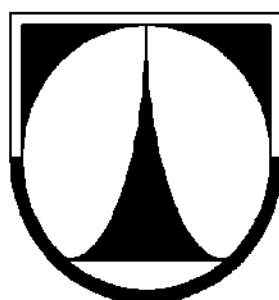


TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA TEXTILNÍ



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2009

Iva Pokorná

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA TEXTILNÍ



Studijní program: B3107 Textil

Studijní obor: Textilní materiály a zkušebnictví

ANALÝZA VLASTNOSTÍ KEVLAROVÝCH VLÁKEN

ANALYSIS OF THE PROPERTIES OF KEVLAR FIBRES

Iva Pokorná

KTM - 524

Rozsah práce:

Počet stran textu.....47

Počet obrázků.....26

Počet tabulek.....14

Počet grafů.....2

Počet stran příloh.....3

PROHLÁŠENÍ

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

Souhlasím s umístěním *diplomové (bakalářské)* práce v Univerzitní knihovně TUL.

Byl/a jsem seznámen/a s tím, že na mou diplomovou (*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 diplomové (*bakalářské*) práce a prohlašuji, že **s o u h l a s í m** s případným užitím mé diplomové (*bakalářské*) práce (prodej, zapůjčení apod.).

Jsem si vědom toho, že užít své diplomové (*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).

V Liberci dne 26.5.2009

.....
Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych touto cestou poděkovala mému vedoucímu práce, panu Ing. Vladimíru Kovačičovi za poskytnutou literaturu, za konzultace a veškerou pomoc při psaní mé bakalářské práce. Dále chci poděkovat paní Ing. Miroslavě Maršálkové a paní Ing. Janě Grabmüllerové z KTM, které mi byly nápomocné při řešení technických problémů a při vyhodnocování výsledků. Speciální dík patří panu Ing. Janu Grégrovi, za jeho cenné rady, připomínky a podněty k vypracování této práce.

ANOTACE

Tato práce se zabývá analýzou vlastností kevlarových vláken. Práce je rozdělena na 2 části a to na teoretickou a experimentální. V teoretické části je pojednáno o celém procesu výroby vlákna Kevlar. Dále jsou zde uvedeny mechanické, chemické a termické vlastnosti a v neposlední řadě také jeho použití.

Experimentální část se zabývá již praktickým ověřováním jednotlivých vlastností. Kromě studia základních vlastností, jako je jemnost, tvar příčného průřezu a průměru vláken, bylo vlákno ponecháno v peci při 450 a 220°C, aby mohly být porovnány změny mechanických vlastností. Vlákná se také měřila metodou DSC.

V příloze jsou obrázky z rastrovacího elektronového mikroskopu, které ukazují účinky tepla na strukturu Kevlaru.

Klíčová slova: Kevlar, mechanické vlastnosti, diferenční skenovací kalorimetrie, povrchová energie, rastrovací elektronový mikroskop

ANNOTATION

This thesis deals with the analysis of properties of Kevlar fibres. The thesis is divided into two parts, namely into a theoretical one and an experimental one. In the theoretical part the whole process of the Kevlar production is mentioned. Moreover, mechanical, chemical and thermal properties and of course application are also described in this part.

The experimental part deals with practical checking of individual properties. Except the study of basic properties (like fineness, shape of cross section and average of fibres) the fibre was left in an oven at temperature of 220°C and 450°C in order to see the difference between mechanical properties. The fibres were also measured by DSC method.

In an appendix there are pictures from electron scanning microscope, which show effects on the structure of Kevlar.

Key words: Kevlar, mechanical properties, differential scanning calorimetry, surface energy, and scanning electron microscope

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

T		termodynamická teplota
T	[tex]	jemnost
t	[dtex]	jemnost vlákna
E	[MPa]	počáteční modul pružnosti v tahu
F _r	[N/tex]	relativní pevnost
σ _p	[%]	tažnost
ρ	[g/cm ³]	hustota
γ	[N/m]	povrchová energie
LOI		limiting oxygen index - limitní kyslíkové číslo
DSC		diferenční skenovací kalorimetrie
DTA		diferenční termická analýza
NIJ		National Institute of Justice – Národní právní institut
CEN		Comité Européen de Normalisation – Evropská komise pro normalizaci
ČSN		Česká státní norma
IS		interval spolehlivosti
KTM		Katedra textilních materiálů
REM		rastrovací elektronový mikroskop

OBSAH

Úvod	10
1. Teoretická část	11
1.1 Speciální vlákna	12
1.2 Kevlar	12
1.2.1 Vývoj vlákna	13
1.2.2 Příprava polymeru	14
1.2.3 Zvlákňování	14
1.2.4 Modely struktury kevlarového vlákna	15
1.3 Mechanické vlastnosti	17
1.4 Termické vlastnosti	18
1.4.1 Metoda DSC	19
1.5 Chemické vlastnosti	20
1.6 Použití	20
1.6.1 Neprůstřelné vesty	21
1.6.2 Ochranné oblečení	23
1.6.3 Kompozitní materiály	23
2. Experimentální část	25
2.1 Použitá vlákna a metody	26
2.2 Analýza geometrických vlastností	27
2.2.1 Jemnost vláken	27
2.2.2 Průměry a ekvivalentní průměry vláken	28
2.2.3 Plocha příčných řezů a obvody vláken	31
2.3 Analýza mechanických vlastností	33
2.3.1 Relativní pevnost jednotlivých vláken	33
2.3.2 Tažnost jednotlivých vláken	34
2.3.3 Analýza svazku vláken	36
2.4 Termická analýza	37
2.4.1 Metoda DSC	37
2.4.2 Tepelné zatěžování	38
2.5 Povrchová energie	39
2.6 Rastrovací elektronový mikroskop	42

3. Diskuse výsledků.....	43
3.1 Geometrické vlastnosti.....	43
3.2 Mechanické vlastnosti.....	43
3.3 Termické vlastnosti.....	44
3.4 Povrchové vlastnosti.....	44
4. Závěr.....	46
5. Použitá literatura.....	47
6. Přílohy.....	48

ÚVOD

V posledních letech se na textilní vlákna kladou stále větší požadavky, ať už na vlákna klasická či speciální. A právě speciální vlákna nabývají čím dál více na významu, neboť jejich struktura se dá ovlivnit již ve výrobním procesu a vlákna mají požadovanou vlastnost v sobě „zakódovanou“. Takto se mohou vyrábět vlákna nehořlavá, vysoce pevná, chemicky odolná apod.

Mezníkem ve vývoji syntetických vláken byl objev žlutého vlákna Kevlar v 70.tých letech. Vláknem poprvé syntetizovala Stephanie Kwolek z americké firmy DuPont a ukázalo se, že toto vlákno má unikátní kombinaci vysoké pevnosti, tepelné stability a vysokého modulu. Kevlar proto nahradil dosud známé materiály, jako byla např. ocel v kordech pneumatik. Od té doby se Kevlar stal nedílnou součástí v různých oborech průmyslu. Aplikace v leteckém průmyslu, balistická ochrana, kompozitní materiály jsou jen ukázky, kde se dá vlákno použít.

S kevlarovým vláknem mám osobní zkušenost, kterou bych zde ráda zmínila. Již 10 let aktivně jezdím na kajaku, který se vyrábí právě z Kevlaru, přesněji jde o kevlar-uhlíkový kompozit. V porovnání s jinými materiály (např. sklolaminát nebo jen uhlíkový kompozit) jsou tyto lodě mnohem lehčí, lépe se ovládají, ale díky materiálu, z kterého jsou vyrobené, je jejich cena poměrně vyšší. U uhlíkového kompozitního materiálu je hlavní problém v tom, že je křehký. To byl hlavní důvod, proč jsem si jako téma své bakalářské práce vybrala právě Kevlar.

Cílem této práce je seznámit se a popsat kevlarové vlákno od jeho vzniku přes jeho strukturu až po základní geometrické, mechanické a povrchové vlastnosti, popsat tepelné vlivy na strukturu vlákna a vlastnosti experimentálně ověřit.

1. TEORETICKÁ ČÁST

1.1 Speciální vlákna

Speciální vlákna je obecný název pro vlákna, která se používají v aplikacích, v kterých jsou potřeba lepší vlastnosti, než které mají vlákna klasická. Speciální vlákna se vyrábí již s požadovanými vlastnostmi jako např. vysoká pevnost, vysoký počáteční modul v tahu, omezená hořlavost atd.

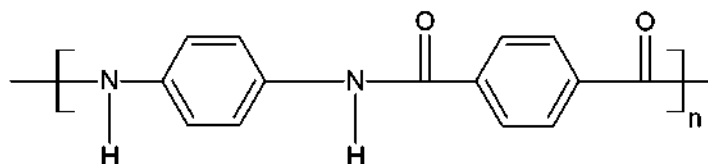
Podle vlastností lze speciální vlákna dělit do následujících skupin:

- vysoce výkonná vlákna
- vysoce funkční vlákna
- vlákna pro speciální aplikace
- speciální polymery
- vlákna pro kompozitní materiály

Kevlarové vlákno, které je tématem této práce, patří mezi vysoce výkonná vlákna a vše, co se jeho výroby, vlastností a použití týče, je popsáno v následujících kapitolách.

1.2 Kevlar

Kevlarové vlákno je z chemického hlediska poly (p-fenylen tereftalatamid) a patří mezi aromatické polyamidy, zkráceně aramidy. Název aramid byl vytvořen speciálně pro polyamidová vlákna, která mají dlouhé řetězce a alespoň 85% amidových vazeb (-CO-NH-) spojuje dvě benzenová jádra [1]. Aramidy jsou tedy lineární syntetické makromolekuly s aromatickými jádry, které jsou vzájemně spojeny amidovými vazbami v poloze para, viz obr. 1.



Obr. 1 - Chemická struktura Kevlaru

Díky své chemické struktuře má Kevlar specifické vlastnosti, které se zásadně liší od klasických polyamidů. Aromatickým polyamidům poskytují právě benzenová jádra tepelnou stabilitu a propojení vazeb v poloze para mu dodávají vysokou pevnost a počáteční modul v tahu a zároveň tepelnou odolnost - je dlouhodobě použitelný

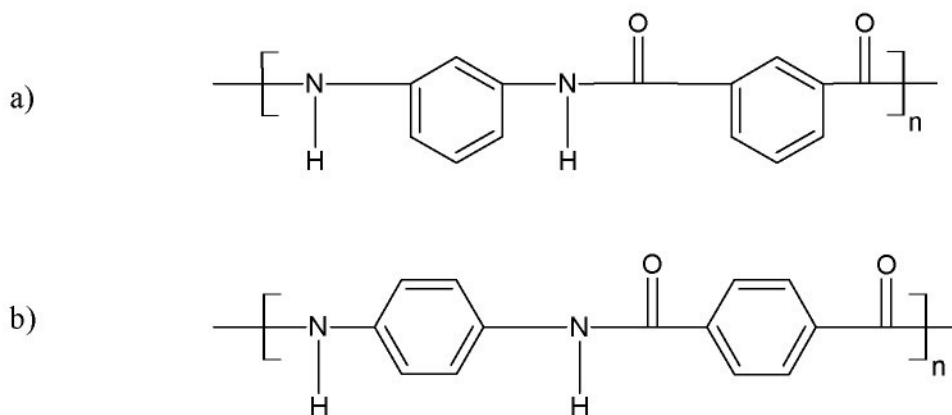
do 180°C, při vyšších teplotách se snižuje pevnost a modul a při 450°C nastává rozklad vlákna. Z tohoto důvodu našlo vlákno Kevlar uplatnění v mnoha oblastech - používá se k výrobě letadel a raketoplánů, velmi důležitým produktem jsou neprůstřelné vesty a boty proti náslapným minám, ohnivzdorné a ochranné oblečení, dále sportovní potřeby a používá se do kompozitních materiálů.

1.2.1 Vývoj vlákna

Na začátku 60.ých let představovaly zástupce syntetických vláken polyester a nylon. Tato vlákna mají pružné polymerní řetězce a díky tomu také nízký modul a malou odolnost vůči zvýšeným teplotám. Pro kombinaci vysokého počátečního modulu, vysoké pevnosti a tepelné odolnosti je nutné, aby řetězce makromolekuly byly dlouhé a tvořily krystalické fáze ve struktuře vláken. Proto bylo vyvinuto americkou firmou DuPont vlákno Nomex, první ze skupiny aromatických polyamidů. Toto vlákno patří mezi meta-aramidy (obr. 3a) a vyznačuje se termickou odolností a elektrickou izolační schopností. Dalším důležitým vláknem, které představila tatáž firma, bylo právě vlákno Kevlar, patřící, jak už bylo uvedeno výše, do skupiny para-aromatických polyamidů (obr. 3b). Vlákno syntetizovala Stephanie Kwolek (obr. 2) v roce 1965 a na trh bylo uvedeno o 6 let později. Na konci 80.ých let bylo představeno vlákno Twaron, které se po chemické stránce od Kevlaru neliší, ale bylo vyvinuto firmou Akzo a nyní ho vyrábí firma Teijin.



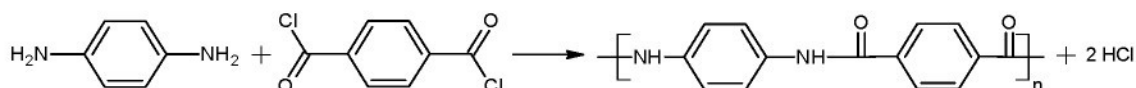
Obr. 2 - Stephanie Kwolek



Obr. 3 - a) struktura meta- a b) para-aramidů

1.2.2 Příprava polymeru

Příprava polymeru a jeho následné zvlákňování jsou z hlediska výsledných vlastností vláken velmi důležité. Jako výchozí látky se pro přípravu polymeru používají 1,4-fenylendiamin a dichlorid kyseliny tereftalové. Syntéza obvykle probíhá při nízké teplotě - jedná se o tzv. nízkoteplotní polykondenzaci - a vzniká při ní poly (p-fenylentereftalamid) a kyselina chlorovodíková jako vedlejší produkt, jak je patrné z obrázku 4.



Obr. 4 - Syntéza Kevlaru

Možností, jak lze syntetizovat Kevlar je pochopitelně více. V literatuře [1] je popsán způsob, při kterém se ve směsi hexamethylenfosforamidu a N-methylpyrrolidonu rozpustí 1,4-fenylendiamin. Tato směs se následně ochladí v lázni acetonu v dusíkové atmosféře na teplotu -15°C a za současného míchání se přidá dichlorid kyseliny tereftalové. Tím vznikne hustý gel, který se nechá odstát na teplotu kolem 22°C . Následuje praní ve vodě, které odstraní rozpouštědlo a kyselinu chlorovodíkovou. Výsledný polymer je získán filtrací a je možné ho dále zpracovávat.

1.2.3 Zvlákňování

Aramidová vlákna se zvlákňují pouze z roztoku a to kvůli jejich teplotě tání, která je vyšší než teplota rozkladu. Pro zvlákňování se používá 10 - 20% roztok polymeru v kyselině sírové H_2SO_4 , který neobsahuje vodu a který se zahřeje na 80°C [2]. Koncentrace a teplota roztoku je velice důležitá z hlediska orientace polymerních řetězců a tudíž i výsledných mechanických vlastností. Za výše zmíněných podmínek (10 - 20% koncentrace, 80°C) je v roztoku převážně nematická fáze, tzn. že molekuly jsou orientovány téměř v jednom směru (obr. 5). Tato fáze se v průběhu koagulace mění na smektickou (obr. 6), v které jsou molekuly uspořádány v symetricky v řadách.

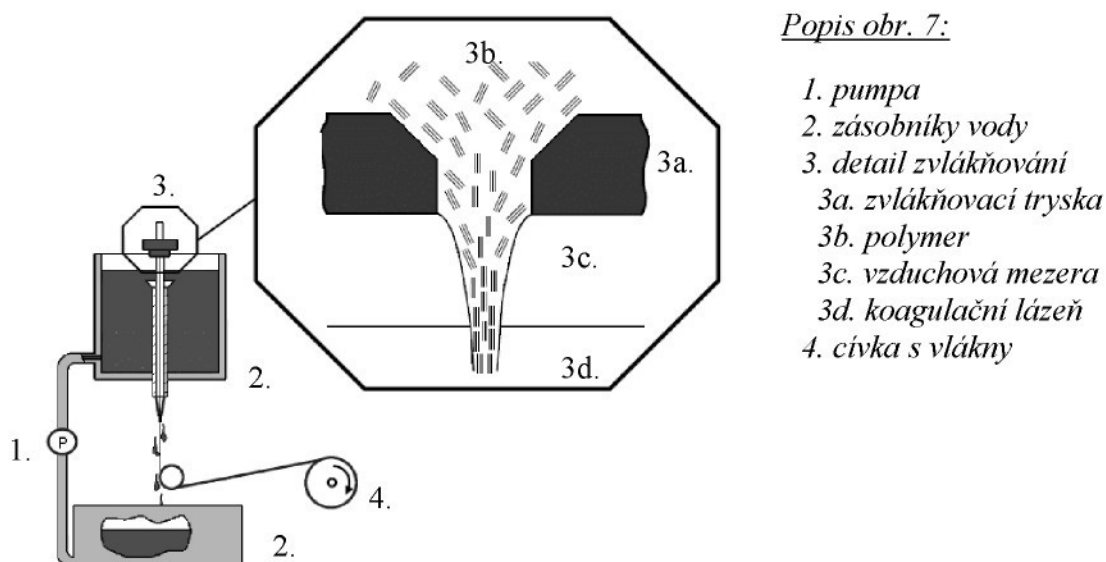


Obr. 5 – Nematická struktura



Obr. 6 – Smektická struktura

Způsob, kterým se zvláknují aramidová vlákna, se nazývá dry-jet wet a je znázorněn na obrázku 7. Tato metoda spočívá ve vytlačování roztoku vzduchovou mezerou do koagulační lázně, což je v tomto případě studená voda. Vlákna se následně neutralizují, perou, suší a dlouží krátkodobým zahřátím pod napětím, díky čemuž se zvýší pevnost, tuhost a počáteční modul.



Obr. 7 - Zvláknování systémem dry-jet wet a detail vzduchové mezery

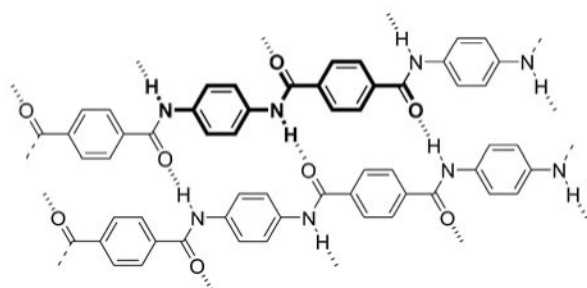
1.2.4 Modely struktury kevlarového vlákna

Modely struktury kevlarového vlákna jsou navrženy na základě pozorování pod mikroskopy a za pomoci elektronové difrakce.

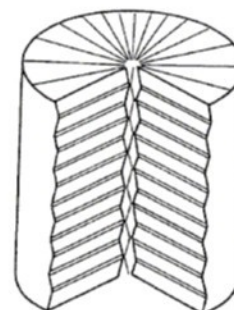
Struktura kevlarového vlákna je velice specifická. Především jde o vlákno polymerní, tudíž se ve vlákně vyskytují krystalické a amorfní části. Stupeň krystalinity se u Kevlaru pohybuje kolem 95% a úhel řetězců vzhledem k ose vlákna se pohybuje kolem 5-9°.

Jak už bylo uvedeno několikrát, skládá se Kevlarové vlákno z makromolekul poly (p-fenylentereftalamidu). Mezi jednotlivými makromolekulami existují vazby, které způsobují pevnost vlákna. Jedná se především o vazby vodíkovými můstky, které jsou znázorněné na obr. 8. Vodíkovými můstky jsou spojeny makromolekuly, které

vytváří rovinné vrstvy. Tyto vrstvy tvoří uspořádané skládané lamely, které jsou znázorněné na obrázku 9.

