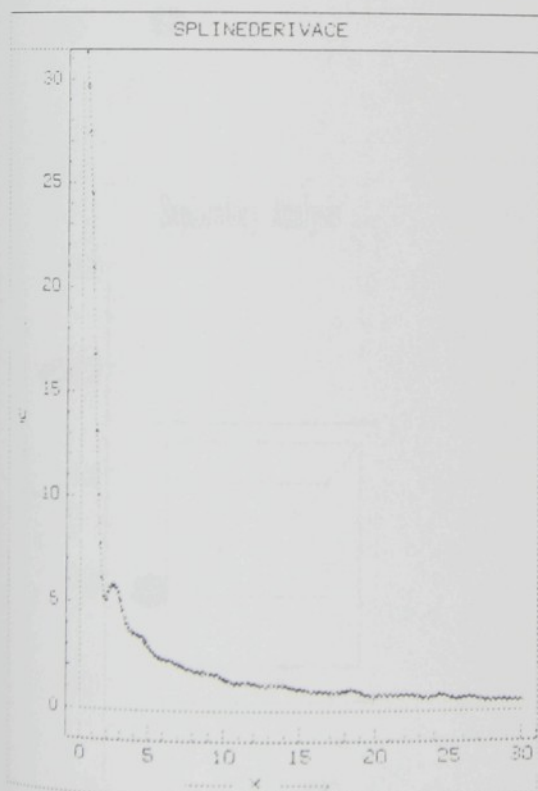
Obr. 1.4



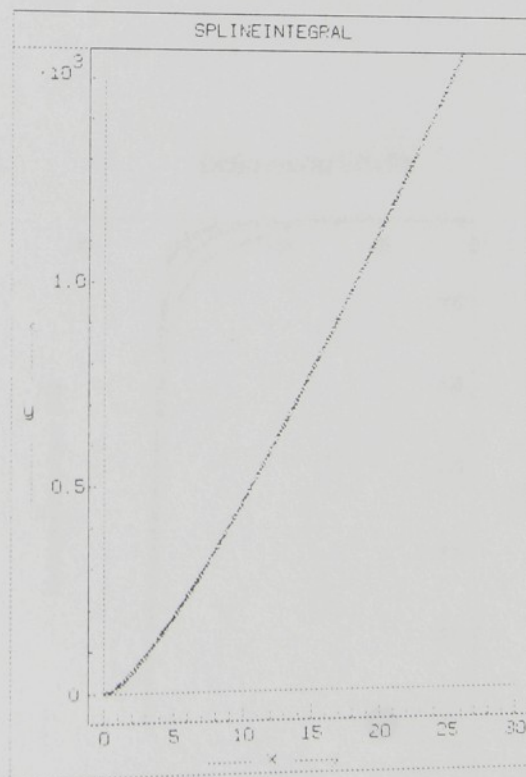
Obr. 1.5



Obr. 1.6

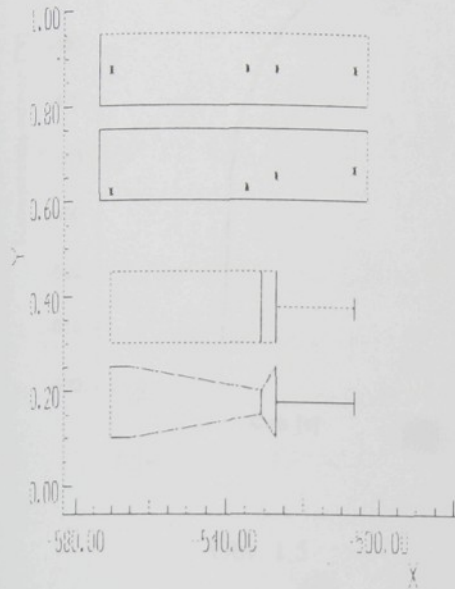


Obr. 1.7



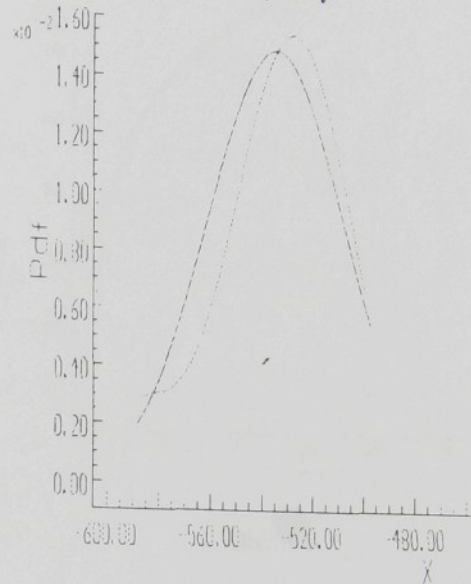
Obr. 1.8

Exploratory Analysis



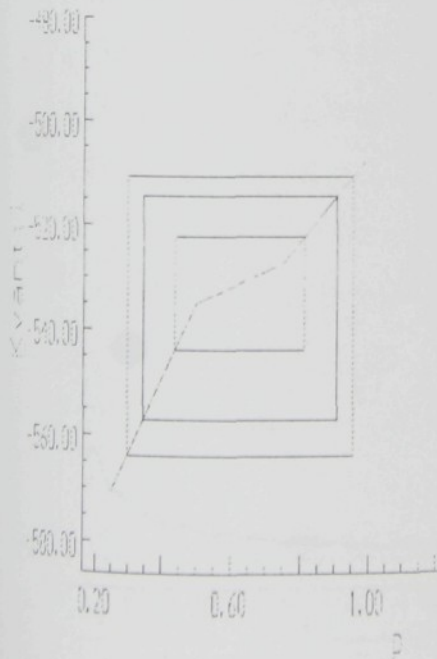
Obr. 1.1

Exploratory Analysis



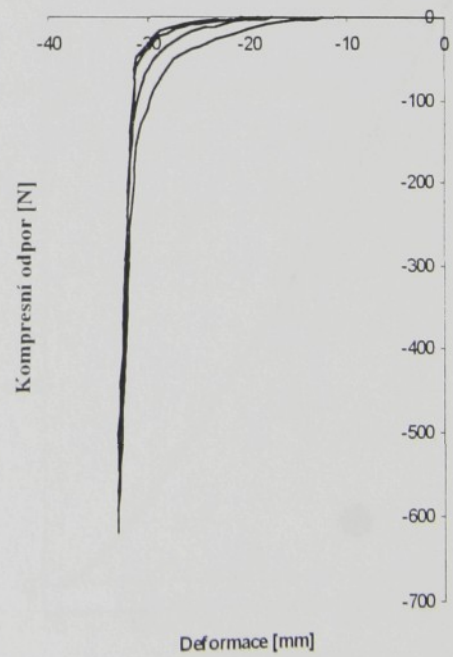
Obr. 1.2

Exploratory Analysis



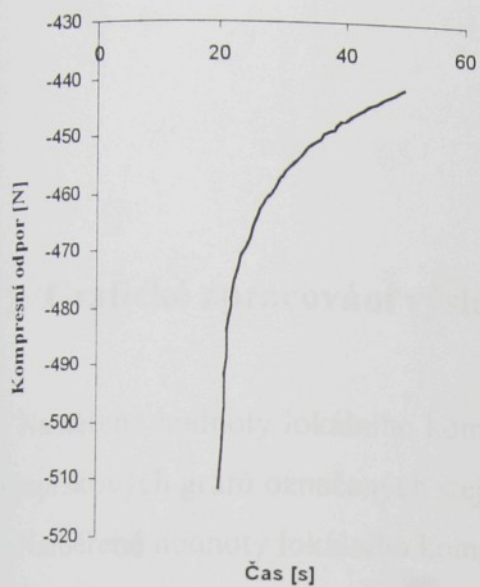
Obr. 1.3

Deformační křivka

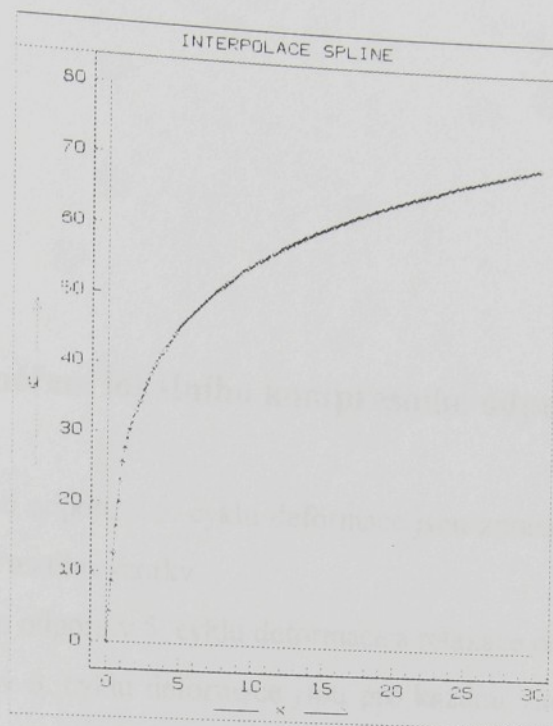


Obr. 1.4

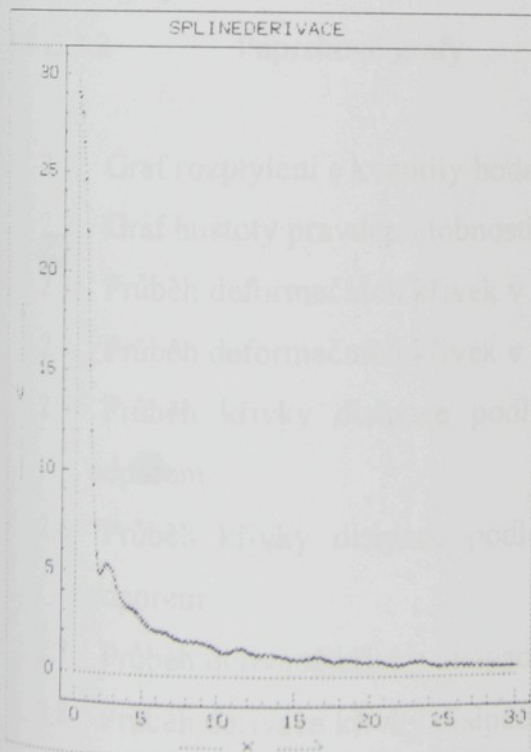
Relaxace odporu [N]



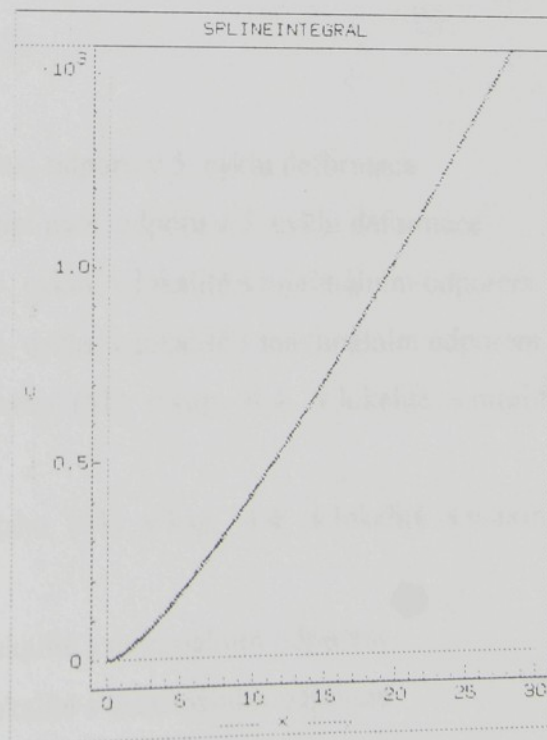
Obr. 1.5



Obr. 1.6



Obr. 1.7



Obr. 1.8

2. Grafické zpracování výsledků měření lokálního kompresního odporu

Naměřené hodnoty lokálního kompresního odporu v 5. cyklu deformace jsou zpracovány do paprskových grafů označených stejně jako textilní vzorky.

Naměřené hodnoty lokálního kompresního odporu v 5. cyklu deformace a relaxace odporu (ve formě disipace) z max. hodnoty odporu v 6. cyklu deformace jsou pro každou variantu textilního vzorku také zpracovány do grafů č. 2.1 – 2.10. Deformační křivky jsou uvedeny v 1. a 5. cyklu deformace.

Označení grafů:

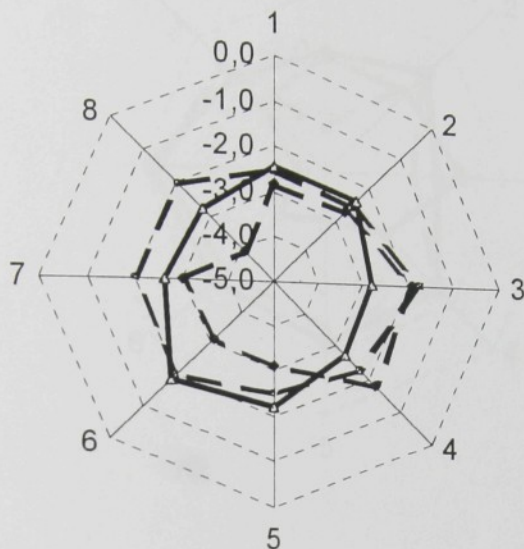
1.1 až 3.2 Paprskové grafy

- 2.1. Graf rozptýlení s kvantily hodnot max. odporu v 5. cyklu deformace
- 2.2. Graf hustoty pravděpodobnosti hodnot max. odporu v 5. cyklu deformace
- 2.3. Průběh deformačních křivek v 1. a 5. cyklu, v lokalitě s minimálním odporem
- 2.4. Průběh deformačních křivek v 1. a 5. cyklu, v lokalitě s maximálním odporem
- 2.5. Průběh křivky disipace podle vztahu (51) v kap. 4.4, v lokalitě s minimálním odporem
- 2.6. Průběh křivky disipace podle vztahu (51) v kap. 4.4, v lokalitě s maximálním odporem
- 2.7. Průběh derivace křivky disipace v lokalitě s minimálním odporem
- 2.8. Průběh derivace křivky disipace v lokalitě s maximálním odporem
- 2.9. Průběh integrálu křivky disipace v lokalitě s minimálním odporem
- 2.10. Průběh integrálu křivky disipace v lokalitě s maximálním odporem

