VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ V LIBERCI

FAKULTA TEXTILNÍ

NÁVRH ALGORITMU A PROGRAMU PRO SIMULACI CHOVÁNÍ NETKANÉ TEXTILIE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

ANDREA FUNKOVÁ

1994

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ V LIBERCI

Fakulta textilní

Obor 31 - 20 - 8

ASŘ ve spotřebním průmyslu

KATEDRA TECHNICKÉ KYBERNETIKY

Návrh algoritmu a programu pro simulaci chování netkané textilie

Andrea Funková

Vedoucí diplomové práce : ing.Jan Tišer, VŠST Liberec

Konzultant : Doc.RNDr.David Lukáš CSc.

Rozsah práce : 47

Počet obrázků : 11

Počet příloh : 3

UNIVERZITNÍ KNIHOVNA
TECHNICKÉ UNIVERZITY V LIBERCI
3146075564

31.12.1994

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ V LIBERCI

Fakulta textilní

Katedra technické kybernetiky Školní rok: 1994/95

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

pro Andreu FUNKOVOU

obor 31-20-8 ASŘ ve spotřebním průmyslu

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

Název tématu:
Návrh algoritmu a programu pro simulaci chování netkaných textilií

Zásady pro vypracování:

1. Seznamte se s problematikou chování pleteniny při deformaci plošnou sítí reologicky definovaných prvků zatíženou mono nebo biaxiálním napětím

2. Simulujte napětí v jednotlivých místech plochy netkaných textilií v určitém čase, vznik a šíření poruchy apod.

3. Vytvořte ucelený programový systém řešící danou problematiku na základě dílčích již existujících algoritmů. Zvolte vhodné uživatelské prostředí a grafické výstupy.

KTK/ASŘ V 198/94 T

47 s., 3 s. příl.

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

Prohlášení :

Místopřísežně prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury.

V Liberci 31.12.1994 ..... Šimborová Andrea .....

Poděkování :

Na tomto místě bych chtěla poděkovat především Doc.D.Lukášovi a ing.J.Tišerovi za ochotu a čas, který mi věnovali.

OBSAH

ÚVOD 7

1. NETKANÉ TEXTILIE 8

1.1. Definice netkaných textilií 8

1.2. Výroba netkaných textilií, jejich postavení a užití 8

1.3. Modelování mechanických vlastností 10

1.4. Popis studovaných vlákenných systémů 13

2. POČÍTAČOVÁ SIMULACE MECH. VLASTNOSTÍ NETKANÝCH TEXTILIÍ 15

2.1. Vývoj počítačové simulace 15

2.2. Principy počítačové simulace 16

2.3. Metody počítačové simulace 16

2.4. Metoda molekulární dynamiky 17

2.4.1. Relaxační procedura 18

2.4.2. Výsledky metody 20

2.5. Metoda s rychlou konvergencí 21

2.5.1. Popis, symboly 22

2.5.2. Metoda 23

2.5.3. Výsledky metody 24

2.6. Oblast použití programové aplikace 24

2.7. Stlačování jednoho vlákna 26

2.7.1. Vlákenný element při stlačování 26

2.7.2. Vztah křivosti,délky oblouku kružnice a jeho tečny 28

2.7.3. Numerický výpočet inversní funkce k funkci sin(x)/x 29

2.7.4. Vztah síly a křivosti 34

3. POPIS PROGRAMOVÉHO SYSTÉMU 37

3.1. Struktura programu 37

3.2. Popis pracovního prostředí - menu 38

3.2.1. Program výpočet sítě 40

3.2.2. Program výpočet křivosti 41

3.3. Instalace 44
3.4. Hardwarové a softwarové požadavky 44

4. ZÁVĚR 45
5. POUŽITÁ LITERATURA 46
6. SEZNAM PŘÍLOH 47

ÚVOD

Textilní materiály včetně netkaných textilií se v poslední době dostávají do role shodné s rolí obvyklých konstrukčních materiálů. Stávají se součástí stavebních celků, technologických zařízení, přístrojů atd.

Nové nároky na textilie logicky vyúsťují v nové nároky na znalost jejich materiálových vlastností. Cílem výrobce je vyrobit textilie s požadovanými vlastnostmi při nízkých nákladech a k tomu by měla sloužit počítačová simulace mechanických vlastností netkaných textilií. Modelování by mělo umožňovat efektivní konstrukci textilií se zadanou škálou vlastností přímo v počítači, a to i z vláken, která dosud neexistují. Možnosti modelování nabývají v současné době obzvláštního významu v souvislosti s vývojem jak netkaných textilií, tak výkonných počítačů.

Metody zde použité by mohly nacházet po určité modifikaci uplatnění i u jiných typů vlákenných útvarů. Mohly by to být například příze, papír, tkaniny, vše co má vláknitý charakter a kde je vhodné aplikovat pravidelnou strukturu typu sítě. Model textilie je třeba chápat jako zjednodušený obraz skutečnosti. Skutečné objekty jsou složité než abychom je mohly dokonale popsat. Není smyslem jen popsat objekt, ale vysvětlit v souvislostech proč?

Dílčím přínosem k tomuto cíli by měla být i tato práce. Vytvořený simulační programový systém by měl usnadňovat práci studentům odborného předmětu, kteří ho budou využívat při výuce, ale i ostatním, kteří se touto problematikou zabývají.

1. NETKANÉ TEXTILIE

1.1. Definice netkaných textilií

Netkané textilie zahrnují širokou škálu výrobků získaných nejrůznějšími technologiemi a odlišujícími se strukturou. Vzhledem k tomu, že vznikají stále nové technologie a s tím spojené výrobky a struktury, podléhá definice netkaných textilií vývoji. V současné době jsou netkané textilie definovány následovně: Netkaná textilie je vrstva vyrobená z jednosměrně nebo náhodně orientovaných vláken, spojených třením nebo kohezí nebo adhezí, všíváním, proplétáním, nebo plstěním. Citace [1]: Netkané textilie - skripta VŠST.

1.2. Výroba netkaných textilií, jejich postavení a užití

Objem výroby netkaných textilií se blíží 20% celkové výroby textilií a tento podíl se neustále zvyšuje. V České republice a ve Slovenské republice se vyrábí (r.1989) asi 40.000 t/rok, což představuje 150 miliónů m^2. Toto množství je srovnatelné s výrobou ve Francii, Velké Británii, případně celé Skandinávii. Celosvětová výroba činí 1 250 000 t/rok a v západní Evropě 440 000 t/rok , resp. 10,7 miliardy m^2.

Zatímco výroba většiny druhů textilií celosvětově stagnuje nebo se jen pozvolna zvyšuje, roční nárůst výroby netkaných textilií je celosvětově 6% a v západní Evropě dokonce 9%. Tento neuvěřitelný nárůst je snad srovnatelný jen s rozvojem

mikroelektroniky a je postaven na ekonomické výhodnosti a kvalitativním rozvoji, který zabezpečuje pronikání výrobků do stále nových oblastí technického využití. Citace [2]: Netkané textilie - skripta VŠST.

Příklady použití netkaných textilií v některých oborech:

Geotextilie - Textilní materiály používané při geotechnických pracích, např. stavbě silnic, zakládání staveb, budování drenáží, ochraně svahů před erozí atd; geotextilie plní jednu nebo současně několik z následujících funkcí: výztužnou, separační (př.:zábrana mísení jemnějšího a hrubšího materiálu dvou konstrukčních vrstev vozovky), drenážní, filtrační; důsledkem použití geotextilií je podstatné zlevnění staveb a prodloužení jejich životnosti.

Bytové textilie - koberce, závěsy, ubrusoviny, konstrukční součásti nábytku atd.

Filtry - mnoho typů filtrů pro průmyslové závody, zejména pro čištění vzduchu a zachycování exhalací, pro přípravu sterilního vzduchu v bioprovozech, filtraci v potravinářství - mléko, víno, pivo, pro automobily atd. Výroba se rozvíjí zejména s potřebou ochrany životního prostředí.

Vložkové materiály - tepelně izolační objemné materiály pro oděvy do chladného počasí, spací pytle, přikrývky; konstrukční součásti oděvů - výztužné vložky.

Zdravotnické textilie - materiály pro osobní hygienu dětí i dospělých, obleky pro jedno použití, roušky, ložní prádlo pro jedno použití.

Automobilový průmysl - v současných automobilech je 20 - 50

výrobků z netkaných textilií: filtry, polstrování, izolace, odhlučnění.

Agrotextilie - lehké krycí textilie pro urychlení růstu sazenic, k jejich ochraně vůči hmyzu, zvěři, větru a zábrana vysychání půdy.

1.3. Modelování mechanických vlastností

Cílem modelování přetvárných vlastností textilií je poznání jejich závislosti na technologicky podmíněné struktuře. Modelování umožní efektivní konstrukci textilií se zadanou škálou vlastností přímo v počítači, a to i z vláken, která dosud neexistují. Možnosti modelování nabývají v současné době obvzláštního významu v souvislosti s rozmachem vývoje a výroby technických textilií. Konkurenceschopnost a exportní úspěšnost výrobců a přínos jiným oborům budou závislé na porozumění potřebným vlastnostem textilií pro jednotlivé aplikace a na schopnosti vyrobit textilie s těmito vlastnostmi při nízkých nákladech.

Modely mechanického chování textilií lze rozdělit na

- fenomenologické modely, které neberou v úvahu strukturu textilie, chápou ji jako kontinuum;
- kompozitní modely, beroucí částečně v úvahu strukturu textilie, přičemž jednotlivé její složky jsou kontinua. Textilie je heterogenní kontinuum;
- strukturní modely vycházející z vhodného schematického

zobrazení struktury textilie.

Fenomenologické modely využívají většinou reologie, ať už s respektováním časových závislostí při přetvárných procesech nebo bez něho. V případě popisu chování textilií se autoři omezili na jednoosé deformace, i když reologie disponuje možnostmi popisu vícerozměrných dějů, ovšem za cenu použití náročného matematického aparátu. Proměnlivost struktury textilií v průběhu deformace je důvodem systematické nepřesnosti dosud použitých modelů. Vyloučení strukturních pojmů komplikuje možnost praktického dosažení výše uvedených cílů modelování, což do značné míry platí i o kompozitních modelech.

Co se týče strukturních modelů, je možno mluvit o dvou základních směrech jejich vytváření:

První směr chápe textilii jako vlákennou soustavu vyznačující se úhlovou distribucí úseků vláken v rovině, určitým stupněm jejich zkadeření, volností pohybu a mírou jejich vzájemného propojení. K řešení deformace takové soustavy je nutná znalost distribucí všech uvedených proměnných.

Druhým směrem je počítačová simulace pomocí modelů textilií typu sítí. Textilie je reprezentovaná rovinnou sítí tvořenou vaznými body, určitým způsobem v ploše rozloženými a spojenými vazbami definovaných vlastností. Vazné body jsou buď tuhé útvary nebo útvary s limitovanou pevností, případně tuhostí. Deformace sítě při zachování podmínek rovnováhy vnitřních sil, popř. momentů, se provádí pomocí počítačů.

Podmínkami pro efektivní využití modelování k poznání souvislostí způsobu přípravy textilie - struktura - mechanické chování v různých režimech deformace a pro možnost konstrukce textilií počítačem jsou:

- vytvoření zpracovatelných modelů respektujících strukturní parametry textilie, podstatné pro jejich mechanické projevy;

- nalezení experimentálě a časově schůdných postupů stanovení konstant vytvořených modelů, analýzou vzorků textilií pro verifikaci modelů.

