

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI  
FAKULTA TEXTILNÍ

**Katedra:** Technologie a řízení konfekční výroby

**Bakalářský studijní program:** Textil

**Studijní obor:** Technologie a řízení oděvní výroby – 3107R004

**Zaměření:** Konfekční výroba

**Název BP:**

**Analýza pevnosti kevlarových a nomexových nití v kličce**  
**Analysis of loop strength of the Kelvar and Nomex threads**

**Autor:**

Aneta Vaculová

Mírová 3

594 01 Velké Meziříčí

**Podpis autora:** \_\_\_\_\_

**Kód:** 396/07

**Vedoucí práce:** Ing. Ivana Dosedělová

**Konzultant:** Ing. Miroslava Maršálková

**Počet:**

| stran | obrázků | tabulek | příloh |
|-------|---------|---------|--------|
| 43    | 19      | 6       | 8      |

V Prostějově dne: 14.5.2007

## Prohlášení

Prohlašuji, že předložená bakalářská práce je původní a zpracovala jsem ji samostatně. Prohlašuji, že citace použitých pramenů je úplná, že jsem v práci neporušila autorská práva (ve smyslu zákona č.121/2000 Sb. o právu autorském a o právech souvisejících s právem autorským).

Souhlasím s umístěním bakalářské práce v Univerzitní knihovně TUL.

Byla jsem seznámena s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 (školní dílo).

Beru na vědomí, že TUL má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé bakalářské práce a prohlašuji, že **souhlasím** s případným užitím mé bakalářské práce (prodej, zapůjčení apod.).

Jsem si vědoma toho, že užití své bakalářské práce či poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem TUL, která má právo ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, vynaložených univerzitou na vytvoření díla (až do jejich skutečné výše).

Beru na vědomí, že si svou bakalářskou práci mohu vyzvednout v Univerzitní knihovně TUL po uplynutí pěti let po obhajobě.

---

podpis

**Autor:**

Aneta Vaculová  
Mírová 3  
594 01 Velké Meziříčí

V Prostějově dne: 14.5.2007

## Poděkování

Chtěla bych poděkovat vedoucí bakalářské práce paní Ing. Ivaně Dosedělové za poskytnutí rad a cenných nápadů do bakalářské práce.

Dále bych chtěla poděkovat panu Ing. Jiřímu Pechovi z firmy Amann, panu Zdeňku Meluzínovi z firmy Gütermann, panu Milanu Komendovi z firmy Coats a panu Ivanu Bílkovi z firmy Orikon za poskytnutí nití k experimentální části.

Poděkování patří také panu Jaroslavu Bürgerovi z firmy DuPont za informační materiály a dále hasičskému záchrannému sboru Jihomoravského kraje, hasičskému záchrannému sboru Olomouckého kraje a hasičskému záchrannému sboru kraje Vysočina za informace do teoretické části bakalářské práce.

**Autor:**

Aneta Vaculová  
Mírová 3  
594 01 Velké Meziříčí

---

podpis

V Prostějově dne: 14.5.2007

## **Anotace**

**Téma:** Pevnost nomexových a kevlarových nití v kličce

**Autor:** Aneta Vaculová

Cílem bakalářské práce bylo analyzovat pevnost kevlarových a nomexových nití v kličce a určit hlavní faktory, které pevnost v kličce ovlivňují.

Práce se skládá z pěti základních částí. První část je věnována vláknům Kevlar a Nomex, jejich variantám, struktuře a vlastnostem. Druhá část se zabývá namáháním ve výrobcích, které tyto nitě obsahují a to hlavně namáháním mechanickým a termickým. Třetí část popisuje možnosti zkoušení nití v kličce a podmínky, které musí být při zkoušení splněny. Čtvrtá část se věnuje teoretické analýze rozboru tlakových sil, kterými na sebe nitě v kličce vzájemně působí. Pátá část je samotný experiment, kde se z naměřených hodnot vypočítal tzv. koeficient pevnosti v kličce, který je pak rozhodující při porovnávání nití podle různých faktorů. V závěru jsou vyhodnoceny faktory ovlivňující pevnost kevlarových a nomexových nití v kličce.

## Annotation

**Theme:** Analysis of loop strength of the Kelvar and Nomex threads

**Author:** Aneta Vaculová

The main purpose of this thesis was analyze of the loop strength of the Kevlar and Nomex sewing thread and define main factors that influences strength in the loop. This work consists of five basic parts.

The first part is devoted to Kevlar threads and Nomex thread and their variations, quality and structures. Second part is devoted with strainig in products containing those thread, mainly mechanics and thermic straining. Third part describes possibilities of testing in the loop and conditions that must be fulfilled by testing. The fourth part is devoted to theoretic analyze of pressure strenghs in loop affecting each other. The fifth part is its experiment. From the measured informaltions is calculated strength coeffcint in loop that is definitive by comparing of threads according to varios factors. In the end the factors affecting strength of Kevlar and Nomex sewing threads in loop are analysed.

**Klíčová slova:**

|                             |                                    |
|-----------------------------|------------------------------------|
| kevlarová nit               | Kevlar sewing thread               |
| nomexová nit                | Nomex sewing thread                |
| namáhání nití v tahu        | tensile straining of sewing thread |
| pevnost v kliče             | strength in the loop               |
| koeficient pevnosti v kliče | coefficient strenght in the loop   |
| střížové vlákno             | staple fibre                       |
| nekonečné vlákno            | continuous filament                |
| zákrut šicí nitě            | twist of sewing thread             |
| jemnost šicí nitě           | sheerness of sewing thread         |
| stupeň skaní                | degree of twist                    |

# Obsah

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. Úvod</b>  | <b>11</b> |
| <b>2. Aromatické polyamidy</b>                              | <b>12</b> |
| 2.1. Zvláknování aromatických polyamidů                     | 12        |
| 2.2. Vlastnosti aromatických polyamidů                      | 13        |
| 2.3. Vlákno Nomex   | 14        |
| 2.3.1. Struktura vlákna Nomex                               | 14        |
| 2.3.2. Vlastnosti vlákna Nomex                              | 14        |
| 2.4. Vlákno Kevlar  | 15        |
| 2.4.1. Struktura vlákna Kevlar                              | 15        |
| 2.4.2. Vlastnosti vlákna Kevlar                             | 16        |
| 2.5. Vlákno Technora  | 16        |
| 2.6. Použití aromatických polyamidů                         | 17        |
| <b>3. Namáhání ve výrobcích obsahujících aramidové nitě</b> | <b>18</b> |
| 3.1. Použití nomexových a kevlarových nití v konfekcích     | 18        |
| 3.1.1. Hasičské záchranné oblečení                          | 18        |
| 3.1.2. Ochranné rukavice                                    | 18        |
| 3.1.3. Neprůstřelné vesty                                   | 19        |
| 3.2. Namáhání nomexových a kevlarových nití ve švech        | 19        |
| 3.2.1. Mechanické namáhání                                  | 19        |
| 3.2.1.1. Namáhání v tahu                                    | 19        |
| 3.2.1.2. Namáhání v oděru                                   | 20        |
| 3.2.2. Termické namáhání                                    | 20        |
| 3.2.3. Odolnost vůči chemikáliím                            | 20        |
| <b>4. Možnosti a podmínky měření pevností nití v kličce</b> | <b>21</b> |
| 4.1. Namáhání v tahu  | 21        |
| 4.2. Zkoušení pevností přízí v tahu                         | 23        |
| 4.3. Pevnost v kličce                                       | 23        |
| 4.4. Předpětí a upínací délka                               | 24        |
| 4.5. Klimatické podmínky při měření                         | 24        |
| <b>5. Teoretická analýza rozboru sil v kličce</b>           | <b>25</b> |
| 5.1. Grafický rozbor sil v kličce                           | 25        |

|  |           |
|--|-----------|
| 5.1.1. Tlakové síly působící na vnitřní stranu ohnuté nitě                   | 26        |
| 5.1.2. Tlakové síly působící na průřez nitě                                  | 28        |
| 5.2. Teoretická analýza faktorů ovlivňujících pevnost v kličce               | 29        |
| 5.2.1. Zákrut  | 29        |
| 5.2.2. Jemnost   | 29        |
| 5.2.3. Stupeň seskání  | 29        |
| 5.2.4. Délka použitého vlákna v niti   | 30        |
| 5.2.5. Barva   | 30        |
| <b>6. Experimentální část</b>  | <b>31</b> |
| 6.1. Zkušební přístroj   | 31        |
| 6.2. Naměření hodnoty absolutních pevností jednotlivých nití                 | 32        |
| 6.3. Poměrná pevnost v kličce  | 32        |
| 6.4. Porovnávání vzorků  | 33        |
| 6.4.1. Porovnání z hlediska délky použitého vlákna v niti                    | 34        |
| 6.4.2. Porovnání z hlediska stupně seskání a jemnosti                        | 35        |
| 6.4.3. Porovnání z hlediska zákrutů  | 36        |
| 6.5. Porovnání kevlarových a nomexových nití mezi sebou                      | 37        |
| 6.5.1. Porovnání koeficientů pevnosti v kličce                               | 37        |
| 6.5.2. Porovnání absolutních hodnot lineární pevnosti<br>a pevnosti v kličce | 38        |
| 6.6. Průměrné hodnoty koeficientů v kličce z měřených nití                   | 39        |
| 6.7. Porovnání polyesterových nití   | 39        |
| <b>7. Závěr</b>  | <b>40</b> |
| <b>8. Seznam použitých zdrojů</b>  | <b>41</b> |
| <b>9. Seznam příloh</b>  | <b>43</b> |



## Seznam použitých zkratk a značek

|            |  |
|------------|--|
| F          | lineární pevnost [N]                     |
| $l_0$      | upínací délka [mm]                       |
| $\Delta l$ | absolutní prodloužení [mm]               |
| $F_{kl}$   | absolutní pevnost v kličce [N]           |
| $E_p$      | Počáteční tangentový modul pružnosti [N] |
| $\sigma$   | napětí [Pa]                              |
| $\epsilon$ | tažnost [%]                              |
| $f_{kl}$   | koeficient pevnosti v kličce             |
| D          | průměr nitě [mm]                         |
| E          | modul pružnosti                          |
| A          | tažnost při $F_{max}$                    |
| t          | celkový čas zkoušky                      |
| v          | skutečná rychlost zkoušky                |
| $F_v$      | výsledná síla                            |
| N          | nekonečné vlákno                         |
| S          | střížové vlákno                          |
| HC         | horní čelist trhacího přístroje          |
| DC         | dolní čelist trhacího přístroje          |
| MC         | měřicí člen trhacího přístroje           |

## 1. Úvod

Využití Nomexu a Kevlaru se stále více rozšiřuje do různých odvětví. Materiály prochází neustálým vývojem, který zlepšuje jeho vlastnosti a to v první řadě mechanické a termické. V konfekci je využití zejména v ochranném oblečení, proto je velmi důležité, aby byly šicí nitě kvalitní a zajišťovali společně s vrchovým materiálem co největší ochranu nositeli.