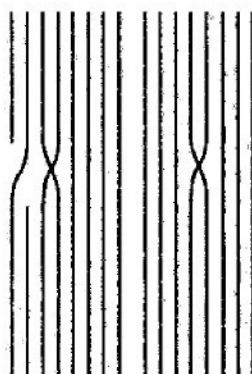


Obr. 8 - Makromolekuly propojené vodíkovými můstky



Obr. 9 - Lamelární struktura

Vodíkové můstky také způsobují, že je kevlarové vlákno vysoce krystalické. Obrázek 10 charakterizuje krystalický model vlákna. Na tomto modelu vlákna představují jednotlivé linie polymerní řetězce. Řetězce jsou převážně rovné, občas se vyskytne záhyb nebo jeho přerušení, a tyto defekty znázorňují amorfní oblasti vlákna.



Obr. 10 - Krystalická struktura vlákna

Kevlarové vlákno je zajímavé ještě z jednoho hlediska své struktury. Vyskytuje se u něho tzv. skin-core efekt, ke kterému dojde při koagulaci, když se nematická struktura mění na smectickou. Tento proces způsobí, že se v pokožce vlákna vyskytuje jiná orientace a uspořádání řetězců než v jádře [2].

Chemická struktura a vzhled vlákna v tomto případě také souvisí, protože kevlarové vlákno je žluté. Je to způsobeno vazbou C-N, která je připojená k aromatickému jádru právě v poloze para. U meta-aramidů se tento efekt nevyskytuje.

1.3 Mechanické vlastnosti

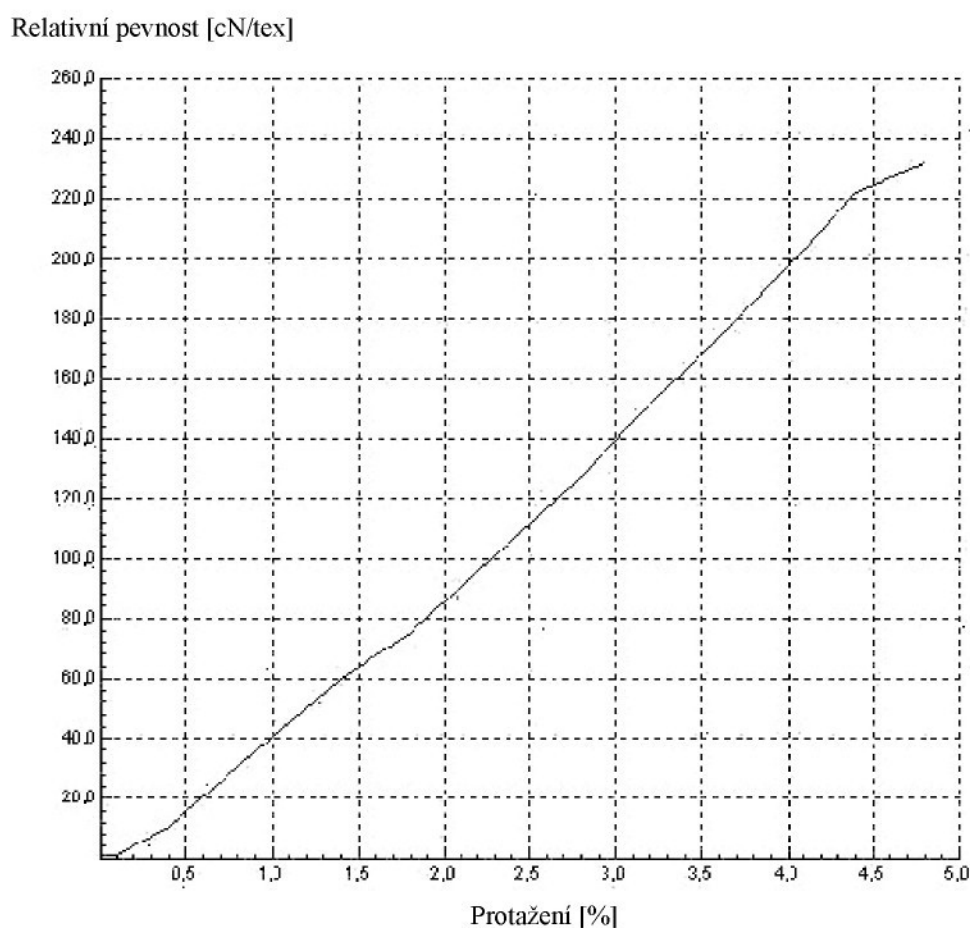
Mechanické vlastnosti jsou nejdůležitějším měřítkem v posuzování kvality vláken a souvisí s chemickým složením vlákna, molekulové hmotnosti polymerních řetězců, podmínkách zvlákňování a fixace. Důležité charakteristiky jsou především pevnost v tahu, počáteční modul a tažnost.

Pevnost je definována buď jako relativní síla do přetrhu F_r , která se udává v jednotkách $[N \cdot tex^{-1}]$, nebo jako napětí do přetrhu σ_p udávané v jednotkách $[GPa]$.

Vztah mezi takto definovanou pevností je:

$$\sigma_p = F_r \cdot \rho \quad (1)$$

Tažnost je deformace do přetrhu ε_p v [%] a počáteční modul je definován jako derivace pracovního diagramu (diagram, který sleduje vztah mezi silou a protažením vláken) v počátku. Ukázka tahové křivky Kevlaru je na obr 11.



Obr. 11 - Tahová křivka Twaronu

V tabulce 1 jsou uvedeny základní mechanické vlastnosti různých typů aramidových vláken.

Tab. 1 - Mechanické vlastnosti [3, dopočítané hodnoty modulu v GPa]

	Pevnost v tahu [N·tex ⁻¹]	Modul [N·tex ⁻¹]	Modul [GPa]	Prodloužení [%]	Hustota [g/cm ³]
Kevlar 29	2,0	49,0	70,56	3,6	1,44
Kevlar 49	2,0	78,1	112,5	2,4	1,44
Kevlar 119	2,1	38,0	54,7	4,4	1,44
Kevlar 129	2,3	68,9	99,2	3,3	1,44
Kevlar 149	1,6	115	169	1,5	1,47

1.4 Termické vlastnosti

Kevlarové vlákno patří do skupiny nehořlavých vláken. Hořlavost a nehořlavost materiálu se udává tzv. limitním kyslíkovým číslem (LOI). Toto číslo vyjadřuje v procentech nejnížší možnou koncentraci kyslíku ve směsi s dusíkem, která ještě stačí na to, aby materiál při podmínkách zkoušky hořel [4]. Rovnice 2 vyjadřuje výpočet limitního kyslíkového čísla. Materiály, které jsou nehořlavé, mají LOI větší než 20.

$$LOI = \frac{[O_2]}{[N_2] + [O_2]} \cdot 100 \text{ [%]} \quad (2)$$

Hodnota limitního kyslíkového čísla je pro Kevlar rovna 29, pro meta-aramidy je to hodnota 30. Pokud je Kevlar vystaven plameni, netaví se, ale dojde k jeho zuhelnatění, tedy pyrolýze. Pyrolýza para-aramidů obecně nastává při teplotách kolem 450°C, u meta-aramidů se jedná o teplotu kolem 415°C.

Kevlar je dlouhodobě stabilní do teploty ~ 220°C, dlouhodobě použitelný do 180°C a pokud je vystaven teplotě 300°C, tak si ponechává 50% své pevnosti a 70% počátečního modulu.

Termické vlastnosti se sledují pomocí termické analýzy, např. metodou DSC, která je popsána v následující kapitole.

1.4.1 Metoda DSC

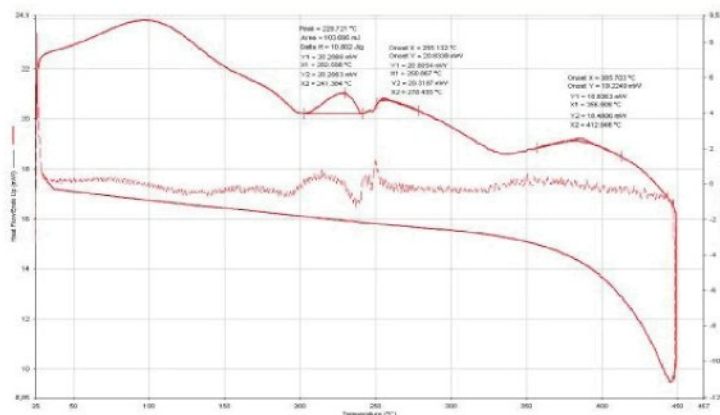
„Diferenční skenovací kalorimetrie je metoda, pomocí níž se stanovují tepelné vlastnosti polymerních materiálů. Jde především o teploty tání, teploty krystalizace a zesklenní, atd. Princip DSC spočívá v udržování stejné teploty ve vzorku i referenční látce a v měření energie, která se musí dodávat buď do vzorku (pokud ve vzorku probíhá endotermní děj) nebo do referenční látky (ve vzorku probíhá exotermní děj) proto, aby se udržel nulový rozdíl teplot ($\Delta T = 0$).

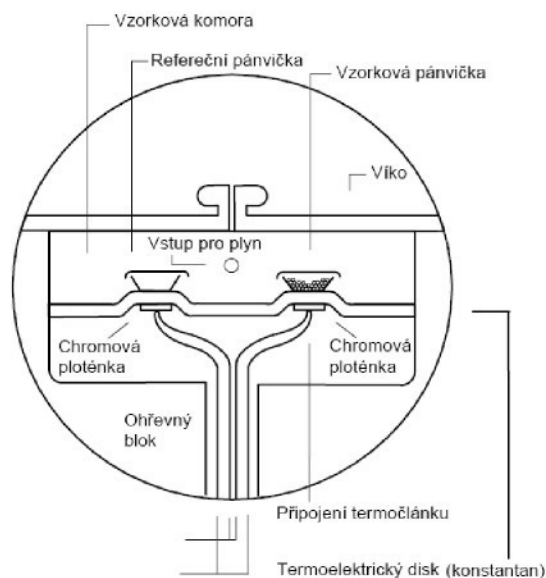
Při metodě DSC se tedy vzorek podrobuje lineárnímu ohřevu a rychlost tepelného toku ve vzorku, která je úměrná okamžitému měrnému teplu, se plynule měří. V pracovní komůrce jsou dva nosiče pro vlastní vzorek a pro vzorek srovnávací jako při metodě DTA s tím rozdílem, že nosiče obou vzorků mají zabudována (mimo teplotní čidla) i topná těliska (tzv. mikropříhřev), která vnějším vstupním napětím umožňují ovlivňovat teplotu vzorků. Celý systém pracuje tak, aby rozdíl teploty mezi vlastním vzorkem a srovnávacím vzorkem byl nulový. Probíhá-li tedy ve vzorku endotermní děj, je absorbovaná energie kompenzována zvýšeným příkonem tepla topným tělískem a naopak. Ve srovnání s metodou DTA se neměří diferenční teplota, nýbrž elektrický příkon potřebný k vyrovnání teploty při tepelně zabarveném ději mezi vzorkem vlastním a srovnávacím.

Výhodou metody DSC je použití malých hmotností vzorků, které se pohybují řádově v mg, výhodného geometrického uspořádání vzorku (misky z kovových folií) a tím je umožněna i vysoká rychlost ohřevu (až 80°C/min).“

Text je citován z literatury [5].

Na obr. 11 je křivka DSC Kevlaru a na obr. 12 je schéma přístroje DSC.

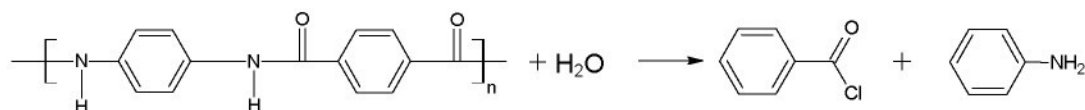




Obr. 12 - Schéma přístroje DSC

1.5 Chemické vlastnosti

Kevlarové vlákno má díky své vysoké krystalinitě dobrou chemickou odolnost. Odolává působení většiny zředěných kyselin a zásad a organickým rozpouštědlům. Jedinou výjimku tvoří koncentrované kyseliny a zásady, které způsobují degradaci vláken. Vlákná jsou citlivá také na hydrolýzu (obr. 11).



Obr. 11 - Hydrolýza kevlarového vlákna

1.6 Použití

Díky svým výborným vlastnostem, které byly popsány v předchozích kapitolách, má Kevlar využití v širokém rozsahu v mnoha odvětví průmyslu. Používá se pro výrobu ohnivzdorného a ochranného oblečení, helem a neprůstřelných vest, kompozitních materiálů, také ho lze najít jako výztuž v pneumatikách, v kabelech a lanech, vyrábí se z něho části letadel a raketoplánů, sportovní pomůcky a lodě.

Následující tabulka 2 [6] sumarizuje typy Kevlaru a uvádí jejich použití.

Tab. 2 - Různé typy Kevlaru a jejich použití

	Vlastnosti	Použití
Kevlar 29	Počáteční modul: 67 GPa Tažnost: 3,6 % Pevnost v tahu: 2,6 N/tex	Nejvíce používané vlákno (ochranné oděvy, neprůstřelné vesty, lana, náhrada azbestu, kompozitní materiály)
Kevlar 49	Počáteční modul: 114 GPa Tažnost: 2,4 % Pevnost v tahu: 2,0 N/tex	Aplikace v leteckém průmyslu
Kevlar 68	Modul E o 10 - 15% menší než Kevlar 49	Zpevnění optických kabelů
Kevlar 119	O 20% větší prodloužení než Kevlar 29	Zpevnění elastomerů (klínové řemeny)
Kevlar 129	O 15-20% větší pevnost a o 30-35% větší modul než Kevlar 29	Balistické aplikace
Kevlar 149	Největší modul E (146 GPa) ze všech Kevlarů	Aplikace v leteckém průmyslu
Kevlar 159	Největší houževnatost ze všech Kevlarů	Pro vnitřky nákladních letadel

Ze všech vyjmenovaných použití se v následujících kapitolách zmíním alespoň o těch, s kterými se můžeme setkat v běžném životě.

1.6.1 Neprůstřelné vesty

Lidé se proti střelám chránili od dob válek všemi možnými způsoby a postupem času se výrobky vyvíjely a zdokonalovaly. K nejznámějším způsobům ochrany lidského těla jistě patří neprůstřelná vesta. Předchůdcem této vesty byla pevná bunda z nylonových vláken doplněná kovovými destičkami, která se poprvé objevila v období mezi světovými válkami. S příchodem Kevlaru se neprůstřelné vesty začínaly vyrábět z tohoto materiálu, ale v dnešní době jsou nahrazeny jinými materiály, např. vláknem Dyneema.

V České republice vyrábí neprůstřelné vesty firmy STONETEX, s.r.o., dále pak firma Petris a firma Hodonský.

Důležitou vlastností vláken, z kterých jsou neprůstřelné vesty vyráběny, je vysoká pevnost v tahu a schopnost se plasticky deformovat při působení síly kolmo na osu vlákna. Pokud do vesty narazí střela, je zachycena několika vrstvami tkaniny, které absorbují a rozptýlí energii nárazu, a střela se tímto deformuje.

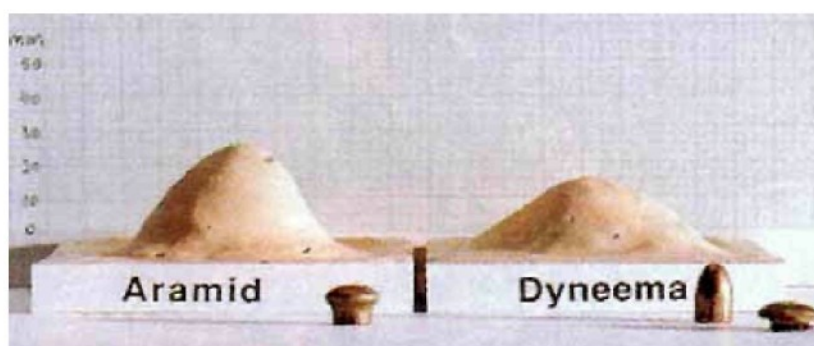
Balistická odolnost neprůstřelných vest je dána počtem vrstev aramidové nebo polyethylenové tkaniny, její dostavou, jemností vláken a plošnou hmotností. Třída balistické odolnosti přesně vymezuje proti jakým střelným zbraním a projektilům musí vesta bezpečně svého uživatele chránit. Jednotlivé třídy balistické odolnosti určují normy: - nejpoužívanější je americká norma NIJ 0101.04 a německá norma AK II

- norma na úrovni EU - CEN

- v České republice platí norma ČSN 39 5360, která je považována za nej přísnější

Konstrukce všech vest musí být taková, aby kryla životně důležité části trupu, ramen, krku a klínu. Vesta se musí snadno oblékat a bezpečně zapínat pomocí stuhových uzávěrů v kombinaci s pružinkami. Zapínání musí splňovat svoji funkci i za nepříznivých podmínek nebo v případě fyzického kontaktu. Vesta nesmí výrazně omezovat uživatele při jeho činnosti, musí umožňovat normální pohyb při chůzi, zákrocích, střelbě a při jízdě automobilem.

Pro zvýšení ochrany uživatele před účinky projektilů se neprůstřelné vesty vybavují tzv. antišokovými vložkami. Tyto vložky se umísťují ve vestě směrem k tělu a tkají se z různých materiálů schopných absorbovat kinetickou energii, případně ji rovnoměrně rozložit na větší ploše tak, aby nedošlo po zásahu k rozsáhlým podlitinám nebo dokonce k poranění žebířů uživatele. Normy přesně stanovují, jak hluboký a objemný otisk v plastelině, imitující lidské tělo, může při zkušebních střelbách zanechat projektil, viz obr. 12. ČSN 39 5360 stanovuje maximální hloubku otisku 20 mm a jeho maximální objem pouze 8 ml. [7, 8]



Obr. 12 - Otisk vnitřní strany neprůstřelné vesty

1.6.2 Ochranné oblečení

Pro ohnivzdorné oblečení se využívá kombinace para- a meta-aramidů. Meta-aramidy jsou dlouhodobě stabilní do teploty 220°C a pokud jsou vystaveny rychlému ohřevu, dojde k tomu, že pára a další plynné produkty, které se uvolní z vláken, zvýší objem vlákna. Tím se vytvoří zuhelnatělá pěnovitá vrstva, která izoluje textilií a zabraňuje další degradaci. Problém spočívá však v tom, že se meta-aramidová vlákna srážejí a tím se na textilií vytvoří trhliny, které zvyšují nebezpečí popálení [2]. Proto se volí kombinace těchto dvou materiálů, z nichž para-aramid zajišťuje celistvost materiálu a meta-aramid vytváří již zmiňovanou pěnovou bariéru.

Para-aramidy jsou také vhodným materiálem pro ochranu proti prořezání a průniku ostrých předmětů. Nejčastějším produktem jsou rukavice znázorněné na obr. 13, které jsou velice lehké a komfortní, ale také rukávníky a zástěry.



Obr. 13 - Kevlarová rukavice proti prořezání

1.6.3 Kompozitní materiály

Kompozitní materiály jsou materiály, které jsou složeny minimálně ze 2 komponent. Jedna komponenta se nazývá matrice a druhá výztuž. Důležitou vlastností kompozitních materiálů je synergický efekt. Synergický efekt říká, že kombinací materiálů je nutné získat nové, odlišné vlastnosti než poskytují samotné materiály nebo lepší vlastnosti než jen prostý součet vlastností materiálů, z nichž se kompozit skládá [9].