Z toho vyplývá, že cestou, směřující k dosažení uvedených cílů je využití strukturních modelů. V dosavadním vývoji se však nepodařilo vytvořit použitelné modely vlákenných soustav požadovaných vlastností. Sestavené modely napodobují jednoosou deformaci některých typů netkaných textilií s přijatelnou přesností pouze při zavedení předpokladů a korekcí vedoucích k jejich přílišné složitosti.

Jak bylo výše naznačeno, jsou vstupními údaji pro tyto typy modelů veličiny, odvozené přímo z mikroskopického pozorování textilie ve statickém stavu, jako je elementární délka úseku vlákna, poloha těchto úseků a míra jejich zkadeření. Uvedené veličiny lze obtížně experimentálně stanovit a vyznačují se distribucí hodnot. Hodnoty zkadeření a úhlové distribuce úseků vláken jsou navíc funkcí obtížně definovatelné délky těchto úseků. Zkadeření úseků je vlivem technologie výroby textilie směrově závislé. Exaktní stanovení vstupních dat je proto experimentálně a časově prakticky nereálné.

Použití úseků vlákna jako základní strukturní jednotky textilie je však současně neadekvátní. Z naprosté odlišnosti charakteru tahových křivek vlákna a z něho připravené např. vpichované textilie, stejně jako z pozorování mechanismu deformace této textilie vyplývá, že za základní strukturní jednotky lze pokládat spíše svazek vláken, který se v průběhu deformace vytváří, příp. přetváří a jehož soudržnost a odezva na působení vnějších sil jsou na přetváření závislé. Tato závislost je ovšem funkcí povrchových a tahových vlastností vláken.

Z uvedeného lze soudit, že pojmy odvozené z přímého mikroskopického pozorování textilie ve statickém stavu nejsou

vhodné jako vstupní veličiny modelů jejich mechanických vlastností, a proto ani jako východisko k pokusům o definici její struktury. Vhodnější bude využití abstraktních pojmů odvozených z modelu, který danou textilii všestraně přesně charakterizuje.

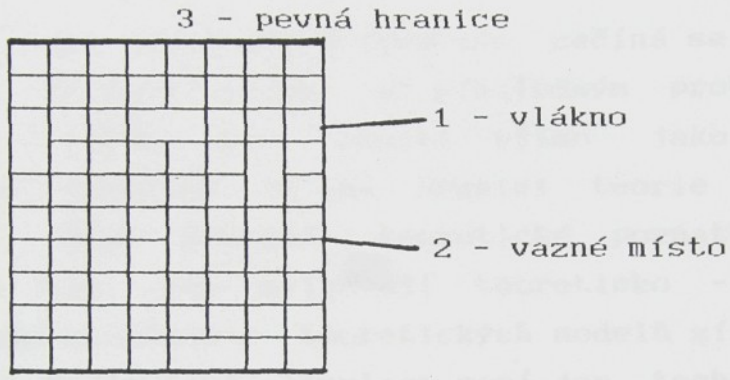
Cílem tedy je sestavit model s dostatečnou vypovídací schopností. Požadavky na modelování mechanických vlastností textilií dobře splňují modely typu sítí. Umožňují vystižení vzájemných poloh vazných bodů včetně nerovnoměrnosti. Vystihují anizotropii struktury. Vlastnosti vazných bodů je možno definovat tak, že respektují změny soudržnosti v závislosti na deformaci, lilmitní pevnost i časově závislé chování. Modely lze pomocí počítače deformovat ve zvolených režimech co se týče rychlosti deformace, tvaru vzorku, přítomnosti koncentrátorů napětí, dvojosé deformace, opakováné deformace a relaxace. Výsledkem počítačového experimentu je nejen tahová křivka, ale i rozložení napětí ve vzorku v průběhu deformace, změny tvaru vzorku a postup praskání jednotlivých vazných bodů.

Při standardní tahové zkoušce dochází u materiálu jednak k makroskopickým a jednak k mikroskopickým změnám. Z hlediska makroskopie je to poměrné prodloužení a poměrné zúžení vzorku textilie. Z hlediska mikroskopie pak například dochází k nevratným dějům v podobě přetrhů jednotlivých vazných bodů.

1.4. Popis studovaných vlákenných systémů

Přistupme k popisu vlákenných systémů, které budou dále ve středu našeho zájmu. Příklad takového systému je na obrázku 1.

Systémy se skládají z rovných vláken, které navzájem interagují ve vazných místech. Vazné místo představuje pevný spoj několika vláken. Počet vláken spojených ve vazném místě je shora omezen. U sítě na obrázku 1., kterou se budeme dále zabývat, je maximální počet vláken vycházejících z vazného místa 4. V případě volby jiné struktury sítě to může být i více. Reálný vlákenný systém viz příloha č.1.



4 - pevná hranice, která se během deformace vzdaluje od protilehlé pevné hranice

obr.1. Příklad vlákenného systému
Pevná hranice je upevněna v čelistech trhacího přístroje

Vlákna v systému mohou být odlišného mechanického chování. Jejich deformační křivky mohou mít lineární či nelineární průběh. My budeme zkoumat homogenní systémy a budeme předpokládat hookeovské chování vláken až do jejich porušení. To představuje nahrazení vlákna hookeovskou pružinou. Mechanické chování sítě lze popsat ze znalosti mechanických vlastností modulů a prostorového rozložení jednotlivých vláken. Lze však zvolit i hrubší popis. Získáme jej transformací či renormalizací sítě v síť jednodušší, metodou renormalizační grupy. (Odkaz: Počítačová simulace mechanických vlastností vlákenných systémů).

2. Počítačová simulace mechanických vlastností netkaných textilií

2.1. Vývoj počítačové simulace

Historie počítačové simulace začíná se vznikem moderních počítačů. Počítač hraje s příslušným programovým vybavením centrální úlohu, tj. působí přímo jako nástroj poznání. Počítačová simulace je na hranici teorie a experimentu, v maximální míře využívá teoretické poznatky. Uplatňuje se především tam, kde selhávají teoreticko - analytické metody. Počítač nám umožňuje z teoretických modelů získat další zajímavé informace. Počítačová simulace není jen technickou záležitostí, může objevovat i nové jevy, které jsou sice obsaženy v teoretickém modelu, nejsou však zřejmé pokud příslušné rovnice nerozřešíme. Počítačová simulace je tedy novou metodou zkoumání fyzikální reality. Nejvíce se úloha počítače projevuje při počítačové simulaci reálných jevů. Teoretický model je v počítačové simulaci bezprostředním obrazem podstatných prvků reálného systému a zajímáme se o jistý vývoj systému např. v čase. Počítačová simulace se uplatní nejvíce v případě modelů, do kterých vstupují náhodné prvky a to přirozeným způsobem, jež je vlastní fyzikální realitě, nebo se do modelu uměle zavádějí s cílem získat potřebný efekt.

Počítačová simulace našla uplatnění především ve fyzice, např. metody MC a MD (odkaz: Počítačová simulace v klasické statistické fyzice), ale i v mnohých jiných oblastech společenské praxe. Na počítači se např. simulují modely struktur odvětví průmyslu, modely činnosti podniků, organizace velkých projektů apod. Pro počítačovou simulaci byly vypracovány i speciální jazyky např. SIMSCRIPT, SIMULA 67.

2.2. Principy počítačové simulace

Klasický statistický systém simulujeme na počítači soustavou N interagujících částic s periodickými okrajovými podmínkami. Generujeme posloupnost stavů soustavy ve fázovém prostoru. Stav je určen souřadnicemi všech částic. Přechod od jednoho stavu k následujícímu nazýváme krok simulace. Následující stav se generuje na základě alespoň jednoho předcházejícího stavu. Algoritmus simulace musí zaručovat konvergenci posloupnosti stavů k jistému rovnovážnému stavu.

Při návrhu simulačního modelu systému je třeba brát ohled i na počítačové možnosti. Je třeba zajistit efektivitu simulace, neboť je velmi jednoduché navrhnout model, který zahltí i ten nejvýkonnější počítač.

2.3. Metody počítačové simulace

Možnosti počítačové simulace statistiských systémů jsou velké. Umožňují studovat rovnovážné i nerovnovážné systémy. V současné době se využívá k počítačové simulaci mechanických vlastností netkaných textilií metoda s rychlou konvergencí, která oproti ještě nedávno používané metodě molekulární dynamiky zaručuje lepší konvergenci k minimu a tím i větší přesnost, řádově 10^{-10}. Pro porovnání jsem zde uvedla obě tyto metody.

2.4. Metoda molekulární dynamiky

Prvním pokusem o použití metod počítačové simulace pro vlákenné systémy je serie tří článků od skupiny vedené GETTYSEM. Jejich přístup připomíná popis kapaliny založené na pohybu jejích samostatných částic. To odpovídá metodě molekulární dynamiky, která byla vypracována počítačovou fyzikou pro řešení mnohačásticových problémů. Pro simulaci mechanických vlastností vlákenných systémů byla aplikována jedna varianta metody molekulární dynamiky.

Simulační metoda předpovědi mechanických vlastností netkaných textilií je založena na základním mikroskopickém popisu vlákenného, bodově pojeného systému. Deformace systému je počítána ze znalostí základní geometrie uložení vláken a jejich středního Youngova modulu získaného experimentálně.

Přístup metody je založen na numerickém řešení Newtonových rovnic rovnováhy pro soustavu N částic, z nichž každá určuje novou pozici vlákenného spojení tak, jak je textilie vystavována působení vnějších sil.

Základní myšlenka simulace deformačního procesu je založena na předpokladu: deformační proces lze nahradit posloupností stavů mechanické rovnováhy studovaného systému, při změně okrajových podmínek. Změnou okrajových podmínek rozumíme změnu vzdálenosti mezi dvěma rovnoběžnými hranicemi systému, které představují okraje vzorku upnuté do oddalujících se čelistí trhacího přístroje. Díky malým setrvačným hmotnostem vláken a poměrně malým rychlostem deformace při standardních zkouškách textilních vzorků je tento předpoklad přijatelný.

Ústřední úlohou se proto stává nalezení rovnovážných stavů zmíněné posloupnosti. Problém je řešen tak, že z předcházejícího rovnovážného stavu posloupnosti je generován rovnovážný stav

následující.

Rovnovážný stav je v počátku deformace porušen malým vzájemným posuvem dvou protilehlých hranic vzorku. Tyto hranice představují tu část systému, která je upnuta v čelistech deformačního přístroje. Vyvstává otázka jak opět nastolit rovnovážnou polohu každého vazného místa. V rovnovážné poloze je suma sil, kterými působí vlákna na vazný bod, nulová.

2.4.1. Relaxační procedura

Pro tuto úlohu byla vypracována relaxační procedura poskytující široké možnosti modifikací. Relaxační procedura je založena na iteračním postupu přibližování k rovnovážnému stavu. Metodu lze popsat následovně.