Při tvoření strojového stehu tvoří nitě kličky. Z tohoto předpokladu vychází bakalářská práce, která analyzuje hlavní faktory ovlivňující pevnost v kličce u kevlarových a nomexových nití. Šicí nit ovlivňuje řada faktorů, které mění vlastnosti šicí nitě. Bakalářská práce se zabývá základními faktory, především zda je nit spřádaná ze střížových vláken nebo z nekonečného vlákna, stupněm skaní a zákrutem. Faktory jsou nejprve rozebrány v teoretické části a poté jsou v experimentální části zkouškami ověřeny. Nitě jsou porovnávány podle jednoho faktoru, který se vyhodnocuje. Nitě jsou porovnávány na základě tzv. koeficientu pevnosti v kličce, který byl vypočítán z naměřených hodnot na trhacím stroji.

Z výsledků měření se vyhodnocuje, který faktor a jak zásadně ovlivňuje pevnost v kličce.

## 2. Aromatické polyamidy

**Aramid** je pevný žáruvzdorný syntetický materiál, který v roce 1961 vyvinula Američanka Stephanie Kwolek. Je to zkratka sousloví **aromatické polyamidy**

Podle Federální obchodní komise (The US Federal Trade Commission) je aramidové vlákno definováno jako „vlákno vyrobené z polyamidu s dlouhým uhlovodíkovým řetězcem, jehož alespoň 85% peptidických vazeb (- CO – NH –) spojuje dvě aromatická jádra“.

[4]

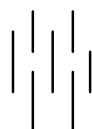
Aramid byl vyvinut především jako vlákno odolné proti vysokým teplotám. Takzvané meta-aramidy (m-aramidy) mají bod tání přes 400° C, jsou odolné proti mnoha chemikáliím, pružné, snadno se zpracují v textilní výrobě. Nejznámější značka: Nomex.

Dalším stupněm vývoje jsou para-aramidy (p-aramidy) vyráběné od 70. let minulého století např. pod značkou Kevlar nebo Twaron. Tato vlákna dosahují mimořádně vysokou pevnost v tahu při nízké specifické hmotnosti, srovnatelnou jen s uhlíkovými vlákny. Nevýhodou je malá odolnost proti účinkům světla a snadné nabíjení statickou elektřinou.

[5]

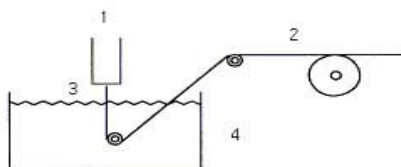
### 2.1. Zvlákňování aromatických polyamidů

Většina aromatických polyamidů degraduje při teplotě  $T_r$  před dosažením teploty tání  $T_m$ , takže vlákna lze zvlákňovat pouze z roztoků, obsahujících silná organická rozpouštědla nebo koncentrované anorganické kyseliny. Pro zvlákňování aramidů se používá 10–20 % roztok polymeru v  $H_2SO_4$ , neobsahující vodu, zahřátý na 80 °C. Za těchto podmínek je v roztoku převážně nematická fáze.(obr.1)



Obr. 1 Nematická struktura [1]

Volí se systém *dry-jet-wet* (viz obr. 2), kdy ve vzduchové mezeře mezi tryskou a koagulační lázni probíhá průtah. Jako koagulační médium se používá studená voda. Tímto postupem dochází k radiální orientaci krystalitů ve vlákne. [1]



Obr. 2 Systém zvlákňování dry-jet-wet [1]

Aramidy se vyrábějí v několika modifikacích a dodávají se ve formě hedvábí, stříže, vložky nebo i tkaniny.

**Použití:** Pneumatikové kordy, dopravní pásy, brzdové obložení, ochranné oděvy (proti horku a proti střepinám), jako vrstvené pojivo při stavbě lodí, letadel a raket. [5]

## 2.2. Vlastnosti aromatických polyamidů

Základní strukturální odlišností aramidů od konvenčních polyamidových vláken jsou krystality s nataženými (a nikoliv skládanými) řetězci.

Dochází ke vzniku mikropórů v místech styku natažených řetězců. Tyto mikropóry jsou také tyčinkovité s tloušťkou 5–10  $\mu\text{m}$  a délkou 25 mm.

Makroskopické mechanické vlastnosti aramidů jsou závislé především na orientaci řetězců vzhledem k ose vlákna (úhel  $\phi$ ) a modulu elasticity  $E_3$  řetězců uspořádaných paralelně vzhledem k ose vlákna (pro Kevlar je typická hodnota  $E_3=240$  GPa). U Kevlarových vláken je  $\phi \sim 5-9^\circ$  je převažující první člen, tj. závislost mezi napětím a deformací je téměř do přetruhu lineární. U Nomexových vláken je  $\phi$  vyšší, takže mají zřetelný odklon od linearity při vyšších napětích. Díky hustotě kolem 1400  $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$  dosahují aromatické polyamidy mimořádně vysokých hodnot specifického modulu a specifické pevnosti.

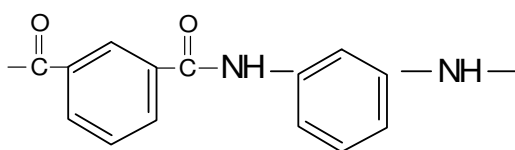
Podobně jako alifatické polyamidy jsou i aromatické polyamidy citlivé na UV záření zejména při vlnových délkách 300–450 nm (typ A). Rozdíl v absorpci vlhkosti, pro para-aramidy je navlhavost 4–6 % a pro Technoru pouze 2 %. Při kompresní deformaci kolem 0,5 % se molekuly neporuší, ale pouze vybočí. To je příčinou zlepšených vlastností v tlaku u kompozit obsahujících aramidy.

### 2.3. Vláknno Nomex

První vlákno skupiny meta-aromatických polyamidů (M-aramidy) byl NOMEX firmy DuPont, (začátek 60-tých let.) Toto vlákno je zajímavé především pro svoji termickou odolnost a elektrické izolační schopnosti. [1] Obchodní názvy vlákna Nomex jsou Conex (firma Teijin) a Fenilon.

#### 2.3.1. Struktura vlákna Nomex

Polyamid, ve kterém jsou všechny amidové skupiny rozděleny na meta - fenylové skupiny, tj. amidové skupiny se připojují k fenylovým kruhům na 1 a 3 pozici. Chemická struktura vlákna Nomex viz. obr. 3. [3]



Obr. 3 Struktura Nomexu [1]

#### 2.3.2. Vlastnosti vlákna Nomex

Je levnější, méně tuhé a méně pevné než Kelvar, ale odolné vůči vysokým teplotám - až 500°C (nevytvářejí taveninu). Jsou dlouhodobě stabilní při teplotách přes 220°C. [2]

Nomex má dobrou odolnost vůči mnoha chemikáliím a je vysoce odolný vůči většině hydrokarbonátům (uhvodíkům) a mnoha dalším organickým rozpouštědlům. Nomex také vykazuje dobrou odolnost vůči zásadám při pokojové teplotě, ale je degradován silnými zásadami při vyšší teplotě. Taktéž na něj nepůsobí sloučeniny flouru vyskytujících se v plynech z hutnického procesu ve výrobní operaci.

Nomex degraduje ultrafialovým zářením od přírodního i umělého světla, tak tam kde síla je rozhodující přirozená vlastnost, by mělo být pro jistotu chráněno před přímými slunečními paprsky a ostatním ultrafialovým zářením od jiných zdrojů. Avšak má vynikající odolnost vůči radiaci. [6]

## 2.4. Vláknno Kevlar

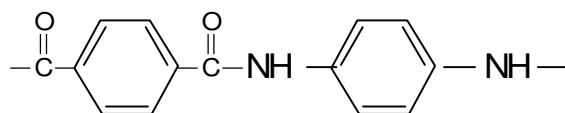
Zhruba 10 let po objevení vlákna Nomex začala firma DuPont s produkcí vláken Kevlar ze skupiny para-aromatických polyamidů (P-aramidy). Vyznačuje se vysokou pevností a modulem. Obchodní název vlákna Kevlar je Twaron - firma Teijin, která začala s výrobou vlákna na konci 80-tých let.

[1]

### 2.4.1. Struktura vlákna Kevlar

Polyamid, ve kterém jsou všechny amidové skupiny rozděleny na para – fenylové skupiny, tj. amidové skupiny se připojují k fenylovým kruhům naproti sobě navzájem u uhlíku 1 a 4. Chemická struktura Kevlaru viz. obr. 4.