Kevlarová vlákna se obvykle kombinují s vlákny uhlíkovými nebo skleněnými a jako matrice se používá epoxidová pryskyřice. Kevlar-uhlíková tkanina, která je na obr. 14, kombinovaná s epoxidovou pryskyřicí, představuje v dnešní době nejdokonalejší používaný materiál. Materiál se vyznačuje mimořádně nízkou hmotností při zachování vysoké pevnosti a tvarové stálosti výrobku [10].



Obr. 14 - Kevlar-uhlíková tkanina používaná do kompozitních materiálů

Jako jednoho ze zástupců kevlar-uhlíkového kompozitního materiálu bych zde ráda představila. Z tohoto materiálu se vyrábí velice lehké a rychlé kajaky pro slalom na divoké vodě. Na obr. 15 je ukázka jedné takové lodě. Samozřejmě se vyrábí i lodě pro jiný druh sportu, např. pro sjezd na divoké vodě, pro kanoepolo atd. Každá loď má jiné požadavky na konstrukci a i sami výrobci kombinují a vymýšlí nové způsoby, jak své lodě vylepšit, aby závodníci měli ze své jízdy co nejlepší pocit.



Obr. 15 - Ukázka lodě z kevlar-uhlíkového kompozitního materiálu

2. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

2.1. Použité materiály a metody

K analýze byla použita vlákna:

- Twaron 1008
- Twaron 2300
- Kevlar 129 (označení cívky: Kevlar 129 930-560-0-964, K 1 789).

Cílem práce je analyzovat a porovnat základní geometrické, mechanické, termické a povrchové vlastnosti.

Co se týká geometrických vlastností, byla vlákna podrobena zkoušce jemnosti na přístroji Vibroskop 400. Dále byly měřeny průměry vláken pomocí obrazové analýzy LUCIA a stejným způsobem byly měřeny také plochy příčných řezů a obvody vláken.

Z mechanických vlastností byla měřena hlavně pevnost a tažnost jak jednotlivých vláken, tak i svazku vláken. Pevnost a tažnost jednotlivých vláken byla měřena na přístroji VIBRODYN 400 a zkoušena na upínacích délkách 10, 20 a 50 mm. Svazek vláken se analyzoval na dynamometru TIRATEST 2300 na upínacích délkách 100, 200 a 500 mm pouze pro vlákno Kevlar 129.

Termická analýza byla provedena metodou DSC, při které byly sledovány teplotní změny ve struktuře vláken. Vlákna byla také vystavena teplotě 200°C po dobu 2 hodin a 450°C po dobu 5,5 hodiny a sledovaly změny struktury a mechanických vlastností.

Z povrchových vlastností byla měřena povrchová energie. Na vlákna byly nanášeny kapičky různých kapalin a poté se měřil kontaktní úhel mezi kapkou a vláknem. K analýze byla použita destilovaná voda, glycerin a ethylenglykol.

Naměřená data byla statisticky zpracována v programu QC.Expert a jsou uvedena v příloze na CD.

2.2 Analýza geometrických vlastností

2.2.1 Jemnost vláken

Jemnost délkových textilií T vyjadřuje vztah mezi hmotností a délkou textilie. Základní jednotka je [tex] a udává, kolik gramů váží 1 km délkové textilie. Pro jemnost vláken se používá odvozená jednotka [dtex].

Základní vztah pro jemnost je:

$$T = \frac{m[g]}{l[km]} [\text{tex}] \quad (3)$$

Jemnost vláken byla měřena na přístroji VIBROSKOP 400 rakouské firmy Lenzing. Přístroj pracuje na principu vibrace vlákna, která je vyvolána elektrickým impulsem. Podle frekvence kmitání vlákna a předpětí přístroj automaticky stanoví jemnost vlákna v jednotkách [dtex]. Přístroj je spojen s počítačem a jeho program umožňuje statistické zpracování naměřených dat, včetně pracovních křivek a histogramů. Oba přístroje jsou na obr. 16.



Obr. 16 - Vibrodyn a Vibroskop na KTM

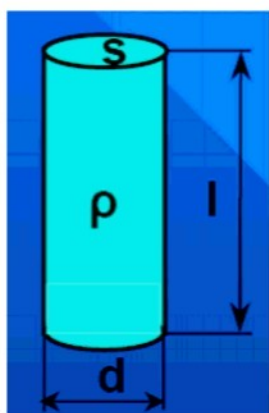
Celkem bylo proměřeno 100 vláken. V tabulce 3 jsou uvedeny průměrné naměřené hodnoty zkoušených vláken. Jak je vidět z tabulky 3, je vlákno Twaron 1008 nejjemnější ze všech tří vláken. Zbylá dvě vlákna mají jemnost téměř shodnou. Tabulkové hodnoty uvádí jemnost kevlarového vlákna kolem 1,6 dtex, takže naměřené hodnoty vláken Kevlar 129 a Twaron 2300 odpovídají tabulkovým.

Tab. 3 - Vyhodnocená data pro jemnost

	Kevlar 129	Twaron 1008	Twaron 2300
Střední hodnota [dtex]	1,66	1,15	1,7
Rozptyl	0,003	0,003	0,006
Směrodatná odchylka	0,06	0,05	0,08
Variační koeficient [%]	3,61	4,35	4,71
IS	<1,65; 1,67>	<1,125; 1,155>	<1,65; 1,71>

2.2.2 Průměry a ekvivalentní průměry vláken

Vlákno lze obecně chápat jako válec, který má kruhový průřez. Toto je ale velmi zjednodušený model, protože vlákna mají různý tvar příčného řezu a v poslední době se cíleně vyrábí vlákna, jejichž tvar průřezu není válcový.

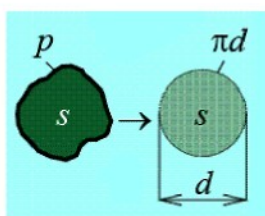


Pokud se ale podíváme na vlákno s kruhovým průřezem (obr. 17), lze jeho průměr určit z jemnosti a z jeho hustoty. Vyjdeme ze základního vztahu pro jemnost (3) a úpravami se dostaneme k výrazu:

$$d = \sqrt{\frac{4t}{\pi\rho}} \quad (4)$$

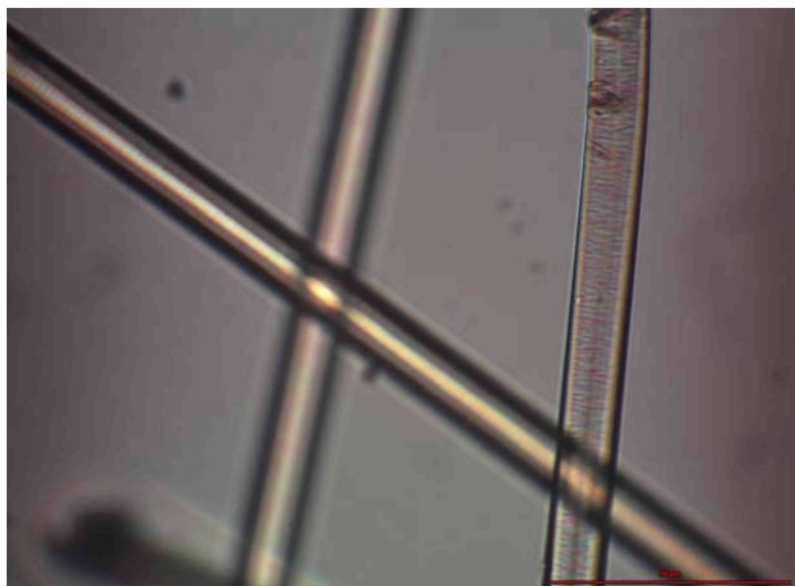
Obr. 17 - Model vlákna s kruhovým průřezem

Reálná vlákna však nemají přesný kruhový průřez, proto se jeho průměr charakterizuje tzv. ekvivalentním průměrem (obr. 18). Pro ekvivalentní průměr platí stejná rovnice (4), jen d je poloměr pomyslného kruhu se stejnou plochou, ale obvody jednotlivých vláken se liší.



Obr. 18 - Znáznornění ekvivalentního průměru

Průměry vláken byly měřeny pomocí obrazové analýzy LUCIA v programu NIS ELEMENTS. Nejprve se připravil preparát krátkých vláken, která se dala do kapky glycerinu mezi podložní a krycí sklíčko. Připravený preparát se vložil pod mikroskop a na obrazovce monitoru se odečítaly hodnoty vždy od kraje vlákna ke kraji druhému. Na obrázku 18 jsou vidět vlákna pod mikroskopem během měření průměru vláken.



Obr. 18 - Kevlarová vlákna pod mikroskopem

Tabulka 4 sumarizuje průměrné naměřené hodnoty průměrů vláken Kevlar 129, Twaron 1008 a Twaron 2300 a v tabulce 5 jsou průměrné hodnoty ekvivalentních průměrů vláken.

Tab. 4 - Průměry vláken

	Kevlar 129	Twaron 1008	Twaron 2300
Střední hodnota [μm]	11,63	9,95	11,80
Rozptyl	0,28	0,17	0,14
Směrodatná odchylka	0,53	0,41	0,38
Variační koeficient [%]	4,56	4,12	3,22
IS	<11,56; 11,70>	<9,925; 10,02>	<11,74; 11,84>

Tab. 5 - Ekvivalentní průměry vláken

	Kevlar 129	Twaron 1008	Twaron 2300
Střední hodnota [μm]	12,81	10,07	12,67
Rozptyl	0,41	0,19	0,33
Směrodatná odchylka	0,64	0,44	0,57
Variační koeficient	5,00	4,37	4,52
IS	<12,7; 12,9>	<9,98 10,14>	<12,59; 12,76>

Z tabulek je vidět, že se hodnoty průměrů a ekvivalentních průměrů nepatrně liší. Pro porovnání naměřených hodnot můžeme výpočtem zkontrolovat, zdali budou naměřené hodnoty jemnosti odpovídat vypočítaným z průměru a ekvivalentního průměru vláken.

Z rovnice (4) vyjádříme t a dostaneme se k výrazu:

$$t = \frac{d^2 \pi \rho}{4} \cdot 10^{-6} [\text{tex}] \quad (5)$$

Po dosazení naměřených hodnot za d (průměr vláken) vyjde, že jemnost Kevlaru 129 je $t = 1,53$ dtex, jemnost Twaronu 1008 je $t = 1,12$ dtex a jemnost Twaronu 2300 je $t = 1,57$ dtex.

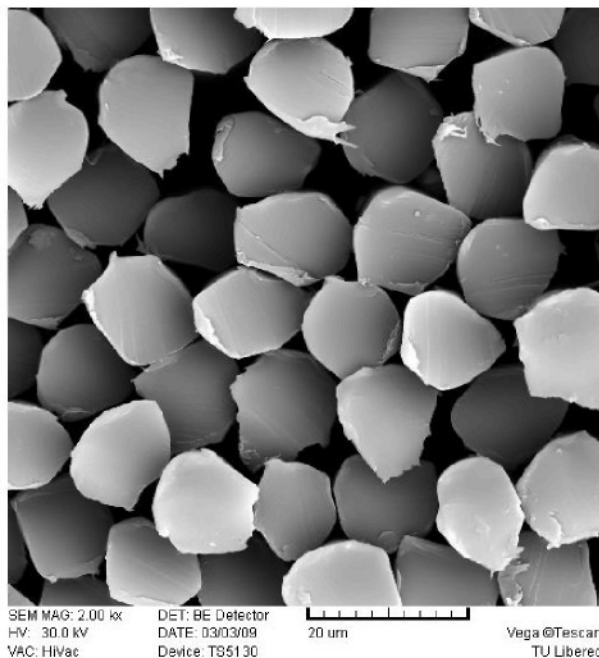
Nyní za d dosadíme naměřené hodnoty ekvivalentního průměru. Vypočítaná jemnost pro Kevlar 129 je $t = 1,85$ dtex, pro Twaron 1008 je to $t = 1,15$ dtex a pro Twaron 2300 je vypočítaná jemnost $t = 1,82$ dtex.

Z dosazených hodnot průměru vláken vyšla jemnost menší než naměřená jemnost na přístroji Vibroskop 400. Měření průměru vláken bylo ovlivněno ostroostí obrazu při obrazové analýze, proto se hodnoty vypočítané jemnosti nepatrně odlišují.

Po dosazení hodnot ekvivalentního průměru vyšly hodnoty jemnosti vyšší. Pouze pro vlákno Twaron 1008 byla vypočítaná jemnost stejná jako naměřená na Vibroskopu.

2.2.3 Plocha příčných řezů a obvody vláken

Kevlarová vlákna patří mezi vlákna syntetická a tudíž vyráběna chemickou cestou. U chemických vláken lze záměrně příčný průřez modifikovat, ale kevlarová vlákna mají téměř kruhovitý průřez, jak je vidět na obrázku 19.



Obr. 19 - Příčné řezy kevlarových vláken

Dříve než se měřila samotná plocha příčných řezů, musel být připraven vzorek. Nejprve se svazek vláken vložil do úzké pipety dlouhé asi 1 cm a vlákna uvnitř pipety se zalila epoxidovou pryskyřicí. Potom se připravená tyčinka s vlákny opět zalila do dentakrylu a vzorek se nakonec vybrušoval smirkovým papírem, aby povrch vláken byl hladký. Ukázka vzorku je na obr. 20.



Obr. 20 - Vzorek pro obrazovou

Takto připravený vzorek byl vložen pod mikroskop a plochy příčných řezů a obvod vláken se měřily pomocí obrazové analýzy systémem LUCIA v programu NIS ELEMENTS.

V tabulce 6 jsou uvedeny průměrné naměřené hodnoty ploch příčných řezů a v tabulce 7 obvody vláken.

Tab. 6 - Plochy příčných řezů vláken

	Kevlar 129	Twaron 1008	Twaron 2300
Střední hodnota [μm^2]	130,00	79,90	126,89
Rozptyl	215,88	54,04	145,61
Směrodatná odchylka	14,69	7,35	12,07
Variační koeficient	11,3	9,2	9,074
IS	<126,84; 131,06>	<78,37; 80,71>	<125,14; 128,7>

Tab. 7 - Obvody vláken

	Kevlar 129	Twaron 1008	Twaron 2300
Střední hodnota [μm]	41,40	32,82	41
Rozptyl	5,25	1,9	4,38
Směrodatná odchylka	2,3	1,38	2,09
Variační koeficient	5,50	4,2	5,09
IS	<40,9; 41,76>	<32,55; 32,94>	<40,54; 41,4>

Jak je patrné z předešlých měření, tak i z tohoto měření má vlákno Twaron 1008 nejmenší plochu příčného řezu a nejmenší obvod. Kevlar 129 a Twaron 2300 mají téměř totožné hodnoty ploch příčných řezů a obvodu vlákna.

2.3 Analýza mechanických vlastností

2.3.1 Relativní pevnost jednotlivých vláken

Pevnost se měří zároveň s tažností na přístroji VIBRODYN 400, který je spojen s přístrojem VIBROSKOP 400. Metoda měření spočívá v tom, že se mezi 2 čelisti upne zkoušené vlákno se zvoleným předpětím. Čelisti se od sebe vzdalují rychlostí až do doby, kdy dojde k přetržení vlákna. VIBROSKOP 400 a VIBRODYN 400 jsou propojené s počítačem a program automaticky vyhodnotí naměřená data a zobrazí histogramy a pracovní křivky.

Pro tuto zkoušku byla použita vlákna Kevlar 129 a Twaron 2300, která se zkoušela na upínací délku 10 mm, 20 mm a 50 mm, trhací rychlost byla zvolena $v = 10 \text{ mm/min}$ a předpětí bylo 150 mg.

V tabulce 8 jsou průměrné údaje pro vlákno Kevlar 129 změřené na všech upínacích délkách a tabulka 9 sumarizuje stejné měření pro vlákno Twaron 2300.

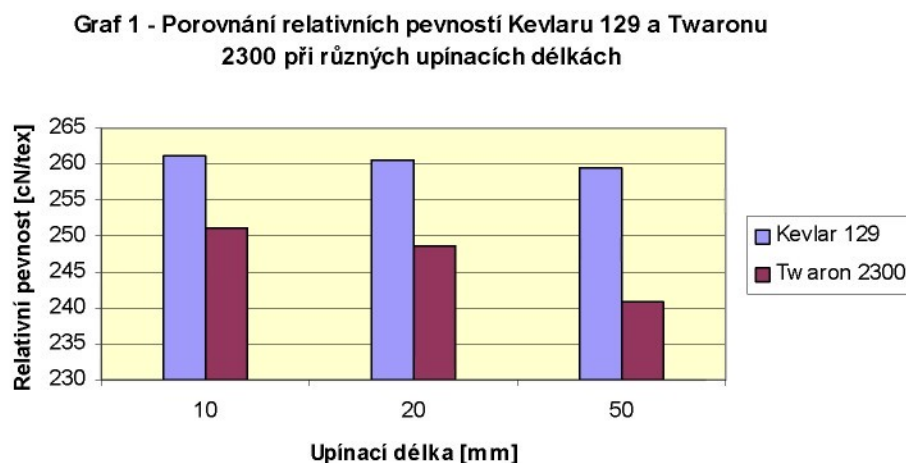
Tab. 8 - Zkoušky relativní pevnosti pro Kevlar 129

	10 mm	20 mm	50 mm
Střední hodnota [cN/tex]	261,05	260,64	259,56
Rozptyl	150,62	164,11	119,21
Směrodatná odchylka	12,27	12,81	10,92
Variační koeficient [%]	4,7	4,95	4,21
IS	<256,97; 264,47>	<257,71; 267,47>	<255,37; 264,99>

Tab. 9 - Zkoušky relativní pevnosti pro Twaron 2300

	10 mm	20 mm	50 mm
Střední hodnota [cN/tex]	251,05	248,7	240,85
Rozptyl	232,90	117,17	187,30
Směrodatná odchylka	15,26	10,82	13,69
Variační koeficient [%]	6,079	4,35	5,69
Interval spolehlivosti	<245,75; 258,12>	<244,91; 256,47>	<236,41; 244,55>

Po statistickém zpracování naměřených dat relativní pevnosti pro Kevlar 129 a Twaron 2300 je z grafu 1 vidět, že rozdíly v pevnostech jsou u Twaron 2300 větší, než u Kevlaru 129.



Z měření vyplývá, že upínací délka má vliv na pevnost vláken. Čím je upínací délka menší, tím je větší pravděpodobnost, že se na úseku vlákna bude vyskytovat méně vadných míst. Proto by se se zvětšující se upínací délkou měla pevnost vlákna snižovat.

Z grafu 1 je vidět, že relativní pevnost Kevlaru 129 se snižuje jen nepatrně na rozdíl od Twaronu 2300, kde je vidět velký rozdíl v pevnosti při různé upínací délce. Vláknem Kevlar 129 bylo již před zkouškou poškozené, proto není vidět tak patrný rozdíl v pevnostech.

2.3.2 Tažnost jednotlivých vláken

Tažnost vláken je definovaná jako celkové poměrné prodloužení při přetržení nebo jako deformace do přetrhu a je vyjádřena vztahem:

$$\varepsilon = \frac{l - l_0}{l_0} \cdot 100 [\%] \quad (6)$$

kde l je maximální protažení vlákna při přetrhu [mm] a l_0 je upínací délka [mm].

Princip měření tažnosti na přístroji VIBRODYN 400 byl popsán v předešlé kapitole. Podmínky zkoušek i vlákna zůstala stejná (upínací délky 10, 20 a 50 mm, vlákna Kevlar 129 a Twaron 2300).

V tabulce 10 jsou uvedené průměrné naměřené hodnoty tažnosti pro Kevlar 129 a v tabulce 11 jsou uvedeny průměrné hodnoty tažnosti pro Twaron 2300.