Měření lokálního kompresního odporu

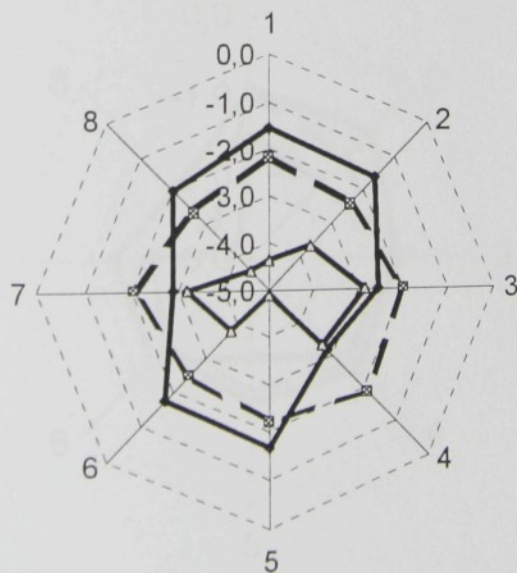
Vzorky 1.1.1, 1.1.2, 1.1.3

Vzorek 1.1



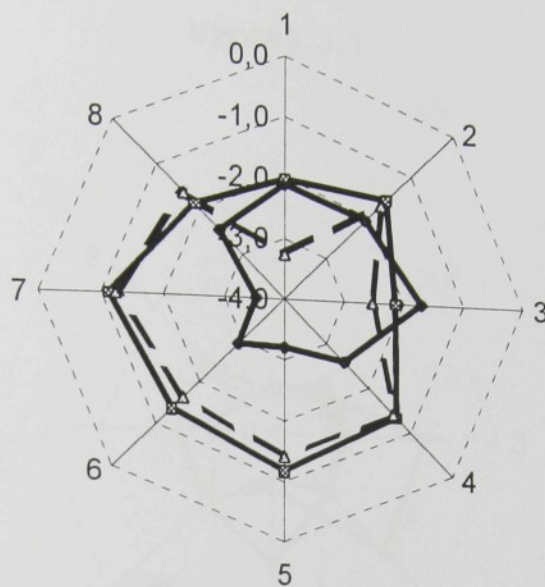
Vzorky 1.2.1, 1.2.2, 1.2.3

Vzorek 1.2



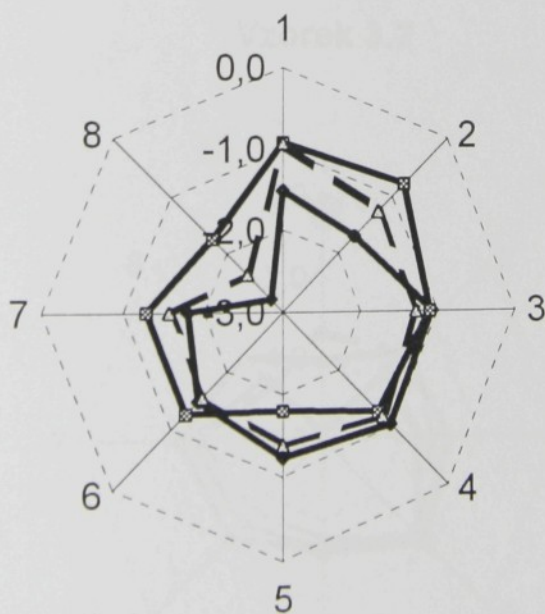
Vzorky 2.1.1, 2.1.2, 2.1.3

Vzorek 2.1



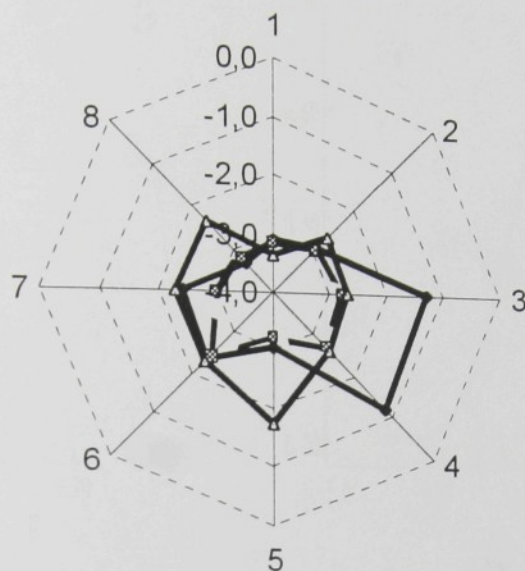
Vzorky 2.2.1, 2.2.2, 2.2.3

Vzorek 2.2



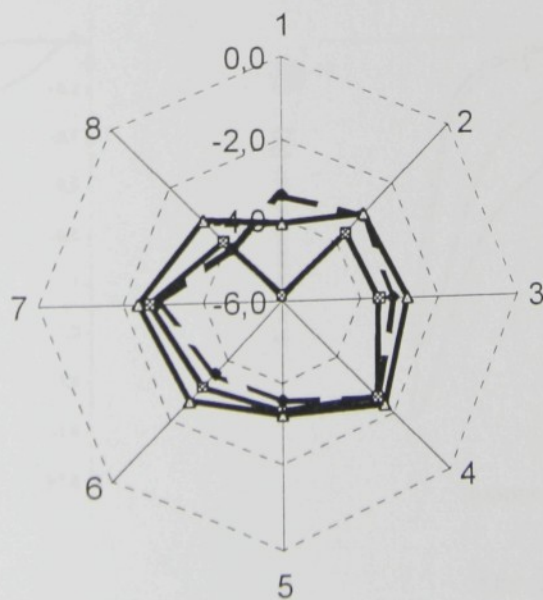
Vzorky 3.1.1, 3.1.2, 3.1.3

Vzorek 3.1

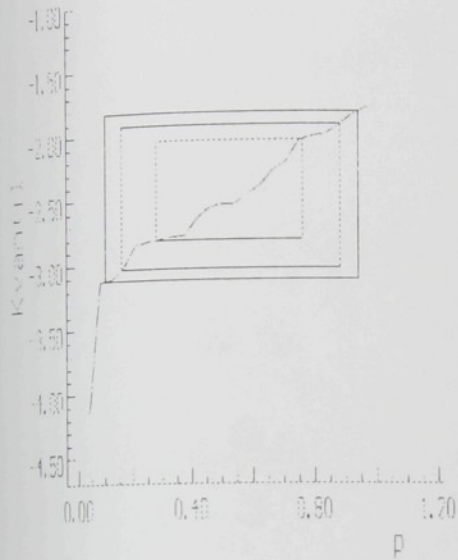


Vzorky 3.2.1, 3.2.2, 3.2.3

Vzorek 3.2

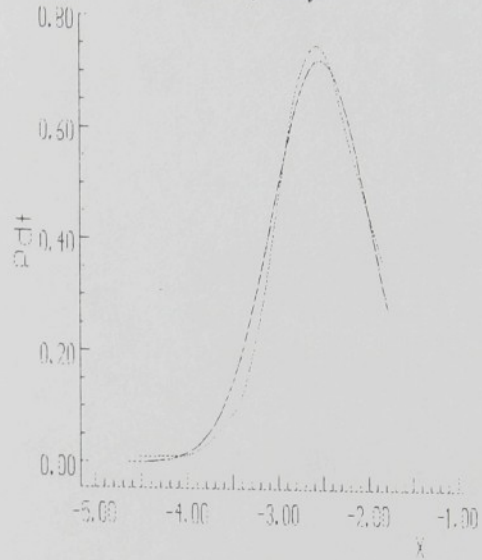


Exploratory Analysis



Obr. 2.1

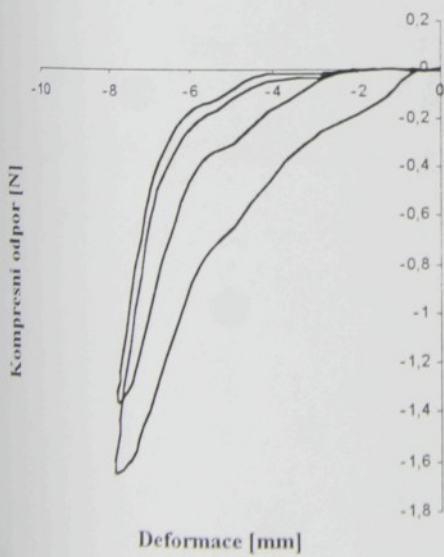
Exploratory Analysis



Obr. 2.2

Minimum

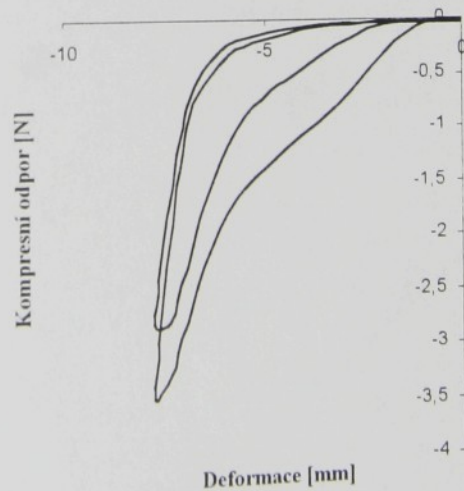
Deformační křivka



Obr. 2.3

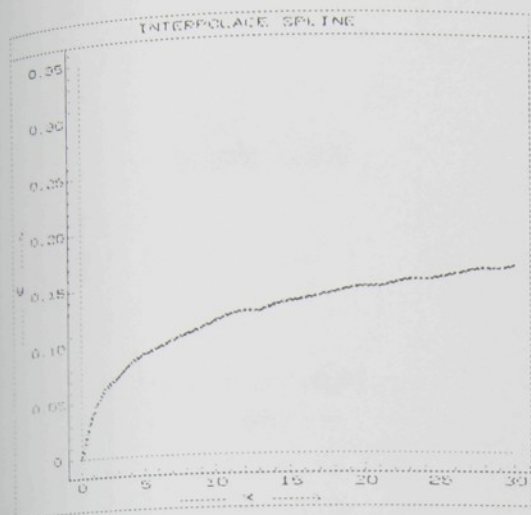
Maximum

Deformační křivka



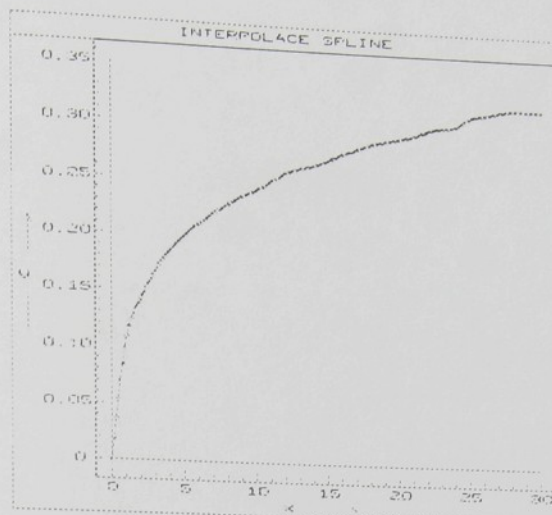
Obr. 2.4

Minimum

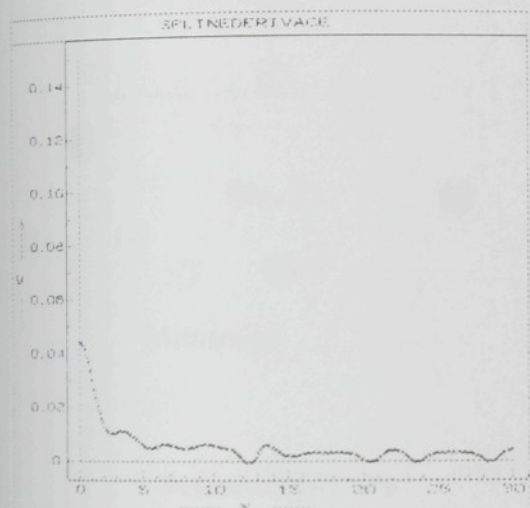


Obr. 2.5

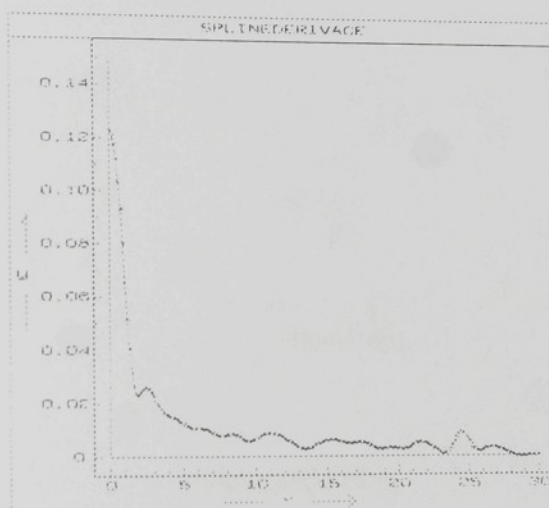
Maximum



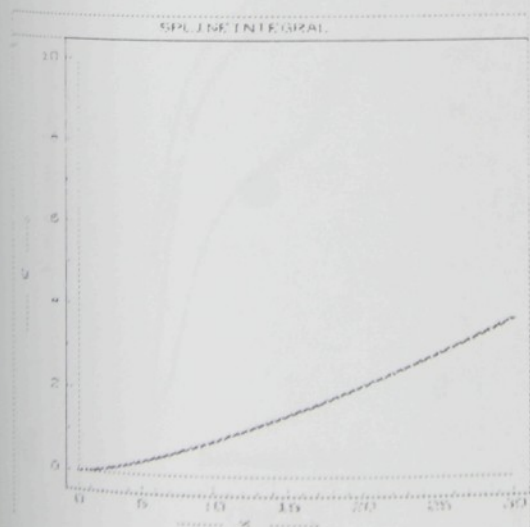
Obr. 2.6



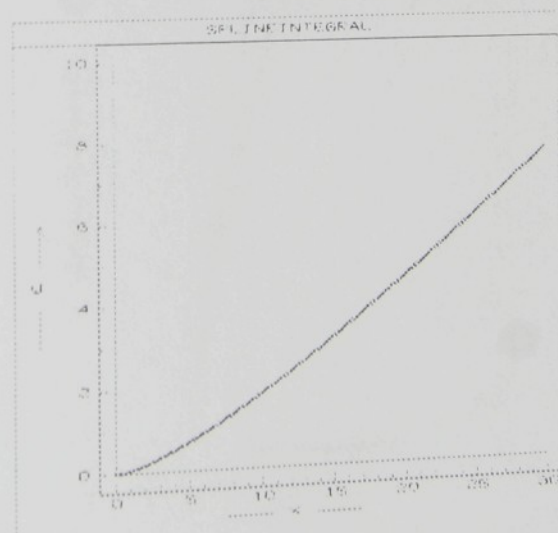
Obr. 2.7



Obr. 2.8