[3]



Obr. 4 Struktura Kevlaru [1]

### 2.4.2. Vlastnosti vlákna Kevlar

Kevlar má vysokou teplotu měknutí (520°C) a nevýrazné tání krystalů (okolo 600°C). Vlákna jsou vysoce krystalická (stupeň krystality 95%) [2]

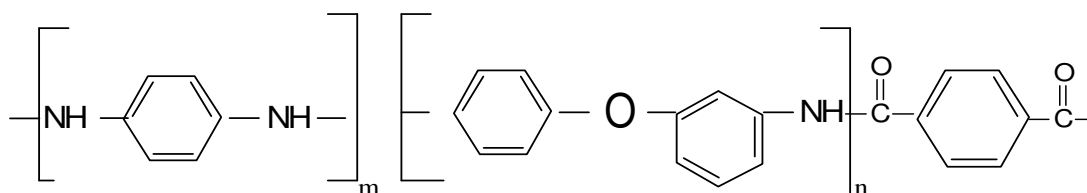
Kevlar má největší specifickou sílu komerčně dostupného vlákna, je dvakrát silnější než Nylon a čtyřikrát silnější než Nomex. Je také lehký a jeho síla k poměru váhy dělá, že je pětikrát silnější než ocel.

Kevlar má dobrou termální stabilitu uchovávající si vysoké procento tepelných vlastností při teplotě do 300°C po dobu 1-2 hodin vystavení na vzduchu. Netaje a nepodporuje hoření, ale bude oxidovat do popele při 400 – 430°C. Na druhé straně při teplotě nižší jak – 196°C Kevlar nevykazuje žádnou ztrátu pevnosti zkřehnutím.

Neovlivní ho vystavení rozpouštědly, benzíny, mazadly nebo slanou vodou. Jeho chemická odolnost je vynikající kromě silných kyselin (které ho rozpustí). Je ovlivňován UV zářením, ale degradace je na vnější vrstvě a nepokračuje. Pevnost se po vystavení nesnižuje. [6]

### 2.5. Vlákno Technora

Odlíšné složení než Kevlar. Co-poly-(paraphenylene/3,4'-oxydiphenylene terephthalamid). Technora je kopolymer Technora je kopolymer je směsí meta- a para-aramidu. Její barva je zlatavě hnědá. (Obr.5) [1]



Obr. 5 Složení vlákna Technora [1]

## **2.6. Použití aromatických polyamidů**

Vlákna se používají na materiály chránící proti rázům – neprůstřelné vesty a helmy. Jako ochrana proti vysokým teplotám – zásahové obleky pro hasiče, slévače, obleky proti sálavému teplu, atd. Použití není jen v textilním a oděvním průmyslu. Používá se na aplikace v leteckém průmyslu, pro vnitřky nákladních letadel, částí letounů a raketoplánů. Lana, provazy a kabely, pro zpevnění optických kabelů. Jako náhražky azbestu, výztuže pneumatik a jiných gumových výrobků, plachty lodí, sportovní pomůcky, blány reproduktorů, kánoe a jiné lodě.

Aromatické polyamidy se používají tam, kde je potřeba vysoké pevnosti a vysoké teplotní stability. Kevlar je při stejné váze pevnější než ocel, Nomex má lepší vlastnosti co se týče odolnosti vůči žáru.



### 3. Namáhání ve výrobcích obsahujících aramidové nitě

#### 3.1. Použití nomexových a kevlarových nití v konfekcích

Tyto nitě se používají hlavně tam, kde je žádána odolnost proti teple, nárazům a proti poranění ostrými předměty.

##### 3.1.1. Hasičské záchranné oblečení

V ČR jsou největšími výrobci firma Zahas Lipník nad Bečvou a firma Deva Frýdek-Místek. Nejčastější použití u hasičských záchranných sborů v ČR mají oděvy od firmy Deva Frýdek-Místek, konkrétně obleky:

**Fireman III** - dvojdílný, vícevrstvý, zásahový oblek pro hasiče s vložkou napevno, materiálové složení: NOMEX® Tough. Je to nejlevnější zásahový oblek pro hasiče, který má zesílená kolena a je mimořádně lehký.

**Fireman V** - zásahový oblek s odnímatelnou vložkou, materiálové složení: NOMEX Tough DIAMOND. Má variantní materiálovou konstrukci.

**Fireman Tiger** - redukce hmotnosti a objemu, minimální absorpce vlhkosti, výborná prodyšnost a vysoká pohyblivost. Má kovový bezpečnostní uzávěr se sníženou hořlavostí. Materiálové složení: vnější vrstva: NOMEX® Tough DIAMOND. Vlhkostní bariéra: GORE-TEX® Fireblocker N a tepelná bariéra: NOMEX® Comfort / Aramid Grid. Tyto vrstvy mají jsou speciálně upraveny. [16]

##### 3.1.2. Ochranné rukavice

Použití nomexových a kevlarových nití je na dlaňovou část, která je zdvojená výztuhou. Pod tuto výztuhu je vložen materiál, který je tvořen 50 % Kevlarem a 50% Nomexem. Tato mezivrstva slouží jako bariéra proti teple, které vzniká třením při slanění. [13]

Dále se na rukavice používá také např. pletenina ze 100% Kevlaru. Tyto rukavice jsou do určité míry odolné proti pořezání břitvami, žiletkami, střepy, skla, apod. Vhodné jsou při zadržování pachatelů a při slaňování. Tepelná ochrana do 120°C po dobu max. 15 sekund. [14]

### ***3.1.3. Neprůstřelné vesty***

Další rozšířené použití je na neprůstřelné vesty, kdy ochranné balistické vložky do vest jdou vyrobené z určitého, přesně stanoveného počtu vrstev aramidové tkaniny jsou schopny díky vysoké pevnosti a nízké tažnosti těchto vláken pohltit většinu kinetické energie projektilů vypálených z ručních zbraní. [15]

## **3.2. Namáhání nomexových a kevlarových nití ve švech**

### ***3.2.1. Mechanické namáhání***

#### ***3.2.1.1. Namáhání v tahu***

Jde především o příčné namáhání švu. Příčné namáhání švu způsobuje poškození nití v celé šířce vzorku. Při zkoušce se vyhodnocuje tzv. účinnost švu  $\eta_s$ . Je doporučováno, aby se účinnost švu pohybovala do 80 % u oděvních materiálů a 100% u technických textilií. Při tomto způsobu namáhání dochází k posunutí nití v okolí švu. Toto posunutí se měří na vzorku jako rozdíl původní délky  $l_a$  délky  $l_i$  po vložení normované síly 50, 100, 150, 250 N na vzorek. Závislost se vyjadřuje graficky. [11]

Z vyhodnocení Technického ústavu požární ochrany v Praze z let 2002-2003 vyplývá, že již vizuální změny na materiálech oděvů po 5-ti letech jejich praktického používání signalizují ztrátu důležitých užitných vlastností ochranného hasičského oděvu, a tím i riziko pro osobní bezpečnost jejich uživatelů při hašení požárů.

Oděvy i po 10-ti letech používání u velkých jednotek hasičských záchranných sborů ČR překvapivě vyhovují tepelně - technickým kritériím. Jsou však podstatně více vizuálně

opotřebené, ze 100 % nevyhovují smáčivosti vodou, penetraci benzínem, ztrácejí stálobarevnost a pevnost švů. Pevnost švů ve směru příčném: u desetiletých oděvů – nevyhovuje 100%.

Používají se i nomexové rukavice, které se poměrně často trhají mezi prsty, hlavně mezi palcem a ukazováčkem. Avšak vzhledem k velké zátěži a neopatrnému zacházení lze konstatovat, že jsou velmi dobré. (viz. příloha č. 8)

### *3.2.1.2. Namáhání v oděru*

Z výsledků zkoumání oděvu po 10-ti letém nošení nedocházelo k oděru nití prošití např. u našitých reflexních pruhů, kapes, prošití záložek apod. Docházelo spíše k vytržení kvůli nedostatečné pevnosti látky. (viz. příloha č. 8)

### *3.2.2. Termické namáhání*

Teplota při požáru je velmi vysoká, asi 700 – 2000°C. Avšak nikdy se nestane, aby hasič pracoval v takové blízkosti požáru, že by byl vystaven takto vysokým teplotám. Oděvy nejsou určeny pro práci v otevřeném ohni, jsou tedy vystavovány teplotám o něco nižším. Avšak jsou známy případy, kdy byl hasič při záchraně dítěte z hořícího domu v obleku v přímých plamenech a teplotě přes 400°C několik desítek sekund, rovněž tak hasič v Praze při propadnutí střechy a pádu přímo do plamenů (zde teplota možná i 800°C) – nikdy nedošlo k rozpadu švů na děvu. (viz. příloha č. 8)

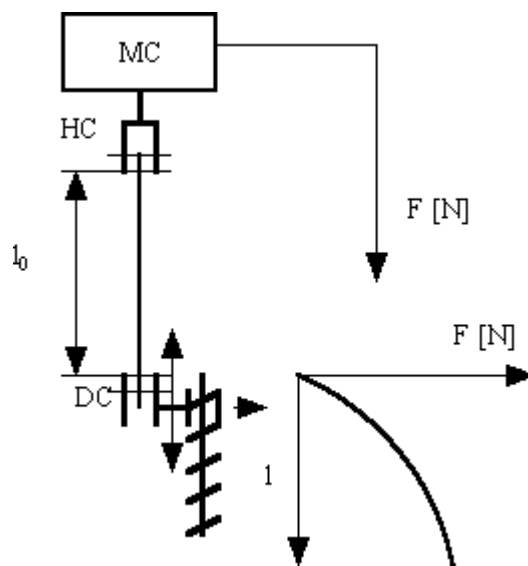
### *3.2.3. Odolnost vůči chemikáliím*

Oděvy z kevlaru a nomexu jsou odolné vůči některým chemikáliím. Výzkumem bylo dokázáno, že některým neodolává a to např. lakovému benzínu a chlorovodíku. (viz. příloha č. 8)

## 4. Možnosti a podmínky měření pevností nití v kličce

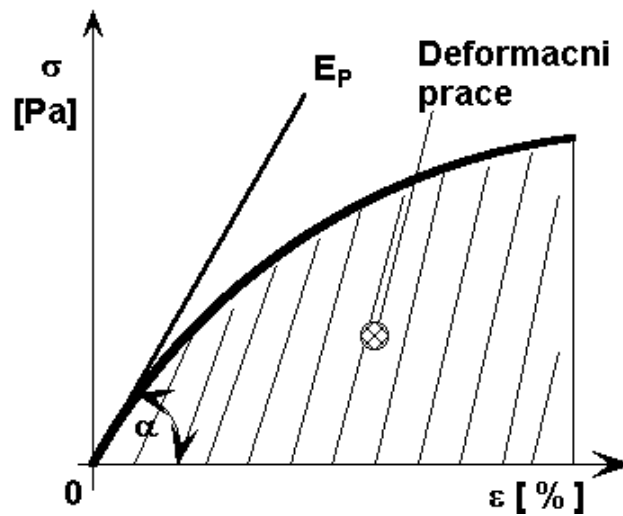
### 4.1. Namáhání v tahu

Při namáhání v tahu nazýváme odezvu materiálu **pevností v tahu**. Tuto vlastnost zkusíme na **dynamometru** (obr. 6) – přístroji pro definované namáhání vzorků a registraci síly a deformace (natažení). Přístroji se také říká trhací stroj nebo zjednodušeně **trhačka**.