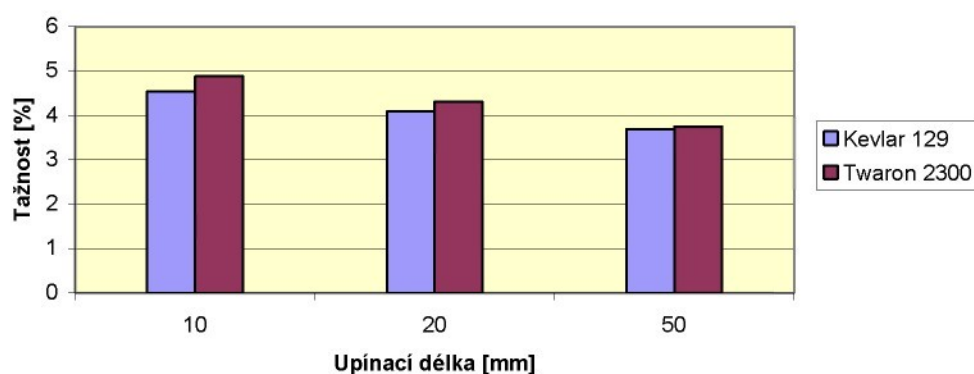
Tab. 10 - Průměrné hodnoty tažnosti pro Kevlar 129

	10 mm	20 mm	50 mm
Střední hodnota [%]	4,54	4,09	3,7
Rozptyl	0,06	0,07	0,03
Směrodatná odchylka	0,24	0,26	0,18
Variační koeficient [%]	5,29	6,36	4,76
IS	<4,5; 4,7>	<4; 4,2>	<3,65; 3,75>

Tab. 11 - Průměrné hodnoty tažnosti pro Twaron 2300

	10 mm	20 mm	50 mm
Střední hodnota [%]	4,88	4,31	3,75
Rozptyl	0,101	0,03	0,044
Směrodatná odchylka	0,317	0,173	0,21
Variační koeficient [%]	6,5	4,01	5,6
IS	<4,75; 5,05>	{4,3}	<3,65; 3,75>

Graf 2 - Porovnání tažností Kevlaru 129 a Twaronu 2300 při různých upínacích délkách



Z grafu 2 vyplývá, že kevlarové vlákno má tažnost o něco nižší než Twaron 2300. Přesto však v obou případech s rostoucí upínací délkou tažnost klesá.

2.3.3 Analýza svazku vláken

Analýza svazku vláken probíhala na přístroji TIRATEST 2300 (obr. 21). Jedná se o dynamometr, který umožňuje zkoumání mechanických vlastností materiálů, především jednoosé namáhání v tahu a tlaku.

Pro potřebu měření stačilo namáhání v tahu, při kterém se mezi 2 čelisti upnul zkoušený multifil a poté se čelisti od sebe vzdalovaly určitou rychlostí do doby, než došlo k přetržení multifilu. Zkoušky probíhaly na upínacích délkách 100, 200 a 500 mm. Bohužel naměřené hodnoty neodpovídaly po přepočítání hodnotám, které se naměřily pro monofily. Proto bylo měření ukončeno a dále se v něm nepokračovalo.

Jako doporučení bych zde ráda uvedla, že by bylo dobré proměřit svazek vláken v jiné bakalářské práci. Nevýhodou tohoto měření je velká spotřeba materiálu, zvláště pro zkoušky na upínací délku 500 mm. Aby byly výsledky adekvátní je jich potřeba udělat alespoň 50. Z tohoto hlediska může nastat problém, protože Kevlar není levné vlákno a sehnat cívku, která by měla dostatečně dlouhý návin, také není jednoduché.



Obr. 21 - Dynamometr TIRATEST 2300 na KTM

2.4 Termická analýza

2.4.1 Metoda DSC

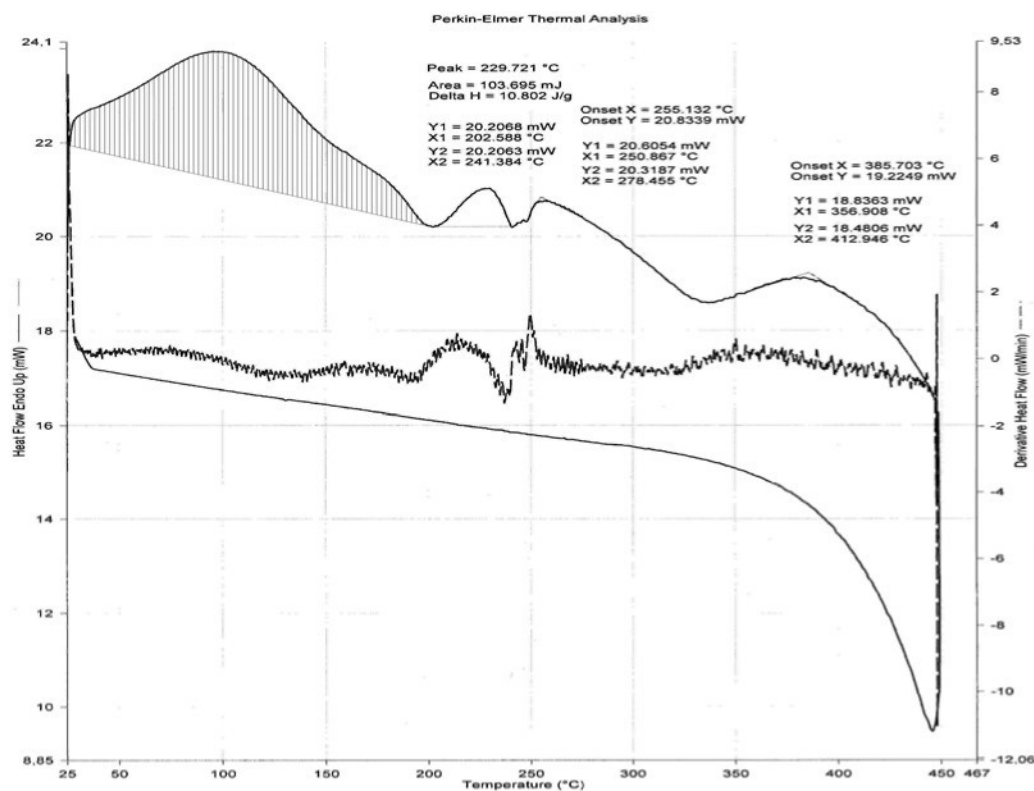
Diferenční skenovací kalorimetrie je metoda založená na principu měření elektrické energie přídavného zdroje, potřebné k vyrovnání teplotních rozdílů vzniklých mezi zahříváním vzorkem a referenční látkou, tedy k udržení izotermních podmínek. Výsledkem je závislost rozdílu tepelného toku uvolňovaného z měřeného a referenčního vzorku na teplotě v případě dynamického měření nebo na čase při konstantní teplotě v případě izotermického měření. Výskyt extrémů na měřených křivkách odpovídá exo- nebo endotermickým procesům probíhajícím v měřeném vzorku. Tím lze určit například fázové přechody, bod tání a tuhnutí, krystalizaci, čistotu, tepelnou kapacitu, oxidačně-redukční reakce atd.

Program, kterým se vzorek analyzoval, byl následující:

1. začátek měření - udržování teploty 25°C 1 min
2. zahřívání z 25°C na 450 °C rychlostí 10°C/min
3. ochlazování z 450°C na 25 °C rychlostí 10°C/min

Příprava vzorku probíhala tak, že se materiál nařezal žiletkou na velmi malé kousky o hmotnosti asi 10 mg. Vlákná se vložila do hliníkové mističky a zalisovala lisem. Celý vzorek se vložil do přístroje DSC 6 Perkin Elmer, který je na KTM, a nechal se proběhnout program.

Na obr. 22 je DSC křivka Kevlaru 129. Z obrázku je patrné, že vlákno netaví, ale dochází k jeho degradaci. Vyšrafovaná část znázorňuje vlhkost obsaženou ve vlákne. Na křivce se také vyskytují peaky, které znamenají změny ve struktuře vlákna, až postupně dojde k jeho úplné degradaci.

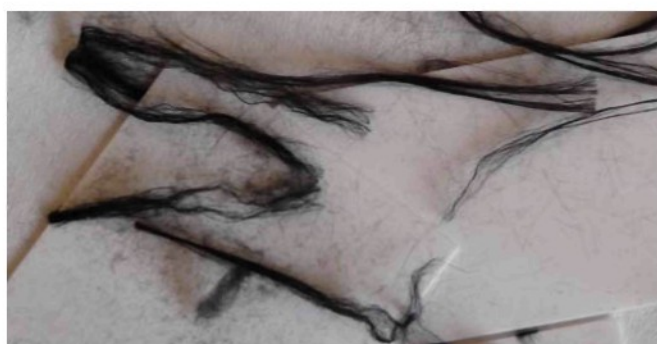


Obr. 22 - DSC křivka Kevlaru 129

2.4.2 Tepelné zatěžování vlákna

Pro zkoumání změn pevnosti, tažnosti a struktury vlákna Kevlar byl proveden pokus, při kterém byly 2 vzorky vláken vystaveny tepelnému zatěžování při vyšších teplotách. První vzorek byl ponechán 5,5 hodiny ve vyhřáté peci na 450°C a druhý byl vystaven teplotě 200°C po dobu 2 hodin.

V prvním případě vlákno tuto teplotu nevydrželo, celé zčernalo a rozpadalo se při sebemenším doteku s ním. Ukázka je na obr. 23. Protože vlákno nevykazovalo žádnou soudržnost, nebylo možné měření uskutečnit.



Obr. 23 - Kevlarové vlákno po 5,5 hodinách při 450°C

V druhém případě nedošlo k degradaci vlákna, a proto mohla měření proběhnout. Pevnost a tažnost vlákna se měřila pouze na 10 mm. Při porovnání s hodnotami Twaronu 2300, který nebyl vystaven teplotě 200°C, došlo vlivem tepelného zatěžování ke snížení pevnosti v tahu a tažnosti přibližně o 6%.

Tab. 12 - Porovnání poškozeného a nepoškozeného Twaronu 2300

		Střední hodnota	Rozptyl	Směr. odchylka	Var. koeficient [%]	IS
Twaron 2300 po působení 200°C	Relativní pevnost [cN/tex]	238,39	164,69	12,83	5,38	<235,43; 243,60>
	Tažnost [%]	4,58	0,07	0,27	5,92	<4,55; 4,65>
Twaron 2300 nepoškozený	Relativní pevnost [cN/tex]	251,05	232,90	15,26	6,08	<245,75; 258,12>
	Tažnost [%]	4,87	0,01	0,33	6,79	<4,75; 5,05>

2.5 Povrchová energie

Povrch textilního materiálu je významný faktor pro řadu výsledných vlastností. Vlákná mohou být také různě upravována a to se projeví na spotřebitelských i užitných vlastnostech. Velikost povrchu je závislá na průměru vlákna, ale i na tvaru příčného řezu, který jde u syntetických vláken záměrně měnit. Kevlarová vlákna mají tvar téměř kruhový. Snímek z REM příčných řezů Kevlaru je v experimentální části v kapitole 2.2.3.

Z textilního hlediska jsou důležité 2 vlastnosti – povrchové napětí a povrchová energie. Je to proto, že čím větší je povrchová energie vláken, tím je více materiál smáčen a to je u některých textilií nežádoucí, ale např. u laminátování se požaduje větší smáčivost.

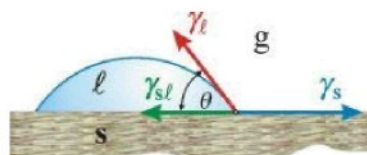
Povrchové napětí je jev, při kterém se povrch kapalin chová jako elastická blána a snaží se nabýt stavu s co nejnižší energií, což je v jejich případě tvar koule. Povrch kapaliny se tedy chová tak, jako by byl tvořen velmi tenkou pružnou vrstvou, která se snaží stáhnout povrch kapaliny tak, aby měl při daném objemu kapaliny co nejmenší plochu.

Povrchové napětí je definováno jako síla působící v povrchu kapaliny, vztažená na jednotku délky:

$$\gamma = \frac{F}{l} \text{ [N/m]} \quad (6)$$

S povrchovým napětím úzce souvisí druhá veličina a tím je povrchová energie. Povrchová energie je práce, kterou je třeba vynaložit na zvětšení povrchu kapaliny o plošnou jednotku. Povrchová energie se jednotkou a číselnou hodnotou rovná povrchovému napětí γ .

Povrchová energie byla měřena pomocí kontaktního úhlu (úhel smáčení). Je to jedna z mála přímo měřitelných vlastností fázového rozhraní pevná látka – kapalina – plyn. Jedná se o úhel (θ), který svírá tečna k povrchu kapky vedená v bodě styku kapky s rozhraním (obr. 24).



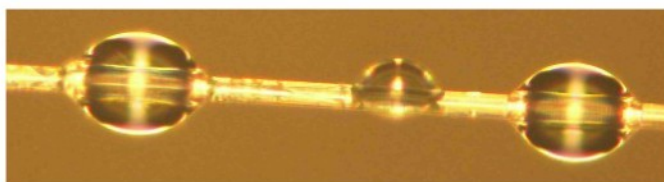
Obr. 24 - Kapka kapaliny na tuhém povrchu

Rovnováha na rozhraní tří fází je charakterizována tzv. Youngovou rovnicí:

$$\gamma_l \cdot \cos \theta = \gamma_s - \gamma_{sl} \quad (7)$$

kde γ_l je povrchová energie kapaliny, γ_s je povrchová energie tuhé látky (vlákna) a γ_{sl} je povrchová energie mezi pevnou látkou a kapalinou. Pokud úhel θ je menší než 90° , kapalina pevnou látkou smáčí. Pokud je úhel θ větší než 90° , kapalina pevnou látku nesmáčí.

K analýze povrchové energie Kevlaru byla použita destilovaná voda, glycerin a ethylenglykol. Kontaktní úhel byl měřen obrazovou analýzou LUCIA. Kapičky na vláknech jsou na obr. 25. Vlákně před analýzou nebyla nijak čištěna, byla brána neupravená rovnou z cívky.



Obr. 25 - Kapky glycerinu na kevlarovém vlákně

V tabulce 13 jsou průměrné naměřené hodnoty kontaktních úhlů, kosinů úhlů a dopočítaná povrchová energie.

Tab. 13 - Povrchová energie vláken

		Kevlar 129	Kevlar 129 po působení 200°C	Twaron 2300	Twaron 2300 po působení 200°C
glycerin	Průměrná hodnota θ [°]	58,0129	41,166	49,399	39,003
	Rozptyl	8,877	7,08	17,195	14,457
	Směrodatná odchylka	2,979	2,661	4,147	3,802
	Variační koeficient [%]	5,135	6,464	8,395	9,748
	IS	<56,903; 58,917>	<40,374; 42,046>	<49,162; 50,418>	<37,537; 39,683>
	cos θ	0,53	0,753	0,651	0,777
	Povrchová energie [mN/m]	48,96	56,09	52,83	56,87
ethylenglykol	Průměrná hodnota θ [°]	55,141	33,752	-	-
	Rozptyl	7,878	8,694	-	-
	Směrodatná odchylka	2,801	2,949	-	-
	Variační koeficient [%]	5,08	8,737	-	-
	IS	<53,538; 55,642>	<31,256; 35,325>	-	-
	cos θ	0,572	0,831	-	-
	Povrchová energie [mN/m]	38,03	44,32	-	-
destilovaná voda	-	-	-	-	-

Tabulkové hodnoty povrchových energií pro destilovanou vodu, glycerin a ethylenglykol při 20°C jsou: - destilovaná voda - 72,75 mN/m
- glycerin - 64 mN/m
- ethylenglykol - 48.4mN /m

Měření probíhalo tak, že se na povrch vlákna nanasla kapalina a na vlákne se vytvořily kapičky. Kapalina byla nanášena injekční stříkačkou nebo vatovou tyčinkou. Poté se připravený preparát vložil pod mikroskop a úhly kapek byly měřeny obrazovou analýzou v programu NIS ELEMENTS.

2.6 Rastrovací elektronový mikroskop

„Rastrovací elektronový mikroskop (obr. 26) pracuje na principu interakce úzkého svazku elektronů s povrchem vzorku. Elektrony jsou emitovány žhavenou katodou, urychlovány v tzv. elektronové trysce a dále pomocí elektromagnetických čoček usměřovány po povrchu pozorovaného předmětu a současně na stínítku přístroje. Po dopadu na předmět dochází k jejich částečnému odrazu - rozptylu a dále k uvolnění



Obr. 26 - Rastrovací elektronový mikroskop na KTM

fotonů a sekundárních elektronů, které po zesílení modulují jas původního elektronového svazku na monitoru a vytvářejí tak obraz povrchu. Metoda vyniká rozsahem zvětšení, vysokou rozlišovací schopností, hloubkou ostrosti a plasticitou obrazu.“ [11]

Pomocí rastrovacího elektronového mikroskopu se snímala struktura kevlarových vláken. Sledovala se struktura nepoškozeného vlákna a příčných řezů, dále vláken, která byla vystavena teplotě 200°C a 450°C a ještě vlákna, které prošlo trhací zkouškou. Všechny obrázky jsou uvedeny na konci práce v příloze (obr. 1 - 6).

Obr. 1 znázorňuje nepoškozený Kevlar. Jeho povrch je hladký a není na něm vidět žádné poškození. Na obr. 2 je pohled na příčný řez vlákna. Kevlarové vlákno na obr. 3 bylo ponecháno v peci při 220°C 2 hodiny. Na jeho povrchu nejsou viditelné změny ve struktuře vlákna. Naproti tomu na obr. 4 jsou změny ve struktuře patně viditelné. Takto vypadalo vlákno po 5,5 hodinách při 450°C. Obr. 5 je opět pohled na příčné řezy. Na obr. 6 je přetržené vlákno z dynamometru a jsou na něm hezky vidět fibrily, z kterých se kevlarové vlákno skládá.

3. Diskuse výsledků

3.1 Geometrické vlastnosti

Z geometrických vlastností byla měřena jemnost, průměr, plocha, ekvivalentní průměr a obvod vláken Kevlar 129, Twaron 1008 a Twaron 2300. Tabulka 14 uvádí hodnoty, které byly naměřeny vždy pro jeden typ vlákna.

Tab. 14 – Geometrické vlastnosti pro Kevlar 129, Twaron 1008 a Twaron 2300

	Kevlar 129	Twaron 1008	Twaron 2300
Jemnost [dtex]	1,66	1,15	1,7
Průměr [μm]	11,63	9,95	11,80
Ekvivalentní průměr [μm]	12,81	10,07	12,67
Plocha příčného řezu [μm²]	130,00	79,90	126,89
Obvod vlákna [μm]	41,4	32,82	41

Z tabulky 14 je vidět, že vlákno Twaron 1008 se svými hodnotami výrazně liší od zbylých dvou vláken. Kevlar 129 a Twaron 2300 jsou podobný typ vlákna, protože se hodnotami liší jen velmi málo.

3.2 Mechanické vlastnosti

Mechanické vlastnosti byly analyzovány hlavně pro jednotlivá vlákna. S analýzou svazku vláken se vyskytly problémy, a proto v experimentální části nejsou uvedeny žádné naměřené hodnoty.

Při zkoušení jednotlivých vláken byla použita pouze 2 vlákna, protože vlákno Twaron 1008 nebylo k dispozici. Měření probíhalo na dynamometru Vibrodyn 400 na 3 různých upínacích délkách, aby se zjistilo, jestli má upínací délka vliv na mechanické vlastnosti. Pro jednotlivá vlákna byly upínací délky 10, 20 a 50 mm. Měřena byla pevnost a tažnost vláken a bylo zjištěno, že se zvětšující se upínací délkou klesá jak pevnost, tak i tažnost. Je to z toho důvodu, že na kratším úseku je menší pravděpodobnost výskytu vadných míst než na delším úseku. Měření toto potvrdilo.