V nultém přiblížení k rovnovážné poloze se posunou všechna vazná místa ve směru prodloužení vzorku. Posuv je lineárně rozložen po celé délce systému. Nyní začíná vlastní iterační procedura. Nejprve zjistíme síly, kterými působí vazby na vazná místa. Z hodnot těchto sil odhadneme velikost posunutí každého vazného bodu do rovnovážné polohy. Odhad posunutí pro vybrané vazné místo je prováděn za předpokladu, že pozice ostatních vazných míst jsou na okamžik považovány za zmrazené (pevné). Každé místo je pak posunuto jen o část výše odhadnutého posunutí. Tak dosáhneme nové konfigurace systému, která je blíže k rovnovážné. Pro novou konfiguraci zjistíme opět velikost sil ve vazných místech a odhadneme velikosti jim odpovídajících posunutí. Stejně jako předtím posuneme vazná místa jen o část odhadnutých posunutí. Tato procedura se opakuje až do dosažení rovnovážného stavu. Konečné rovnovážné pozice vazných míst se ukládají do výstupního souboru. Znalost konfigurace nám dovoluje

získat o tomto stavu velmi obsáhlou informaci. Můžeme například zjistit hodnoty elastické energie akumulované ve vláknech, rozdělení vláken co do orientace, hodnoty sil či přetvoření jednotlivých vláken. Lze najít celkovou sílu přenášenou systémem i jeho celkové relativní prodloužení.

Následuje další vzájemný posuv vybraných protilehlých hranic vzorku. Celý proces se opakuje s cílem získat, v pořadí již třetí, rovnovážnou konfiguraci. Hranice vzorku vzdalujeme po malých krocích až do zvoleného stupně deformace. Pro každý deformační krok máme v paměti uloženy rovnovážné polohy vazných míst.

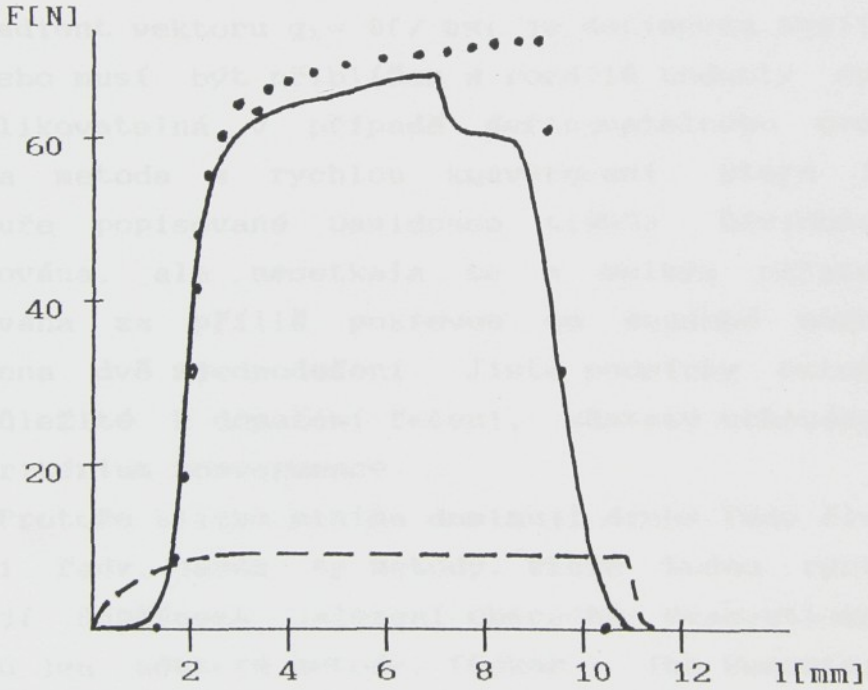
Pokud u některých vláken došlo po ukončení iterace k překročení jejich mezních mechanických hodnot, považujeme je za porušené. Na přenosu sil se již dále nepodílí. Zaznamenáme jejich polohu a znovu dohledáme rovnovážnou konfiguraci vlákenného systému.

Je potřeba zdůraznit, že právě popsaným iteračním postupem nelze získat přesně rovnovážné stavy. Musí se zavést vhodné kritérium pro terminaci (ukončení) iterační procedury v každém kroku přetvoření. Kritérium může představovat následující požadavek. Síly působící na libovolný vazný bod musí klesnout pod zvolenou hodnotu. Hodnotu lze volit dostatečně malou. Chyby způsobené touto vědomou nepřesností mohou být zanedbatelně malé a nemají tendenci během výpočtu narůstat.

Je nutno opatrně přistupovat k výběru velikosti kroku posuvu hranic vzorku. Krok musí být dostatečně malý, aby systém nerelaxoval do metastabilího stavu. Metastabilní stav neodpovídá rovnovážnému stavu za současné podmínky minimalizace energie systému. Systém musí být deformován po malých krocích, aby stačil opisovat cestu minimální práce i za předpokladu nelineárních deformačních křivek vazeb v systému. Cestou pokusů a omylů byl nalezen krok, který je dostatečně velký a zároveň bezpečný pro to, aby relaxační mechanismus neprodukoval metastabilní stavy.

2.4.2. Výsledky metody

Metodou molekulární dynamiky bylo dosaženo nadějných výsledků při simulaci mechanických vlstností reálného vlákenného systému. Pro porovnání experimentálních a počítačem předpovězených výsledků byla vybrána polyetylenová vlákenná síť vyráběná v podniku Juta Dvůr Králové. Vybraná síť se běžně používá na ochranu lahví s chemikáliemi. Byla prokázána dobrá shoda mezi mechanickými vlastnostmi polyetylenové sítě a vlastnostmi navrženého počítačového modelu. Viz *obr.2.*



obr.2. deformační křivka polyetylenové sítě
... počítačem předpovězené hodnoty systému
— experimentální hodnoty systému vláken
– – deformační křivka vlákna

Počítač vypočetl teoretickou deformační křivku s časovou spotřebou 12 min. Mez pevnosti byla předpovězena s přesností 9%. Počáteční pevnost s přesností 20 %. Podhodnocení počátečního modulu se dá vysvětlit tím, že model neuvažuje odpor, který klade síť ve vazných bodech v příčné deformaci.

2.5. Metoda s rychlou konvergencí pro minimalizaci

Tato metoda byla vypracována R.FLETCHEREM a M.J.D.Powellem. Soustřeďuje se na hledání lokálního minima obecné funkce $f(x_1, x_2, \ldots x_n)$ několika proměnných $x_1, x_2, \ldots x_n$. Předpokládá, že funkce,která nás zajímá může určit všechny body.

Je vhodné rozdělit funkce do dvou hlavních tříd, podle toho zda gradient vektoru $g_i = \partial f / \partial x_i$ je definován analiticky v každém bodě nebo musí být přiblížen z rozdílů hodnoty funkce f. Metoda je aplikovatelná v případě definovatelného gradientu. Zde je popsána metoda s rychlou konvergencí, která je postavena na proceduře popisované Davidonem (1959). Davidonova práce byla publikována, ale nesetkala se s velkým ohlasem, neboť byla považována za příliš pokrovou na soudobé možnosti. Jsou zde provedena dvě zjednodušení. Jisté podmínky ortogonality, které jsou důležité k dosažení řešení, zůstaly uchovány. Uchovalo se také kritérium konvergence.

Protože blízko minima dominují druhé řády členů v Taylorově rozvoji řady, jenom ty metody, které budou rychle konvergovat zaručují úspěšnost nalezení obecného kvadratického minima. To dokážou jen některé metody. (Odkaz : The Computer Journal). Zde popisovaná metoda má kvadratickou konvergenci a je nadřazená Partanově a Powellově metodě. V obou případech používá informace z předchozích iterací a také v každé iteraci je rychlá a jednoduchá k uskutečnění. Mimoto může poskytovat křivost funkce v minimu a odhad předběžné změny, rozdílu, úchylky.

Metoda přináší elegantní teoretické základy a důkazy o stabilitě a stupni konvergence jsou v ní také obsaženy.

2.5.1. Popis, symboly

Je vhodné metodu popsat matematickými členy v termínech Diracovi symboliky (Dirac 1958) aplikovatelné na reálné vektory. V tomto popisu je sloupcový vektor ($x_1, x_2, \ldots x_n$) značen jako $|x\rangle$. Řádkový vektor toho samého vektoru je $\langle x|$. Skalární součin $\langle x|$ a $|y\rangle$ je značen jako $\langle x|y\rangle \equiv \Sigma_i\, x_i y_i \equiv \Sigma_i\, y_i x_i = \langle y|x\rangle$. Konstrukce $|x\rangle\ \langle y|$, která označuje lineární operátor s maticovými členy $D_{ij} = x_i y_j$ právě tak, že $|x\rangle\ \langle y| \neq |y\rangle\ \langle x|$. Všeobecný lineární operátor nebo matice bude označen velkým písmenem. Nyní můžeme říci, že $H|x\rangle$ je sloupcový vektor a $\langle x|H$ řádkový vektor, kombinace je skalár $\langle x|H|y\rangle$.

f.... označení funkce, která nás zajímá,
$|x\rangle$.. je označen argument a $|g\rangle$ je označení gradientu.

Odtud kvadratická podoba funkce v n-rozměrném tvaru

$$f = f_0 + \sum_{i=1}^{n} a_i x_i + \tfrac{1}{2} \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} G_{ij} x_i y_j$$

bude mít v našem označení podobu

$$f = f_0 + \langle a|x\rangle + \tfrac{1}{2} \langle x|G|x\rangle \qquad (1)$$

a také

$$|g\rangle = |a\rangle + G|x\rangle \ . \qquad (2)$$

2.5.2. Metoda

Když budeme uvažovat kvadratický tvar (1), který dává matici $G_{ij} = \partial^2 f / \partial x_i \partial x_j$, můžeme počítat přemístění mezi bodem $|x\rangle$ a minimem $|x_0\rangle$ jako

$$|x_0\rangle - |x\rangle = - G^{-1}|g\rangle \quad . \tag{3}$$

V této metodě není matice G^{-1} vypočítána přímo (vyžadovala by znalost druhé derivace).
Písmenem H je označena jakákoliv pozitivně definitní symetrická matice. Tato matice je modifikována po i-té iteraci užitím informace získané při posuvu směrem dolů

$$|s^i\rangle = - H^i|g^i\rangle \tag{4}$$

podle (3). Modifikace je právě taková, že krok dolů po přímce k minimu je fakticky vektor matice $H^{i+1}G$ (G je matice pro všechna $|x_i\rangle$). To zajistí, že při konvergenci H k G^{-1} určí hodnotu minima. Je vhodné brát jako vstupní matici H, neboť první krok je směrem dolů po přímce.

Lze také teoreticky ukázat, že proces je stabilní a ukazuje, že jestliže $f(|x\rangle)$ je v kvadratickém tvaru (1) potom postup proběhne v n-iteracích. Protože gradient $|g^i\rangle$ je směr krokového stoupání, směr $|s^i\rangle$ klesání tehdy a jen tehdy když $- \langle s^i|g^i\rangle = \langle g^i|H|g^i\rangle$ je pozitivní. Aby tedy byla zajištěna stabilita, matice H musí být pozitivně definitní.

2.5.3. Výsledky metody

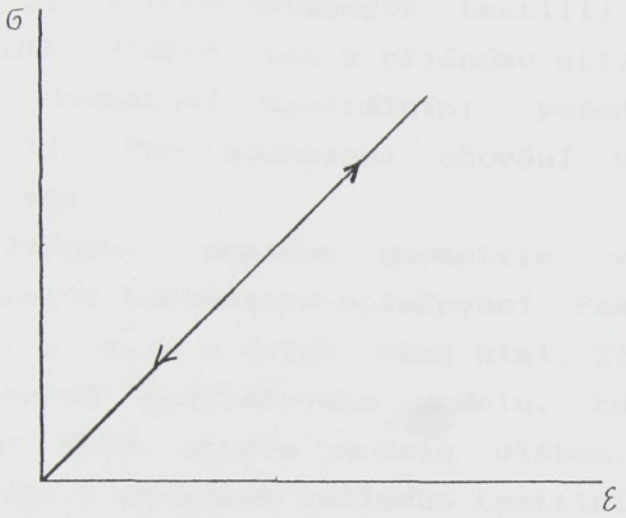
Numerické příklady jasně ukazují, že metoda popsaná Davidonem je značně nadřazená jiným metodám doposud používaným. Pomocí programové podpory získáme výsledky velmi snadno a rychle a nezdá se být narušená úspěšnost konvergence. Je zřejmá praktická aplikace této metody k nalezení lokálního minima obecné funkce s vekým počtem proměnných, kterým rychle určí hodnotu první derivace, stejně, jestliže pouze známe počáteční aproximace řešení. (Odkaz: The Computer Journal).