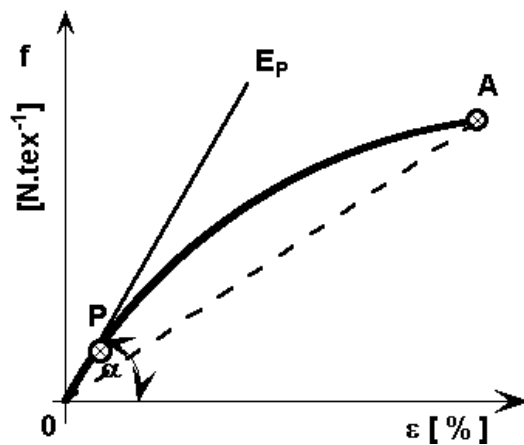
Obr. 6 Uspořádání zkoušky na dynamometru [7]

Vzorek je upnut do horní čelisti **HC** a spodní čelisti **DC**. Dolní čelist je spojena s pohybovým šroubem, který ji svým otáčením stahuje dolů (napíná vzorek) nebo zdvíhá (uvolňuje vzorek). Napětí, resp. síla, která je natahováním ve vzorku vyvíjena, je měřena měřícím členem **MC**. Natažení a jemu odpovídající síla je vykreslována do grafu **závislosti pevnost – tažnost**, který je též nazýván **tahovou** nebo též **pracovní křivkou** (obr. 8). To proto, že je obrazem práce (obr. 7), kterou jsme na napětí ve vzorku museli vynaložit. [7]



Obr. 7 Deformační práce [7]

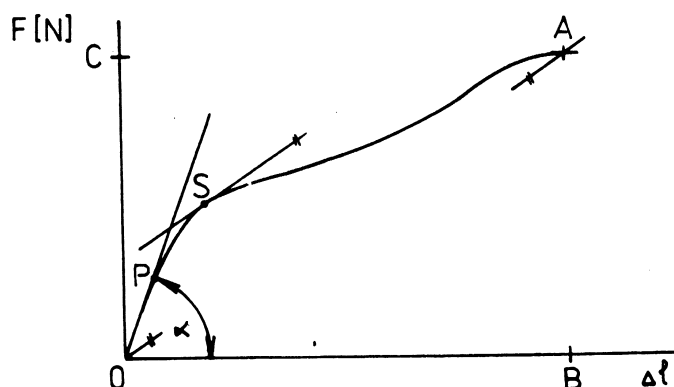
**Modul pružnosti přízí a nití** - u přízí a nití tak jako u vláken používáme místo pojmu Youngův modul pružnosti pojem **počáteční tangentský modul  $E_p$** . Bod **P**, kde tečna v počátku opouští tahovou křivku pak definujeme jako **mez pružnosti**. Modul pružnosti lze definovat tangentským modulem pružnosti. [7]



Obr. 8 Tahová křivka [7]

## 4.2. Zkoušení pevností přízí v tahu

Při zkoušení mechanických vlastností jde většinou o zjištění **meze pevnosti**. Příze je v těchto zkouškách zatěžováno až do **destrukce - přetrhu vzorku**. Výsledkem jsou ukazatele ultimativních pevnostních charakteristik. Příze zatěžíme před vlastní zkouškou základní malou silou  $F_0$ , nazývanou **předpětí** (obr. 9). [7]



Obr. 9 Grafické znázornění průběhu závislosti síly [N] na deformaci [mm] [7]

## 4.3. Pevnost v kličce

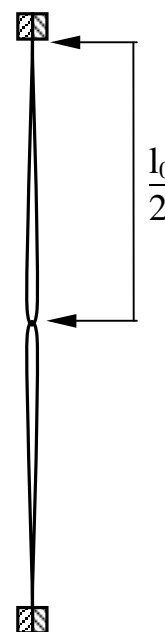
Mimo základní pevnost v lineárním stavu se zjišťuje pevnost v kličce (obr. 10). Prostorové uspořádání nití lépe odpovídá reálnému namáhání ve švu. Z naměřených hodnot se vyjadřuje tzv. koeficient pevnosti v kličce:

$$f_{kl} = \frac{F_{kl}}{2 \cdot F}$$

případně poměrná pevnost v kličce:

$$f_{kl} = \frac{F_{kl}}{2 \cdot F} \cdot 10^2 \quad [\%]$$

vyjádřená v % z dvojnásobku lineární pevnosti, kde  $F_{kl}$  je absolutní pevnost v kličce a  $F$  je absolutní lineární pevnost. Hodnoty relativních pevností v kličce jsou vždy menší než 100 %.



Obr. 10 Pevnost v kličce [7]

#### 4.4. Předpětí a upínací délka

Abychom mohli přesně stanovit deformaci nitě, která je závislá na změně délky a abychom mohli také přesněji odečítat počáteční tangentový modul, vkládáme před měřením pevnosti na textilií předběžnou sílu, kterou nazýváme **předpětí**. Předpětí **je stanoveno normou a jeho velikost je 1 N. Upínací délka  $l_0$  [mm] je rovněž normována. U přízí a nití je upínací délka většinou stanovena  $l_0 = 500$  mm.**

#### 4.5. Klimatické podmínky při měření

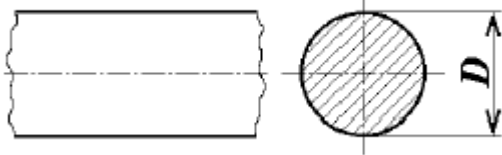
Klimatické podmínky ovlivňují výsledky měření mechanických vlastností zásadním způsobem. Vlhkost ovlivňuje pevnost vláken řádově o jednotky až desítky procent. Klimatické podmínky pro zkoušení textilií jsou normou stanoveny na  $20 \pm 2^\circ \text{C}$  – teplota a  $65 \pm 2\%$  - vlhkost ovzduší.

[7]

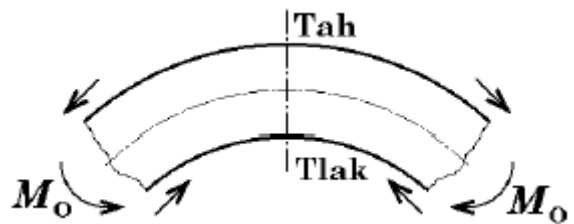
## 5. Teoretická analýza rozboru sil v klíče

### 5.1. Grafický rozbor sil v klíče

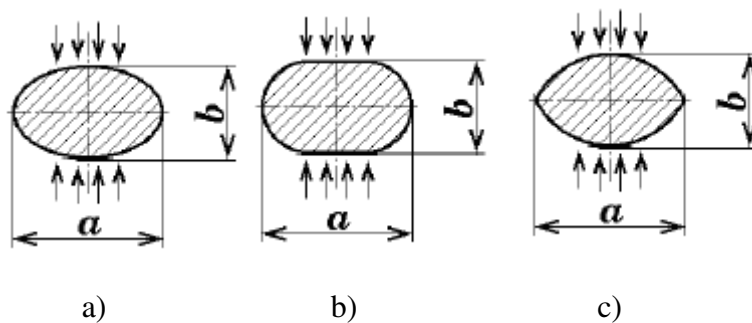
Tento rozbor sil je proveden na základě zidealizované situace - nitě jsou brány jako válcové modely s kruhovým průřezem, který se působením síly nemění (obr. 11). Tato situace bude ve skutečnosti složitější, protože nit se deformuje pouhým ohybem (obr. 12), kdy vzniká na vnější straně tahové a na vnitřní tlakové axiální napětí, které vede ke vzniku radiálního napětí působícího směrem k vodorovné ose průřezu nitě. Toto napětí deformuje původně kruhový průřez  $d$  na přibližně eliptický, někdy je deformovaný průřez modelován jako ovál nebo čočka (obr. 13 a, b, c). Nitě se také mohou deformovat vlivem vnějšího tlaku, např. kontaktem se sousedními nitěmi. [8]