Svazek vláken se měřil na dynamometru Tiratest 2300 také na třech upínacích délkách – 100, 200 a 500 mm. Naměřená data ale vykazovala hodnoty, které úplně neodpovídaly hodnotám, které by se od Kevlaru měla očekávat. Měření se tudíž

ukončilo, ale bylo by dobré např. v jiné bakalářské práci mechanické vlastnosti svazku vláken proměřit. Jedinou nevýhodu vidím ve velké spotřebě materiálu, který v tomto případě není levný. Ale určitě by stálo za proměření.

3.3 Termické vlastnosti

Metodou diferenční skenovací kalorimetrie bylo ověřeno, že se Kevlar netaví, ale dojde k jeho rozkladu přibližně kolem 450°C. Z křivky DSC (obr. 21) je vidět, že se nejdříve vypařuje voda, která je obsažena ve vlákne (vyšrafovaná část). Při dalším zahřívání dochází vlivem teploty ke změnám ve struktuře, které se projeví formou peaku na křivce. Při měření to byly teploty kolem 230°C, 256°C a 385°C. Bohužel z této metody nelze přesněji určit, o jaké změny se jedná. Kolem 450°C nastává degradace vlákna.

Jako další termická metoda, která sloužila pro ověření poklesu mechanických vlastností, byla taková, že se vlákna ponechala ve vyhřáté peci při teplotě 450°C po dobu 5,5 hodiny a také při 200°C po dobu 2 hodin. Teplotu 450°C Kevlar vůbec nevydržel, vlákna nevykazovala žádné známky pevnosti, protože se rozpadala při každém doteku. V tomto případě nešlo analýzu pevnosti a tažnosti uskutečnit a dá se říci, že pevnost a tažnost po této zkoušce byla nulová.

Vlákno, které bylo v peci při 200°C 2 hodiny, teplotu vydrželo a měření mechanických vlastností mohlo proběhnout. Při porovnání nepoškozeného Twaronu 2300 a Twaronu 2300, který byl vystaven vyšší teplotě, bylo zjištěno, že se jeho pevnost a tažnost snížila přibližně o 6%.

3.4 Povrchové vlastnosti

Z povrchových vlastností byla měřena povrchová energie, která se zjišťovala metodou kontaktních úhlů. K analýze byl použit glycerin, ethylenglykol a destilovaná voda. Zkoušela se nepoškozená vlákna a vlákna poškozená vlivem tepla. U nepoškozených vláken (jak při měření úhlu kontaktního úhlu glycerinu, tak i u ethylenglykolu) byla povrchová energie nižší, než u vláken, která se zahřála. Vlivem tepla došlo k určitým změnám na povrchu vlákna, a proto kapaliny vlákna lépe smáčely. Měření s vodou nebylo možné pravděpodobně z toho důvodu, že měl Kevlar povrchovou úpravu, která vodu odpuzovala nebo kvůli tomu, že vlivem tepla, které

vyvolávalo světlo mikroskopu a kapky destilované vody se dřív vypařily než mohlo proběhnout samotné měření.

Vlákna nebyla před začátkem analýzy nijak čištěna, proto jsou cosiny úhlů nepoškozených vláken nižší. Po zahřátí se cosiny úhlů zvýšily. To je způsobené tím, že po zahřátí se z povrchu vláken odstranila lubrikace (např. oleje, které ulehčují technologické zpracování) a hodnota $\cos$ úhlu pro vlákno Kevlar 129, které bylo vystavené teplotě 200°C, je přibližně stejná jako je uvedená hodnota v diplomové práci z roku 2002.

4. Závěr

Tato práce pojednává o kevlarovém vlákně. V teoretické části jsou uvedeny základní informace o Kevlaru. Nejprve je popsán vývoj vlákna, základní princip výroby a struktura vlákna. V dalších kapitolách je pojednáno o mechanických, termických a chemických vlastnostech. Na závěr této části jsou zmíněna použití, kde se můžeme s Kevlarem běžně setkat.

Experimentální část se zabývala zkoumáním geometrických, mechanických, termických a povrchových vlastností. Bylo zjištěno, že vlákna Kevlar 129 a Twaron 2300 jsou si svými geometrickými vlastnostmi velice podobná. Vláknem Twaron 1008 bylo jemnější a tím pádem mělo menší průměr, plochu příčného řezu a svůj obvod.

Při měření mechanických vlastností se prokázalo, že s rostoucí upínací délkou klesá relativní pevnost i tažnost vláken. S měřením svazku vláken se vyskytly problémy, proto se svazek neproměřoval.

Dále probíhala termická analýza. K tomuto měření byl použit přístroj DSC. DSC prokázalo, že se Kevlar netaví, ale dochází k jeho degradaci. Totéž potvrdilo i tepelné zatěžování vlákna, které se v peci při 450°C za 5,5 hodiny rozpadlo a celé zčernalo.

Analýzou povrchových vlastností bylo prokázáno, že pokud materiál zahřejeme, zvětší se jeho povrchová energie a tudíž budou kapaliny lépe smáčet jeho povrch. To je důležité zejména pro lepení materiálů nebo pro výrobu kompozitních materiálů.

Pro mě měla tato práce velký přínos. Díky ní jsem se dozvěděla spoustu zajímavých informací o kevlarovém vlákně, které je mi velice blízké, ale před tím jsem o něm měla málo informací. Pro lepší porovnání výsledků by bylo dobré zjistit, jaké parametry vláken Twaron 1008 a Twaron 2300 uvádí firma, která vlákno vyrábí. Bohužel jsem nikde nenašla žádné hodnoty. Pro Kevlar jsou tabulkové hodnoty ve většině odborných knih uvedeny a Twaron je vlastně jen obchodní značka Kevlaru, ale pro Twaron tabulkové parametry nikde uvedeny nejsou. Dobré by také bylo analyzovat další typy kevlarových vláken a jejich parametry vzájemně porovnat.

Doporučovala bych také proměřit svazky vláken, aby se mohla porovnat data daná výrobcem s praktickým ověřením.

5. Použitá literatura

- [1] HEARLE, J.W.S.: High Performance Fibres, Woodhead publishing, 2001
- [2] MILITKÝ, JIŘÍ: Textilní vlákna, Technická univerzita v Liberci, 2002
- [3] BRODY, H.: Synthetic Fibre Materials, Longman Group UK, 1994
- [4] KOLEKTIV AUTORŮ: Zušlechťování textilií, Technická univerzita v Liberci, 2008
- [5] <http://chemlink.cz/analyticka-chemie/termicka-analyza>, 22.4.2009, 21:24
- [6] www.ft.vslib.cz/depart/ktm/files/20081125/08_Prednaska.pdf, 16.3.2009, 10:30
- [7] www.petris.cz
- [8] www.wikipedia.org
- [9] KOŠŤÁKOVÁ, EVA: Textilní nanomateriály, soubor přednášek, 2008
- [10] <http://www.kompozity-michalik.cz/?cube=text&c=9>, 30.3.2009, 20:54
- [11] <http://barrande.nm.cz>, 13.5.2009, 13:50

6. Přílohy

1. Tištěné přílohy - Snímky z REM kevlarového vlákna

obr. 1 - Struktura nepoškozeného Kevlaru

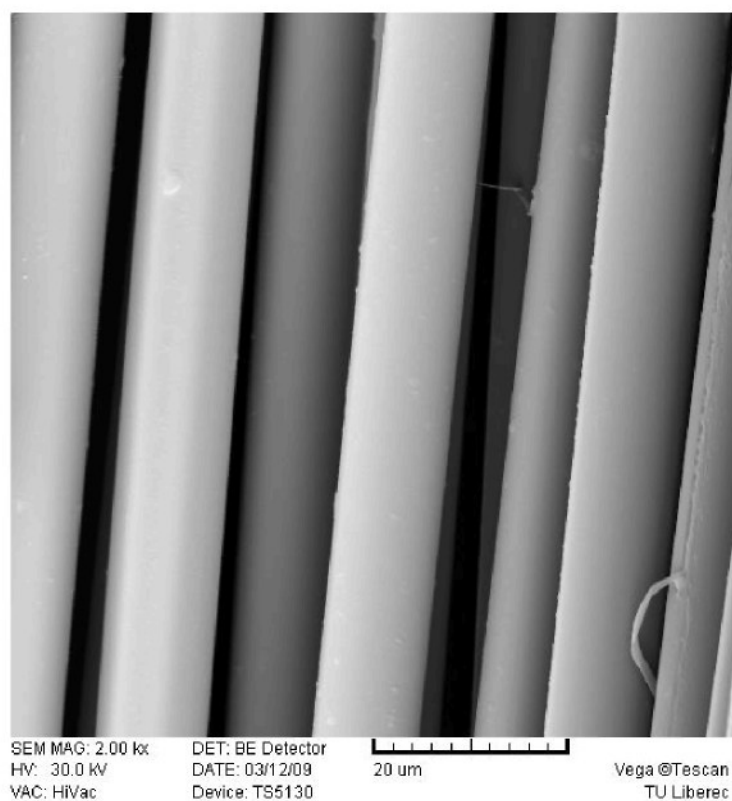
obr. 2 - Pohled na příčné řezy Kevlaru

obr. 3 - Struktura Kevlaru po 2 hodinách při 220°C

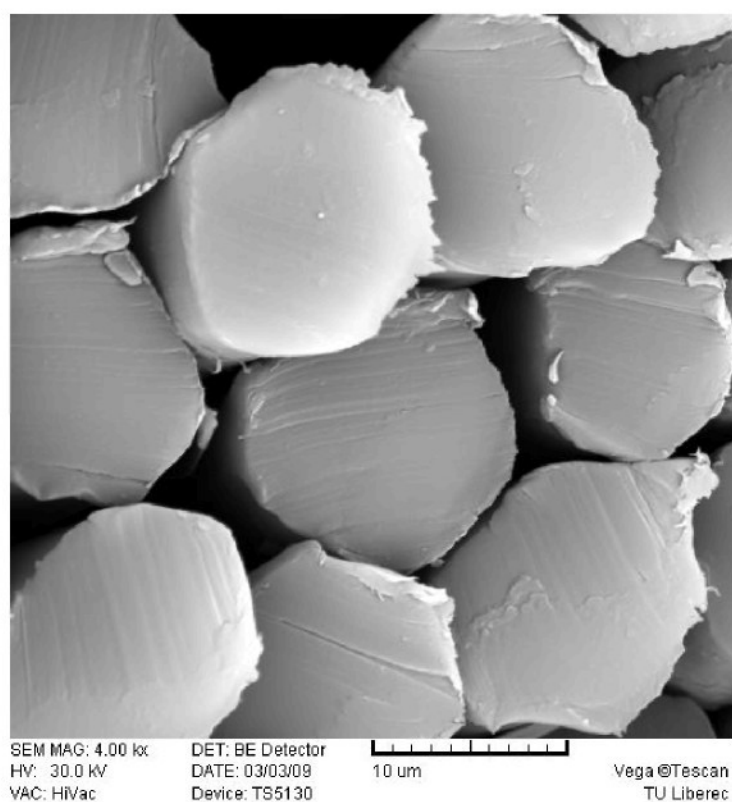
obr. 4 a 5 - Struktura Kevlaru po 5,5 hodinách při teplotě 450°C

obr. 6 - Vláknó po zkoušce na dynamometru

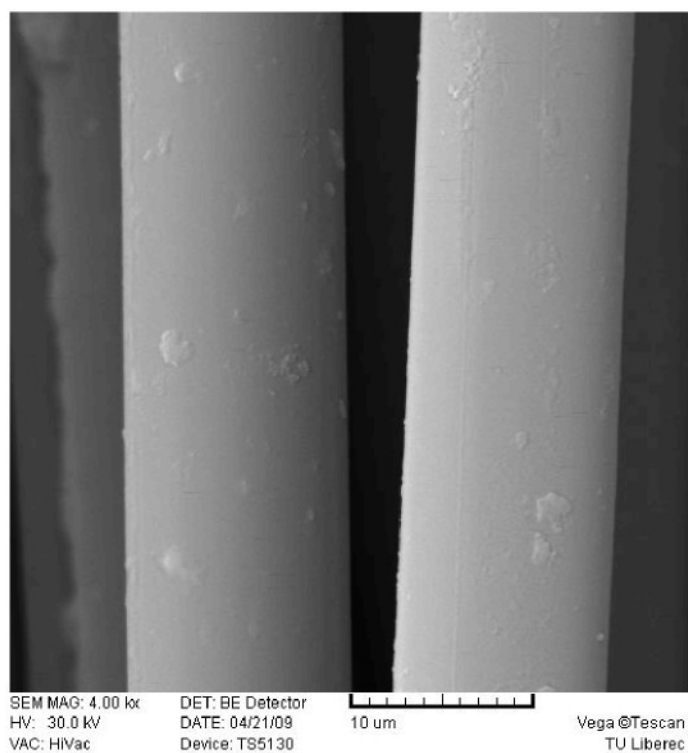
2. Přílohy na CD - naměřená data



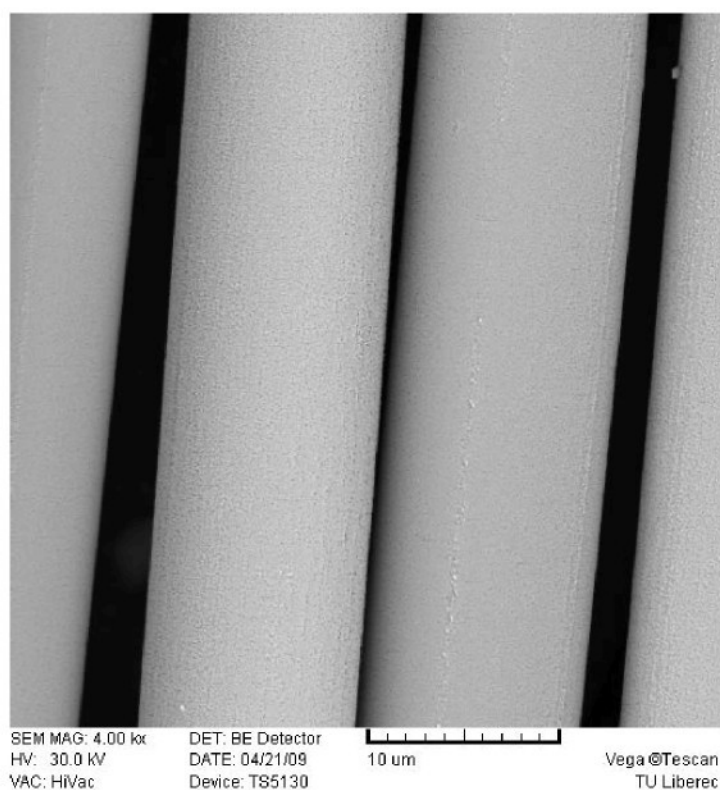
Obr. 1 – Struktura nepoškozeného Kevlaru



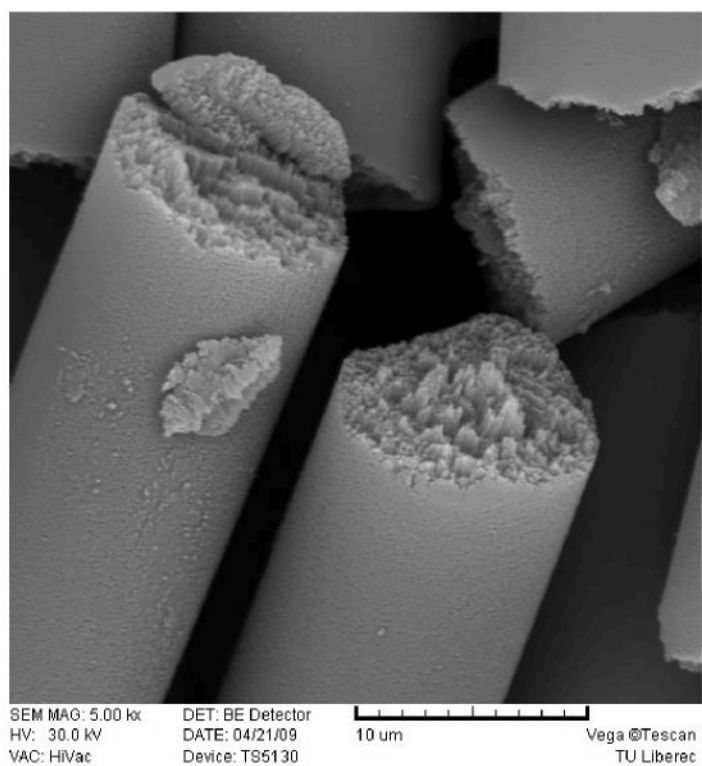
Obr. 2 – Pohled na příčné řezy Kevlaru



Obr. 3 – Struktura Kevlaru po 2 hodinách při 200°C



Obr. 4 – Struktura Kevlaru po 5,5 hodinách při teplotě 450°C



Obr. 5 – Struktura Kevlaru po 5,5 hodinách při teplotě 450°C



Obr. 6 – Vlákn po zkoušce na dynamometru

Vibroskop / Vibrodyn

Serial number : 1460 / 1455

Measurenumber: :532



26.1.2009 11:41:59

Sample ID : Kevlar stary

Operator : Pokorna

Ballen ID :

Nominal Titer : 1,7 dtex

Product : kevlar stary

Stapel length : 20 mm

Type :

Gauge length : 10 mm

Articel :

Test speed : 10 mm/min

Material :

Tension weight : 150 mg

Comment :

No.	Titer dtex	Force cN	Elong. %	Ten. cN/tex	Ten/ 10% cN/tex	YM 1% cN/tex	YM 1% cN/dtex	YM 1% g/den
1	1,64	40,65	4,30	247,87	0,00 4 391,46	439,15	497,39	
2	1,43	37,33	4,60	261,05	0,00 5 228,67	522,87	592,22	
3	1,53	37,01	4,20	241,90	0,00 5 047,93	504,79	571,74	
4	1,61	41,53	4,40	257,95	0,00 5 078,26	507,83	575,18	
5	1,66	41,50	4,40	250,00	0,00 4 465,36	446,54	505,76	
6	1,65	43,56	4,40	264,00	0,00 5 093,18	509,32	576,87	
7	1,59	43,71	4,70	274,91	0,00 5 072,96	507,30	574,58	
8	1,69	44,11	4,40	261,01	0,00 4 887,57	488,76	553,58	
9	1,73	43,36	4,20	250,64	0,00 5 157,51	515,75	584,16	
10	1,78	42,14	4,70	236,74	0,00 3 574,16	357,42	404,82	
11	1,65	39,71	4,10	240,67	0,00 5 306,06	530,61	600,98	
12	1,58	42,68	4,60	270,13	0,00 4 936,71	493,67	559,15	
13	1,56	42,52	4,70	272,56	0,00 5 050,48	505,05	572,03	
14	1,71	40,41	4,10	236,32	0,00 5 435,09	543,51	615,59	
15	1,82	42,85	4,40	235,44	0,00 4 843,41	484,34	548,58	
16	1,67	41,69	4,60	249,64	0,00 4 639,52	463,95	525,49	
17	1,72	42,22	4,30	245,47	0,00 5 076,74	507,67	575,01	
18	1,63	39,84	4,40	244,42	0,00 4 648,26	464,83	526,48	
19	1,77	42,10	4,40	237,85	0,00 4 670,43	467,04	528,99	
20	1,62	40,21	4,60	248,21	0,00 4 692,59	469,26	531,50	
21	1,49	38,35	4,60	257,38	0,00 5 045,30	504,53	571,45	
22	1,81	48,34	4,90	267,07	0,00 4 469,61	446,96	506,24	
23	1,71	43,87	4,90	256,55	0,00 4 687,13	468,71	530,88	
24	1,66	39,48	4,10	237,83	0,00 4 905,62	490,56	555,63	
25	1,62	39,72	4,60	245,19	0,00 4 309,88	430,99	488,15	
26	1,63	39,24	4,10	240,74	0,00 5 340,49	534,05	604,88	
27	1,68	46,00	4,70	273,81	0,00 4 962,30	496,23	562,05	
28	1,65	39,54	4,10	239,64	0,00 4 836,36	483,64	547,78	
29	1,77	45,42	4,70	256,61	0,00 4 764,97	476,50	539,70	
30	1,68	42,94	4,40	255,60	0,00 4 960,71	496,07	561,87	
31	1,65	43,94	4,40	266,30	0,00 5 368,48	536,85	608,05	
32	1,53	37,37	4,40	244,25	0,00 4 459,69	445,97	505,12	
33	1,62	41,26	4,10	254,69	0,00 3 566,36	356,64	403,94	
34	1,69	42,96	4,40	254,20	0,00 4 474,56	447,46	506,80	
35	1,69	44,75	4,60	264,79	0,00 3 547,93	354,79	401,85	
36	1,67	44,59	4,60	267,01	0,00 5 419,16	541,92	613,79	
37	1,77	47,88	4,40	270,51	0,00 5 523,16	552,32	625,57	