2.6. Oblast použití programové aplikace

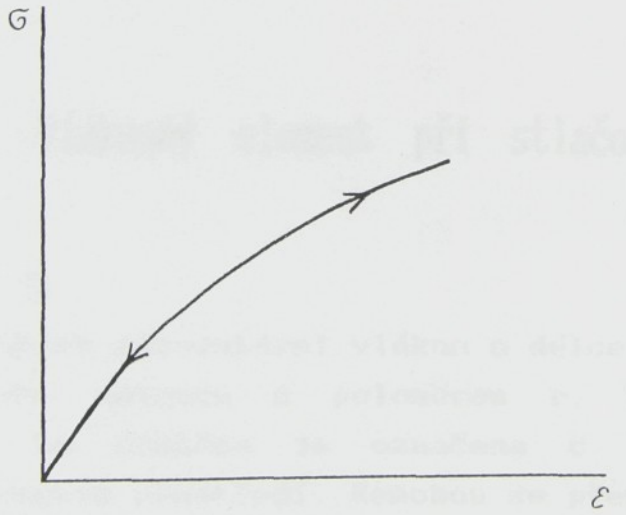
Jak již bylo výše uvedeno, zabýváme se homogenními vlákennými systémy s hookeovským chováním. To znamená, že aplikace programů je omezena pouze pro Hookeovské materiály, eventuelně lze použít modifikace na obecný elastický materiál (elastická pryž upnutá šikmo do čelistí). Pro obecný vyskoelastický materiál je tato aplikace nepoužitelná. Na *obr.3.* je znázorněna lineární závislost deformace na napětí teoretického Hookeovského chování.

Na *obr.4.* je znázorněn průběh deformační křivky pro obecné elastické materiály, které jsou charakterizovány tak, že se po odlehčení chovají obdobně hookeovským materiálům. To znamená, že se po odlehčení vracejí do původní polohy po té samé křivce. Pro obecné vyskoelastické materiály, je tato aplikace nepoužitelná neboť tam dochází k přeměně energie E.

Oblast aplikace programu je tedy omezena pouze pro konzervativní systém, kde nedochází k disipaci (ztrátě) vyzařování nebo převádění energie na jiné formy, např. na teplo.



obr.3. lineární závislost napětí na deformaci (Hookeův zákon)



obr.4. deformační křivka pro obecné elastické materiály

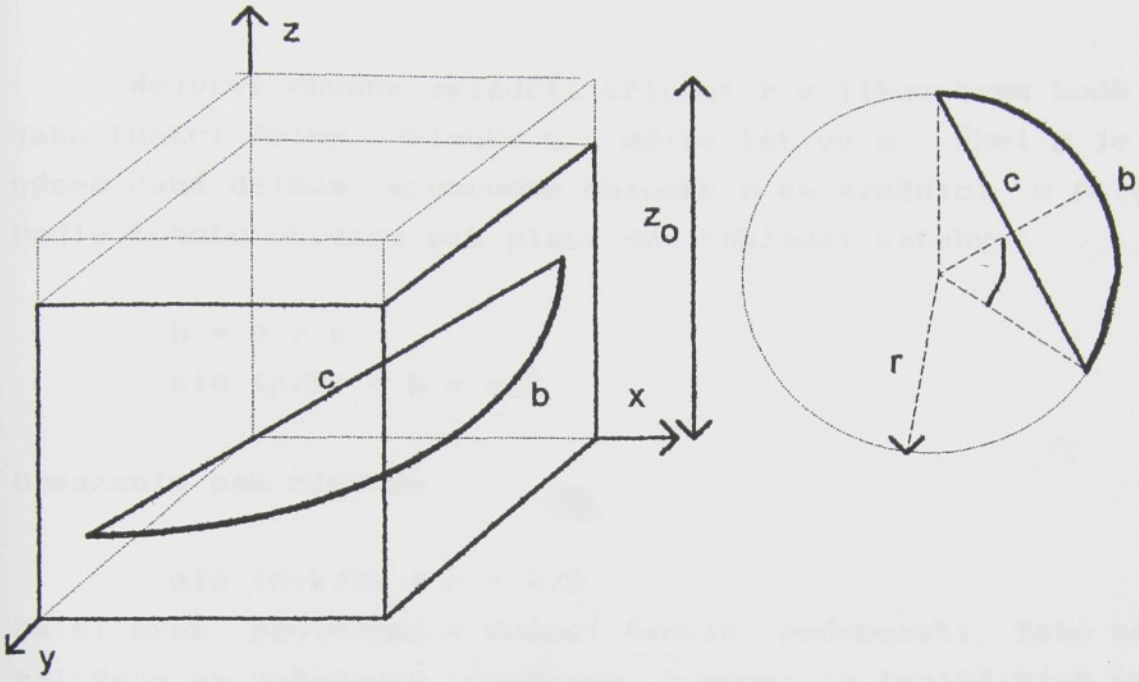
2.7. Stlačování jednoho vlákna

Při výrobě netkaných textilií dochází jak k paralelnímu uspořádání vláken, tak k příčnému stlačování. Netkané textilie se potom vyznačují speciálními požadovanými vlastnostmi např. pružností. Pro pochopení chování vláken existuje jednoduché vysvětlení.

Začneme popisem geometrie vlákenného elementu, který představuje mechanické stlačování. Pak ukážeme, jak spolu souvisí křivost a síla a vztah mezi nimi. Získané vztahy pak použijeme při tvorbě počítačového modelu, kde základním elementem je v první řadě studie modelu vlákna. Počítačem vytvořený model porovnáme s chováním reálného textilního materiálu. Je třeba brát ohled na skutečnost, že počítačový model je reprezentován jako rovinný model.

2.7.1. Vlákenný element při stlačování

Mějme elementární vlákno o délce **b** a je ve tvaru dokonalého kruhového oblouku s poloměrem **r**. Vzdálenost z jednoho konce vlákna ke druhému je označena **c**. Konce vlákna jsou pevné v homogenním prostředí. Nemohou se přemísťovat v tomto prostředí, ale vlákno může volně rotovat v těchto dvou pevných bodech. Toto prostředí je umístěno mezi dvěma rovnoběžnými rovinami kolmými na osu z. Vzdálenost mezi těmito dvěma rovnoběžnými rovinami je z_0. Viz *obr.5*.



obr.5. vlákenný element v 3-rozměrném homogenním prostředí, délka vlákna je označena **b** *a vzdálenost konců je označena* **c**. *Vedle detail vlákna. Křivost* **k** = *1/r* .

Počítačový model neuvažuje okolní prostředí. Je otázka, jak se bude chovat vlákenný element po dosazení do vlákenné hmoty. Toto prostředí nepřenáší jinou sílu nebo energii při stlačování. Toto vlákenné prostředí je považováno za homogenní prostředí a deformuje se homogenně. Právě prostředí nám bude pouze smyšleně umožňovat studovat označené vlákenné elementy z ohromného počtu elementů v modelovaném vlákenném souboru.

2.7.2. Vztah křivosti, délky oblouku kružnice a jeho tečny

Nejprve chceme vyjádřit křivost **k** v libovolném bodě oblouku jako funkci délky oblouku **b** a délky tětivy **c**. Úhel **β** je kruhová výseč daná délkou kruhového oblouku **b** na kružnici o poloměru **r**. Podle tohoto obrázku pak platí dva základní vztahy :

$$b = \beta / k \qquad (1)$$

$$\sin(\beta/2) = k \times c/2 \qquad (2)$$

Dosazením pak získáme

$$\sin(b \times k/2) = c \times k/2 \qquad (3)$$

Další krok provedeme s pomocí teorie podobnosti. Tato teorie je založena na požadavku rozměrové homogenity fyzikálních vztahů. V naší úvaze hledáme vztah mezi třemi veličinami : 1/k, b, c se stejným fyzikálním rozměrem, kterým je délka [L]. Požadavek fyzikální homogennosti vztahu může být vyjádřen

$$k \times b = f(c/b) \quad , \qquad (4)$$

kde levá i pravá strana jsou bezrozměrové.

Pomocí (3) snadno nalezneme neznámou funkci **f**. Násobme nejprve pravou stranu (3) b/b. Získáme

$$\sin(k \times b/2) = (k \times b/2) \times (c/b) \qquad (5)$$

a po jednoduché úpravě

$$c/b = [\sin(k \times b/2)] / (k \times b/2) \qquad (6)$$

V relaci (6) je argument funkce sinus totožný s jmenovatelem zlomku pravé strany. Proto pravá strana (6) může být symbolicky vyjádřena jako funkce **f** jedné bezrozměrové proměnné **x**, kde jsme definovali $x = k \times b/2$

$$f(x) = \sin(x)/x \; . \qquad (7)$$

Funkce f(x) je monotónní na intervalu $(0,\pi)$. Proto existuje funkce inversní k f. Tuto inversní funkci budeme značit $f^{-1}(c/b)$. Z (6) vyjádříme x

$$x = f^{-1}(c/b) \quad . \tag{8}$$

Pomocí definice x vyjádříme křivost k

$$k = 2/b \times f^{-1}(c/b) \quad . \tag{9}$$

Relace (9) je analytickým vyjádřením vztahu veličin k, b, c. Inversní funkce k funkci f(x) = sin(x)/x však není tabelovaná a je nutné ji vyjádřit numericky.

2.7.3. Numerický výpočet inversní funkce k funkci sin(x)/x

Dále budeme používat následujícího značení

$$y = f(x) = \sin(x)/x \tag{10}$$

Pro funkční hodnoty funkce f byl nalezen následující přibližný vztah

$$y = \sin(x)/x \approx 4/9 + 5/9 \times \cos\{\, 0.6^{1/2} \times x[1+x^6/37450] \,\} \quad . \tag{11}$$

Dobrý odhad hodnot $x = f^{-1}(y)$ získáme po vyjádření x z rovnice (11). Jednoduchou úpravou (11) obdržíme

$$(y - 4/9) \times 9/5 \approx \cos\{\, 0.6^{1/2} \times x[1+x^6/37450] \,\} \quad . \tag{12}$$

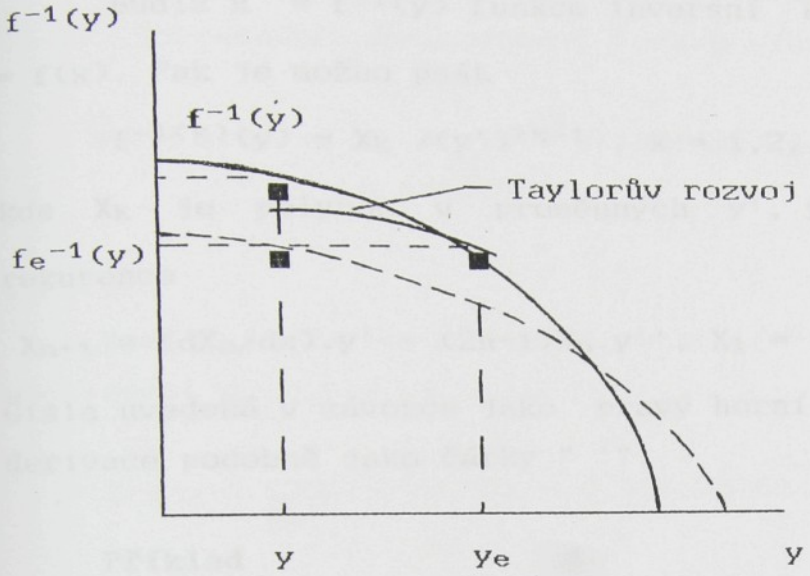
Odtud máme

$$0.6^{-1/2}\arccos[\,(y-4/9)\times 9/5\,] \approx x + x^7/37450 \tag{13}$$

Na pravé straně (13) můžeme zanedbat sčítanec $x^7/37450$. Tento člen tvoří pro $x \in (0,\pi)$ maximálně 2,6% prvního sčítance, kterým je x.