obr. 11 Zidealizovaný model nitě



obr. 12 Síly působící na nit

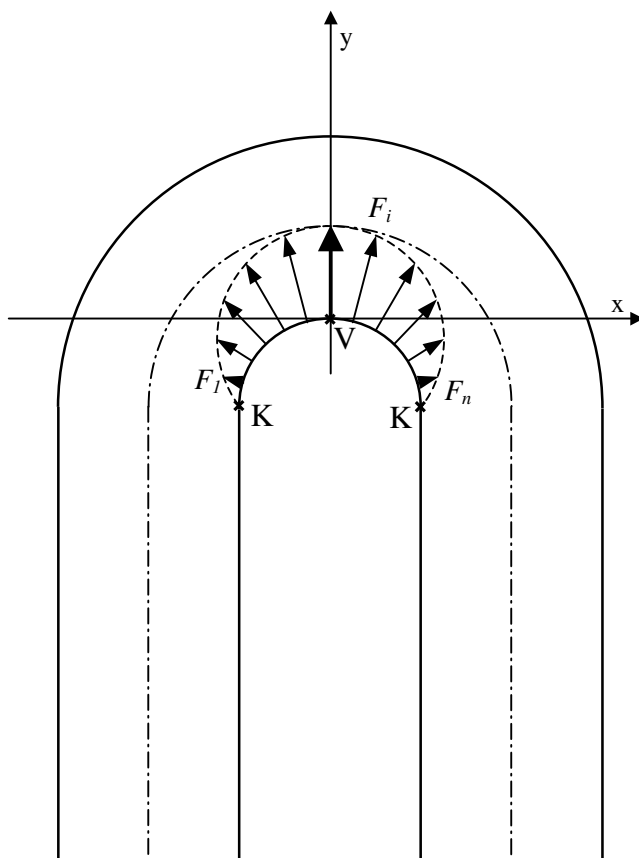


obr. 13 Změny průřezu nitě



### 5.1.1. Tlakové síly působící na vnitřní stranu ohnuté nitě

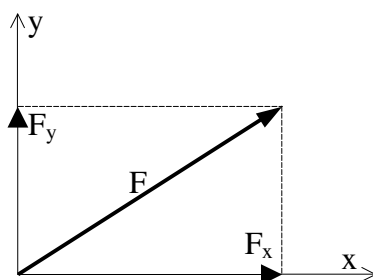
U nitě v kličce působí na vnitřní stranu ohnuté nitě spojitě obtížení od druhé (horní) nitě, kde síly v bodech  $K$  jsou nulové a v bodě  $V$  je síla největší. Síly se od bodů  $K$  k bodu  $V$  rovnoměrně zvětšují. Nit je vykreslena v řezu v souřadnicovém systému os  $xy$ . (obr. 14)



Obr. 14 Schématické znázornění tlakových sil v řezu sodní nitě v rovině  $xy$

Obdobný průběh sil je i u druhé (horní) nitě v rovině  $yz$ .

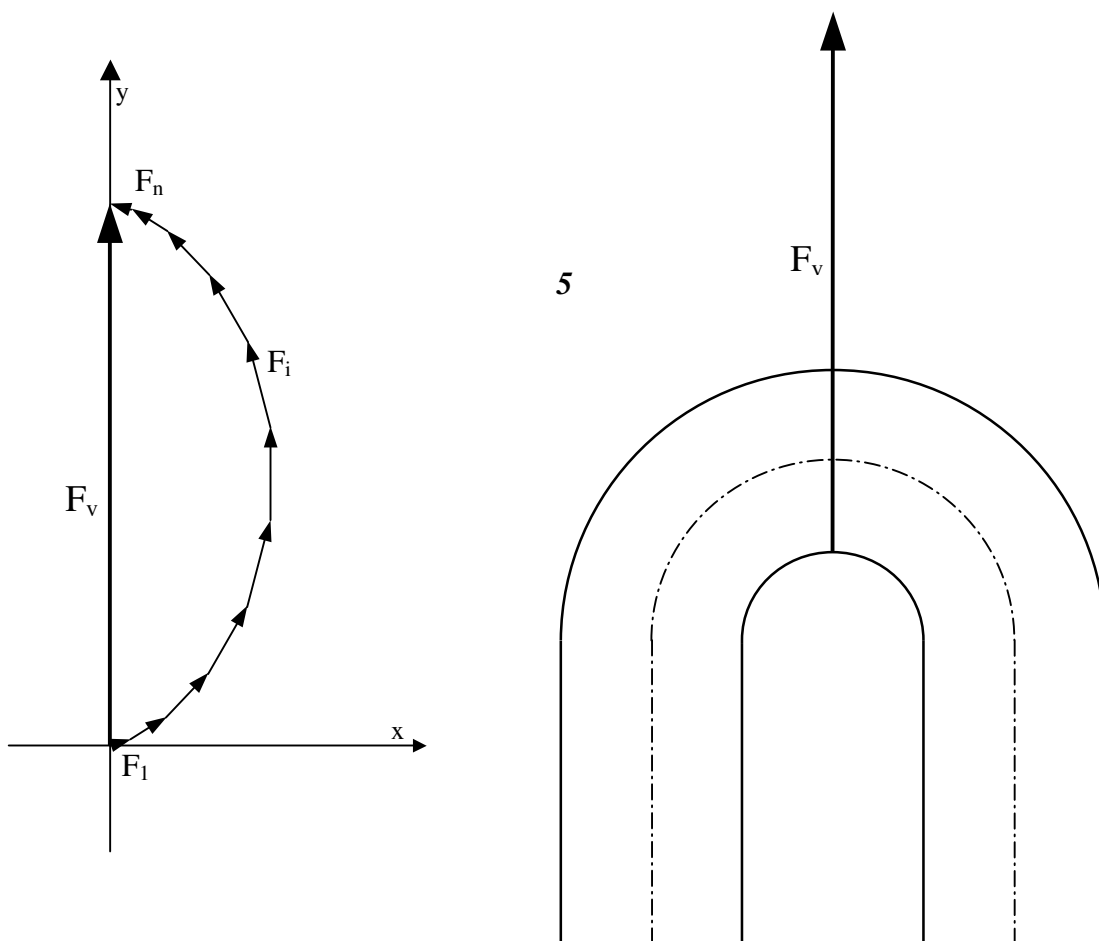
Každou sílu lze rozložit na 2 složky – do směru osy  $x$  a  $y$ . Výsledná síla je dána vektorovým součtem všech působících sil. Při skládání sil se složky vyruší a výslednice je dána součtem normálových složek  $F_{yi}$  (viz. obr. 15)



Obr. č. 15

$$\vec{F}_v = \Sigma \vec{F}_i \quad F_v = \Sigma_i F_{yi}$$

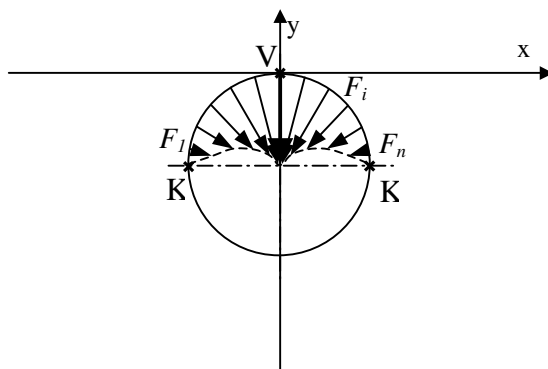
Výslednice sil  $F_v$  spojitého obtížení je graficky zakreslena v souřadnicovém systému a převedena do modelu ohnuté nitě v obr. 16.



Obr. 16 Výslednice sil spojitého obtížení

### 5.1.2. Tlakové síly působící na průřez nitě

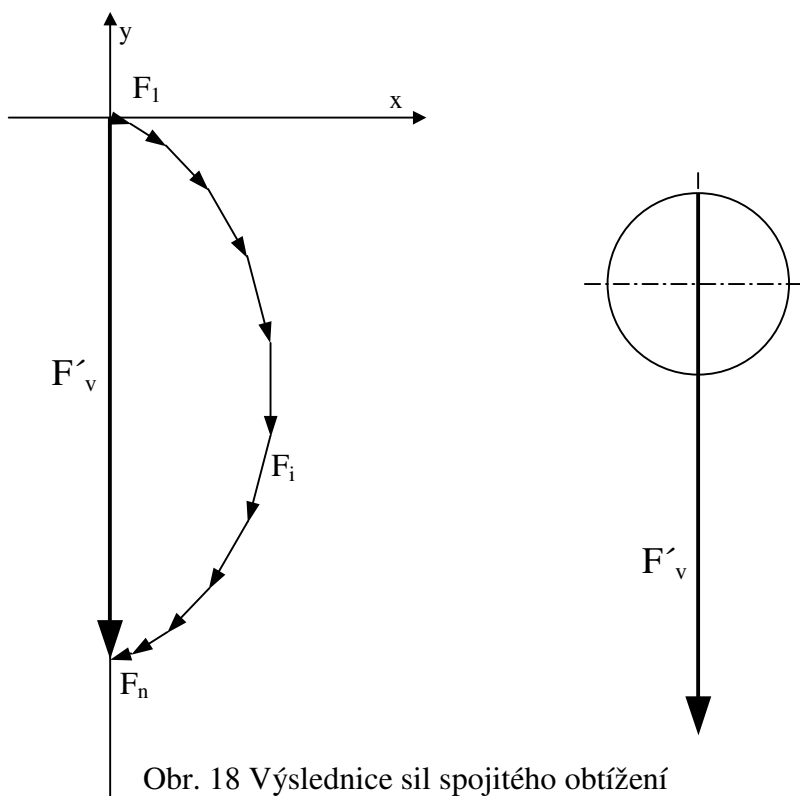
Na průřez nitě působí na horní stranu, kde jsou nitě v kliče v kontaktu také spojité obtížení. Síly, které působí na průřez nitě mají stejnou velikost, ale opačný směr dle zákona akce a reakce. Mají obdobný průběh jako u ohnuté nitě, v bodech  $K$  je síla nulová a v bodě  $V$  působí největší síla. Model je opět zakreslen v řezu do souřadnicového systému  $xy$ .



Obr. 17 Schématické znázornění tlakových sil v řezu spodní nitě v rovině  $xy$

Obdobný průběh sil je i první nitě (spodní) v rovině  $yz$ .

Výslednice je dána stejně jako u modelu ohnuté nitě součtem složek  $F_{yi}$  (obr. 18).