Vibroskop / Vibrodyn

Serial number : 1460 / 1455

Measurenumber: :532



26.1.2009 11:41:59

No.	Titer	Force	Elong.	Ten.	Ten/ 10%	YM 1%	YM 1%	YM 1%
	dtex	cN	%	cN/tex	cN/tex	cN/tex	cN/dtex	g/den
38	1,56	43,54	4,70	279,10	0,00	4 605,13	460,51	521,59
39	1,79	45,70	4,70	255,31	0,00	4 567,60	456,76	517,34
40	1,45	37,14	5,10	256,14	0,00	4 278,16	427,82	484,56
41	1,73	41,85	4,60	241,91	0,00	4 544,80	454,48	514,76
42	1,76	44,67	4,40	253,81	0,00	4 738,64	473,86	536,71
43	1,89	42,30	4,70	223,81	0,00	4 218,25	421,83	477,77
44	1,75	35,19	3,90	201,09	0,00	3 884,57	388,46	439,98
45	1,59	43,21	5,10	271,76	0,00	4 688,05	468,81	530,98
46	1,95	54,17	5,20	277,79	0,00	3 777,78	377,78	427,88
47	1,66	43,28	4,60	260,72	0,00	5 287,95	528,80	598,93
48	1,67	38,19	4,20	228,68	0,00	4 246,71	424,67	481,00
49	1,66	42,00	4,60	253,01	0,00	4 220,88	422,09	478,07
50	1,52	42,35	4,90	278,62	0,00	5 085,53	508,55	576,00
51	1,55	41,53	4,60	267,94	0,00	4 701,94	470,19	532,56
52	1,68	43,42	4,60	258,45	0,00	4 448,81	444,88	503,89
53	1,76	41,81	4,70	237,56	0,00	4 142,05	414,20	469,14
54	1,69	47,70	4,90	282,25	0,00	4 944,38	494,44	560,02
55	1,56	34,25	4,10	219,55	0,00	4 073,08	407,31	461,33
56	1,59	40,41	4,20	254,15	0,00	4 539,31	453,93	514,14
57	1,67	43,97	4,60	263,29	0,00	4 907,19	490,72	555,80
58	1,72	46,11	5,10	268,08	0,00	3 853,49	385,35	436,46
59	1,70	40,59	4,40	238,76	0,00	4 418,82	441,88	500,49
60	1,66	42,67	4,40	257,05	0,00	4 726,91	472,69	535,38
61	1,64	34,44	3,80	210,00	0,00	5 221,04	522,10	591,35
62	1,62	41,77	4,40	257,84	0,00	3 186,73	318,67	360,94
63	1,69	43,60	4,70	257,99	0,00	4 013,02	401,30	454,53
64	1,68	48,18	4,80	286,79	0,00	5 319,05	531,90	602,45
65	1,61	39,07	3,90	242,67	0,00	3 732,92	373,29	422,80
66	1,67	43,38	4,90	259,76	0,00	4 034,73	403,47	456,99
67	1,70	41,38	4,40	243,41	0,00	3 867,65	386,76	438,06
68	1,67	45,98	5,20	275,33	0,00	4 121,26	412,13	466,79
69	1,50	40,15	4,70	267,67	0,00	5 429,33	542,93	614,94
70	1,67	40,13	4,40	240,30	0,00	3 288,92	328,89	372,51
71	1,67	44,14	4,90	264,31	0,00	4 194,01	419,40	475,03
72	1,67	41,30	4,40	247,31	0,00	4 825,15	482,51	546,51
73	1,71	42,43	4,60	248,13	0,00	4 254,71	425,47	481,90
74	1,60	37,17	4,40	232,31	0,00	3 250,00	325,00	368,11
75	1,63	46,02	5,20	282,33	0,00	4 860,12	486,01	550,47
76	1,67	47,15	5,20	282,34	0,00	4 317,37	431,74	489,00
77	1,58	41,13	4,60	260,32	0,00	3 200,95	320,09	362,55
78	1,55	40,13	4,40	258,90	0,00	3 514,52	351,45	398,07
79	1,67	41,80	4,60	250,30	0,00	4 711,08	471,11	533,59
80	1,62	43,86	4,70	270,74	0,00	5 195,99	519,60	588,51
81	1,49	39,04	4,70	262,01	0,00	4 538,26	453,83	514,02
82	1,93	42,99	4,20	222,75	0,00	3 717,10	371,71	421,01
83	1,72	43,01	4,70	250,06	0,00	4 096,51	409,65	463,98
84	1,87	39,05	4,20	208,82	0,00	3 928,34	392,83	444,94
85	1,56	41,05	4,90	263,14	0,00	4 368,59	436,86	494,80

Vibroskop / Vibrodyn

Serial number : 1460 / 1455

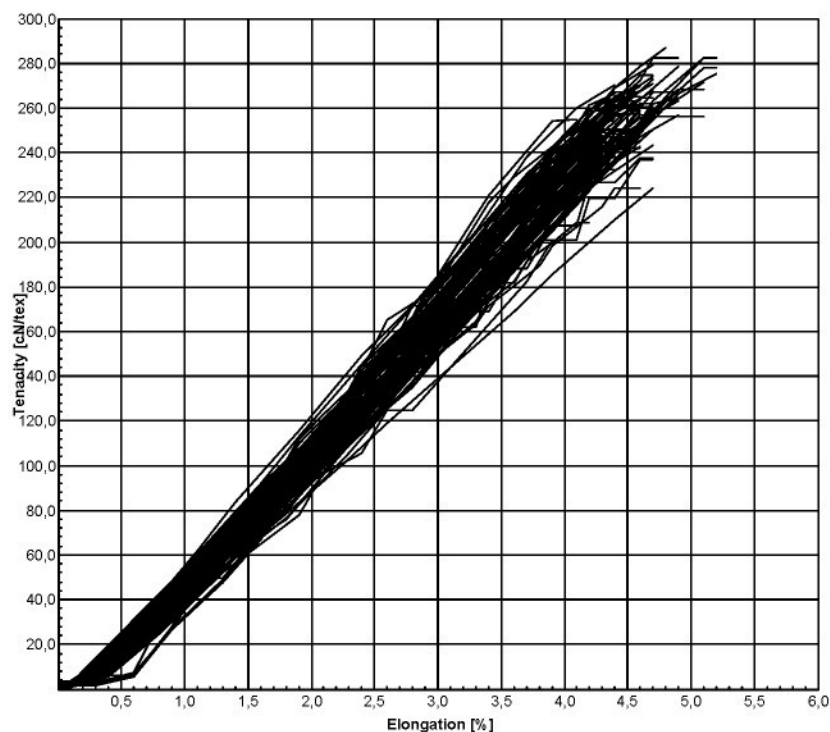
Measurenumber: :532



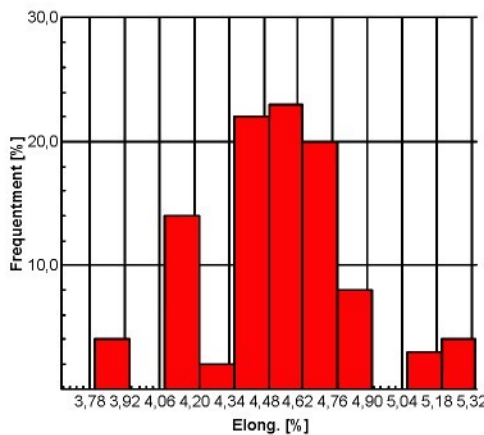
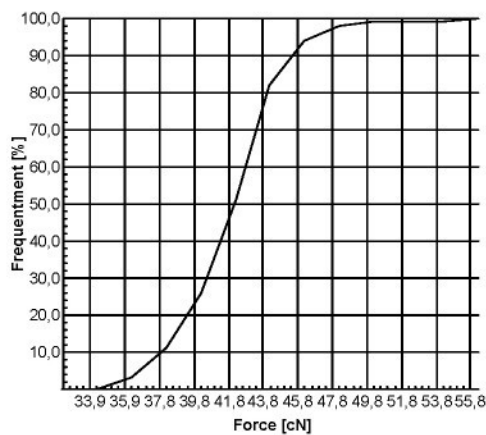
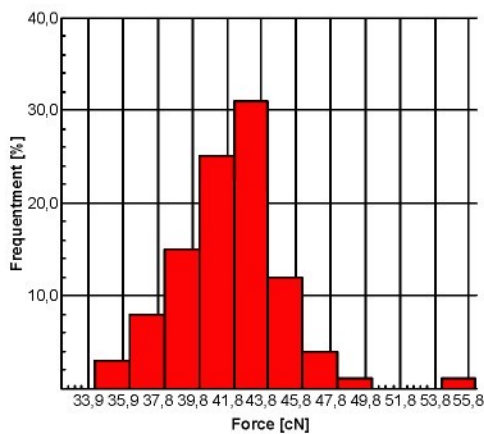
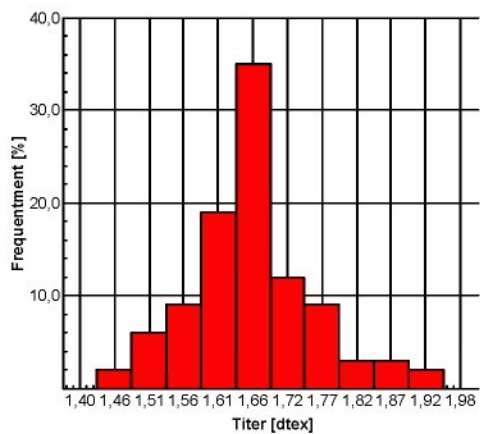
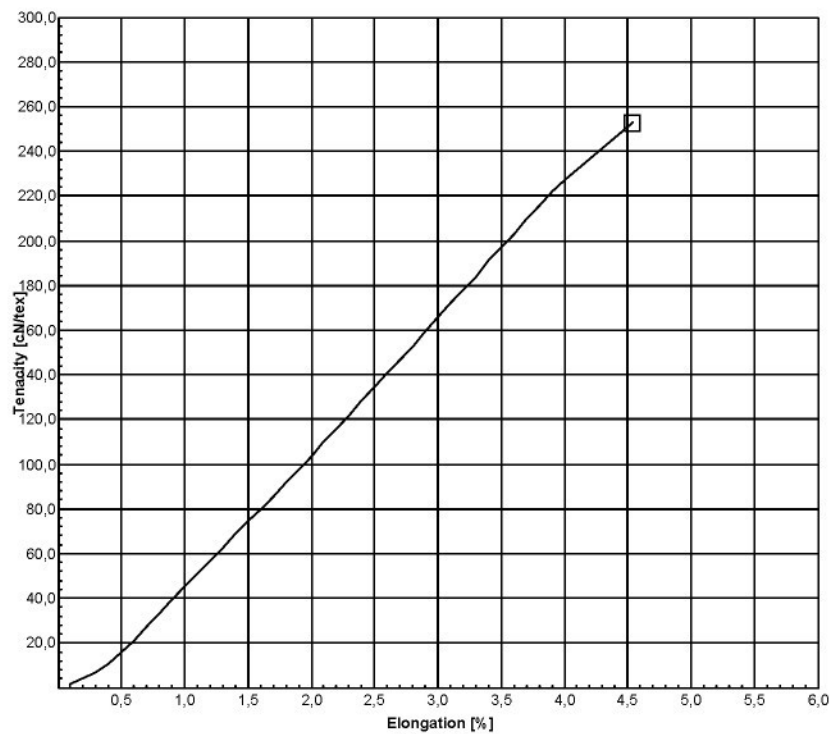
26.1.2009 11:41:59

No.	Titer	Force	Elong.	Ten.	Ten/ 10%	YM 1%	YM 1%	YM 1%
	dtex	cN	%	cN/tex	cN/tex	cN/tex	cN/dtex	g/den
86	1,66	43,90	4,70	264,46	0,00	4 800,00	480,00	543,66
87	1,81	46,07	4,70	254,53	0,00	4 088,40	408,84	463,06
88	1,69	41,71	4,60	246,80	0,00	4 873,37	487,34	551,97
89	1,63	42,51	4,70	260,80	0,00	5 039,88	503,99	570,83
90	1,85	41,45	4,60	224,05	0,00	3 951,35	395,14	447,54
91	1,62	39,40	4,70	243,21	0,00	4 448,56	444,86	503,86
92	1,58	36,35	4,20	230,06	0,00	4 015,19	401,52	454,77
93	1,67	41,80	4,60	250,30	0,00	4 591,62	459,16	520,06
94	1,75	37,07	3,90	211,83	0,00	3 942,86	394,29	446,58
95	1,68	44,95	4,60	267,56	0,00	5 184,52	518,45	587,22
96	1,74	42,25	4,60	242,82	0,00	4 342,91	434,29	491,89
97	1,60	43,11	4,60	269,44	0,00	4 668,75	466,87	528,80
98	1,63	40,64	4,40	249,33	0,00	5 098,16	509,82	577,43
99	1,72	44,28	4,70	257,44	0,00	4 126,57	412,66	467,39
100	1,63	41,88	4,70	256,93	0,00	4 036,81	403,68	457,22
Average :	1,67	42,07	4,54	252,83	0,00	4 532,34	453,23	513,35
Std.dev. :	0,09	3,14	0,30	17,07	0,00	563,11	56,31	63,78
CV% :	5,63	7,46	6,54	6,75		12,42	12,42	12,42
Maximum :	1,95	54,17	5,20	286,79	0,00	5 523,16	552,32	625,57
Minimum :	1,43	34,25	3,80	201,09	0,00	3 186,73	318,67	360,94
Span width :	0,52	19,92	1,40	85,70	0,00	2 336,43	233,65	264,63
Confid- :	1,65	41,43	4,48	249,35	0,00	4 417,47	441,75	500,34
Intervall :	1,68	42,71	4,60	256,31	0,00	4 647,22	464,72	526,36

T / E Line



Mean T / E Line



Vibroskop / Vibrodyn

Serial number : 1460 / 1455

Measurenumber: :533



26.1.2009 13:59:58

Sample ID :	kevlar stary	Operator :	Pokorna
Ballen ID :		Nominal Titer :	1,7 dtex
Product :	kevlar stary	Stapel length :	20 mm
Type :		Gauge length :	20 mm
Articel :		Test speed :	10 mm/min
Material :		Tension weight :	150 mg
Comment :			

No.	Titer dtex	Force cN	Elong. %	Ten. cN/tex	Ten/ 10% cN/tex	YM 1% cN/tex	YM 1% cN/dtex	YM 1% g/den
1	1,75	39,90	4,00	228,00	0,00 5 000,00	500,00	566,32	
2	1,70	46,20	3,90	271,76	0,00 6 835,29	683,53	774,19	
3	1,68	44,92	4,00	267,38	0,00 6 059,52	605,95	686,32	
4	1,77	46,36	4,30	261,92	0,00 5 720,90	572,09	647,97	
5	1,56	40,19	4,00	257,63	0,00 5 894,23	589,42	667,60	
6	1,60	44,26	4,00	276,63	0,00 6 766,67	676,67	766,41	
7	1,75	45,10	4,30	257,71	0,00 5 177,14	517,71	586,38	
8	1,62	42,50	3,80	262,35	0,00 6 373,46	637,35	721,88	
9	1,63	44,51	4,30	273,07	0,00 4 960,12	496,01	561,80	
10	1,76	43,90	4,10	249,43	0,00 5 289,77	528,98	599,14	
11	1,80	41,08	3,70	228,22	0,00 5 436,11	543,61	615,71	
12	1,59	39,27	3,80	246,98	0,00 5 754,72	575,47	651,80	
13	1,79	45,37	4,30	253,46	0,00 5 530,73	553,07	626,43	
14	1,87	47,38	4,80	253,37	0,00 4 882,35	488,24	552,99	
15	1,65	44,73	4,30	271,09	0,00 5 927,27	592,73	671,34	
16	1,74	45,28	4,20	260,23	0,00 5 272,99	527,30	597,24	
17	1,62	42,54	4,10	262,59	0,00 5 490,74	549,07	621,90	
18	1,68	42,10	4,00	250,60	0,00 5 589,29	558,93	633,06	
19	1,69	48,60	4,20	287,57	0,00 6 775,15	677,51	767,37	
20	1,51	37,54	3,80	248,61	0,00 6 052,98	605,30	685,58	
21	1,54	41,20	4,50	267,53	0,00 5 082,25	508,23	575,63	
22	1,59	41,18	4,00	258,99	0,00 6 264,15	626,42	709,50	
23	1,75	43,63	3,80	249,31	0,00 6 417,14	641,71	726,83	
24	1,81	43,71	3,90	241,49	0,00 5 814,92	581,49	658,62	
25	1,64	43,89	4,30	267,62	0,00 5 792,68	579,27	656,10	
26	1,63	37,55	3,50	230,37	0,00 6 343,56	634,36	718,49	
27	1,63	42,97	4,30	263,62	0,00 5 846,63	584,66	662,21	
28	1,74	44,02	4,00	252,99	0,00 6 209,77	620,98	703,34	
29	1,70	41,05	4,00	241,47	0,00 5 558,82	555,88	629,61	
30	1,63	43,09	3,90	264,36	0,00 6 104,29	610,43	691,39	
31	1,74	47,43	4,40	272,59	0,00 5 774,43	577,44	654,03	
32	1,74	46,51	4,30	267,30	0,00 5 899,43	589,94	668,19	
33	1,61	43,01	4,20	267,14	0,00 6 068,32	606,83	687,32	
34	1,65	43,62	3,90	264,36	0,00 6 577,78	657,78	745,02	
35	1,60	43,56	4,10	272,25	0,00 6 132,81	613,28	694,62	
36	1,62	42,81	3,80	264,26	0,00 5 287,04	528,70	598,83	
37	1,65	44,82	4,30	271,64	0,00 6 260,61	626,06	709,10	