Pomocí (13) lze tudíž vyjádřit hrubý odhad x_e funkční hodnoty $f^{-1}(y)$.

$$x_e = f^{-1}{}_e(y) \approx 0.6^{-1/2}\arccos[\,(y-4/9) \times 9/5\,] \tag{14}$$



obr.6. Vztah funkcí f^{-1} *a* fe^{-1}. *První z nich je odhadem druhé. Platí, že* $x_e=fe^{-1}(y_e)=f^{-1}(y)$.

Nyní je třeba vyjádřit hodnotu **x** pro vybranou hodnotu **y** (tj. y = sin(x)/x) s větší přesností než je dáno vztahem (14). Postupovat budeme následovně:

V prvém kroku použijeme hrubého odhadu x_e hodnoty **x** podle vztahu (14). Pro x_e poté vypočteme odpovídající y_0 dle vztahu $y_e = \sin(x_e)/x_e$. K přesnějšímu odhadu funkční hodnoty f^{-1} v bodě **y** použijeme Taylorova rozvoje funkce f^{-1} v bodě y_e podle parametru dy = y - y_e. V tomto rozvoji se omezíme na nultý, prvý a druhý člen.

$$f^{-1}(y) \approx f^{-1}(y_e) + (1/1!)[f^{-1}(y_e)]'dy + (1/2!)[f^{-1}(y_e)]''d^2y \quad (15)$$

Derivace inversní funkce f^{-1} vyjádříme např. pomocí rekurentního vztahu uvedeného v Ralstonově knize "Základy numerické matematiky".

Citace [3]: Ralston (str.135):

Budiž $x = f^{-1}(y)$ funkce inversní k $y = f(x)$, t.j. $f^{-1}(y) = f(x)$. Pak je možno psát

$$f^{-1(k)}(y) = X_k /(y')^{2k-1}, \quad k = 1,2,\ldots,$$

kde X_k je polynom v proměnných $y', y'', \ldots, y^{(k)}$ splňující rekurence

$$X_{n+1} = (dX_n/dx).y' - (2n-1)X_n.y'', \quad X_1 = 1, \; n = 1, 2, \ldots$$

Čísla uvedená v závorce jako pravý horní index značí stupeň derivace podobně jako čárky " ' ".

Příklad

Zjistěte hodnotu křivosti **k** pro oblouk tvořený polokružnicí o poloměru r = 1.

V tomto případě je $b = \pi.r = \pi$ a tětiva má délku $c = 2.r = 2$. Křivost v každém bodě oblouku můžeme v tomto případě vyčíslit okamžitě $k = 1/r = 1$. Této hodnoty křivosti použijeme pro kontrolu numerického postupu v našem případě.

Numerický postup rozdělíme do tří kroků.

krok 1:

Zjistíme nejprve hrubý odhad x_e podle relace (2.5). Pro hodnotu $y = c/b = 2/\pi$ z (2.5) obdržíme

$$x_e \approx 0.6^{-1/2}\arccos[\;(y - 4/9).9/5\;] =$$
$$1.2909944449.\arccos(0.34591559) = 1.571891454.$$

Podle tohoto hrubého odhadu je křivost studovaného oblouku **k** $= (2/\pi).1.571891454 =$ **<u>1.00069718.</u>**

krok 2:

V tomto kroku vypočteme y_e pro hodnotu x_e dle vztahu (2.1). Zdůrazněme, že argument funkce sinus je v radiánech.

$$y_e = \sin(x_e)/x_e = \sin(1.571891454)/1.571891454 = 0.636175961.$$

krok 3:

Krok 3 je Taylorův rozvoj funkce f^{-1} v okolí bodu y_e na vzdálenost $dy = y - y_e$.

$$y = 2/\pi = 0.636619772,\ y_e = 0.636175961,\ dy = 0.00044391.$$

Pro vyčíslení prvních třech členů Taylorova rozvoje musíme znát následující hodnoty:

a) Nultý člen rozvoje

$x_e = 1.571891454.$

b) Derivavaci inverzní funkce f^{-1} v bodě y_e označme $[f^{-1}(y_e)]'$. Tato derivace se rovná převrácené hodnotě derivace funkce f v bodě x_e. Tedy

$$[f^{-1}(y_e)]' = 1/[\sin(x_e)/x_e]' = x_e^2/[x_e\cos(x_e)-\sin(x_e)]$$
$$-2.466598169.$$

c) Druhou derivaci inverzní funkce $f^{-1(2)}$ určíme pomocí rekurentního vztahu z Ralstonovy publikace [1], který byl citován výše.

$$[f^{-1}(y)]^{(2)} = X_2/(y')^{2.2-1},$$

kde $X_2 = (dX_1/dx).y' - (2.1-1)X_1.y''$, $X_1 = 1$. Tedy

$$X_2 = 0.y' - y'' = -y''.$$

Pro druhou derivaci y_e'' platí

$$y_e'' = [\sin(x_e)/x_e]'' = [x_e\cos(x_e)-\sin(x_e)]/x_e^2 =$$
$$= [x_e^2(\cos(x_e) - x_e\sin(x_e)-\cos(x_e))]/x_e^4 =$$
$$= [-x_e^3\sin(x_e) - 2x_e^2.\cos(x_e) + 2x_e.\sin(x_e)]/x_e^4$$

Odtud

$$[f^{-1}(y_e)]^{(2)} = [-x_e^3\sin(x_e) - 2x_e^2.\cos(x_e)+2x_e.\sin(x_e)]/x_e^4.$$
$$.x_e^6/[x_e\cos(x_e)-\sin(x_e)]^3.$$

Pro $x_e = 2/\pi$ máme

$$[f^{-1}(y_e)]^{(2)} = 0.734701466.2.470842743/1.001720821=$$
$$= 1.812213291.$$

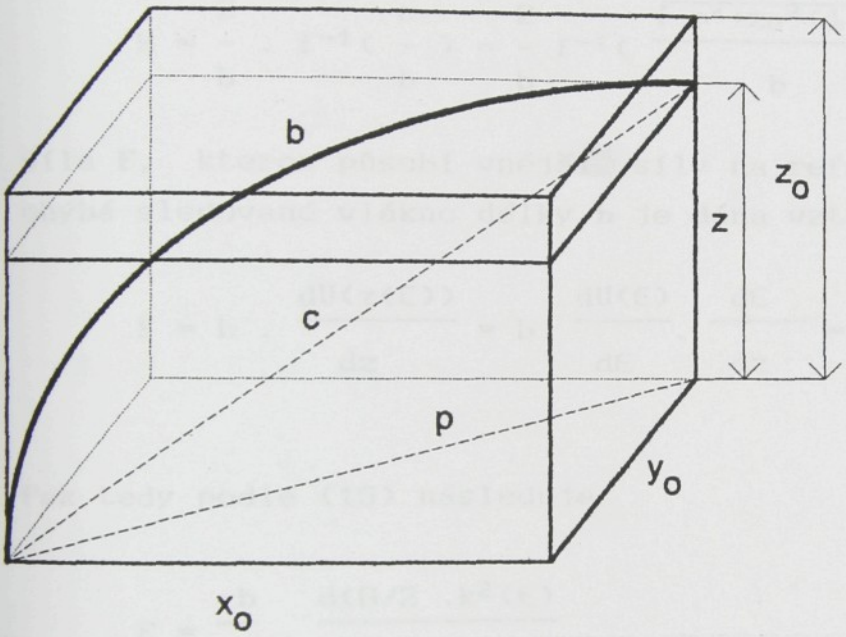
Prvé tři členy Taylorova rozvoje dávají následující odhad hodnoty $f^{-1}(y)$

$$f^{-1}(y) = 1.571891454 - 2.466598169 . 0.00044391 +$$
$$+ 1.812213291 . (0.00044391)^2 =$$
$$= 1.570796864.$$

Pro křivost studovaného oblouku tak získáme hodnotu $(2/\pi) . 1.57079686 =$ **1.000000343**, která je velmi blízká skutečné hodnotě křivosti studovaného oblouku $k = 1$.

2.7.4. Vztah síly a křivosti

Ukažme, že vztah (9) lze použít k vyjádření závislosti síly na relativním přetvoření referenčního hranolu o hranách x_0, y_0, z_0, jehož tělesovou úhlopříčkou je tětiva zkoumaného vlákenného oblouku **c**. Viz *obr.7.*



obr.7. referenční kvádr o hranách x_0, y_0, z_0 *s tělesovou úhlopříčkou* **c**. *Úhlopříčka základny je označena* **p**.

Elastická energie **U** jednotkové délky ohnutého prutu (vlákna) do dokonalého oblouku je

$$U = G \times k^2/2 \quad . \tag{15}$$

V následujícím kroku bude vyjádřena křivost **k** jako funkce relativního přetvoření

$$\varepsilon = (z_0 - z) / z_0 \quad . \tag{16}$$

Pokud **p** je úhlopříčka základny hranolu, pak

$$p^2 = x_0^2 + y_0^2 \tag{17}$$

Hodnota **p** se při derivaci referenčního hranolu nemění. Pro délku tělesové úhlopříčky **c** hranolu s pevnou podstavou, ale měnící se výškou platí $c^2 = p^2 + z^2$. (18)

Z (16),(17),(18) okamžitě plyne

$$c = \sqrt{p^2 + z_0^2(1-\epsilon)^2} \quad . \tag{19}$$

Proto relace mezi **k** a ϵ je

$$k = \frac{2}{b} \cdot f^{-1}\left(\frac{c}{b}\right) = \frac{2}{b} f^{-1}\left(\frac{\sqrt{p^2+z_0^2(1-\epsilon)^2}}{b}\right) . \tag{20}$$

Síla **F**, kterou působí vnější síly na referenční hranol a která ohýbá sledované vlákno délky **b** je dána vztahem

$$F = b \cdot \frac{dU(z(\epsilon))}{dz} = b \cdot \frac{dU(\epsilon)}{d\epsilon} \cdot \frac{d\epsilon}{dz} = b \cdot \frac{dU(\epsilon)}{d\epsilon} \cdot \frac{-1}{z_0} . \tag{21}$$

Pak tedy podle (15) následuje

$$F = \frac{-b}{z_0} \cdot \frac{d(G/2 \cdot k^2(\epsilon)}{d\epsilon} , \tag{22}$$

kde za **k** dosadíme (20) a dostaneme

$$F = \frac{-b}{z_0} \cdot \frac{d\left\{\frac{G}{2}\left[\frac{2}{b} \cdot f^{-1}\left(\frac{\sqrt{p^2+z_0^2(1-\epsilon)^2}}{b}\right)\right]^2\right\}}{d\epsilon} \tag{23}$$

Pro zjednodušení zavedeme $q := f^{-1}\left(\frac{\sqrt{p^2+z_0^2(1-\epsilon)^2}}{b}\right)$ (24)

potom výsledek našeho snažení je

$$F = -\frac{4.G}{b^2} \cdot \left[\frac{q^3}{q.\cos q - \sin q} \right] \cdot \frac{z_0^2(1-\varepsilon)}{\sqrt{p^2 + z_0^2(1-\varepsilon)^2}} \qquad (25)$$

3. Popis programového systému

Programový systém, který řeší problematiku deformace netkané textilie, se skládá ze dvou programů. První řeší simulaci chování netkané textilie jako sítě při deformaci v jednoosém tahu, ve druhém je algoritmus pro vyjádření křivosti k v libovolném bodě oblouku, jako funkce stlačení.