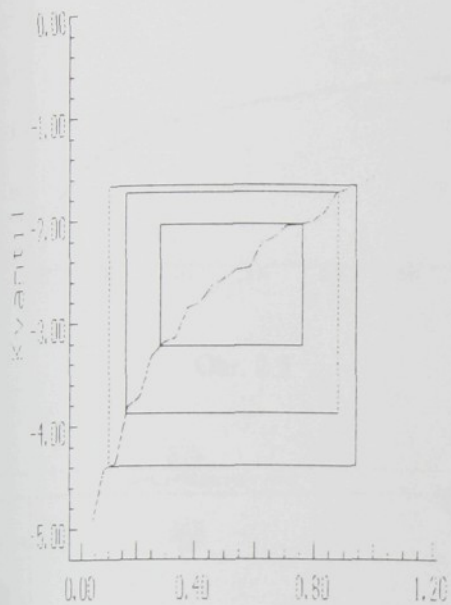


Obr. 2.9



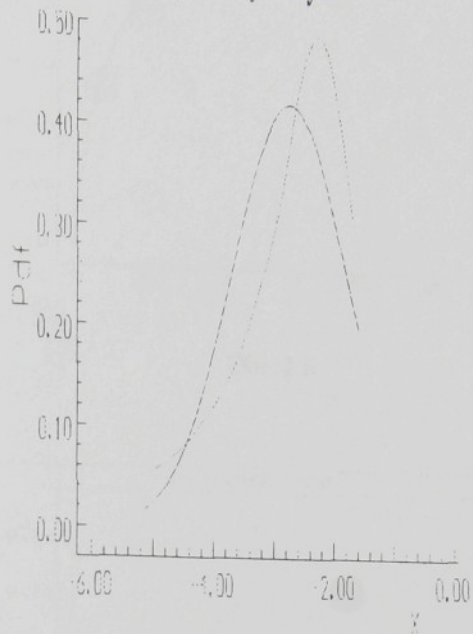
Obr. 2.10

Exploratory Analysis



Obr. 2.1

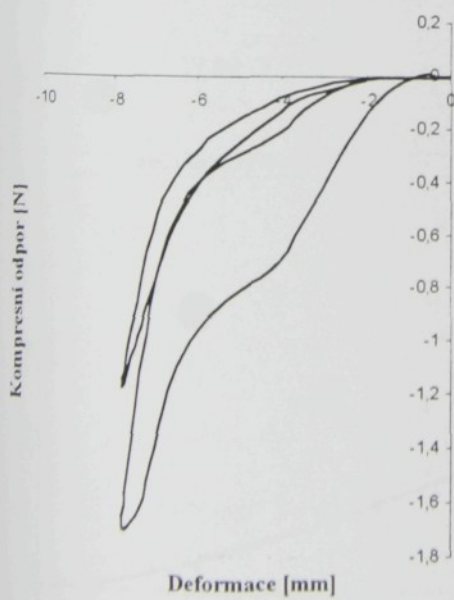
Exploratory Analysis



Obr. 2.2

Minimum

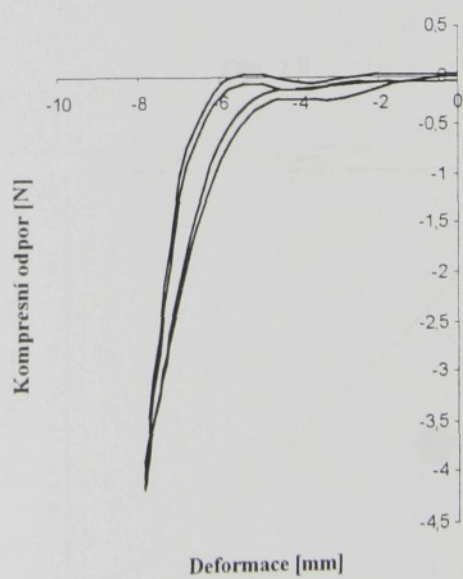
Deformační křivka



Obr. 2.3

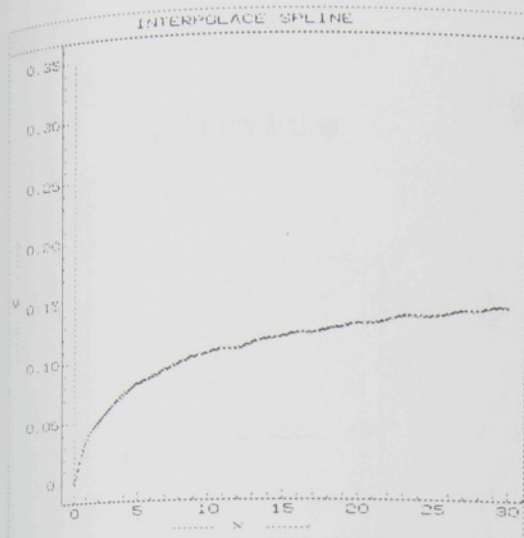
Maximum

Deformační křivka



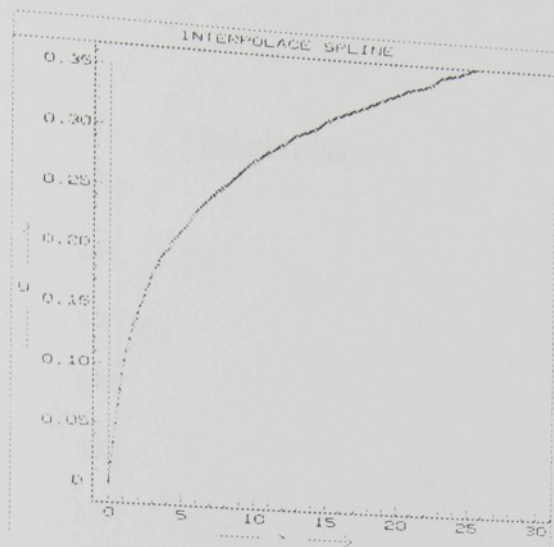
Obr. 2.4

Minimum

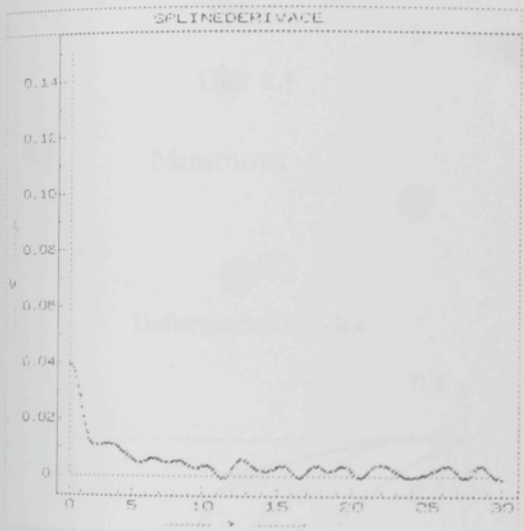


Obr. 2.5

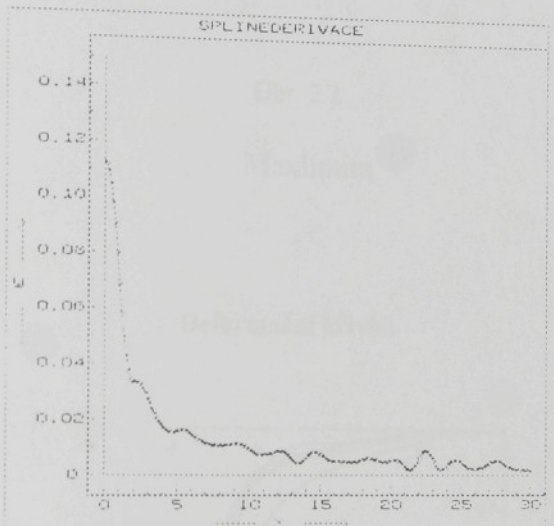
Maximum



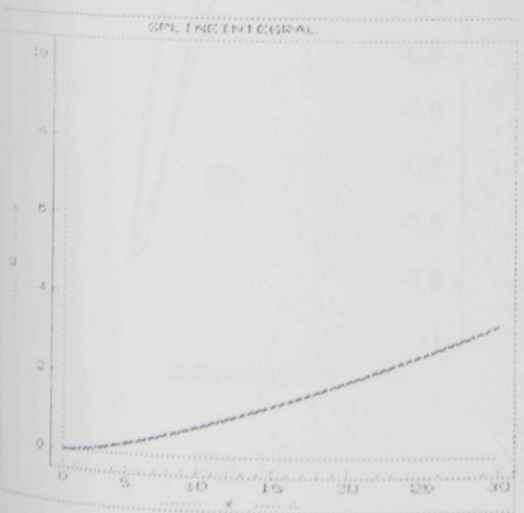
Obr. 2.6



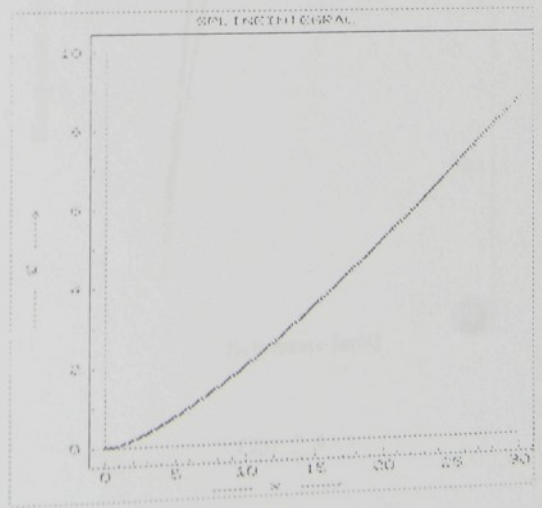
Obr. 2.7



Obr. 2.8

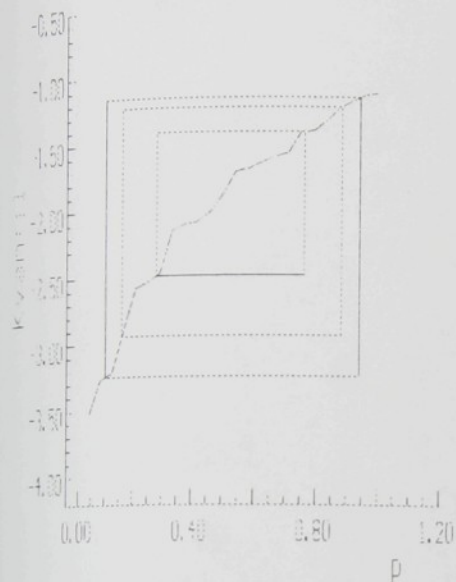


Obr. 2.9



Obr. 2.10

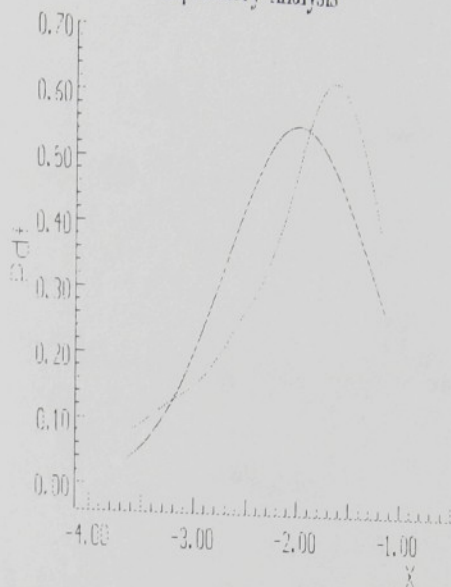
Exploratory Analysis



Obr. 2.1

Minimum

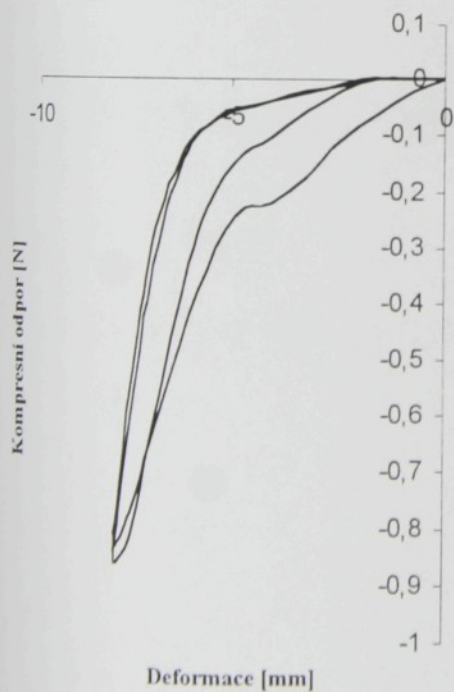
Exploratory Analysis



Obr. 2.2

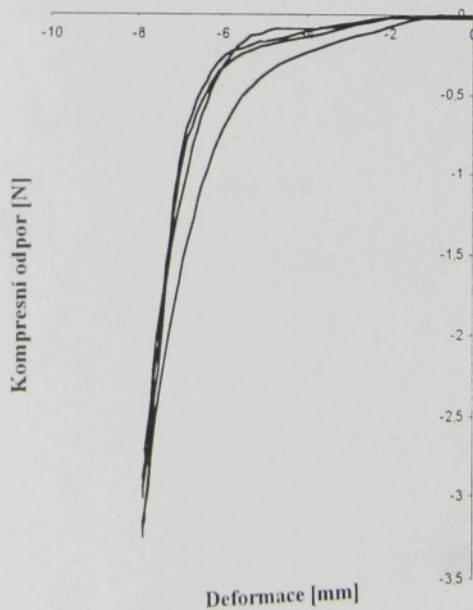
Maximum

Deformační křivka



Obr. 2.3

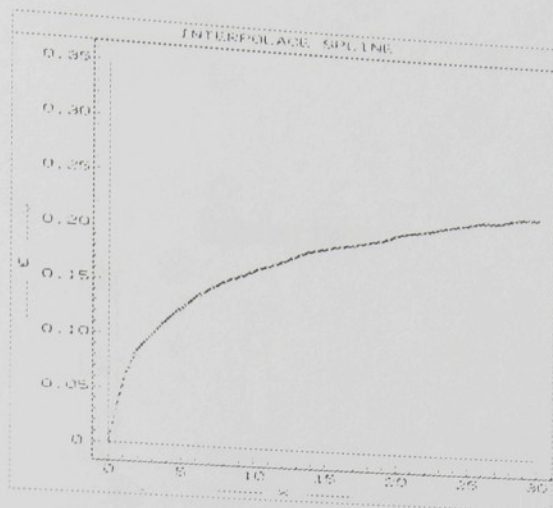
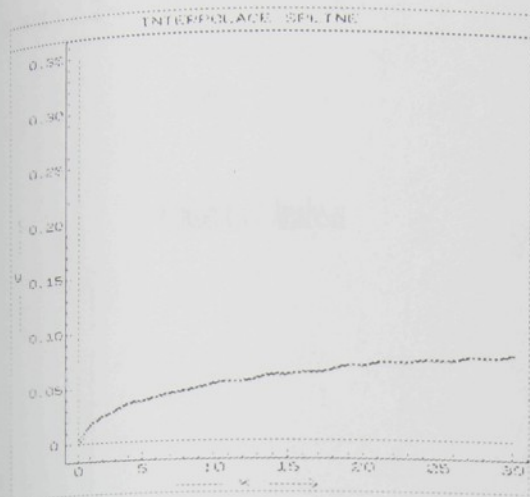
Deformační křivka



Obr. 2.4

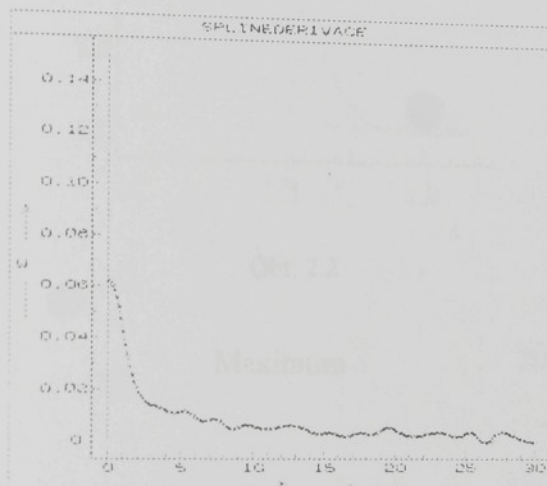
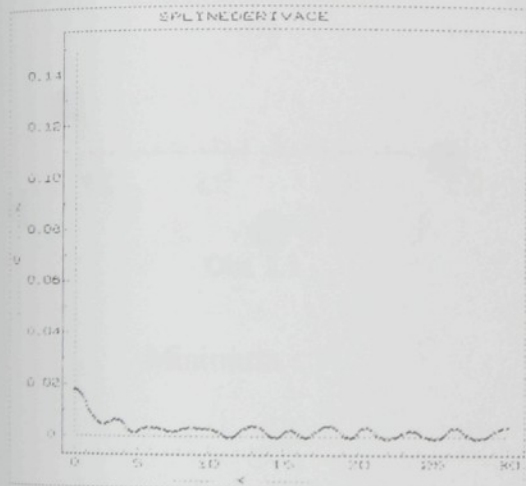
Minimum