Vibroskop / Vibrodyn

Serial number : 1460 / 1455

Measurenumber: :533



26.1.2009 13:59:58

No.	Titer	Force	Elong.	Ten.	Ten/ 10%	YM 1%	YM 1%	YM 1%
	dtex	cN	%	cN/tex	cN/tex	cN/tex	cN/dtex	g/den
38	1,62	43,39	3,90	267,84	0,00 5 907,41	590,74	669,09	
39	1,50	37,74	3,70	251,60	0,00 6 773,33	677,33	767,17	
40	1,69	43,52	3,90	257,51	0,00 6 452,66	645,27	730,85	
41	1,65	39,59	3,80	239,94	0,00 5 636,36	563,64	638,39	
42	1,83	44,37	3,80	242,46	0,00 5 374,32	537,43	608,71	
43	1,58	39,98	3,70	253,04	0,00 6 376,58	637,66	722,23	
44	1,54	42,86	4,10	278,31	0,00 6 051,95	605,19	685,46	
45	1,65	43,36	3,80	262,79	0,00 6 660,61	666,06	754,40	
46	1,63	45,82	4,20	281,10	0,00 6 034,36	603,44	683,47	
47	1,59	40,13	3,60	252,39	0,00 7 182,39	718,24	813,50	
48	1,66	45,26	4,10	272,65	0,00 5 879,52	587,95	665,93	
49	1,75	42,12	4,10	240,69	0,00 4 777,14	477,71	541,07	
50	1,69	46,94	4,20	277,75	0,00 5 600,59	560,06	634,34	
51	1,78	41,95	4,00	235,67	0,00 5 853,93	585,39	663,03	
52	1,62	38,58	3,60	238,15	0,00 6 135,80	613,58	694,96	
53	1,67	41,19	4,00	246,65	0,00 5 774,45	577,45	654,03	
54	1,72	43,44	3,80	252,56	0,00 6 049,42	604,94	685,18	
55	1,59	43,09	4,40	271,01	0,00 5 044,03	504,40	571,30	
56	1,71	46,96	4,20	274,62	0,00 5 742,69	574,27	650,43	
57	1,74	42,28	3,90	242,99	0,00 5 836,21	583,62	661,03	
58	1,66	45,76	4,10	275,66	0,00 6 012,05	601,20	680,94	
59	1,62	43,81	4,30	270,43	0,00 5 905,35	590,53	668,86	
60	1,62	43,96	4,30	271,36	0,00 5 874,49	587,45	665,36	
61	1,66	41,01	3,70	247,05	0,00 5 809,24	580,92	657,97	
62	1,59	44,36	4,20	278,99	0,00 6 194,97	619,50	701,66	
63	1,66	44,13	3,90	265,84	0,00 6 406,63	640,66	725,63	
64	1,64	41,40	3,70	252,44	0,00 6 774,39	677,44	767,29	
65	1,59	41,11	4,00	258,55	0,00 5 638,36	563,84	638,62	
66	1,68	44,66	4,30	265,83	0,00 4 845,24	484,52	548,79	
67	1,71	45,57	4,20	266,49	0,00 5 900,58	590,06	668,32	
68	1,75	47,21	4,10	269,77	0,00 6 460,95	646,10	731,79	
69	1,63	40,33	3,80	247,42	0,00 5 466,26	546,63	619,13	
70	1,67	43,49	4,20	260,42	0,00 5 493,01	549,30	622,16	
71	1,79	44,55	4,00	248,88	0,00 5 910,61	591,06	669,45	
72	1,73	42,48	4,20	245,55	0,00 4 540,46	454,05	514,27	
73	1,49	42,86	4,30	287,65	0,00 6 644,30	664,43	752,55	
74	1,64	43,79	4,30	267,01	0,00 4 847,56	484,76	549,05	
75	1,68	45,61	4,50	271,49	0,00 5 029,76	502,98	569,69	
76	1,63	41,41	3,90	254,05	0,00 6 331,29	633,13	717,10	
77	1,60	44,30	4,20	276,87	0,00 6 175,00	617,50	699,40	
78	1,66	44,97	4,30	270,90	0,00 6 204,82	620,48	702,78	
79	1,68	45,36	4,10	270,00	0,00 6 107,14	610,71	691,71	
80	1,49	43,04	4,30	288,86	0,00 6 412,75	641,28	726,33	
81	1,61	43,78	4,30	271,93	0,00 5 680,12	568,01	643,35	
82	1,69	47,04	4,60	278,34	0,00 5 358,97	535,90	606,97	
83	1,59	40,63	4,20	255,53	0,00 5 811,32	581,13	658,21	
84	1,72	47,50	4,60	276,16	0,00 5 703,49	570,35	645,99	
85	1,65	42,73	4,10	258,97	0,00 5 969,70	596,97	676,15	

Vibroskop / Vibrodyn

Serial number : 1460 / 1455

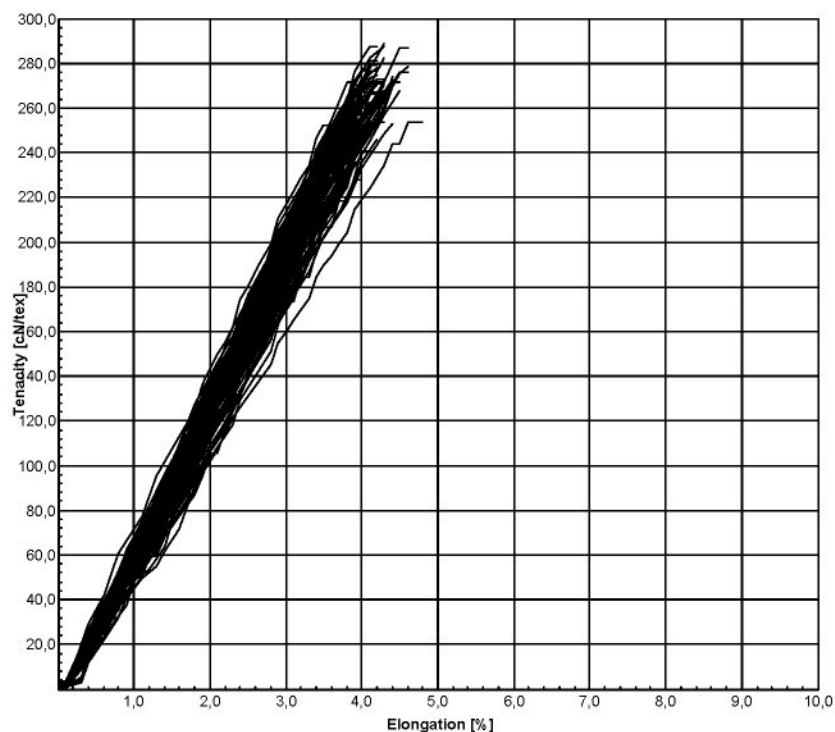
Measurenumber: :533



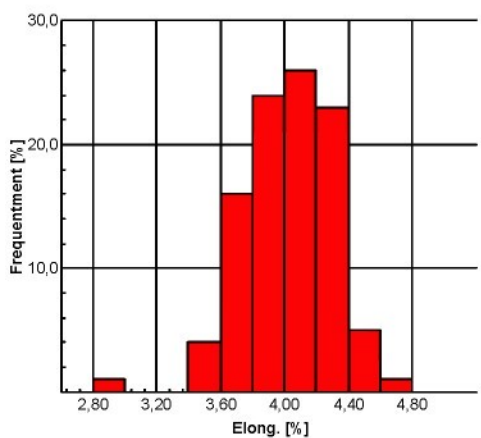
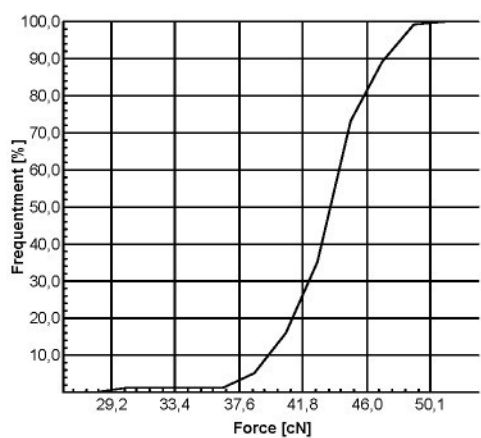
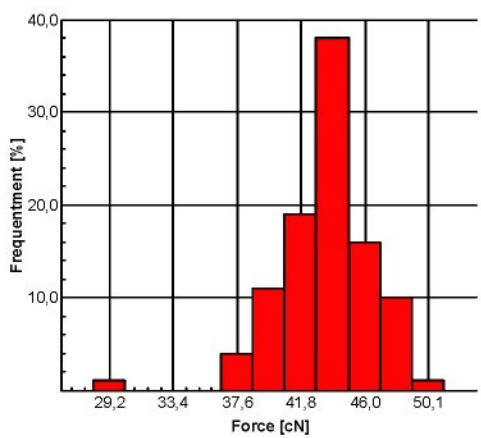
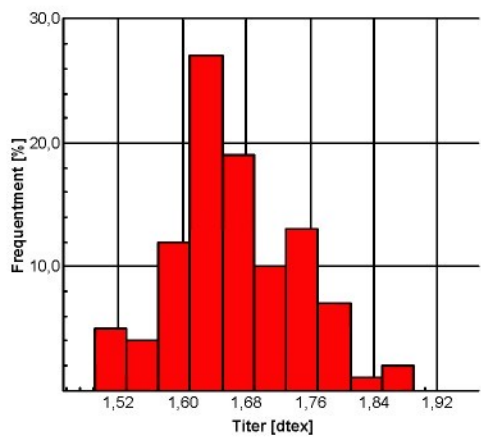
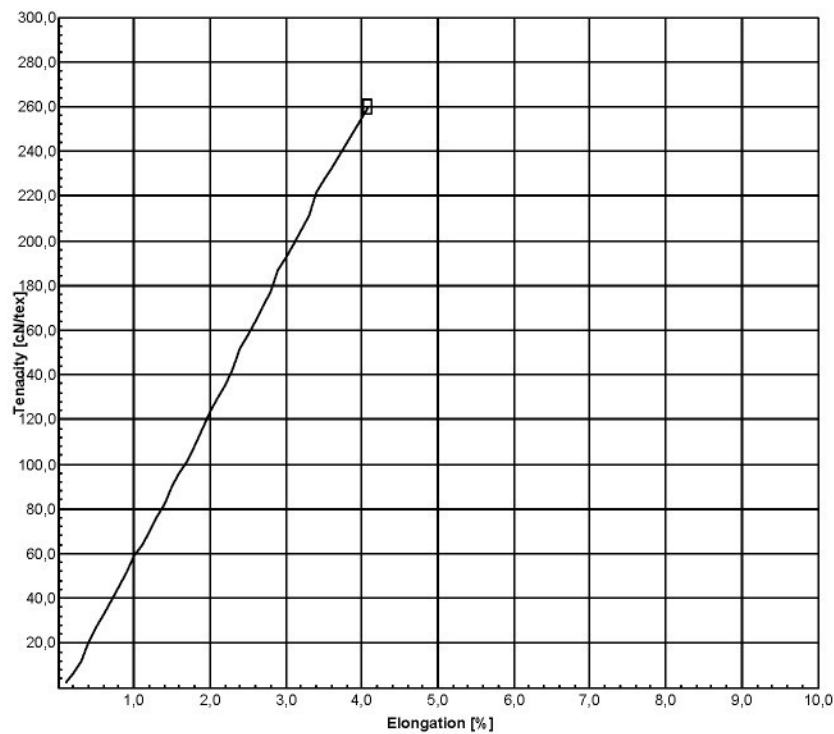
26.1.2009 13:59:58

No.	Titer	Force	Elong.	Ten.	Ten/ 10%	YM 1%	YM 1%	YM 1%
	dtex	cN	%	cN/tex	cN/tex	cN/tex	cN/dtex	g/den
86	1,79	49,03	4,40	273,91	0,00 5 368,72	536,87	608,08	
87	1,66	47,63	4,60	286,93	0,00 5 833,33	583,33	660,70	
88	1,78	48,39	4,40	271,85	0,00 5 157,30	515,73	584,13	
89	1,55	40,30	4,20	260,00	0,00 5 080,65	508,06	575,45	
90	1,68	45,83	4,20	272,80	0,00 6 044,64	604,46	684,64	
91	1,69	43,42	4,00	256,92	0,00 6 011,83	601,18	680,92	
92	1,61	40,48	4,00	251,43	0,00 6 211,18	621,12	703,50	
93	1,57	42,44	4,20	270,32	0,00 5 268,58	526,86	596,74	
94	1,52	42,89	4,30	282,17	0,00 6 019,74	601,97	681,81	
95	1,73	42,87	4,10	247,80	0,00 5 598,27	559,83	634,08	
96	1,73	39,27	3,50	226,99	0,00 6 141,62	614,16	695,62	
97	1,75	44,63	4,00	255,03	0,00 6 245,71	624,57	707,41	
98	1,73	42,43	3,80	245,26	0,00 5 957,61	595,76	674,78	
99	1,89	47,81	4,40	252,96	0,00 4 566,14	456,61	517,17	
100	1,62	28,14	2,80	173,70	0,00 5 888,89	588,89	666,99	
Average :	1,67	43,31	4,08	260,06	0,00 5 842,71	584,27	661,76	
Std.dev. :	0,08	2,94	0,28	16,48	0,00 533,19	53,32	60,39	
CV% :	4,87	6,79	6,99	6,34		9,13	9,13	9,13
Maximum :	1,89	49,03	4,80	288,86	0,00 7 182,39	718,24	813,50	
Minimum :	1,49	28,14	2,80	173,70	0,00 4 540,46	454,05	514,27	
Span width :	0,40	20,89	2,00	115,16	0,00 2 641,93	264,19	299,23	
Confid- :	1,65	42,71	4,02	256,70	0,00 5 733,94	573,39	649,44	
Intervall :	1,68	43,91	4,13	263,42	0,00 5 951,48	595,15	674,08	

T / E Line



Mean T / E Line



Vibroskop / Vibrodyn

Serial number : 1460 / 1455

Measurenumber: :562



15.4.2009 14:33:29

Sample ID : kevlar 100%

Operator : Pokorna

Ballen ID :

Nominal Titer : 1,7 dtex

Product : kevlar

Stapel length : 20 mm

Type :

Gauge length : 50 mm

Articel :

Test speed : 10 mm/min

Material :

Tension weight : 150 mg

Comment :

No.	Titer dtex	Force cN	Elong. %	Ten. cN/tex	Ten/ 10% cN/tex	YM 1% cN/tex	YM 1% cN/dtex	YM 1% g/den
1	1,67	0,01	1,50	0,06	0,00	5,99	0,60	0,68
2	1,67	45,66	3,80	273,41	0,00	7 221,56	722,16	817,94
3	1,69	44,83	3,60	265,27	0,00	7 059,17	705,92	799,54
4	1,66	42,37	3,50	255,24	0,00	7 096,39	709,64	803,76
5	1,61	39,74	3,60	246,83	0,00	6 521,74	652,17	738,67
6	1,70	44,23	3,60	260,18	0,00	7 247,06	724,71	820,82
7	1,57	41,70	3,40	265,61	0,00	7 363,06	736,31	833,96
8	1,66	44,66	3,90	269,04	0,00	6 493,98	649,40	735,53
9	1,57	41,71	3,50	265,67	0,00	7 464,97	746,50	845,51
10	1,59	39,89	3,50	250,88	0,00	6 949,69	694,97	787,14
11	1,66	40,13	3,40	241,75	0,00	6 909,64	690,96	782,61
12	1,61	43,07	3,60	267,52	0,00	7 099,38	709,94	804,10
13	1,52	43,34	3,90	285,13	0,00	7 322,37	732,24	829,35
14	1,61	40,53	3,40	251,74	0,00	7 093,17	709,32	803,39
15	1,70	46,66	3,70	274,47	0,00	7 223,53	722,35	818,16
16	1,57	40,04	3,30	255,03	0,00	7 961,78	796,18	901,78
17	1,67	46,91	3,80	280,90	0,00	7 401,20	740,12	838,28
18	1,59	45,91	3,80	288,74	0,00	7 622,64	762,26	863,36
19	1,69	46,43	3,90	274,73	0,00	7 142,01	714,20	808,93
20	1,65	41,00	3,60	248,48	0,00	6 890,91	689,09	780,49
21	1,70	44,58	3,90	262,24	0,00	6 476,47	647,65	733,55
22	1,75	42,53	3,60	243,03	0,00	6 634,29	663,43	751,42
23	1,69	45,30	3,90	268,05	0,00	6 656,80	665,68	753,97
24	1,66	44,75	3,60	269,58	0,00	7 228,92	722,89	818,77
25	1,65	41,02	3,40	248,61	0,00	7 612,12	761,21	862,17
26	1,57	42,99	3,60	273,82	0,00	7 503,18	750,32	849,83
27	1,56	44,95	3,80	288,14	0,00	7 532,05	753,21	853,10
28	1,76	45,87	3,80	260,63	0,00	6 511,36	651,14	737,50
29	1,69	46,75	3,80	276,63	0,00	7 065,09	706,51	800,21
30	1,66	44,81	3,80	269,94	0,00	6 801,20	680,12	770,33
31	1,67	46,92	3,90	280,96	0,00	6 772,46	677,25	767,07
32	1,74	47,89	3,80	275,23	0,00	7 040,23	704,02	797,40
33	1,69	46,80	4,00	276,92	0,00	6 656,80	665,68	753,97
34	1,65	46,15	3,90	279,70	0,00	6 878,79	687,88	779,11
35	1,60	42,41	3,80	265,06	0,00	6 712,50	671,25	760,28
36	1,64	43,38	3,70	264,51	0,00	6 676,83	667,68	756,24
37	1,67	47,53	4,00	284,61	0,00	6 766,47	676,65	766,39

Vibroskop / Vibrodyn

Serial number : 1460 / 1455

Measurenumber: :562



15.4.2009 14:33:29

No.	Titer	Force	Elong.	Ten.	Ten/ 10%	YM 1%	YM 1%	YM 1%
	dtex	cN	%	cN/tex	cN/tex	cN/tex	cN/dtex	g/den
38	1,69	46,64	3,60	275,98	0,00 7 846,15	784,62	888,68	
39	1,67	45,89	4,00	274,79	0,00 6 413,17	641,32	726,38	
40	1,68	44,72	3,70	266,19	0,00 6 755,95	675,60	765,20	
41	1,76	44,47	3,50	252,67	0,00 6 829,55	682,95	773,54	
42	1,59	42,36	3,70	266,42	0,00 7 194,97	719,50	814,92	
43	1,56	40,36	3,50	258,72	0,00 6 448,72	644,87	730,40	
44	1,66	42,79	3,60	257,77	0,00 6 981,93	698,19	790,79	
45	1,69	47,74	4,20	282,49	0,00 6 207,10	620,71	703,04	
46	1,59	43,09	4,00	271,01	0,00 6 389,94	638,99	723,74	
47	1,76	44,30	3,80	251,70	0,00 6 551,14	655,11	742,00	
48	1,81	44,27	3,80	244,59	0,00 6 165,75	616,57	698,35	
49	1,61	40,73	3,60	252,98	0,00 6 484,47	648,45	734,45	
50	1,59	43,65	3,80	274,53	0,00 6 886,79	688,68	780,02	
51	1,60	41,81	3,40	261,31	0,00 7 550,00	755,00	855,14	
52	1,72	48,64	3,90	282,79	0,00 6 938,95	693,90	785,93	
53	1,67	41,30	3,40	247,31	0,00 7 604,79	760,48	861,34	
54	1,70	43,01	3,70	253,00	0,00 6 429,41	642,94	728,22	
55	1,77	41,80	3,70	236,16	0,00 5 813,56	581,36	658,46	
56	1,42	36,83	3,40	259,37	0,00 7 161,97	716,20	811,19	
57	1,83	48,02	3,80	262,40	0,00 6 661,20	666,12	754,47	
58	1,59	41,42	3,60	260,50	0,00 6 849,06	684,91	775,75	
59	1,61	45,15	3,70	280,43	0,00 7 322,98	732,30	829,42	
60	1,65	44,74	3,80	271,15	0,00 6 660,61	666,06	754,40	
61	1,65	41,82	3,40	253,45	0,00 7 115,15	711,52	805,88	
62	1,69	47,88	4,00	283,31	0,00 6 857,99	685,80	776,76	
63	1,75	43,83	3,90	250,46	0,00 6 354,29	635,43	719,71	
64	1,75	41,83	3,70	239,03	0,00 6 374,29	637,43	721,97	
65	1,67	41,89	3,60	250,84	0,00 7 113,77	711,38	805,73	
66	1,62	40,50	3,70	250,00	0,00 6 561,73	656,17	743,20	
67	1,68	48,17	4,00	286,73	0,00 6 755,95	675,60	765,20	
68	1,64	42,97	3,70	262,01	0,00 6 463,41	646,34	732,07	
69	1,59	40,29	3,40	253,40	0,00 7 088,05	708,81	802,81	
70	1,64	45,28	3,80	276,10	0,00 7 048,78	704,88	798,37	
71	1,63	43,81	3,90	268,77	0,00 6 441,72	644,17	729,61	
72	1,49	42,36	4,00	284,30	0,00 6 402,68	640,27	725,19	
73	1,52	42,82	3,80	281,71	0,00 7 513,16	751,32	850,96	
74	1,60	41,37	3,50	258,56	0,00 7 187,50	718,75	814,08	
75	1,67	40,13	3,50	240,30	0,00 6 251,50	625,15	708,06	
76	1,67	42,85	3,60	256,59	0,00 7 137,72	713,77	808,44	
77	1,59	40,32	3,40	253,58	0,00 7 251,57	725,16	821,34	
78	1,46	40,08	3,50	274,52	0,00 7 657,53	765,75	867,32	
79	1,70	43,68	3,70	256,94	0,00 6 800,00	680,00	770,19	
80	1,64	40,30	3,50	245,73	0,00 6 896,34	689,63	781,10	
81	1,69	43,55	3,70	257,69	0,00 6 485,21	648,52	734,53	
82	1,64	38,75	3,50	236,28	0,00 6 524,39	652,44	738,97	
83	1,46	41,32	3,80	283,01	0,00 7 212,33	721,23	816,89	
84	1,71	46,51	4,00	271,99	0,00 6 368,42	636,84	721,31	
85	1,77	39,61	3,30	223,79	0,00 6 954,80	695,48	787,72	