Součástí celého systému je uživatelské prostředí tzv. menu, které usnadňuje a zpřehledňuje ovládání obou programů. Snahou bylo vytvořit toto prostředí co nejjednodušší na ovládání, to znamená zachovat horké klávesy a umožnit ovládání myší.

Vstupy jsou realizovány z klávesnice, výstupy na obrazovku nebo tiskárnu.

Pracovní prostředí a program pro výpočet křivosti jsou naprogramovány v programovacím jazyce TurboPascal 7.0. Využívají grafickou podporu jazyka. Program pro výpočet sítě je zapsán v jazyce C++. Tento program vytvořil RNDr.David Lukáš CSc. Z důvodu nedostatku času k důkladnému nastudování použití nové, lépe konvergující metody, bylo nutné prostředí upravit tak, aby komunikovalo i s tímto programem.

K vytvoření uživatelského prostředí pomocí standartní knihovny v *Turbo Pascalu* se využívají následující unity (*Dos*, *Crt*, *Memory*, *Graph*) .

3.1. Struktura programu

Program se zkládá z procedur a unit , které řeší dílčí problémy a které se opakovaně volají.

Procedury - **print** - *pro tisk*

savescreen - *pro uložení obrazovky před spuštěním programu v C++*

screenback - *zavolá zpět obrazovku po ukončení programu v C++*

execchild - *zajistí spuštění programu v C++*

showgraph1 - *pro vykreslení grafu při výpočtu křivosti*

inpwindow - *vykreslování okna pro zadávání hodnot do výpočtu křivosti, ukládání do proměnných, mazání, zobrazení pražce*

shownet - *načtení hodnot ze souboru sourad.cpp a vzb.cpp a vykreslení deformovaného grafu, popis vazeb typů A a B, výpis změn vzdáleností (relativní prodloužení)*

menuint - *vykreslení okna, výpis položek, pohyb v menu, ovládání na myš*

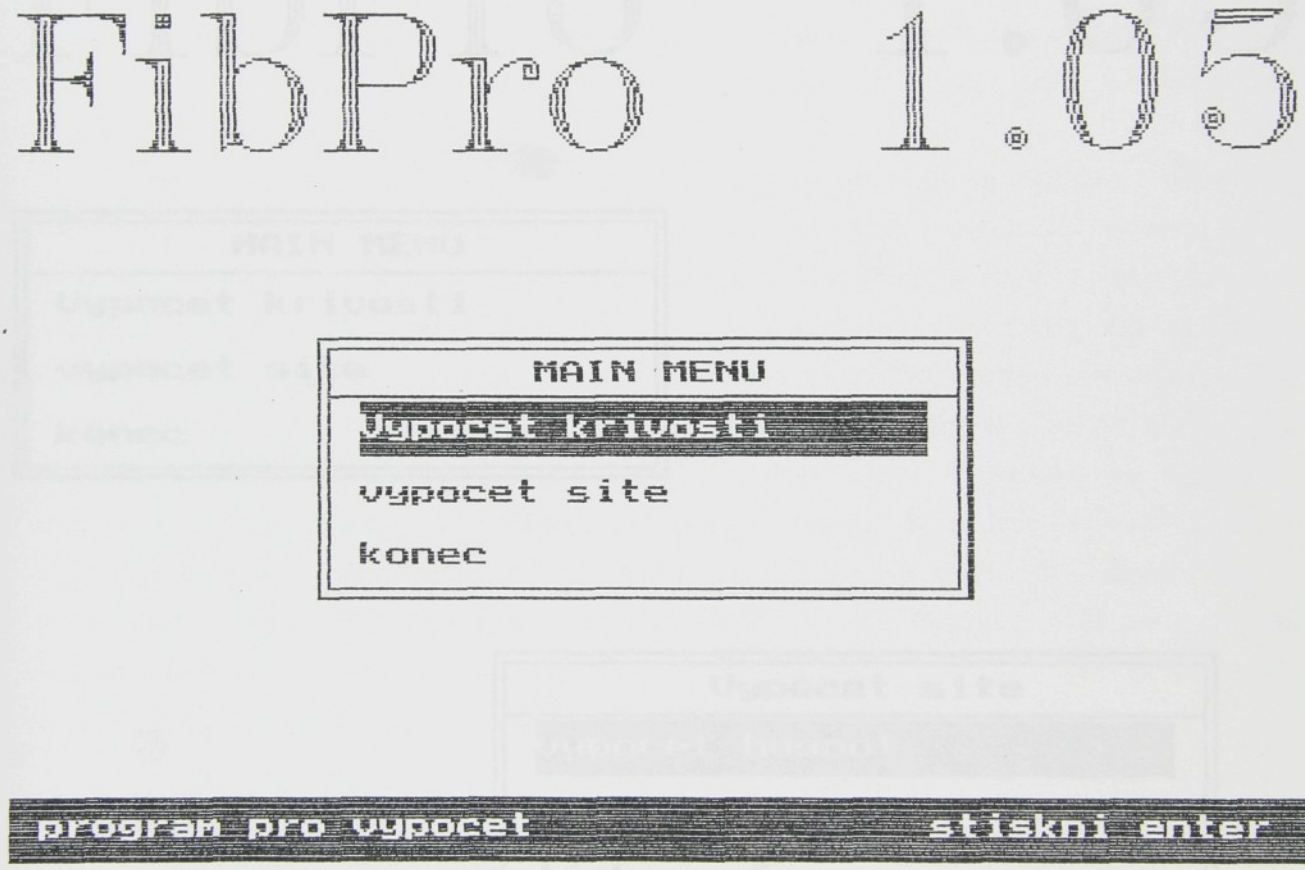
Unity - **ucurvat1** - *pro výpočet křivosti*

mymouse - *na ovládání myši*

3.2. Popis pracovního prostředí - menu

Uživatelské prostředí se otevře ihned po spuštění programu Fibpro.exe . Na obrazovce se zobrazí název programu a hlavní nabídka s položkami výběru, umístěná uprostřed obrazovky a helpová řádka na spodním okraji obrazovky. *Obr.8*. V hlavní nabídce jsou obsaženy tyto položky: výpočet sítě, výpočet křivosti, konec programu.

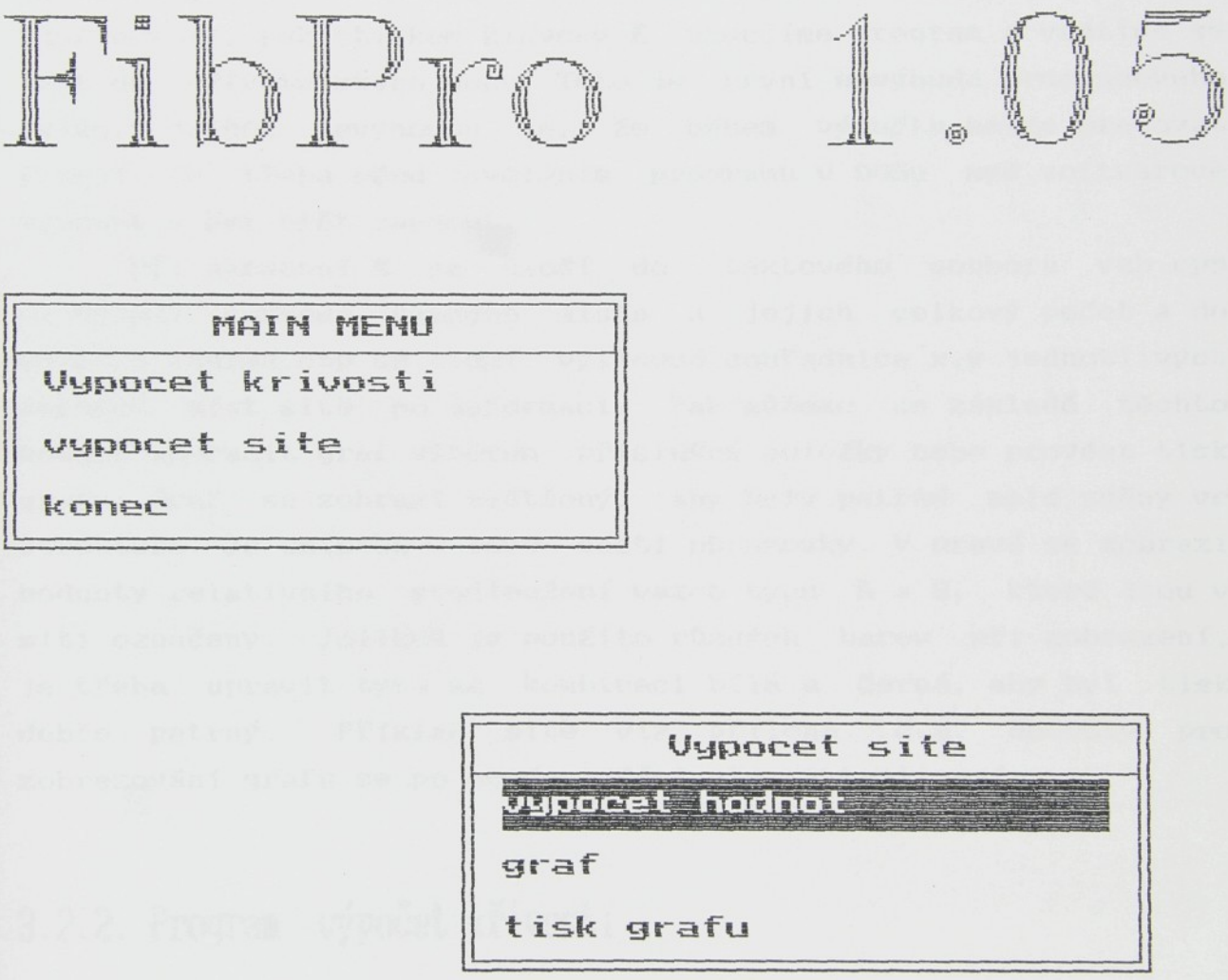
Helpová řádka se aktualizuje vždy, při výběru položky a obsahuje pomocné informace k výběru položek, stisku kláves, rozsahu hodnot zadávaných do každého programu. Volba jednotlivých položek z nabídky menu lze provést z klávesnice, pomocí šipek pohybem nahoru a dolů a při výběru potvrzení enter, nebo myší, pokud je připojena.