Maximum



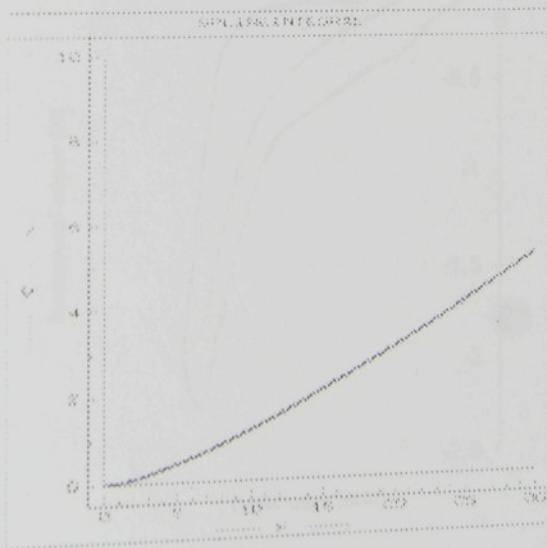
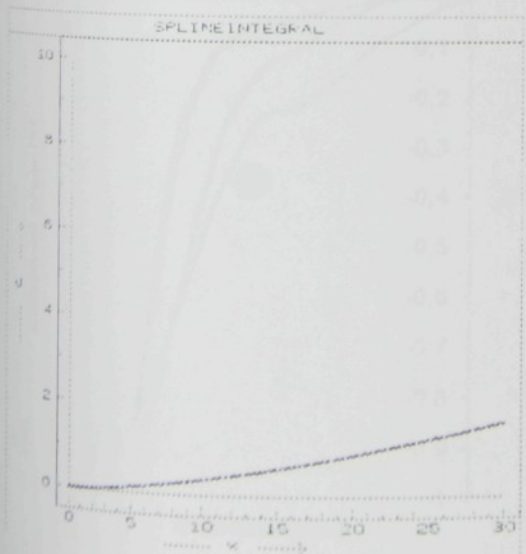
Obr. 2.5