Obr. 18 Výslednice sil spojitěho obtížení

$$\mathbf{F}_v = -\mathbf{F}'_v$$

## **5.2. Teoretická analýza faktorů ovlivňujících pevnost v kličce**

### **5.2.1. Zákrut**

Principem zpevnění svazku vláken je zvýšení jejich kontaktů, vzájemné přitlačení vláken k sobě a tím zvýšení tření mezi vlákny. Toto zpevnění se provádí pomocí zákrutu. Provádí se jak u střížových vláken, tak u hedvábí. [7]

Čím více zákrutů má příze na určitou délku, tím je pevnější, ale také tvrdší. Počet zákrutů nesmí překročit optimální počet, protože po přesažení této hodnoty dochází ke smyčkování příze a je obtížně zpracovatelná. [9]

Vyšší počet zákrutů zvyšuje lineární pevnost nitě, proto by mohl mít vliv i na pevnost v kličce. Taková nit by mohla být v kličce pevnější.

### **5.2.2. Jemnost**

Se zvyšující se jemností se zvyšuje pevnost nitě v lineárním stavu. Proto by mohla jemnost ovlivňovat pevnost nitě v kličce.

### **5.2.3. Stupeň seskání**

Při skaní dochází ke spojení dvou a více přízí zakrucováním s cílem zvýšení pevnosti, tažnosti a hmotně stejnoměrnosti příze. [10]

Skaním dochází ke zvyšování lineární pevnosti a proto by tento faktor mohl ovlivňovat pevnost v kličce.

#### **5.2.4. Délka použitého vlákna v niti**

Nekonečná vlákna se obecně používají do textilií za účelem zvýšení lineární pevnosti. Tím, že se nekonečné vlákno nastříhá na střížová vlákna, se přeruší chemické vazby. V niti je opětovné spojení vláken realizováno pomocí zákrutů a vznikají třecí síly. Proto by to, zda bude nit z nekonečných nebo střížových vláken, mohlo mít vliv na pevnost v kličce.

#### **5.2.5. Barva**

Kevlarová a nomexová vlákna se barví hlavně ve hmotě (viz. přílohy materiálových listů od výrobců) a jejich mechanicko-fyzikální vlastnosti se tímto nějak zásadně nemění. Proto by to nemusel být zásadní faktor ovlivňující pevnost v kličce.

## 6. Experimentální část

### 6.1. Zkušební přístroj

Nitě byly trhány na trhacím stroji TIRA Test 2300 (obr.19). Nejprve byly trhány v lineárním stavu, poté v kličce. V obou případech bylo provedeno na každém vzorku nitě 25 zkoušek (viz. příloha č.1).

|          |   |
|----------|---|
| Přístroj | Dynamometr TIRATEST 2300  |
| Výrobce  | TIRA Germany  |
| Popis    | Dynamometr TIRATEST 2300 je klasický přístroj pro zkoumání mechanických vlastností materiálů. Umožňuje zkoušky jednoosého namáhání v tahu a tlaku. Přístroj je řízen počítačem. Rozsah přístroje se mění výměnou měřicích hlav. |
| Katedra  | Katedra textilních materiálů  |

Tab.1 Zkušební přístroj

[12]

#### Nastavené parametry:

Počáteční délka vzorku  $L_0$ : 500 mm

Síla pro předpětí: 1 N

Rychlost do předpětí: 10 mm/min

Rychlost průběhu zkoušky: 100 mm/min



Obr. 19 Trhací přístroj TIRA Test 2300

### Měřené hodnoty:

|           |                           |
|-----------|---------------------------|
| $E$       | Modul pružnosti           |
| $A_{max}$ | Tažnost při $F_{max}$     |
| $F_{max}$ | Maximální dosažená síla   |
| $t$       | Celkový čas zkoušky       |
| $v$       | Skutečná rychlost zkoušky |
| $W$       | Práce (celá zkouška)      |

## 6.2. Naměření hodnoty absolutních pevností jednotlivých nití

Hodnoty, které jsou vypsány v tab.2 jsou průměrné hodnoty z měření na trhačím stroji. Všechny naměřené hodnoty z trhačeho přístroje jsou v příloze č. 1.

| Nomex          |       |              |
|----------------|-------|--------------|
| Nit            | F [N] | $F_{kl}$ [N] |
| N-tech 70      | 14,28 | 23,81        |
| L 753          | 27,14 | 42,99        |
| L 502          | 16,4  | 25,21        |
| Fenilon F9     | 33,88 | 59,1         |
| Fenilon F12    | 47,15 | 81,11        |
| Nomex F3       | 9,69  | 17,98        |
| Firefly Tkt 40 | 21,51 | 37,23        |
| Firefly Tkt 70 | 11,26 | 20,84        |
| CF Nomex 40    | 25,33 | 43,72        |

| Kevlar      |       |              |
|-------------|-------|--------------|
| Nit         | F [N] | $F_{kl}$ [N] |
| K-tech 50   | 78,5  | 72,53        |
| K-tech 75   | 48,72 | 47,41        |
| Twaron      | 65,44 | 37,16        |
| Technora    | 87,23 | 52,98        |
| 50/4 Kevlar | 113,8 | 80,35        |

Tab. 2 Hodnoty absolutních pevností v lineárním stavu a v kličce

## 6.3. Poměrná pevnost v kličce

Z naměřených hodnot lineárních pevností a pevností v kličce byla vypočítána hodnota tzv. koeficientu pevnosti v kličce podle vzorce

$$f_{kl} = \frac{F_{kl}}{2 \cdot F}$$

kde  $F_{kl}$  je naměřená pevnost v kličce a  $F$  je naměřená lineární pevnost.

#### 6.4. Porovnávání vzorků

Porovnávání proběhlo na základě faktorů: zda je nit skaná z nekonečného vlákna nebo ze střížových vláken, podle jemnosti a stupně seskání a podle počtu zákrutů. Nitě jsou porovnávány tak, aby byl vždy jen jeden faktor odlišný a ostatní stejné. To se však vzhledem k omezenému počtu vzorků vždy nepodařilo a tak musely být některé faktory v určitých případech kumulovány. Podle daného rozdílného faktoru se porovnával koeficient pevnosti v kličce  $f_{kl}$ .

##### Nomexové nitě:

| Firma     | Nit            | dtex     | Zákrut . m <sup>-1</sup> | Barva         | S/N | $f_{kl}$ |
|-----------|----------------|----------|--------------------------|---------------|-----|----------|
| Amann     | N-tech 70      | 480(3)   | Z 684 m <sup>-1</sup>    | černá         | S   | 0,834    |
| Gütermann | L 753          | 750(3)   | Z 380 m <sup>-1</sup>    | červená       | N   | 0,792    |
|           | L 502          | 500(2)   | Z 537 m <sup>-1</sup>    | surová (bílá) | N   | 0,769    |
| Orikon    | Fenilon F9     | 1485(9)  | Z 300 m <sup>-1</sup>    | oranžová      | S   | 0,872    |
|           | Fenilon F12    | 1980(12) | Z 300 m <sup>-1</sup>    | oranžová      | S   | 0,86     |
|           | Nomex F3       | 495(3)   | Z 375 m <sup>-1</sup>    | černá         | S   | 0,928    |
| Coats     | Firefly Tkt 40 | 750(3)   | Z 327 m <sup>-1</sup>    | zelená        | S   | 0,865    |
|           | Firefly Tkt 70 | 510(3)   | Z 548 m <sup>-1</sup>    | modrá         | S   | 0,925    |
|           | CF Nomex 40    | 660(3)   | Z 427 m <sup>-1</sup>    | surová (bílá) | N   | 0,863    |

Tab. 3 Zkoušené nomexové nitě

##### Kevlarové nitě:

| Firma  | Nit         | dtex   | Zákrut . m-1          | Barva  | S/N | $f_{kl}$ |
|--------|-------------|--------|-----------------------|--------|-----|----------|
| Amann  | K-tech 50   | 633(3) | Z 414 m <sup>-1</sup> | žlutá  | S   | 0,462    |
|        | K-tech 75   | 422(2) | Z 507 m <sup>-1</sup> | žlutá  | S   | 0,487    |
| Orikon | Twaron      | 420(1) | Z 250 m <sup>-1</sup> | žlutá  | N   | 0,284    |
|        | Technora    | 440(1) | Z 300 m <sup>-1</sup> | běžová | N   | 0,304    |
| Coats  | 50/4 Kevlar | 800(4) | Z 346 m <sup>-1</sup> | žlutá  | N   | 0,353    |

Tab. 4 Zkoušené kevlarové nitě



#### 6.4.1. Porovnání z hlediska délky použitého vlákna v nitě

Nomexové nitě:

|                |        |                       |         |   |       |
|----------------|--------|-----------------------|---------|---|-------|
| Firefly Tkt 40 | 750(3) | Z 327 m <sup>-1</sup> | zelená  | S | 0,865 |
| L 753          | 750(3) | Z 380 m <sup>-1</sup> | červená | N | 0,792 |

|                |        |                       |               |   |       |
|----------------|--------|-----------------------|---------------|---|-------|
| Firefly Tkt 70 | 510(3) | Z 548 m <sup>-1</sup> | modrá         | S | 0,925 |
| CF Nomex 40    | 660(3) | Z 427 m <sup>-1</sup> | surová (bílá) | N | 0,863 |

Nitě ze **střížových vláken** mají **větší  $f_{kl}$**  než nitě z nekonečného vlákna.

|           |        |                       |         |   |       |
|-----------|--------|-----------------------|---------|---|-------|
| N-tech 70 | 480(3) | Z 684 m <sup>-1</sup> | černá   | S | 0,834 |
| L 753     | 750(3) | Z 380 m <sup>-1</sup> | červená | N | 0,792 |

Nit ze **střížových vláken** má **větší  $f_{kl}$** , i když je její jemnost menší.