Obr.8. Uživatelské menu

3.2.1. Program výpočet sítě

Po výběru položky výpočet sítě se otevře podmenu s položkami výběru: program výpočet, graf, tisk grafu. *Obr. 9.*



Obr.9. Nabídkové menu výpočet sítě

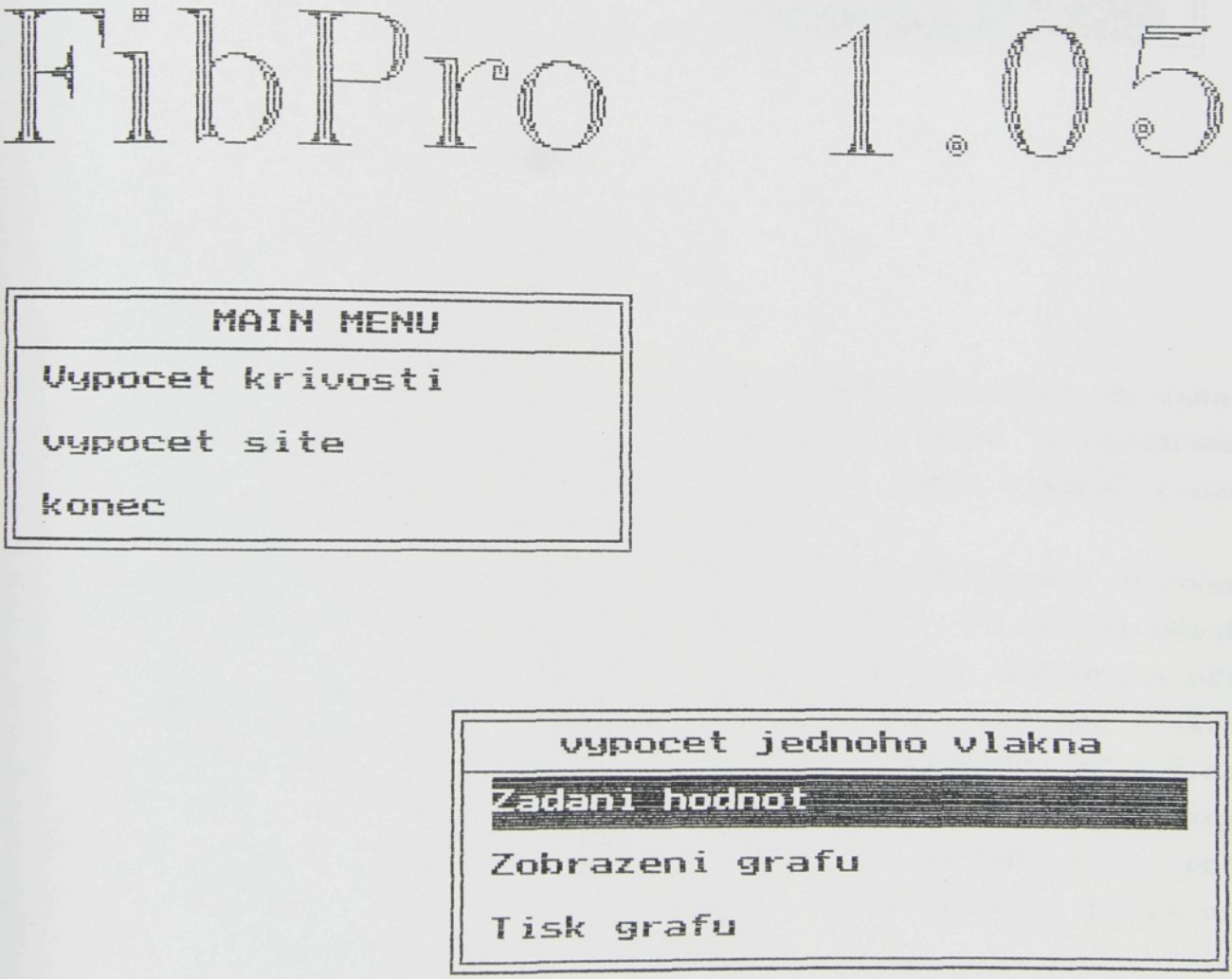
Nejprve je potřeba provést výpočet. Uchová se obrazovka a zavolá se program z DOSu, který je naprogramován v jazyce C++. Zde se zadá hodnota vstupních sil a po potvrzení enter proběhne výpočet. Pak na opakovaný stisk enter probíhá kroková iterace. Z důvodu práce s velmi malými hodnotami, řádově 10^{-11}, je třeba provést minimálně tři iterační kroky, maximálně však o jeden méně než je rozsah zobrazení čísla v počítači (na základě odhadu ze zkušenosti), pak stiskem klávesy **E** ukončíme program a vrátíme se zpět do uživatelského menu. Toto je první nevýhoda programového celku, druhou nevýhodou je, že během výpočtu nelze pracovat s myší. Je třeba před zavoláním programu v DOSu myš softwarově vypnout a pak opět zapnout.

Při ukončení **E** se uloží do textového souboru vzb.cpp nejbližší sousedé vazného místa a jejich celkový počet a do souboru sourad.cpp se uloží výsledné souřadnice x,y jednotlivých vazných míst sítě po deformaci. Pak můžeme na základě těchto hodnot zobrazit graf výběrem příslušné položky nebo provést tisk grafu. Graf se zobrazí zvětšený, aby byly patrné malé změny ve struktuře. Je umístěn v levé části obrazovky. V pravé se zobrazí hodnoty relativního prodloužení vazeb typu A a B, které jsou v síti označeny. Jelikož je použito různých barev při zobrazení, je třeba upravit tyto na kombinaci bílá a černá, aby byl tisk dobře patrný. Příklad sítě viz příloha č.2. Hodnoty pro zobrazování grafu se po novém zadání vždy aktualizují.

3.2.2. Program výpočet křivosti

Při volbě položky výpočet křivosti se otevře podmenu s položkami: zadání hodnot, tisk grafu, . *Obr.10*. Ovládání a výběr položek je stejný jako v předešlém případě. Buď stiskem

enter nebo levého tlačítka myši. Hodnoty se zadávají do dalšího rozbaleného podmenu pod zadáním hodnot. *Obr.11*. Toto okno je rozděleno na dvě poloviny. V levé je popis zadávaných veličin, pravá polovina slouží jako dialogové okno. Je zde vysvícen pražec pro zadávání, který se pohybuje mezi jednotlivými položkami nahoru a dolů při stisku šipek.



Obr.10. Nabídkové menu výpočet křivosti

zadani hodnot		
x	souradnice	300
y	souradnice	300
alfa	uhel v rad	0.5
b	delka vlakna	250
eps	rel.stlaceni	0.1

Obr.11. Okno pro zadávání hodnot

Vstupními daty jsou zde x-ová a y-ová souřadnice umístění středu vlákna na obrazovce, úhel natočení vlákna v radiánech, délka vlákna b a poměrné prodloužení epsilon. Délka vlákna, x-ová a y-ová souřadnice se zadávají v pixlech.

Při chybně zadané hodnotě lze údaj okamžitě opravit stiskem BACKSPACE, což je standardně používaná klávesa. Po zadání všech vstupních dat a po stisku enteru se vrátíme do podmenu a při volbě zobrazení grafu se zobrazí grafický výstup umístění vlákna a počáteční hodnoty křivosti. Pokud během zadávání přerušíme stiskem ESC, nedojde k načtení zadaných hodnot a na grafickém výstupu zůstane předešlé zadání. Pokud by se toto stalo při prvním spuštění, jsou v programu zadány první hodnoty, které se po novém zadání z klávesnice neakceptují.

Pak opakovaným stiskem enteru probíhá zakřivování vlákna a přepočítání hodnot křivosti. Grafický výstup bereme jako přímý průmět referenčního hranolu, to znamená pouze ve dvojrozměrném

po krocích posouvá. Viz příloha č.3.(grafický výstup). Po posledním kroku se vrátíme do nabídkového podmenu a můžeme volit tisk grafického výstupu nebo stiskem ESC do hlavního menu a ukončit práci s programy opuštěním prostředí volbou konec. Při tisku grafu se i zde bere kombinace bílé a černé.

3.3. Instalace

Použití programů se předpokládá na počítači katedry netkaných textilií.
Celá instalace spočívá ve zkopírování souboru Fibpro.exe a souboru ex2sle77.exe do pracovního adresáře.

3.4. Hardwarové a softwarové požadavky

- IBM-PC kompatibilní
- protože jsou zde důležité grafické výstupy, grafická karta
- 640 kB paměti
- MS DOS verze 3.3. a vyšší

připojená počítačová myš zlepší pohodlí při práci s programem

4. Závěr

Náplní mé diplomové práce bylo vytvořit program, který by řešil problematiku chování netkané textilie při deformaci. Výsledný program byl využit při výuce odborného předmětu " Teorie netkaných textilií " na KNT. Není to výsledná verze, neboť s vývojem nových metod se bude oblast použití rozšiřovat i na obecné vyskoelastické materiály. Je možno použít jednoduché uživatelské menu a rozšířit hlavní nabídku o další, doplňující programy, čímž by se dosáhlo vytvoření komplexního systému programů pro simulaci chování netkaných textilií. A tím i získání kompletních informací o vlákenných systémech, kterých lze využít pro výrobu speciálních druhů netkaných textilií.

Mým úkolem nebylo zkoumat metody, kterých se k modelování využívá, nicméně jsem se rozhodla uvést zde podrobnější popis dvou nejnověji používaných metod, neboť při studiu jsem čerpala pouze z odborných publikací a konzultací RNDr.Davida Lukáše CSc., který se výše uvedenými metodami zabývá.

Programový systém má některé, již výše uvedené nedostatky a jistě se objeví při používání další. Nevím, jestli jsem správně zvolila programovací jazyk, určitě lze tento problém vyřešit i jiným způsobem. Záleží na zkušenostech a fantazii programátora.

5. Použitá literatura

[1] JIRSÁK,O., LUKÁŠ,D.: Modelování mechanických vlastností textilií a mikromechanoskopie, Textil - časopis 9,1988

[2] KRAJČÍ,M., MRAFKO,P.: Počítačová simulace v klasické statistické fyzice, Československý časopis pro fyziku, 35,1985,6,547

[3] GETTYS E.W., Computer Simulation of the Mechanical Properties of Nonvoven Fabrics Part I,II, Textile Research Journal,1983, June, 363; 1984, January 1.; 1984, July, 425

[4] JIRSÁK,O.: Netkané Textilie,skriptum VŠST 1991

[5] FLETCHER, R., POWELL, M.J.D.: The Computer Journal, 3, 1960, p.175.