Obr. 2.6



Obr. 2.7

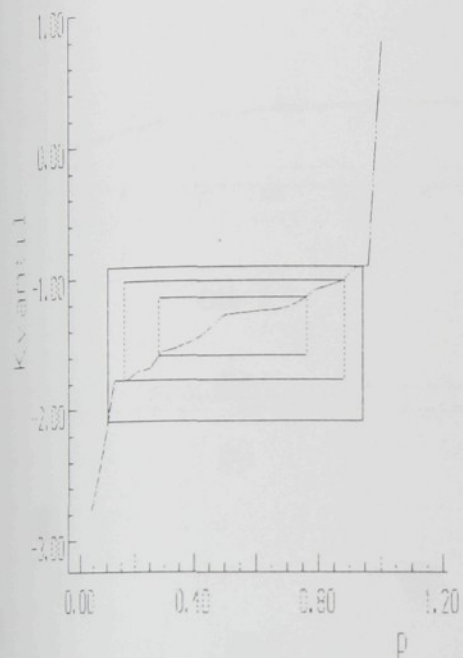
Obr. 2.8



Obr. 2.9

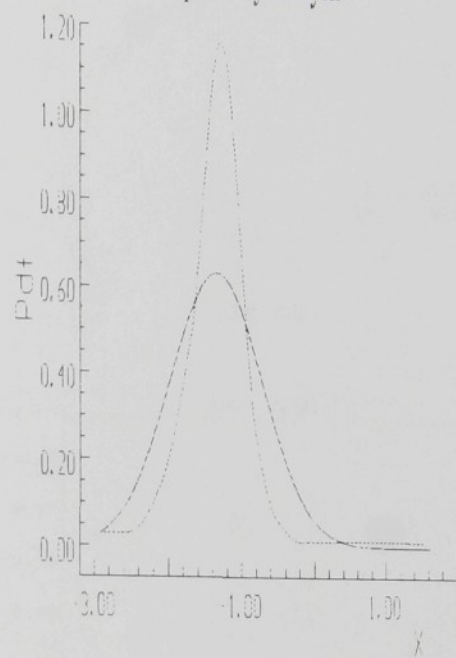
Obr. 2.10

Exploratory Analysis



Obr. 2.1

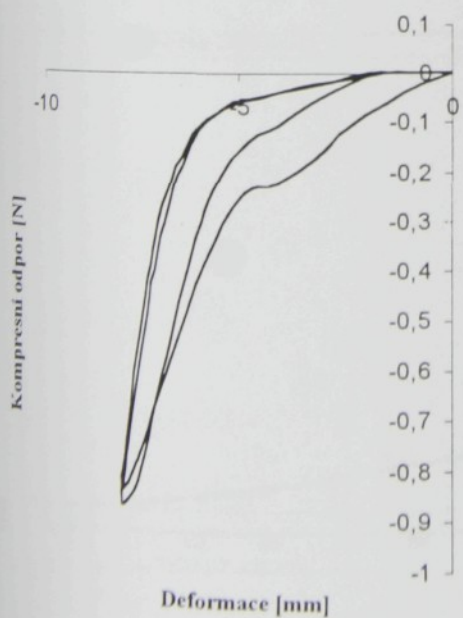
Exploratory Analysis



Obr. 2.2

Minimum

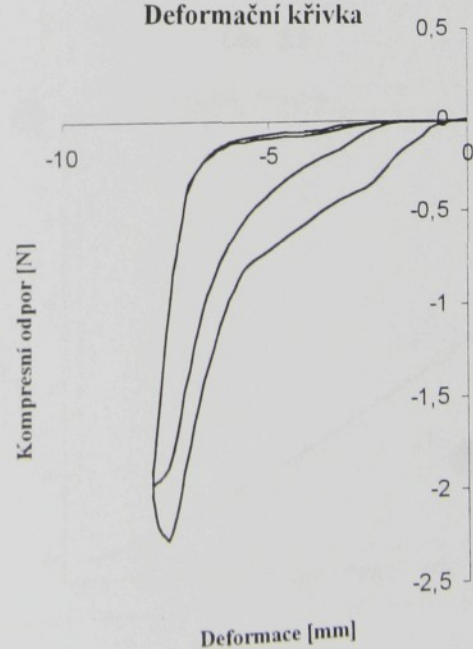
Deformační křivka



Obr. 2.3

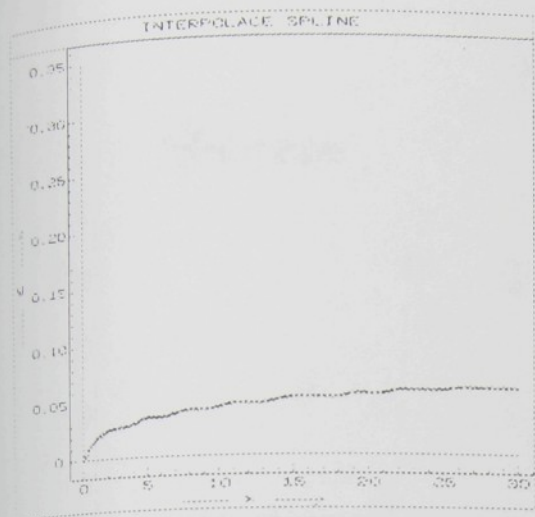
Maximum

Deformační křivka



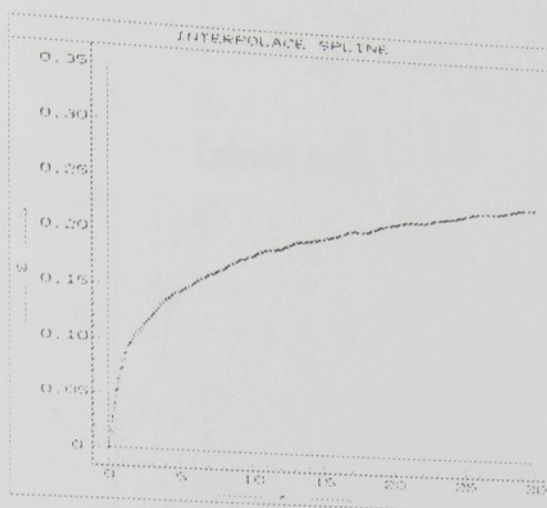
Obr. 2.4

Minimum

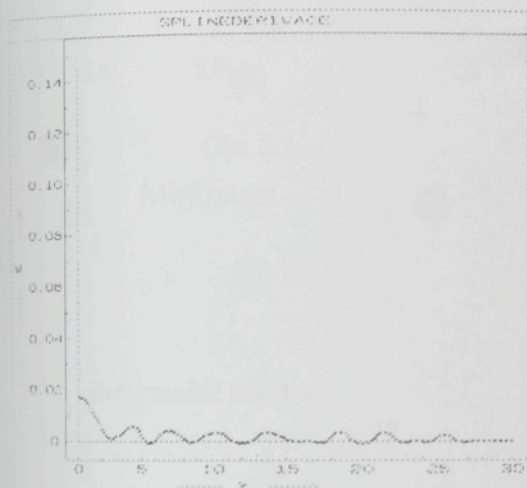


Obr. 2.5

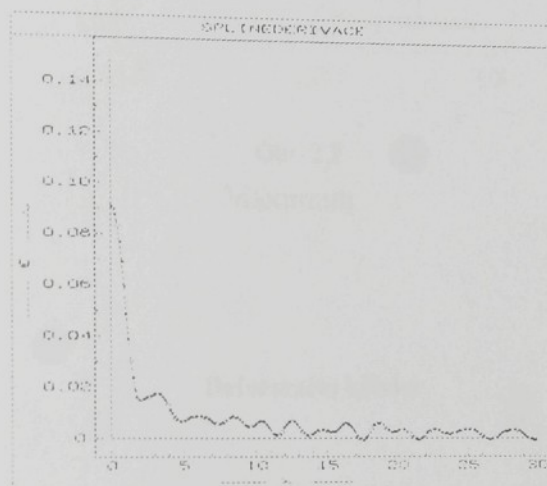
Maximum



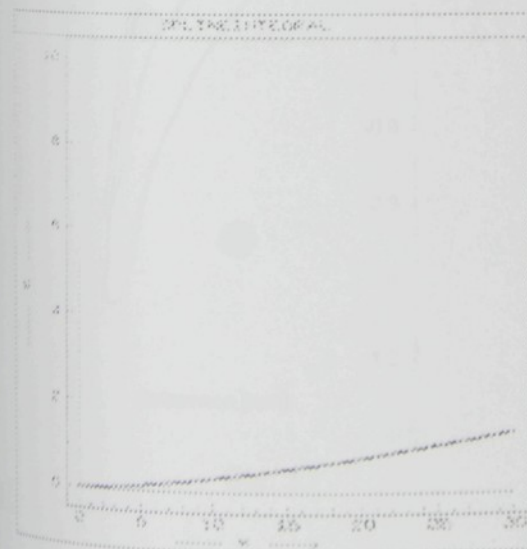
Obr. 2.6



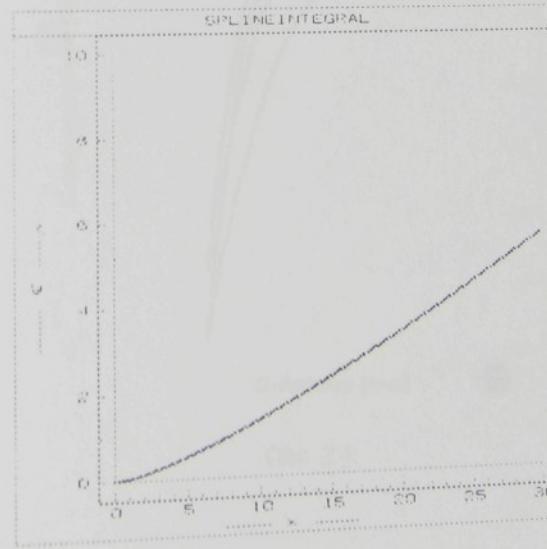
Obr. 2.7



Obr. 2.8

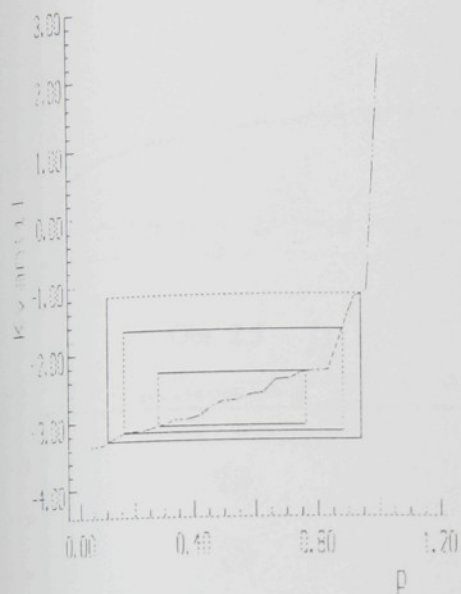


Obr. 2.9



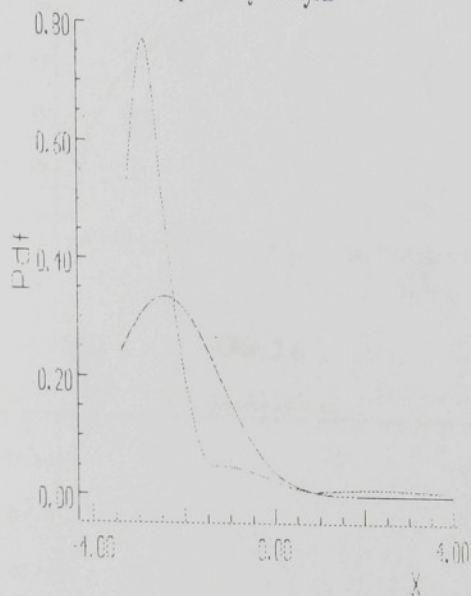
Obr. 2.10

Exploratory Analysis



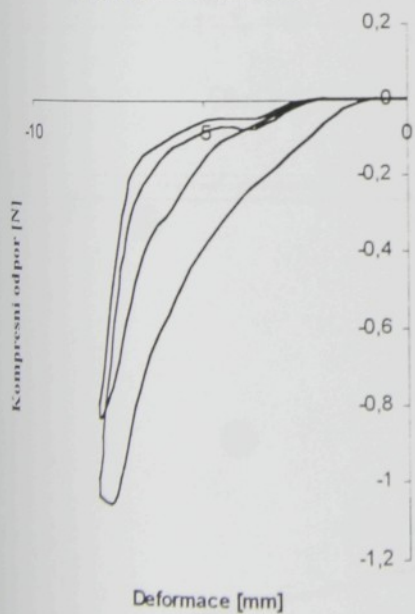
Obr. 2.1
Minimum

Exploratory Analysis



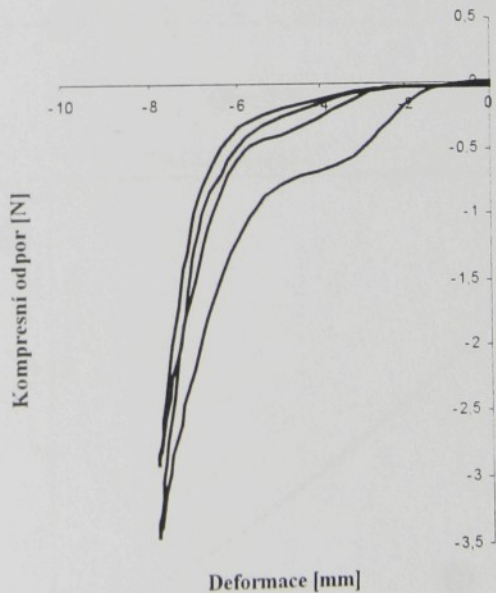
Obr. 2.2
Maximum

Deformační křivka



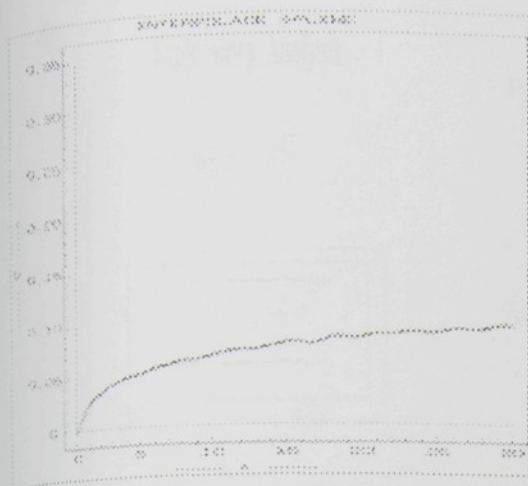
Obr. 2.3

Deformační křivka



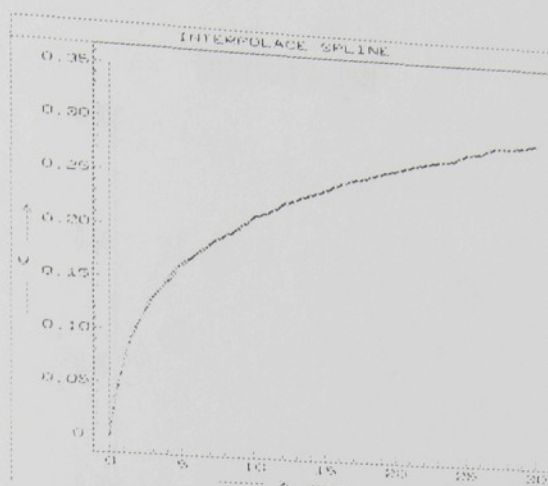
Obr. 2.4

Minimum

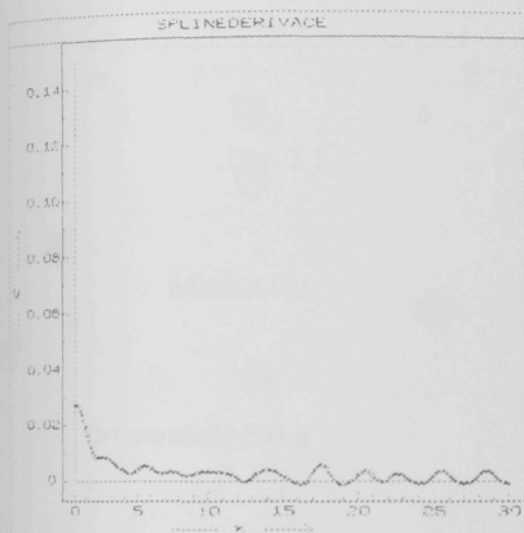


Obr. 2.5

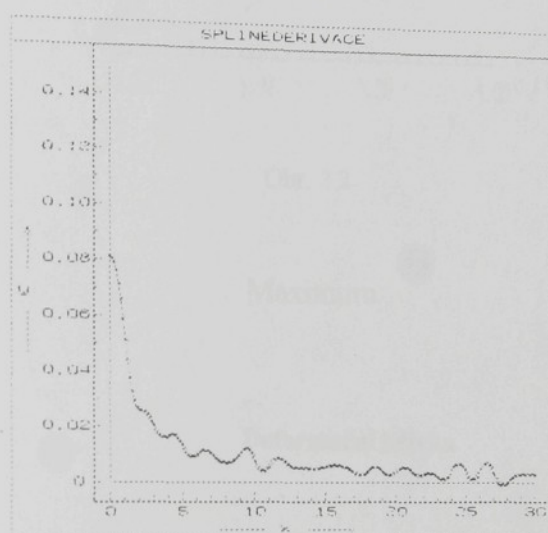
Maximum



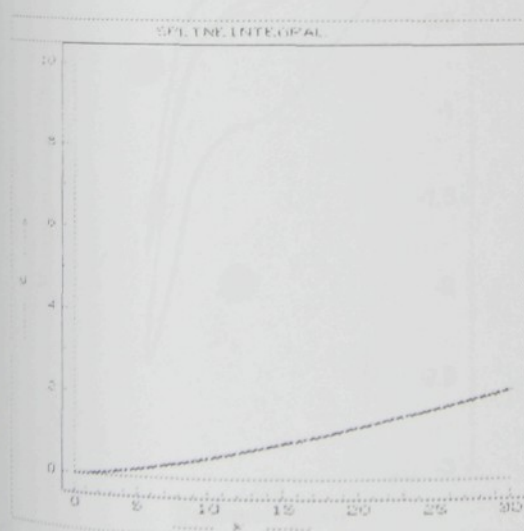
Obr. 2.6



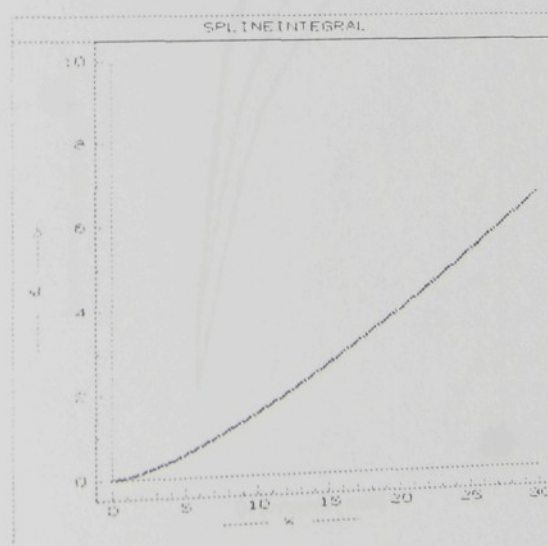
Obr. 2.7



Obr. 2.8

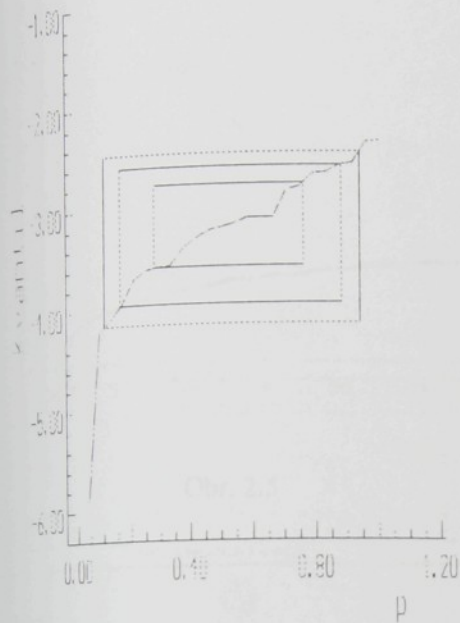


Obr. 2.9



Obr. 2.10

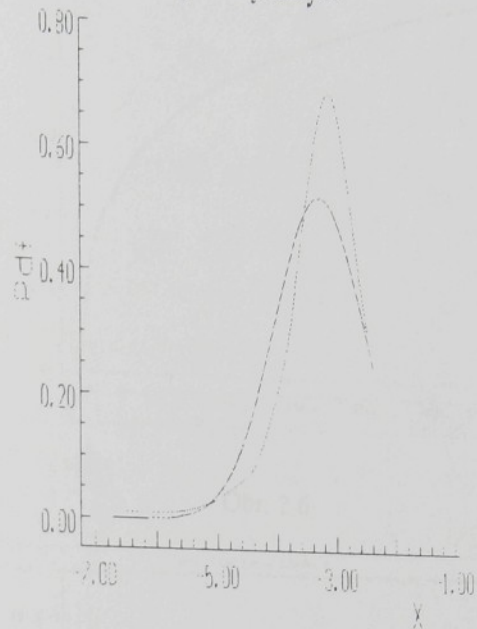
Exploratory Analysis



Obr. 2.1

Minimum

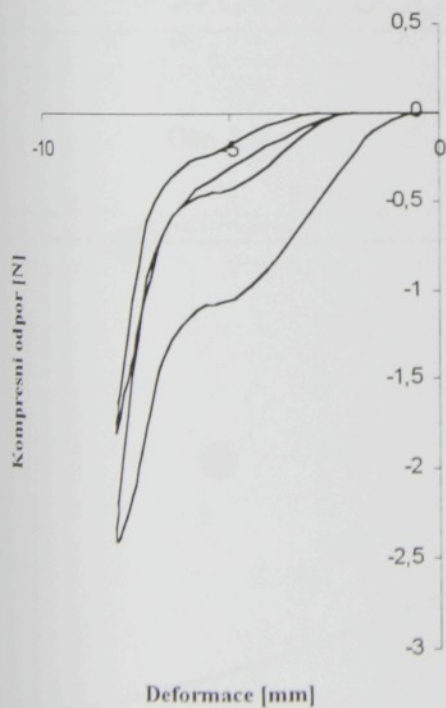
Exploratory Analysis



Obr. 2.2

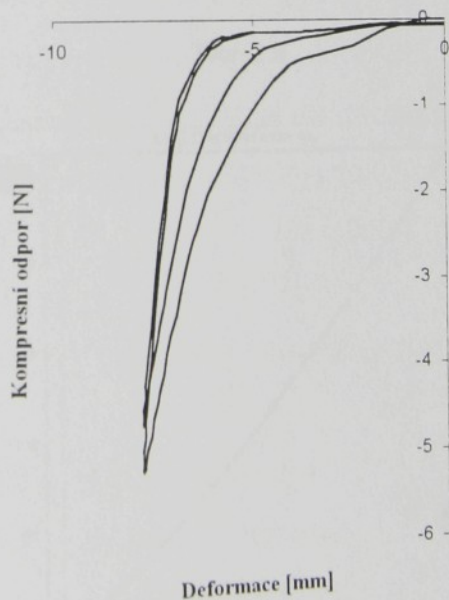
Maximum

Deformační křivka



Obr. 2.3

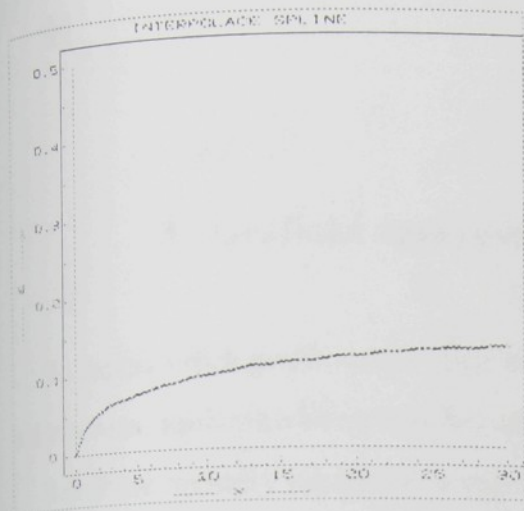
Deformační křivka



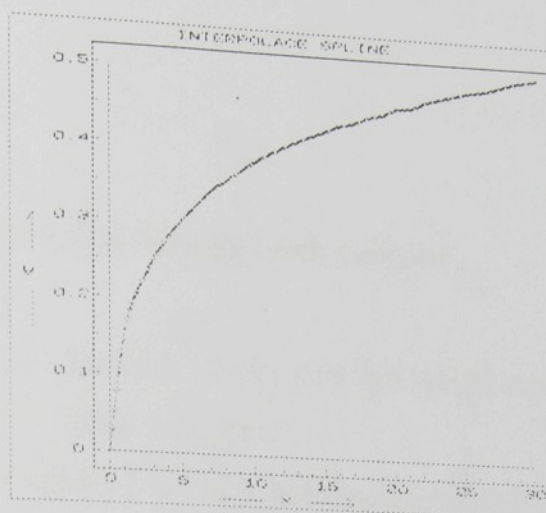
Obr. 2.4

Minimum

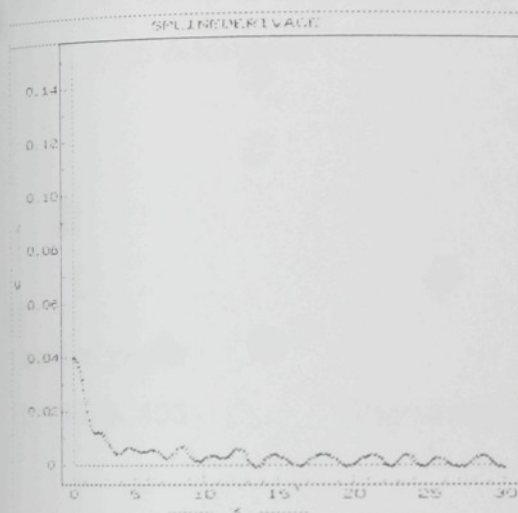
Maximum



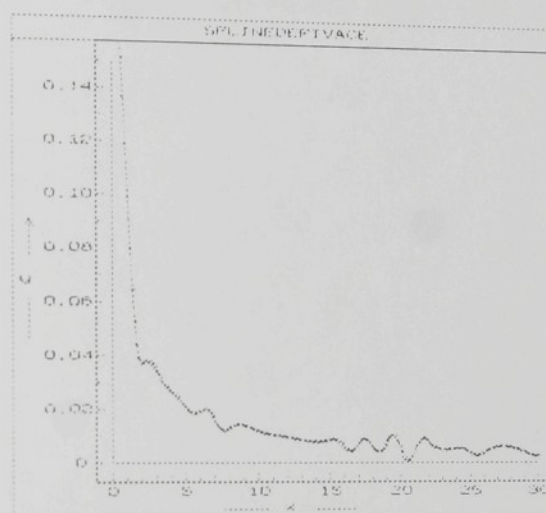
Obr. 2.5



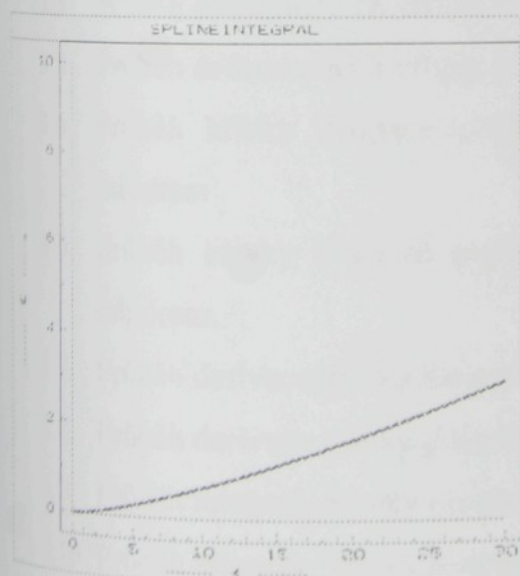
Obr. 2.6



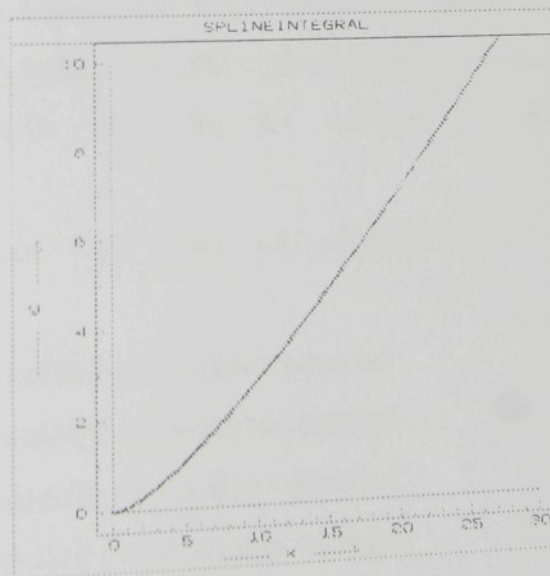
Obr. 2.7



Obr. 2.8



Obr. 2.9



Obr. 2.10

3. Grafické zpracování výsledků kontrolních měření

Do paprskových grafů značených stejně jako kontrolní vzorky jsou zpracovány naměřené hodnoty max. lokálního kompresního odporu v 5. cyklu deformace.