|                |        |                       |               |   |       |
|----------------|--------|-----------------------|---------------|---|-------|
| Firefly Tkt 70 | 510(3) | Z 548 m <sup>-1</sup> | modrá         | S | 0,925 |
| L 502          | 500(2) | Z 537 m <sup>-1</sup> | surová (bílá) | N | 0,769 |

|           |        |                       |               |   |       |
|-----------|--------|-----------------------|---------------|---|-------|
| N-tech 70 | 480(3) | Z 684 m <sup>-1</sup> | černá         | S | 0,834 |
| L 502     | 500(2) | Z 537 m <sup>-1</sup> | surová (bílá) | N | 0,769 |

|          |        |                       |               |   |       |
|----------|--------|-----------------------|---------------|---|-------|
| Nomex F3 | 495(3) | Z 375 m <sup>-1</sup> | černá         | S | 0,928 |
| L 502    | 500(2) | Z 537 m <sup>-1</sup> | surová (bílá) | N | 0,769 |

Při porovnání nití z různým stupněm skaní, vykazují také **větší  $f_{kl}$**  nitě ze **střížových vláken**.

|                |        |                       |               |   |       |
|----------------|--------|-----------------------|---------------|---|-------|
| Firefly Tkt 40 | 750(3) | Z 327 m <sup>-1</sup> | zelená        | S | 0,865 |
| CF Nomex 40    | 660(3) | Z 427 m <sup>-1</sup> | surová (bílá) | N | 0,863 |

Tyto dvě nitě mají skoro stejný  $f_{kl}$ , ale různou jemnost. Rozhodující je pravděpodobně faktor zákrutů.

Kevlarové nitě:

|           |        |                       |       |   |       |
|-----------|--------|-----------------------|-------|---|-------|
| K-tech 75 | 422(2) | Z 507 m <sup>-1</sup> | žlutá | S | 0,487 |
| Twaron    | 420(1) | Z 250 m <sup>-1</sup> | žlutá | N | 0,284 |

|           |        |                       |        |   |       |
|-----------|--------|-----------------------|--------|---|-------|
| K-tech 75 | 422(2) | Z 507 m <sup>-1</sup> | žlutá  | S | 0,487 |
| Technora  | 440(1) | Z 300 m <sup>-1</sup> | běžová | N | 0,304 |

|             |        |                       |       |   |       |
|-------------|--------|-----------------------|-------|---|-------|
| K-tech 50   | 633(3) | Z 414 m <sup>-1</sup> | žlutá | S | 0,462 |
| 50/4 Kevlar | 800(4) | Z 346 m <sup>-1</sup> | žlutá | N | 0,353 |

Nitě ze **střížových vláken** vykazují podstatně **větší  $f_{kl}$**  než nitě z nekonečných vláken.

**6.4.2. Porovnání z hlediska stupně seskání a jemnosti**

Nomexové nitě:

|       |        |                       |               |   |       |
|-------|--------|-----------------------|---------------|---|-------|
| L 753 | 750(3) | Z 380 m <sup>-1</sup> | červená       | N | 0,792 |
| L 502 | 500(2) | Z 537 m <sup>-1</sup> | surová (bílá) | N | 0,769 |

|             |        |                       |               |   |       |
|-------------|--------|-----------------------|---------------|---|-------|
| CF Nomex 40 | 660(3) | Z 427 m <sup>-1</sup> | surová (bílá) | N | 0,863 |
| L 502       | 500(2) | Z 537 m <sup>-1</sup> | surová (bílá) | N | 0,769 |

**Vícenásobně skané** nitě vykazují **větší  $f_{kl}$** , než nitě skané z méně přízí.

|             |          |                       |          |   |       |
|-------------|----------|-----------------------|----------|---|-------|
| Fenilon F9  | 1485(9)  | Z 300 m <sup>-1</sup> | oranžová | S | 0,872 |
| Fenilon F12 | 1980(12) | Z 300 m <sup>-1</sup> | oranžová | S | 0,86  |

Tyto dvě nitě mají všechny parametry stejné, rozdílný je jen stupeň seskání a jejich  $f_{kl}$  je skoro stejný.

Kevlarové nitě:

|             |        |                       |       |   |       |
|-------------|--------|-----------------------|-------|---|-------|
| 50/4 Kevlar | 800(4) | Z 346 m <sup>-1</sup> | žlutá | N | 0,353 |
| Twaron      | 420(1) | Z 250 m <sup>-1</sup> | žlutá | N | 0,284 |

|             |        |                       |        |   |       |
|-------------|--------|-----------------------|--------|---|-------|
| 50/4 Kevlar | 800(4) | Z 346 m <sup>-1</sup> | žlutá  | N | 0,353 |
| Technora    | 440(1) | Z 300 m <sup>-1</sup> | běžová | N | 0,304 |

**Vícenásobně skané nitě vykazují větší  $f_{kl}$ , než nitě jednoduché.**

**6.4.3. Porovnání z hlediska zákrutů**

Nomexové nitě:

|                |        |                       |        |   |       |
|----------------|--------|-----------------------|--------|---|-------|
| Firefly Tkt 70 | 510(3) | Z 548 m <sup>-1</sup> | modrá  | S | 0,925 |
| Firefly Tkt 40 | 750(3) | Z 327 m <sup>-1</sup> | zelená | S | 0,865 |

|             |        |                       |               |   |       |
|-------------|--------|-----------------------|---------------|---|-------|
| CF Nomex 40 | 660(3) | Z 427 m <sup>-1</sup> | surová (bílá) | N | 0,863 |
| L 753       | 750(3) | Z 380 m <sup>-1</sup> | červená       | N | 0,792 |

I když je nit méně skaná a má menší jemnost, je její  $f_{kl}$  **větší**, protože je více **zakroucená**.

|                |        |                       |       |   |       |
|----------------|--------|-----------------------|-------|---|-------|
| Firefly Tkt 70 | 510(3) | Z 548 m <sup>-1</sup> | modrá | S | 0,925 |
| N-tech 70      | 480(3) | Z 684 m <sup>-1</sup> | černá | S | 0,834 |

Avšak u těchto dvou nití má větší  $f_{kl}$  nit, která je méně zakroucená.

### Kevlarové nitě:

|           |        |         |       |   |       |
|-----------|--------|---------|-------|---|-------|
| K-tech 50 | 633(3) | Z 414,2 | žlutá | S | 0,462 |
| K-tech 75 | 422(2) | Z 507   | žlutá | S | 0,487 |

|          |        |                       |        |   |       |
|----------|--------|-----------------------|--------|---|-------|
| Twaron   | 420(1) | Z 250 m <sup>-1</sup> | žlutá  | N | 0,284 |
| Technora | 440(1) | Z 300 m <sup>-1</sup> | běžová | N | 0,304 |

I když je nit méně skaná a má menší jemnost, její  $f_{kl}$  je **větší**, protože je **více zakroucená**.

## 6.5. Porovnání kevlarových a nomexových nití mezi sebou

### 6.5.1. Porovnání koeficientů pevnosti v kličce

|                |                |        |                       |       |   |       |
|----------------|----------------|--------|-----------------------|-------|---|-------|
| Coats (nomex)  | Firefly Tkt 70 | 510(3) | Z 548 m <sup>-1</sup> | modrá | S | 0,925 |
| Amann (kevlar) | K-tech 50      | 633(3) | Z 414 m <sup>-1</sup> | žlutá | S | 0,462 |

|                   |             |        |                       |         |   |       |
|-------------------|-------------|--------|-----------------------|---------|---|-------|
| Gütermann (nomex) | L 753       | 750(3) | Z 380 m <sup>-1</sup> | červená | N | 0,792 |
| Coats (kevlar)    | 50/4 Kevlar | 800(4) | Z 346 m <sup>-1</sup> | žlutá   | N | 0,353 |

|                |           |        |                       |       |   |       |
|----------------|-----------|--------|-----------------------|-------|---|-------|
| Amann (nomex)  | N-tech 70 | 480(3) | Z 684 m <sup>-1</sup> | černá | S | 0,834 |
| Amann (kevlar) | K-tech 75 | 422(2) | Z 507 m <sup>-1</sup> | žlutá | S | 0,487 |

**Nomexová nit** má při podobných parametrech **asi 2x větší  $f_{kl}$**  než kevlarová nit.

### 6.5.2. Porovnání absolutních hodnot lineární pevnosti a pevnosti v kličce

|                    |        |                       |       |   |       |
|--------------------|--------|-----------------------|-------|---|-------|
| N-tech 70 (nomex)  | 480(3) | Z 684 m <sup>-1</sup> | černá | S | 0,834 |
| K-tech 50 (kevlar) | 633(3) | Z 414 m <sup>-1</sup> | žlutá | S | 0,462 |

|                  | N-tech 70 | K-tech 50 | K-tech 50 / N-tech 70 |
|------------------|-----------|-----------|-----------------------|
| lineární pevnost | 14,28 N   | 78,5 N    | 5,5                   |
| pevnost v kličce | 23,81 N   | 72,53 N   | 3                     |

**Lineární pevnost** kevlarové nitě K-tech 50 je asi **5,5krát vyšší** než u nomexové nitě N-tech 70, avšak **pevnost v kličce** je jen **3krát vyšší**.

|                      |        |                       |         |   |       |
|----------------------|--------|-----------------------|---------|---|-------|
| L 753 (nomex)        | 750(3) | Z 380 m <sup>-1</sup> | červená | N | 0,792 |
| 50/4 Kevlar (kevlar) | 800(4) | Z 346 m <sup>-1</sup> | žlutá   | N | 0,353 |

|                  | L 753   | 50/4 Kevlar | 50/4 Kevlar / L 753 |
|------------------|---------|-------------|---------------------|
| lineární pevnost | 27,14 N | 113,8 N     | 4,2                 |
| pevnost v kličce | 42,99 N | 80,35 N     | 1,9                 |

**Lineární pevnost** kevlarové nitě 50/4 Kevlar je asi **4,2krát vyšší** než u nomexové nitě L 753, avšak **pevnost v kličce** je jen **1,9krát vyšší**.

|                        |        |                       |       |   |       |
|------------------------|--------|-----------------------|-------|---|-------|
| Firefly Tkt 70 (nomex) | 510(3) | Z 548 m <sup>-1</sup> | modrá | S | 0,925 |
| K-tech 75 (kevlar)     | 422(2) | Z 507 m <sup>-1</sup> | žlutá | S | 0,487 |

|                  | Firefly Tkt 70 | K-tech 75 | K-tech 75 / Firefly Tkt 70 |
|------------------|----------------|-----------|----------------------------|
| lineární pevnost | 11,26 N        | 48,72 N   | 4,3                        |
| pevnost v kličce | 20,48 N        | 47,41 N   | 2,3                        |

**Lineární pevnost** kevlarové nitě je asi K-tech 75 je asi **4,3krát vyšší** než u nomexové nitě Firefly Tkt 70, avšak **pevnost v kličce** je jen **2,3krát vyšší**.