[6] LUKÁŠ,D., JIRSÁK,O.: Počítačová simulace mechanických vlastností vlákenných systémů

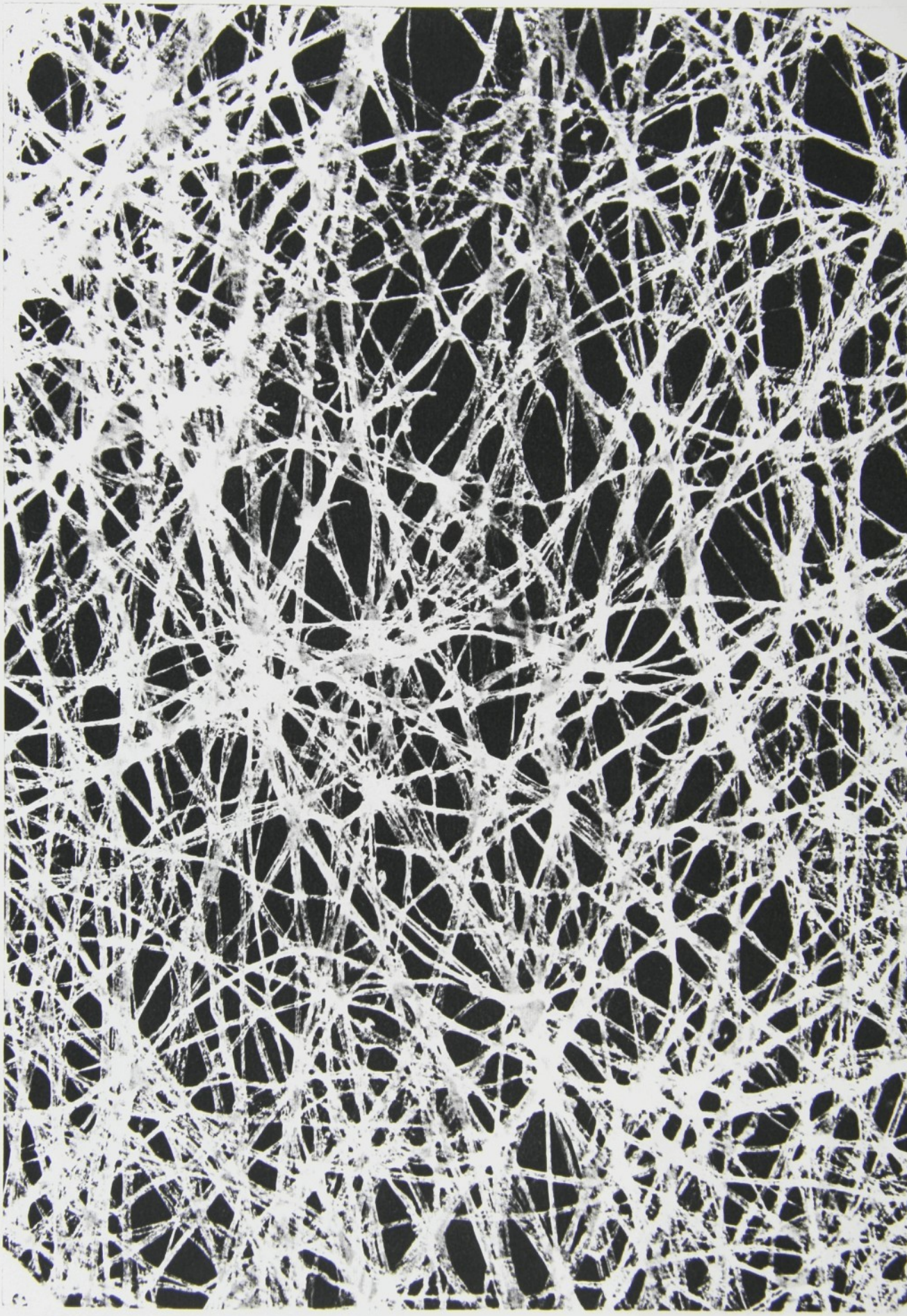
[7] RALSTON,A: Základy numerické matematiky, Academia, Praha 1973, 417 s. (článek 8.2, str.135)

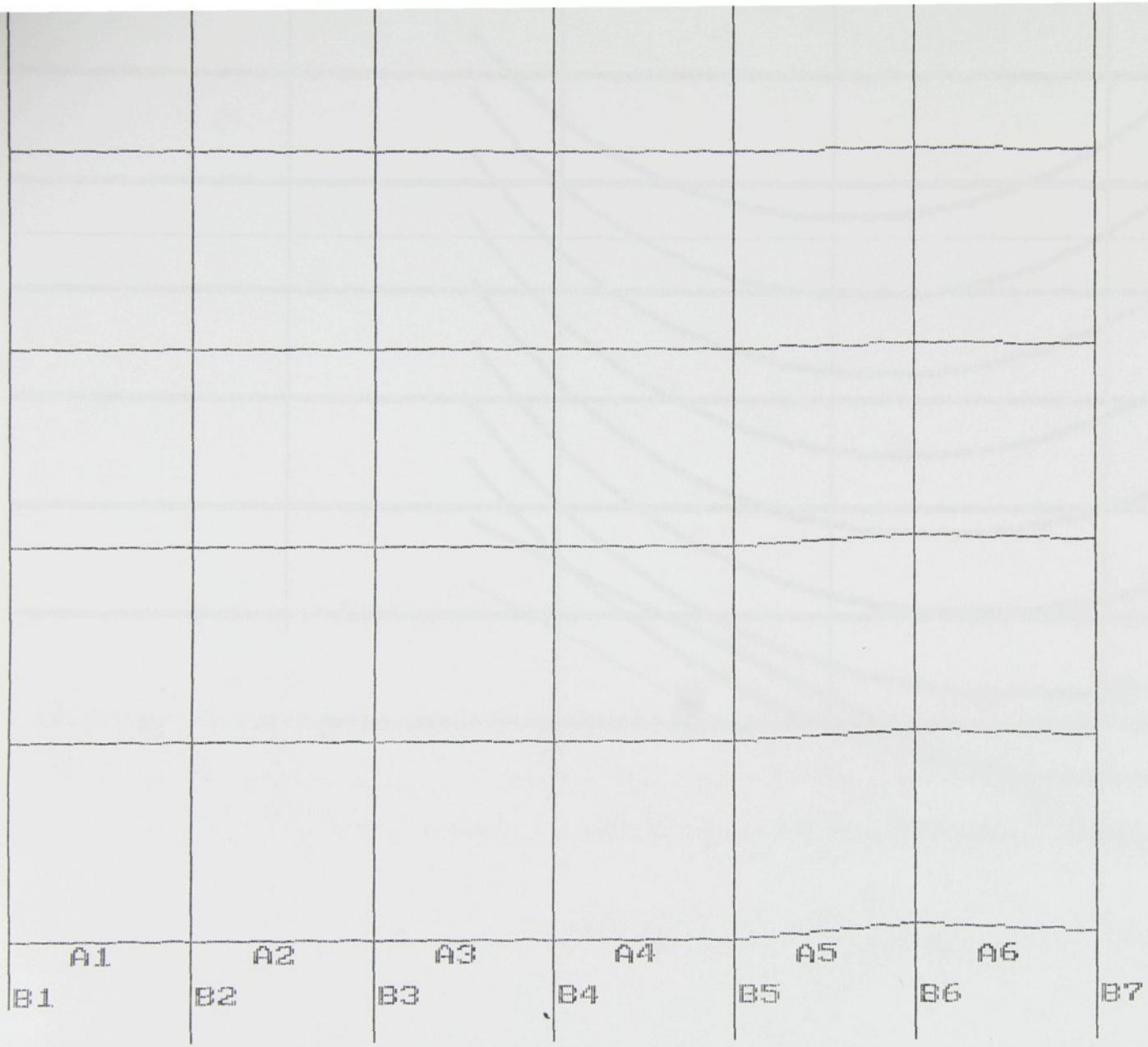
[8] KOMORI,T.-ITOH,M.:A New Approach to the Theory of the Compression of Fiber Assemblies, Textile research Journal, 61, pp.420-428, 1991.

[9] JARNÍK,V.: Diferenciální počet I, Academia, Praha 1974, 391 s. (kapitola VIII, věta 125, str. 216).

6. SEZNAM PŘÍLOH

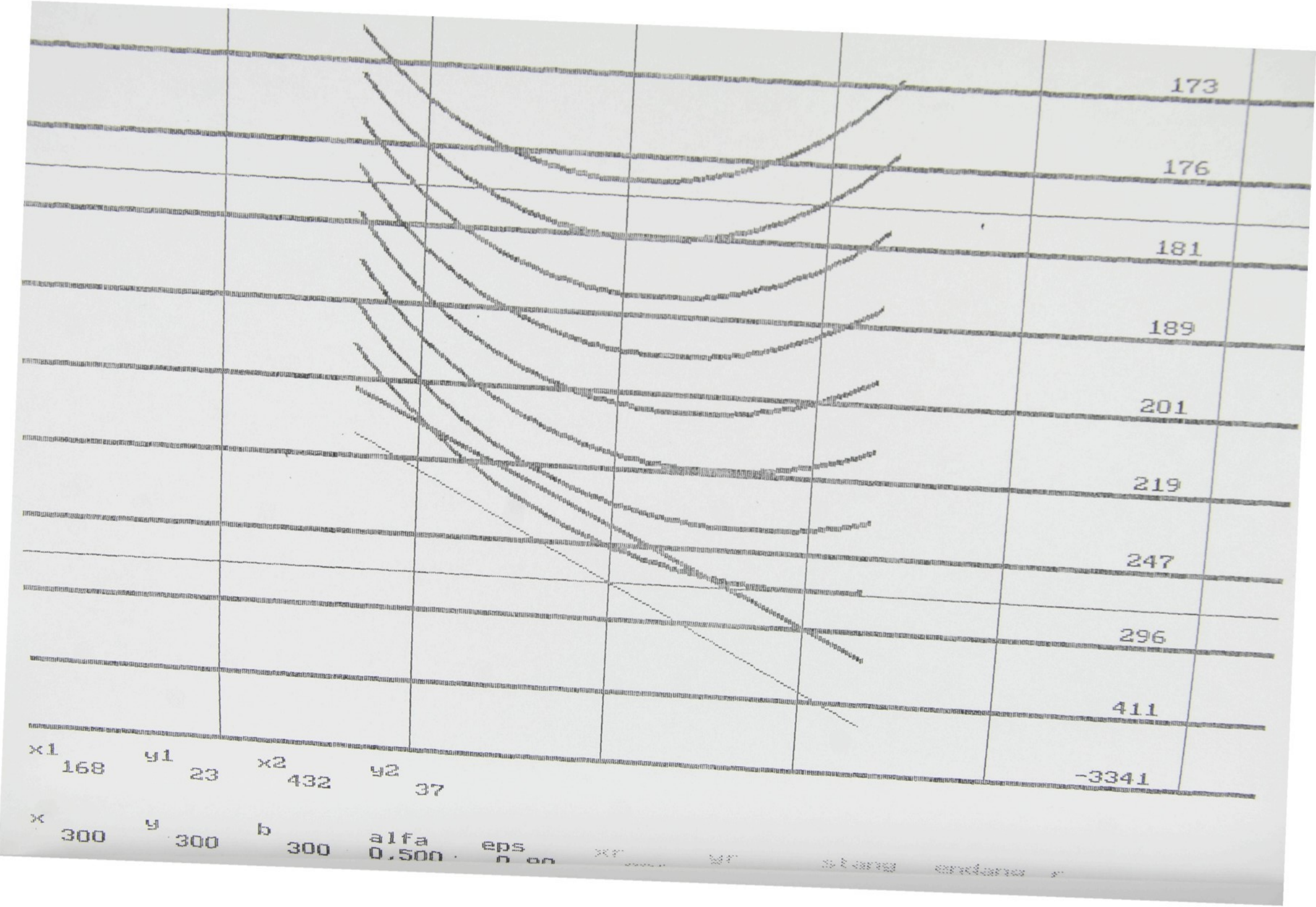
č.1. Reálný vlákenný systém
č.2. grafický výstup síť
č.3. grafický výstup křivost





A3=0.00020394000
A4=0.00029204014
A5=0.00040228450
A6=0.00040416571

B1=0.10000020001
B2=0.10000022000
B3=0.10000024000
B4=0.10000026000
B5=0.10003358001
B6=0.28176806000
B7=0.19094292000


173
176
181
189
201
219
247
296
411
-3341
x1
168
y1
23
x2
432
y2
37
x
300
y
300
b
300
alfa
0.500
eps