Naměřené hodnoty lokálního kompresního odporu v 5. cyklu deformace a relaxace odporu (ve formě disipace) z max. hodnoty v 6. cyklu deformace jsou pak pro každou variantu kontrolního vzorku také zpracovány do grafů č. 3.1 – 3.10. Deformační křivky jsou uvedeny v 1. a 5. cyklu deformace.

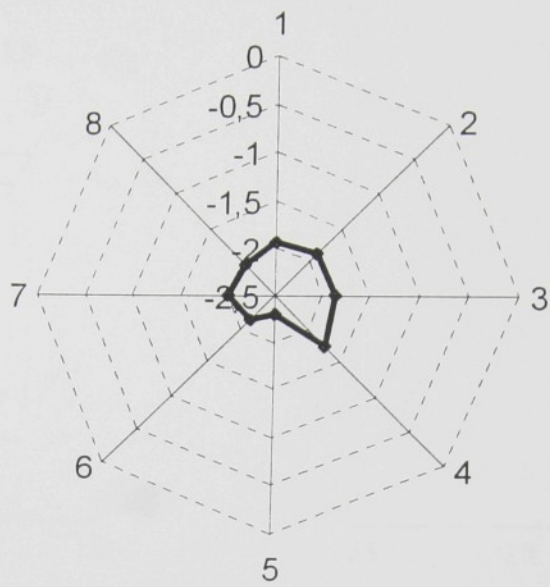
Označení grafů:

PU, ORBIK 400

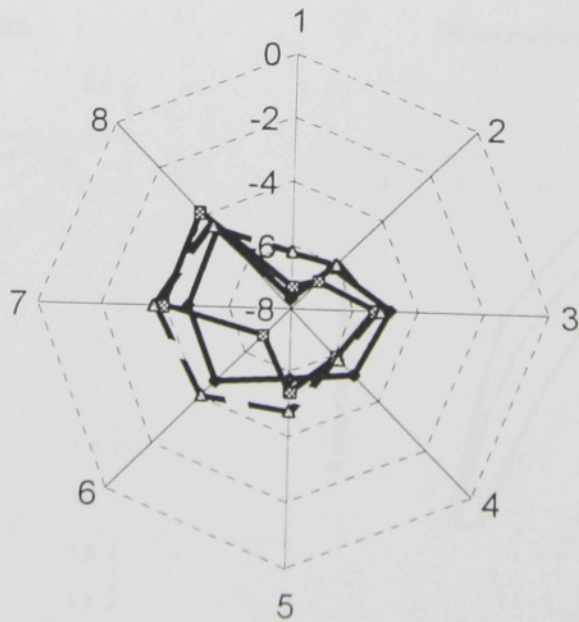
Paprskové grafy

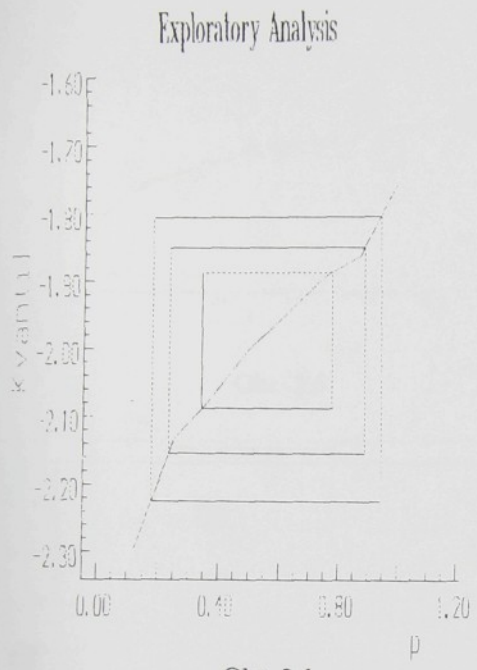
- 3.1. Graf rozptýlení s kvantily hodnot max. odporu v 5. cyklu deformace
- 3.2. Graf hustoty pravděpodobnosti hodnot max. odporu v 5. cyklu deformace
- 3.3. Průběh deformačních křivek v 1. a 5. cyklu, v lokalitě s minimálním odporem
- 3.4. Průběh deformačních křivek v 1. a 5. cyklu, v lokalitě s maximálním odporem
- 3.5. Průběh křivky disipace podle vztahu (51) v kap. 4.4, v lokalitě s minimálním odporem
- 3.6. Průběh křivky disipace podle vztahu (51) v kap. 4.4, v lokalitě s maximálním odporem
- 3.7. Průběh derivace křivky disipace v lokalitě s minimálním odporem
- 3.8. Průběh derivace křivky disipace v lokalitě s maximálním odporem
- 3.9. Průběh integrálu křivky disipace v lokalitě s minimálním odporem
- 3.10. Průběh integrálu křivky disipace v lokalitě s maximálním odporem