## 6.6. Průměrné hodnoty koeficientů v kliče z měřených nití

| Nomex               |              | Kevlar              |              |
|---------------------|--------------|---------------------|--------------|
| Nit                 | $f_{kl}$     | Nit                 | $f_{kl}$     |
| N-tech 70           | 0,834        | K-tech 50           | 0,462        |
| L 753               | 0,792        | K-tech 75           | 0,487        |
| L 502               | 0,769        | Twaron              | 0,284        |
| Fenilon F9          | 0,872        | Technora            | 0,304        |
| Fenilon F12         | 0,86         | 50/4 Kevlar         | 0,353        |
| Nomex F3            | 0,928        | $\overline{f_{kl}}$ | <b>0,378</b> |
| Firefly Tkt 40      | 0,865        |                     |              |
| Firefly Tkt 70      | 0,925        |                     |              |
| CF Nomex 40         | 0,863        |                     |              |
| $\overline{f_{kl}}$ | <b>0,856</b> |                     |              |

Tab. 5 Průměrné hodnoty koeficientů pevností v kliče ze zkoušených vzorků nití

Z celého experimentu vyplývá, že koeficient pevnosti v kliče je u nomexové nitě asi dvakrát větší než u kevlarové. To vychází i z výpočtu průměrů (viz. tab.5 ).

Zatím co **koeficient pevnosti v kliče** se u **nomexových nití** pohybuje okolo hodnot **0,8 - 0,9**, u **kevlarových nití** jsou to hodnoty okolo **0,35 – 0,45**.

## 6.7. Porovnání polyesterových nití

K porovnání rozdílu mezi nití spřádanou z nekonečného vlákna a ze střížových vláken, byly na trhačce vyzkoušeny dvě polyesterové nitě.

| Firma | Nit               | dtex   | Barva | S/N | $f_{kl}$ |
|-------|-------------------|--------|-------|-----|----------|
| Coats | ASTRA             | 289(2) | bílá  | S   | 0,893    |
| Amann | Saba <sup>c</sup> | 282(2) | bílá  | N   | 0,735    |

Tab. 6 Zkoušené polyesterové nitě

Nit spředená ze **střížových vláken** má **větší  $f_{kl}$**  stejně jako nitě kevlarové a nomexové.

## 7. Závěr

Tato bakalářská práce se zabývá analýzou pevnosti kevlarových a nomexových nití v kličce. Hlavním úkolem bylo zjistit koeficient pevnosti v kličce a dále určit faktory, které tuto pevnost nejvíce ovlivňují .

K tomuto porovnání byly na trhacím stroji naměřeny hodnoty pevnosti daných nití v lineárním stavu a v kličce. Z těchto hodnot se vypočítal tzv. koeficient pevnosti v kličce, který byl rozhodující při porovnání ovlivňujících faktorů. Faktory se posuzovali tři a to, zda je nit skaná z nekonečného vlákna nebo ze střížových vláken, jemnost a stupeň skaní a zákrut. K tomu, aby byl daný faktor vyhodnocen jednoznačně, by bylo potřeba provést zkoumání zaměřené pouze na tento faktor a to velkém množství nití. Z této bakalářské práce nelze vzhledem k omezenému množství a různorodosti nití jednoznačně určit ovlivňující faktory.

Dané faktory se však ukázaly při měření jako ovlivňující. Rozdíly se jevily u kevlarových i nomexových nití stejně. Při porovnání nití skaných z nekonečného vlákna a ze stříže měli větší hodnotu  $f_{kl}$  nitě skané ze střížových vláken. Tento faktor měl největší vliv. Při zvyšující se jemnosti se  $f_{kl}$  nějak zásadně neměnil, ale větší hodnoty měli nitě vícenásobně skané. Vyšší hodnotu  $f_{kl}$  vykazovali také nitě, které byly více zakroucené. Poslední dva faktory měli menší vliv na rozdíly koeficientů pevnosti v kličce.

Zásadní rozdíly velikosti  $f_{kl}$  byly při porovnání nomexových a kevlarových nití mezi sebou. Koeficient se u nomexových nití pohyboval okolo hodnot 0,8 – 0,9 a u kevlarových nití byla jeho velikost okolo 0,35 – 0,45. Z toho vychází zjištění, že koeficient pevnosti v kličce mají nomexové nitě asi dvakrát vyšší než kevlarové. Dá se tedy předpokládat, že kevlarové nitě jsou křehčí.

Vzhledem k tomu, že některé faktory nebyly jednoznačně prokázány, bych doporučovala pokračovat ve zkoumání pevnosti v kličce i nadále se zaměřením na jeden určitý faktor.

Při požadavku na vyšší pevnost v kličce u nomexových a kevlarových nití bych z výsledků této bakalářské doporučila používat při spojovacím procesu nitě skané ze střížových vláken, které mají vyšší zákrut.

## 8. Seznam použitých zdrojů

- [1] Militký, J.: Speciální vlákna, Technická univerzita Liberec 2002
- [2] Technická univerzita Liberec – databáze skript [online]. Dostupné z <<http://www.ft.tul.cz/databaze/skripta/data/2006-03-16/12-55-07.pdf>>, poslední aktualizace 20.4.2007 (cit. 1.2.2007)
- [3] Polymer science learning center [online]. Dostupné z <<http://www.pslc.ws/mactest/aramid.htm>>, poslední aktualizace 2.4.2007 (cit. 9.11.2007)
- [4] Seznam encyklopedie [online]. Dostupné z <<http://encyklopedie.seznam.cz/heslo/470499-aramid>>, poslední aktualizace 10.3.2007 (cit. 7.3.2007)
- [5] Seznam encyklopedie [online]. Dostupné z <<http://encyklopedie.seznam.cz/heslo/484663-polyamidova-vlakna>>, poslední aktualizace 7.3.2007 (cit. 7.3.2007)
- [6] Somac threads [online]. Dostupné z <<http://www.somac.co.uk/nomex.htm>>, poslední aktualizace 20.3.2007 (cit. 1.3.2007)
- [7] Kovačič, V.: Textilní zkušebnictví, Technická univerzita Liberec 2002
- [8] Kovář, R.: Struktura a vlastnosti plošných textilií, Liberec 2002
- [9] Chrpová, E.: Technologie tkaní, Liberec 2006
- [10] Technická univerzita Liberec – databáze skript [online]. Dostupné z <<http://skripta.ft.tul.cz/data/2006-09-22/11-35-15.pdf>>, poslední aktualizace 20.4.2007 (cit. 1.4.2007)
- [11] Technická univerzita Liberec – databáze skript [online]. Dostupné z <<http://skripta.ft.tul.cz/data/2006-03-22/10-16-07.pdf>>, poslední aktualizace 20.4.2007 (cit. 1.4.2007)
- [12] Technická univerzita Liberec – databáze přístrojů [online]. Dostupné z <<http://www.ft.vslib.cz/databaze/pristroje/detail.cgi?detail=9>>, poslední aktualizace 25.4.2007 (cit. 27.3.2007)
- [13] Mountain shop [online]. Dostupné z <<http://www.mountainshop.cz/katalog/obleceni/rukavice-kamase/rukavice-verve-150.html#kod-0>>, poslední aktualizace 27.3.2007 (cit. 10.3.2007)



- [14] Armyshop Smrtihlav [online]. Dostupné z  
<[http://www.smrtilav.cz/index.php?main\\_page=product\\_info&cPath=4\\_57&products\\_id=527&zenid=b7d0cd8bc5f36aa2a1e010899c9723ae](http://www.smrtilav.cz/index.php?main_page=product_info&cPath=4_57&products_id=527&zenid=b7d0cd8bc5f36aa2a1e010899c9723ae)>, poslední aktualizace 27.3.2007 (cit. 27.3.2007)
- [15] Výzkumný ústav pletářský, a.s. [online]. Dostupné z  
<<http://www.vup.cz/index.php?typ=VUG&showid=49>>, poslední aktualizace 27.3.2007 (cit. 27.3.2007)
- [16] Oficiální stránky firmy Deva F-M [online]. Dostupné z <<http://www.deva-fm.cz/cesky/index2.htm>>, poslední aktualizace 27.4.2007 (cit. 27.4.2007)

## **9. Seznam příloh**

### **Přílohová část 1**

Příloha č. 1 Tabulky hodnot z trhacího přístroje TIRA Test 2300

Příloha č. 2 Tabulky naměřených hodnot na zákrutoměru

### **Přílohová část 2**

Příloha č. 3 Materiálové listy firmy Amann

Příloha č. 4 Materiálové listy firmy Gütermann

Příloha č. 5 Materiálové listy firmy Coats

Příloha č. 6 Materiálový list firmy Orikon

Příloha č. 7 Obrázky průběhu zkoušek na trhacím stroji

Příloha č. 8 Informace od hasičských záchranných sborů ČR