PU pěna

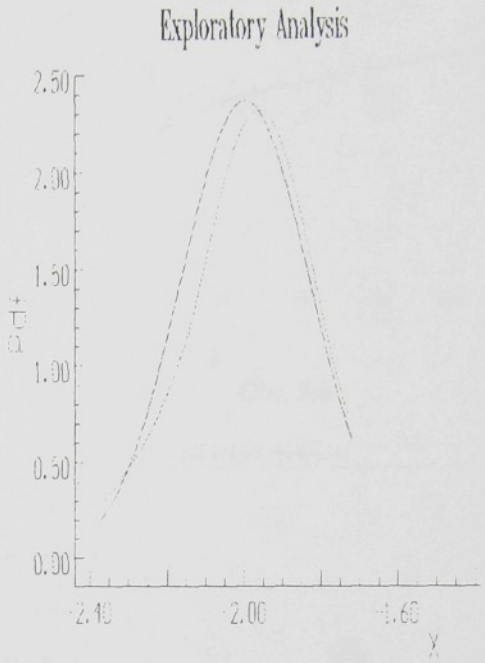


ORBIK 400





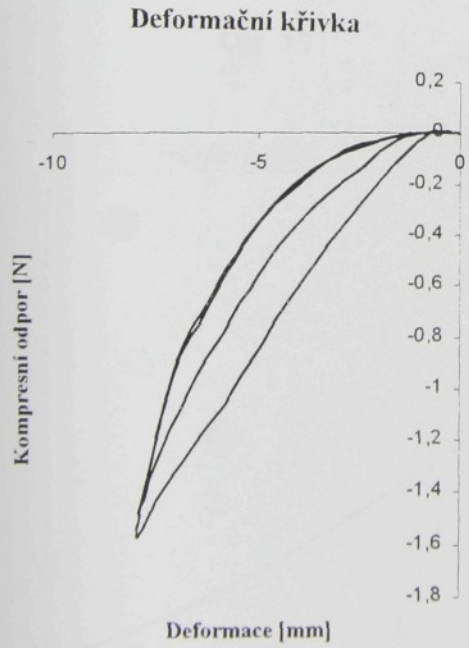
Obr. 3.1



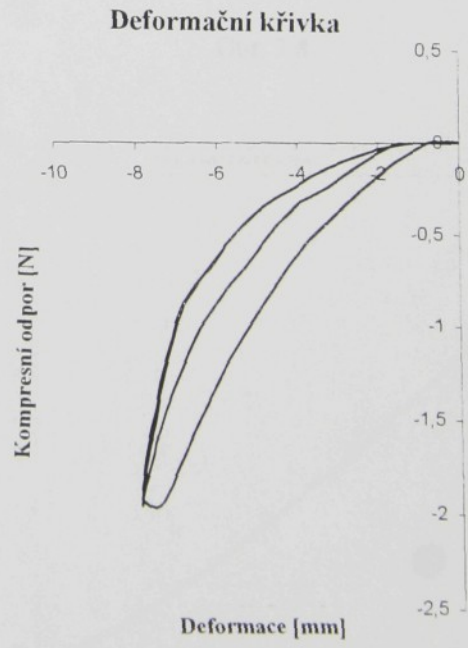
Obr. 3.2

Minimum

Maximum

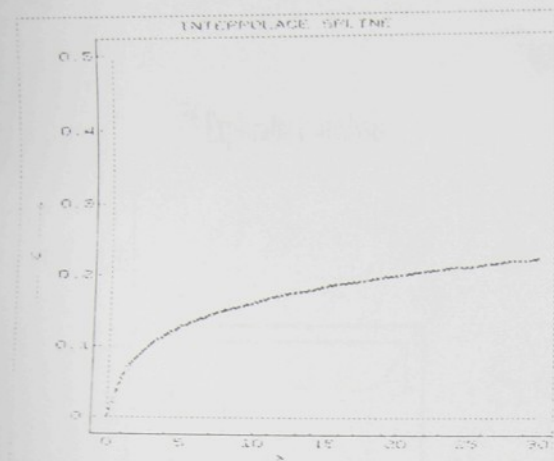


Obr. 3.3



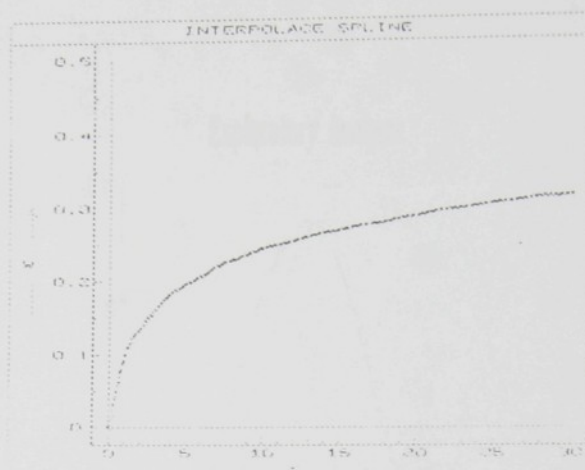
Obr. 3.4

Minimum

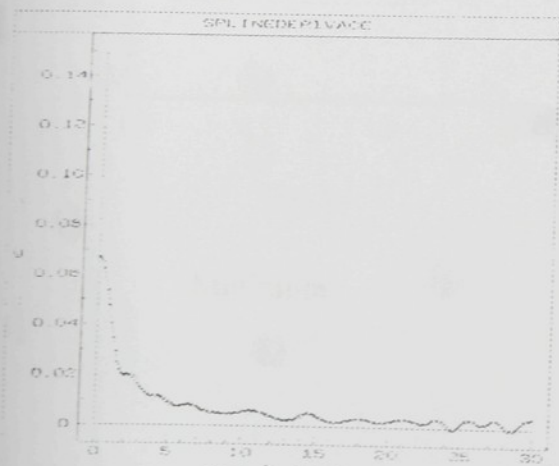


Obr. 3.5

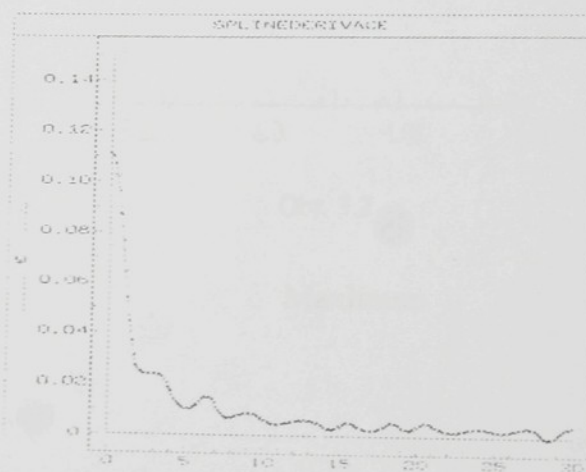
Maximum



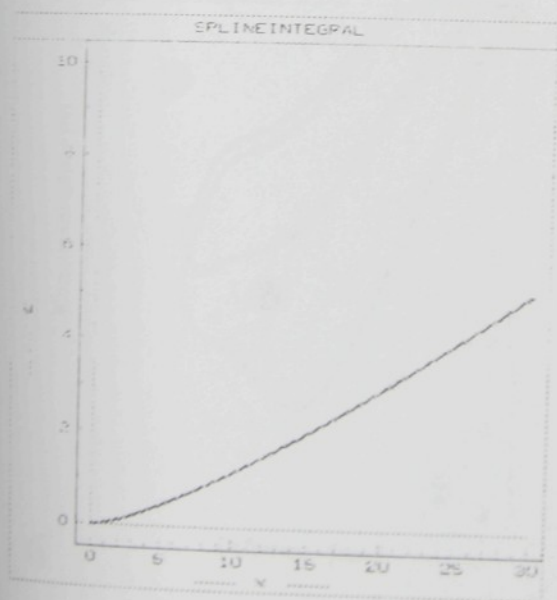
Obr. 3.6



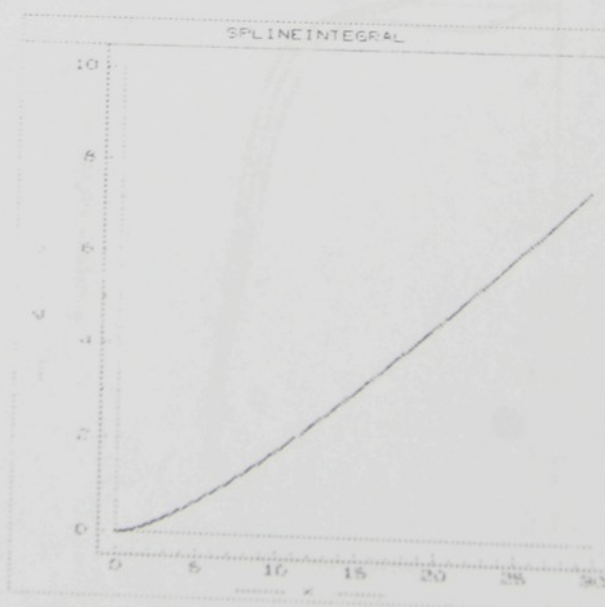
Obr. 3.7



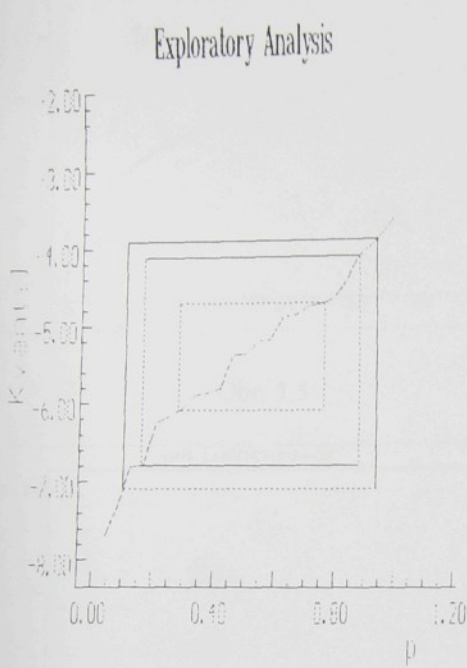
Obr. 3.8



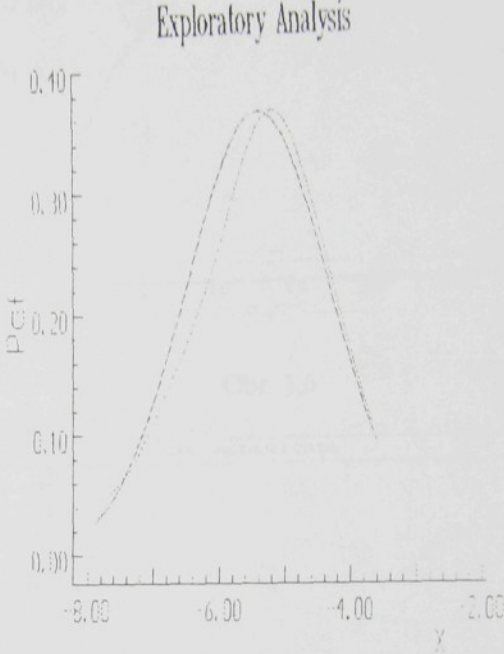
Obr. 3.9



Obr. 3.10



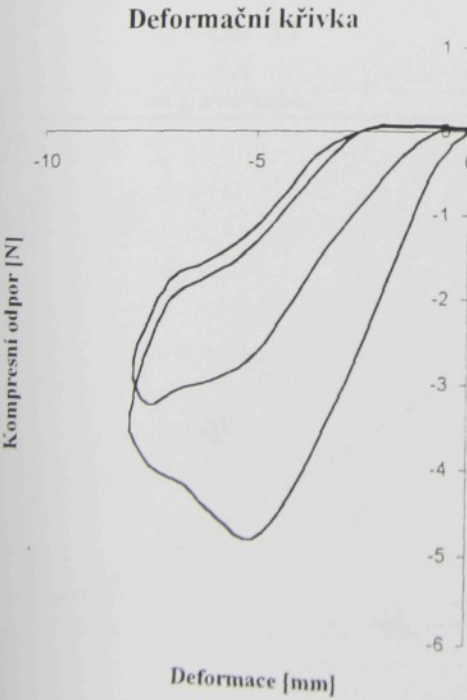
Obr. 3.1



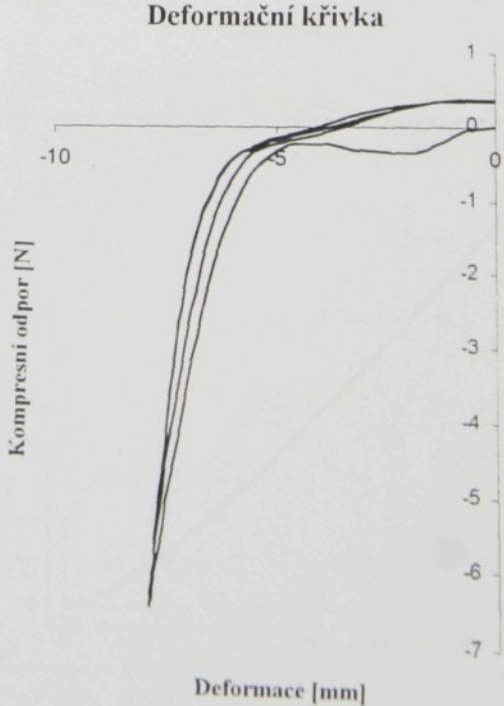
Obr. 3.2

Minimum

Maximum

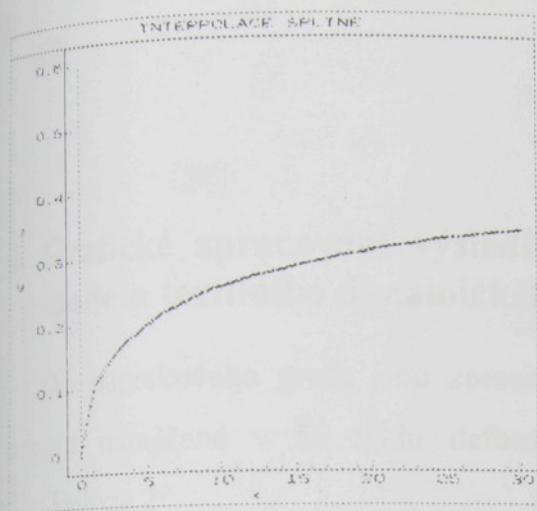


Obr. 3.3



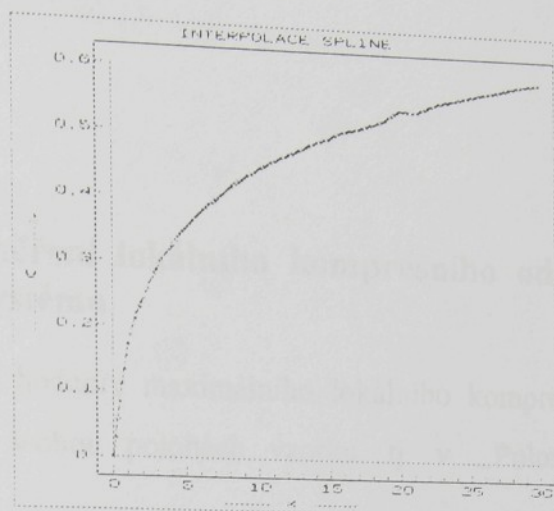
Obr. 3.4

Minimum

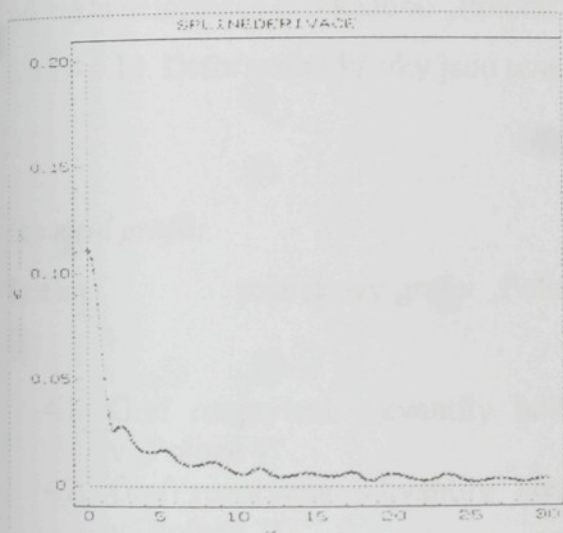


Obr. 3.5

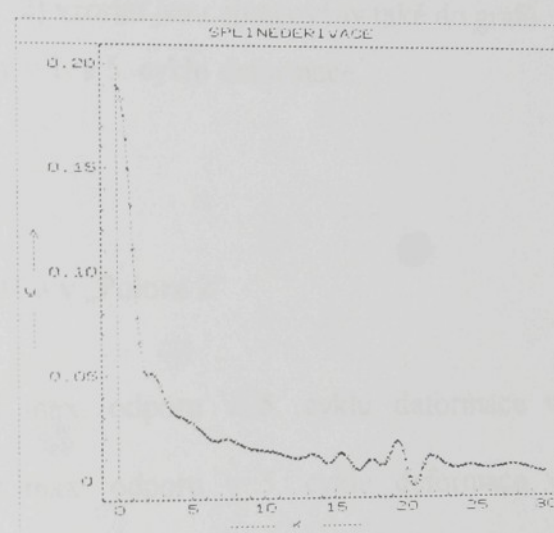
Maximum



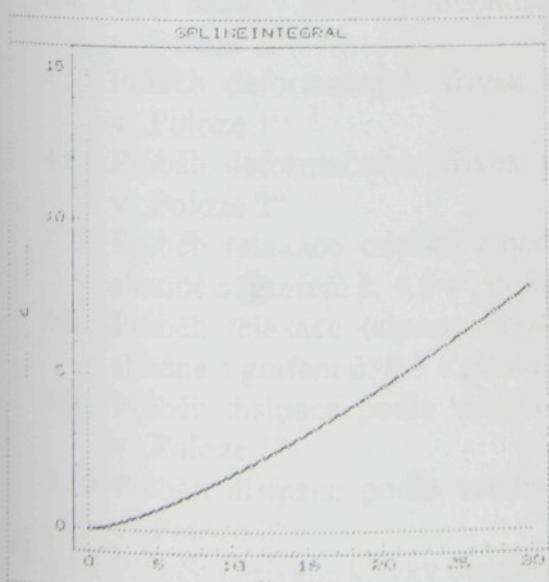
Obr. 3.6



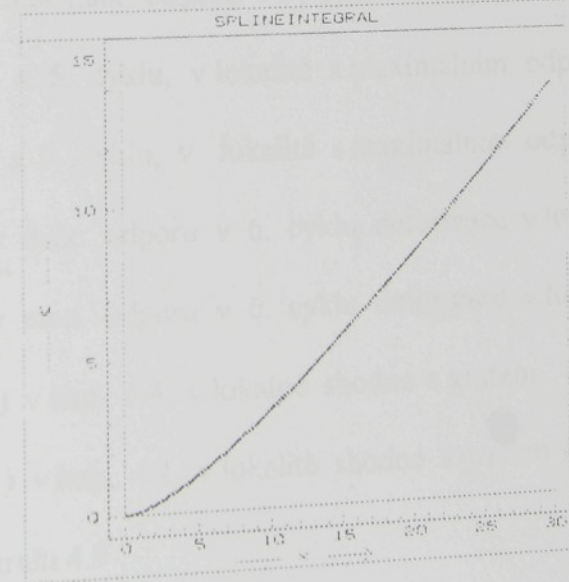
Obr. 3.7



Obr. 3.8



Obr. 3.9



Obr. 3.10

4. Grafické zpracování výsledků měření lokálního kompresního odporu modelu textilního dynamického systému

Do paprskového grafu jsou zpracovány hodnoty maximálního lokálního kompresního odporu naměřené v 5. cyklu deformace v obou polohách vzorku, tj. v „Poloze 1“ a v „Poloze 2“.

Naměřené hodnoty lokálního kompresního odporu v 5. cyklu deformace a relaxace odporu v 6. cyklu deformace pro každou „Polohu“ (1, 2) vzorku jsou zpracovány také do grafů č. 4.1 – 4.14. Deformační křivky jsou uvedeny v 1. a 5. cyklu deformace.

Označení grafů:

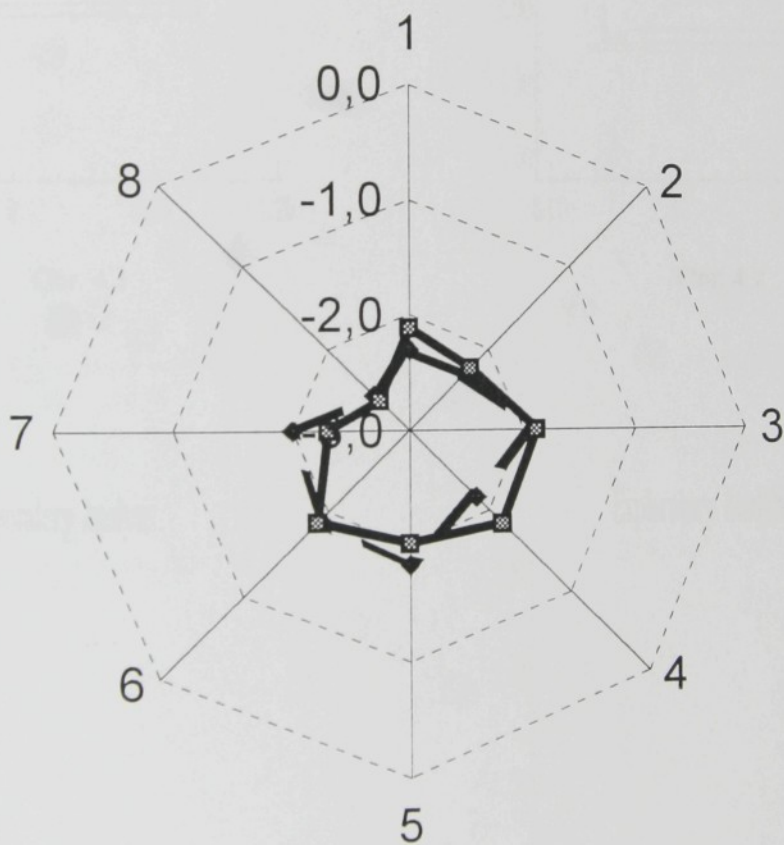
Systém paprskový graf v „Poloze 1“ a v „Poloze 2“

- 4.1. Graf rozptýlení s kvantily hodnot max. odporu v 5. cyklu deformace vzorku v „Poloze 1“
- 4.2. Graf rozptýlení s kvantily hodnot max. odporu v 5. cyklu deformace vzorku v „Poloze 2“
- 4.3. Graf hustoty pravděpodobnosti hodnot max. odporu v 5. cyklu deformace vzorku v „Poloze 1“
- 4.4. Graf hustoty pravděpodobnosti hodnot max. odporu v 5. cyklu deformace vzorku v „Poloze 2“
- 4.5. Průběh deformačních křivek v 1. a 5. cyklu, v lokalitě s maximálním odporem v „Poloze 1“
- 4.6. Průběh deformačních křivek v 1. a 5. cyklu, v lokalitě s maximálním odporem v „Poloze 2“
- 4.7. Průběh relaxace odporu z hodnoty max. odporu v 6. cyklu deformace v lokalitě shodné s grafem č. 4.5 v „Poloze 1“
- 4.8. Průběh relaxace odporu z hodnoty max. odporu v 6. cyklu deformace v lokalitě shodné s grafem č. 4.5 v „Poloze 2“
- 4.9. Průběh disipace podle vztahu (51) v kap. 4.4, v lokalitě shodné s grafem č. 4.5 v „Poloze 1“
- 4.10. Průběh disipace podle vztahu (51) v kap. 4.4, v lokalitě shodné s grafem č. 4.5 v „Poloze 2“
- 4.11. Průběh derivace křivky disipace z grafu 4.9
- 4.12. Průběh derivace křivky disipace z grafu 4.10
- 4.13. Průběh integrálu křivky disipace z grafu 4.9
- 4.14. Průběh integrálu křivky disipace z grafu 4.10

Dynamický systém

Vzorky Poloha 1, Poloha 2

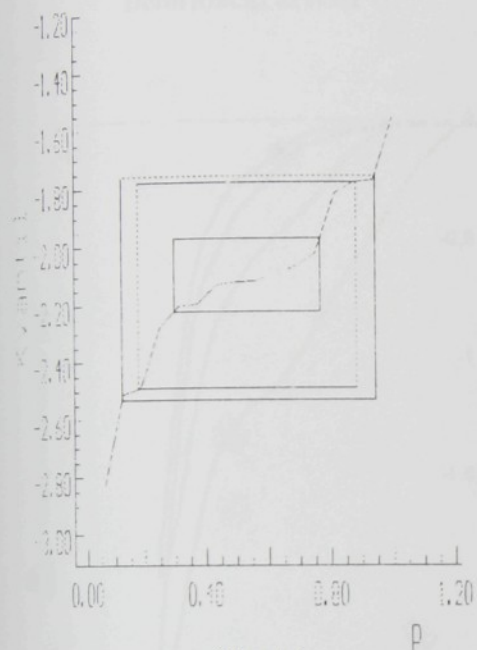
System



Poloha 1

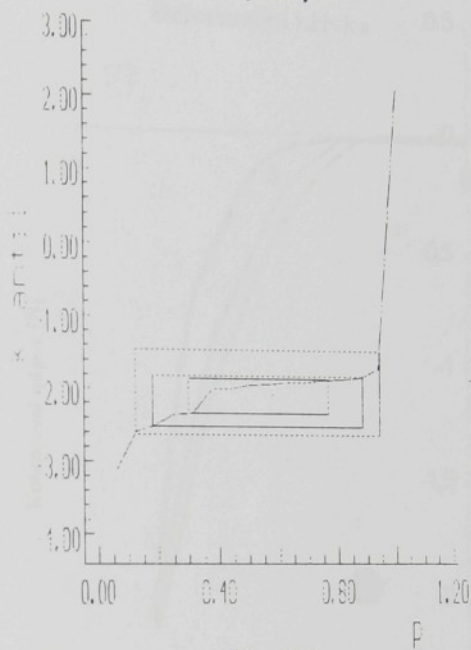
Poloha 2

Exploratory Analysis



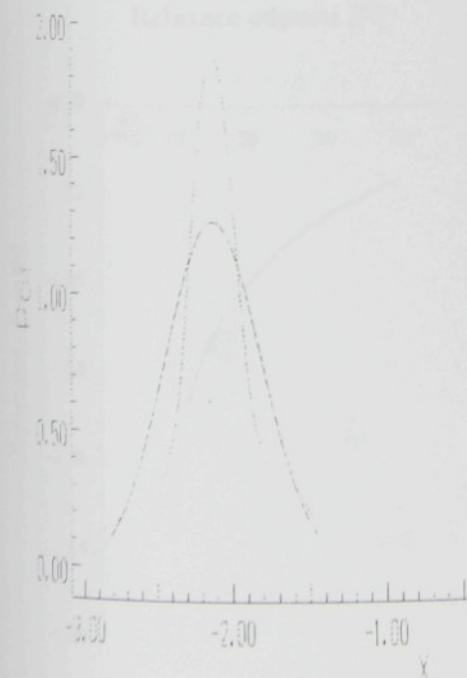
Obr. 4.1

Exploratory Analysis



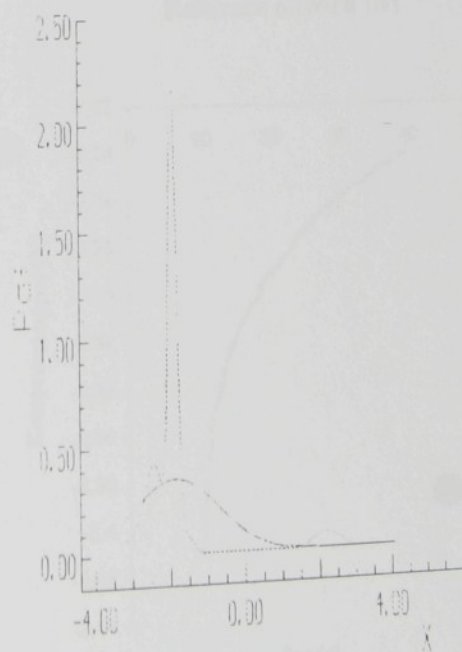
Obr. 4.2

Exploratory Analysis



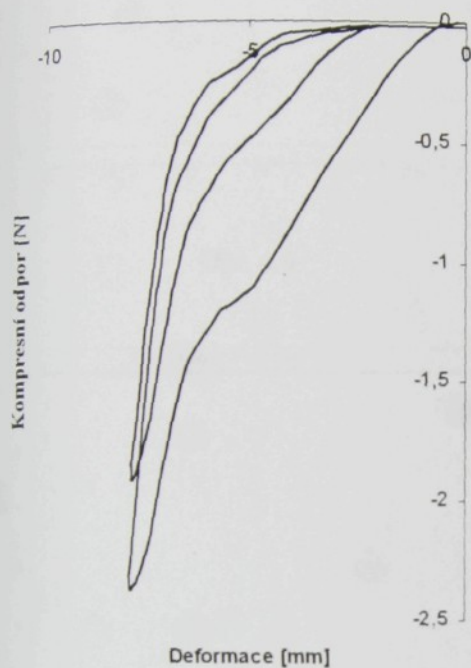
Obr. 4.3

Exploratory Analysis



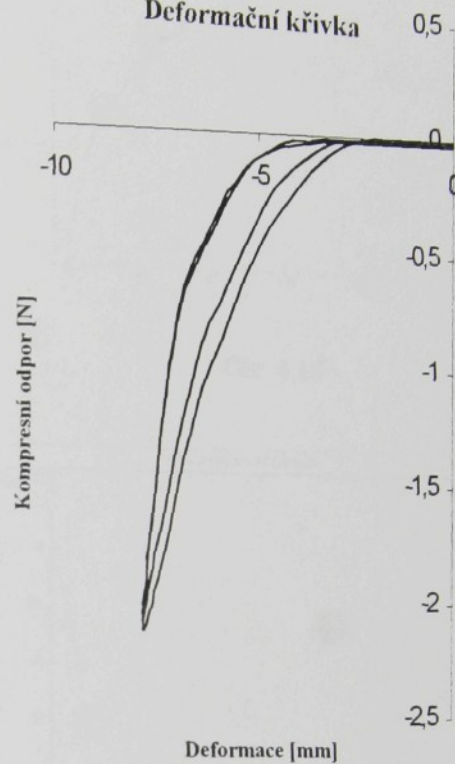
Obr. 4.4

Deformační křivka



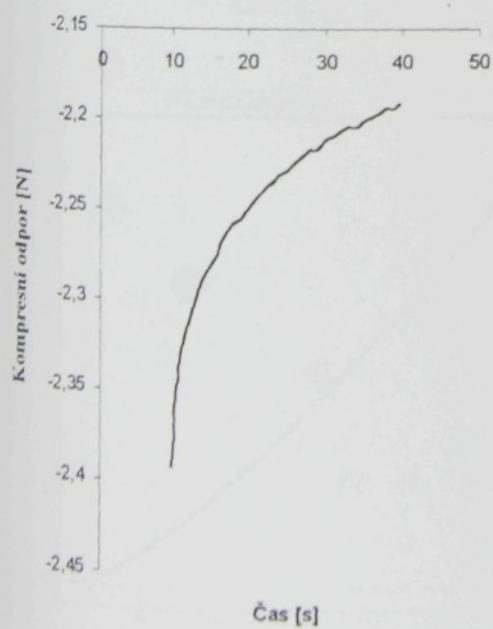
Obr. 4.5

Deformační křivka



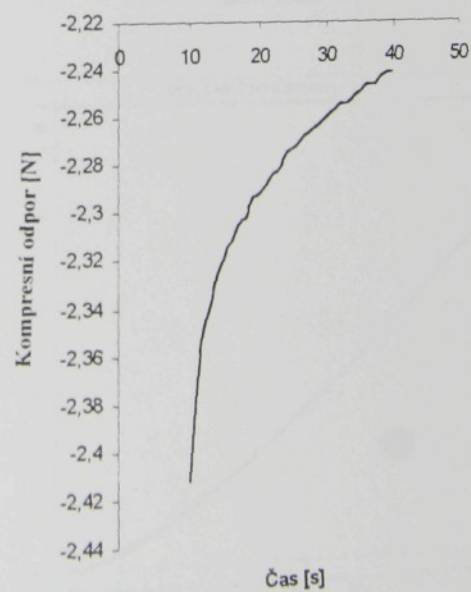
Obr. 4.6

Relaxace odporu [N]



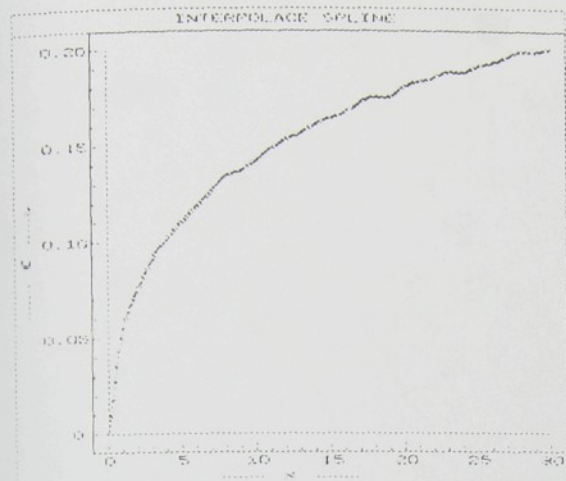
Obr. 4.7

Relaxace odporu [N]



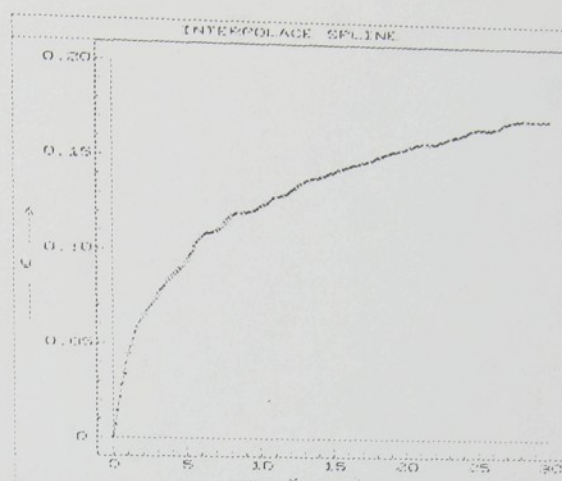
Obr. 4.8

Poloha 1

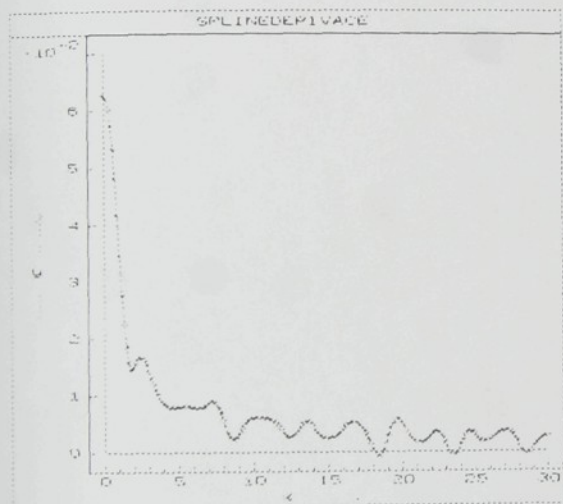


Obr. 4.9

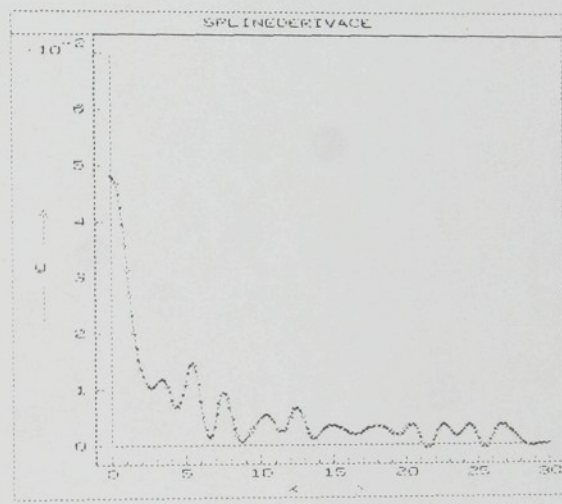
Poloha 2



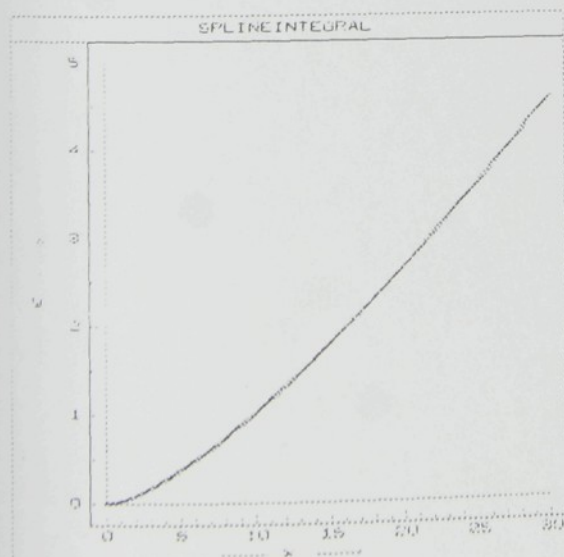
Obr. 4.10



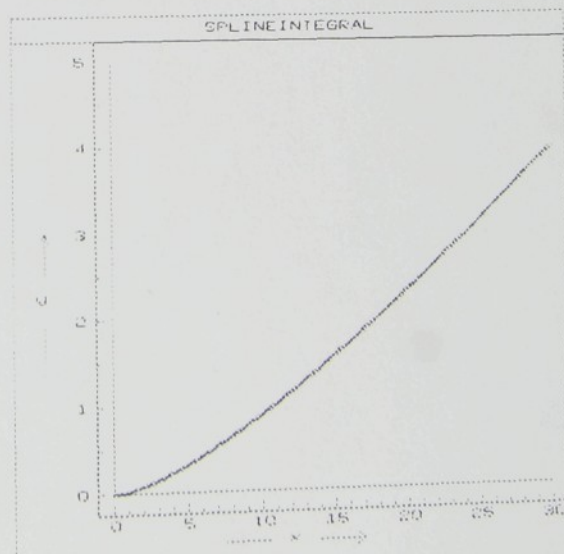
Obr. 4.11



Obr. 4.12



Obr. 4.13



Obr. 4.14

U 584 T