Vibroskop / Vibrodyn

Serial number : 1460 / 1455

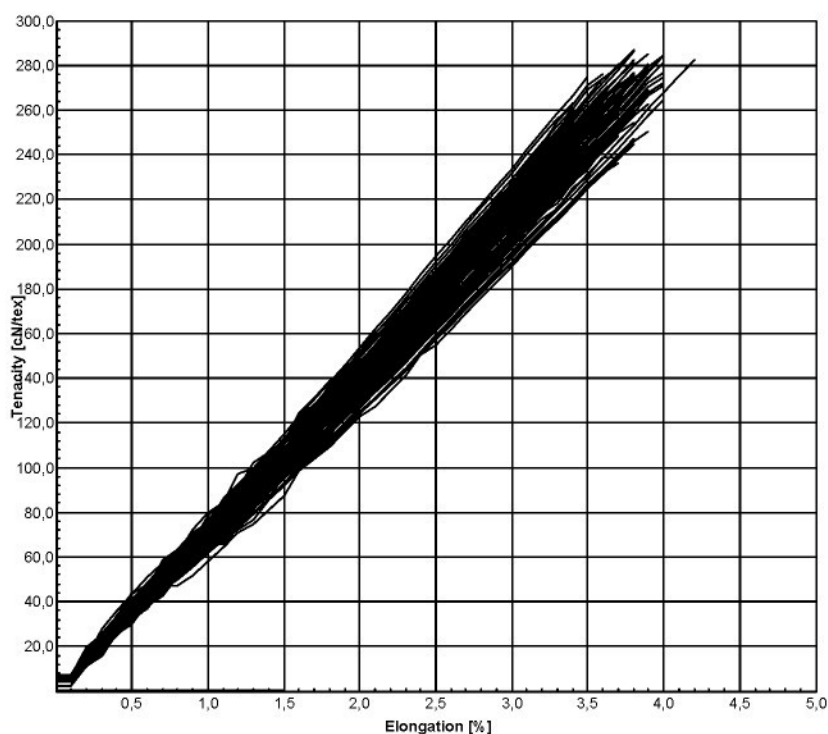
Measurenumber: :562



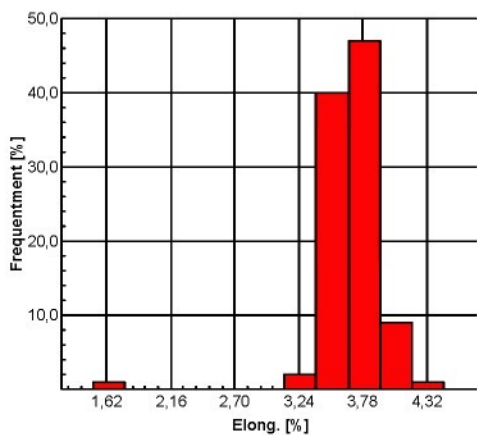
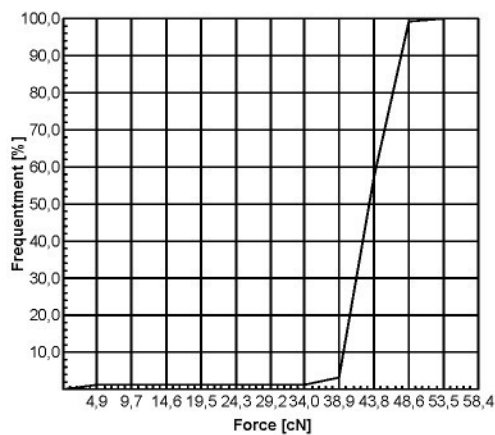
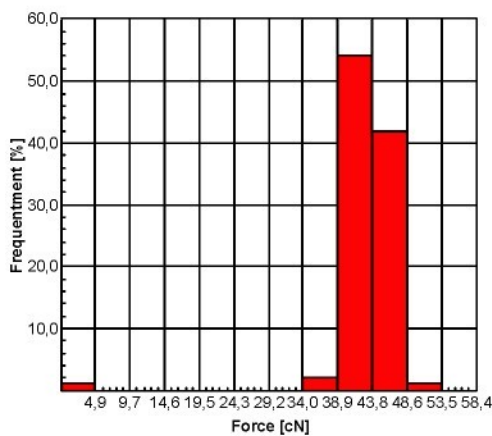
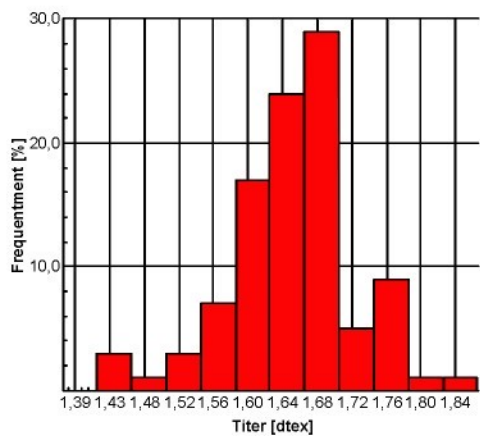
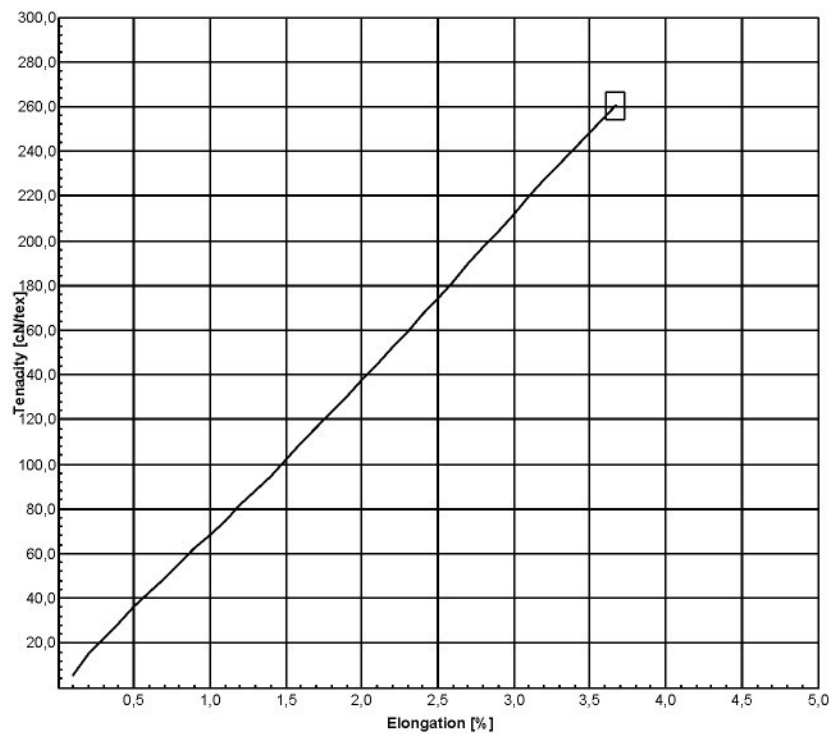
15.4.2009 14:33:29

No.	Titer	Force	Elong.	Ten.	Ten/ 10%	YM 1%	YM 1%	YM 1%
	dtex	cN	%	cN/tex	cN/tex	cN/tex	cN/dtex	g/den
86	1,68	45,03	3,70	268,04	0,00 6 732,14	673,21	762,50	
87	1,54	41,73	3,70	270,97	0,00 6 772,73	677,27	767,10	
88	1,66	43,87	3,60	264,28	0,00 7 322,29	732,23	829,35	
89	1,70	43,26	3,80	254,47	0,00 6 664,71	666,47	754,87	
90	1,65	42,93	3,50	260,18	0,00 7 424,24	742,42	840,89	
91	1,63	43,66	3,70	267,85	0,00 6 981,60	698,16	790,76	
92	1,78	44,06	3,60	247,53	0,00 6 297,75	629,78	713,30	
93	1,65	41,46	3,60	251,27	0,00 7 503,03	750,30	849,82	
94	1,70	41,31	3,50	243,00	0,00 6 582,35	658,24	745,54	
95	1,65	43,95	3,70	266,36	0,00 6 963,64	696,36	788,72	
96	1,73	44,78	3,70	258,84	0,00 6 895,95	689,60	781,06	
97	1,64	41,72	3,70	254,39	0,00 6 756,10	675,61	765,22	
98	1,66	43,90	4,00	264,46	0,00 6 584,34	658,43	745,76	
99	1,74	42,53	3,60	244,43	0,00 7 132,18	713,22	807,81	
100	1,56	43,56	3,70	279,23	0,00 7 544,87	754,49	854,56	
Average :	1,65	42,97	3,67	260,47	0,00 6 847,40	684,74	775,56	
Std.dev. :	0,07	4,97	0,29	29,66	0,00 806,05	80,60	91,30	
CV% :	4,45	11,56	7,87	11,39		11,77	11,77	
Maximum :	1,83	48,64	4,20	288,74	0,00 7 961,78	796,18	901,78	
Minimum :	1,42	0,01	1,50	0,06	0,00 5,99	0,60	0,68	
Span width :	0,41	48,63	2,70	288,68	0,00 7 955,79	795,58	901,10	
Confid- :	1,64	41,96	3,61	254,42	0,00 6 682,97	668,30	756,93	
Intervall :	1,67	43,98	3,73	266,52	0,00 7 011,84	701,18	794,18	

T / E Line



Mean T / E Line



Vibroskop / Vibrodyn

Serial number : 1460 / 1455

Measurenumber: :491



13.10.2008 13:07:06

Sample ID : 13.10.2008 10:52:59

Operator : Pokorna

Ballen ID :

Nominal Titer : 1,7 dtex

Product : Kevlar Twaron2300

Stapel length : 20 mm

Type : Twaron 2300

Gauge length : 10 mm

Articel :

Test speed : 5 mm/min

Material :

Tension weight : 100 mg

Comment :

No.	Titer dtex	Force cN	Elong. %	Ten. cN/tex	Ten/ 10% cN/tex	YM 1% cN/tex	YM 1% cN/dtex	YM 1% g/den
1	1,67	36,08	4,60	216,05	0,00	3 819,16	381,92	432,57
2	1,79	0,01	9,30	0,06	0,00	0,75	0,08	0,09
3	1,79	42,19	4,80	235,70	0,00	3 797,77	379,78	430,15
4	1,79	41,49	5,10	231,79	0,00	3 553,07	355,31	402,43
5	1,95	49,14	4,90	252,00	0,00	3 423,59	342,36	387,77
6	1,84	45,68	5,30	248,26	0,00	3 286,96	328,70	372,29
7	1,74	40,44	4,80	232,41	0,00	3 660,92	366,09	414,65
8	2,15	39,48	4,80	183,63	0,00	3 118,60	311,86	353,22
9	1,78	43,34	5,40	243,48	0,00	3 142,32	314,23	355,91
10	1,68	39,69	5,10	236,25	0,00	3 791,67	379,17	429,46
11	1,58	39,31	4,90	248,80	0,00	3 561,18	356,12	403,35
12	1,75	47,68	5,40	272,46	0,00	3 518,24	351,82	398,49
13	1,72	37,99	4,30	220,87	0,00	4 365,12	436,51	494,41
14	1,63	38,25	4,60	234,66	0,00	3 969,33	396,93	449,58
15	1,61	38,14	4,60	236,89	0,00	4 163,98	416,40	471,62
16	1,65	38,59	4,40	233,88	0,00	4 144,24	414,42	469,39
17	1,65	39,95	4,80	242,12	0,00	3 778,79	377,88	428,00
18	1,74	41,96	4,80	241,15	0,00	3 888,89	388,89	440,47
19	1,72	41,07	4,90	238,78	0,00	4 239,53	423,95	480,18
20	1,71	45,84	4,90	268,07	0,00	4 154,39	415,44	470,54
21	1,89	42,31	4,30	223,86	0,00	3 973,55	397,35	450,06
22	1,83	38,68	4,40	211,37	0,00	3 910,93	391,09	442,96
23	1,65	41,47	5,20	251,33	0,00	3 709,09	370,91	420,10
24	1,73	45,06	5,20	260,46	0,00	4 066,80	406,68	460,62
25	1,61	42,06	5,20	261,24	0,00	3 963,98	396,40	448,97
26	1,51	33,91	4,60	224,57	0,00	3 913,91	391,39	443,30
27	1,75	32,05	3,90	183,14	0,00	4 113,14	411,31	465,87
28	1,85	41,90	4,40	226,49	0,00	3 800,00	380,00	430,40
29	1,78	43,84	4,90	246,29	0,00	3 787,64	378,76	429,00
30	1,91	39,54	4,60	207,02	0,00	3 361,26	336,13	380,71
31	1,87	47,60	5,20	254,55	0,00	4 146,76	414,68	469,68
32	1,66	44,68	5,40	269,16	0,00	3 569,88	356,99	404,34
33	1,75	36,65	4,20	209,43	0,00	3 732,57	373,26	422,76
34	1,60	44,95	5,60	280,94	0,00	3 742,19	374,22	423,85
35	1,68	42,79	4,90	254,70	0,00	4 023,81	402,38	455,75
36	1,49	34,00	4,30	228,19	0,00	3 848,32	384,83	435,87
37	1,68	41,13	4,90	244,82	0,00	2 791,67	279,17	316,19

Vibroskop / Vibrodyn

Serial number : 1460 / 1455

Measurenumber: :491



13.10.2008 13:07:06

No.	Titer	Force	Elong.	Ten.	Ten/ 10%	YM 1%	YM 1%	YM 1%
	dtex	cN	%	cN/tex	cN/tex	cN/tex	cN/dtex	g/den
38	1,78	46,87	5,20	263,31	0,00 3 753,93	375,39	425,18	
39	1,90	45,17	4,90	237,74	0,00 3 649,47	364,95	413,35	
40	1,57	41,55	5,40	264,65	0,00 3 769,43	376,94	426,94	
41	1,61	42,65	4,90	264,91	0,00 4 344,10	434,41	492,03	
42	1,64	43,95	5,10	267,99	0,00 3 682,93	368,29	417,14	
43	1,71	46,53	5,20	272,11	0,00 4 118,13	411,81	466,43	
44	1,82	45,74	5,40	251,32	0,00 2 902,20	290,22	328,71	
45	1,65	35,93	4,20	217,76	0,00 4 383,84	438,38	496,53	
46	1,57	35,98	4,40	229,17	0,00 4 017,52	401,75	455,04	
47	1,65	39,25	4,60	237,88	0,00 4 255,76	425,58	482,02	
48	1,66	41,81	5,10	251,87	0,00 4 088,86	408,89	463,12	
49	1,61	30,63	8,90	190,25	0,00 3 827,47	382,75	433,51	
50	1,78	37,59	4,60	211,18	0,00 3 599,25	359,93	407,66	
51	1,70	41,63	4,80	244,88	0,00 4 079,41	407,94	462,05	
52	1,62	41,37	5,10	255,37	0,00 4 102,47	410,25	464,66	
53	1,68	39,28	4,40	233,81	0,00 4 233,33	423,33	479,48	
54	1,67	39,93	4,70	239,10	0,00 4 095,81	409,58	463,90	
55	1,70	45,94	5,20	270,24	0,00 4 276,47	427,65	484,37	
56	1,83	41,44	4,80	226,45	0,00 3 422,95	342,30	387,69	
57	1,73	46,85	5,10	270,81	0,00 3 865,90	386,59	437,86	
58	1,68	44,52	4,90	265,00	0,00 4 105,95	410,60	465,05	
59	1,74	47,28	5,20	271,72	0,00 2 622,61	262,26	297,04	
60	1,72	42,92	5,20	249,53	0,00 3 231,40	323,14	366,00	
61	1,89	42,09	4,60	222,70	0,00 4 074,07	407,41	461,44	
62	1,73	47,67	5,10	275,55	0,00 2 271,68	227,17	257,30	
63	1,53	40,44	4,90	264,31	0,00 3 918,95	391,90	443,87	
64	1,60	43,36	5,20	271,00	0,00 4 038,19	403,82	457,38	
65	1,71	42,67	4,70	249,53	0,00 4 183,63	418,36	473,85	
66	1,68	45,02	4,90	267,98	0,00 4 267,86	426,79	483,39	
67	1,85	46,62	5,20	252,00	0,00 3 718,92	371,89	421,22	
68	1,65	42,05	4,80	254,85	0,00 4 530,91	453,09	513,18	
69	1,72	44,43	4,70	258,31	0,00 3 868,22	386,82	438,13	
70	1,79	45,77	5,10	255,70	0,00 3 513,97	351,40	398,00	
71	1,77	47,94	5,10	270,85	0,00 3 978,03	397,80	450,56	
72	1,65	40,22	4,80	243,76	0,00 4 068,18	406,82	460,77	
73	1,70	45,47	5,10	267,47	0,00 4 045,10	404,51	458,16	
74	1,68	41,56	4,80	247,38	0,00 3 907,74	390,77	442,60	
75	1,69	39,85	5,10	235,80	0,00 3 730,77	373,08	422,56	
76	1,63	36,29	5,10	222,64	0,00 3 206,54	320,65	363,18	
77	1,65	38,53	4,60	233,52	0,00 4 223,03	422,30	478,31	
78	1,72	44,84	4,70	260,70	0,00 3 902,62	390,26	442,02	
79	1,66	0,02	5,60	0,12	0,00 6,02	0,60	0,68	
80	1,66	42,68	5,10	257,11	0,00 3 987,95	398,80	451,69	
81	1,66	45,37	5,20	273,31	0,00 3 708,84	370,88	420,07	
82	1,92	44,30	4,70	230,73	0,00 3 800,00	380,00	430,40	
83	1,66	40,26	4,60	242,53	0,00 3 754,52	375,45	425,25	
84	1,78	48,19	5,20	270,73	0,00 4 039,33	403,93	457,51	
85	1,72	45,79	5,10	266,22	0,00 4 190,41	419,04	474,62	

Vibroskop / Vibrodyn

Serial number : 1460 / 1455

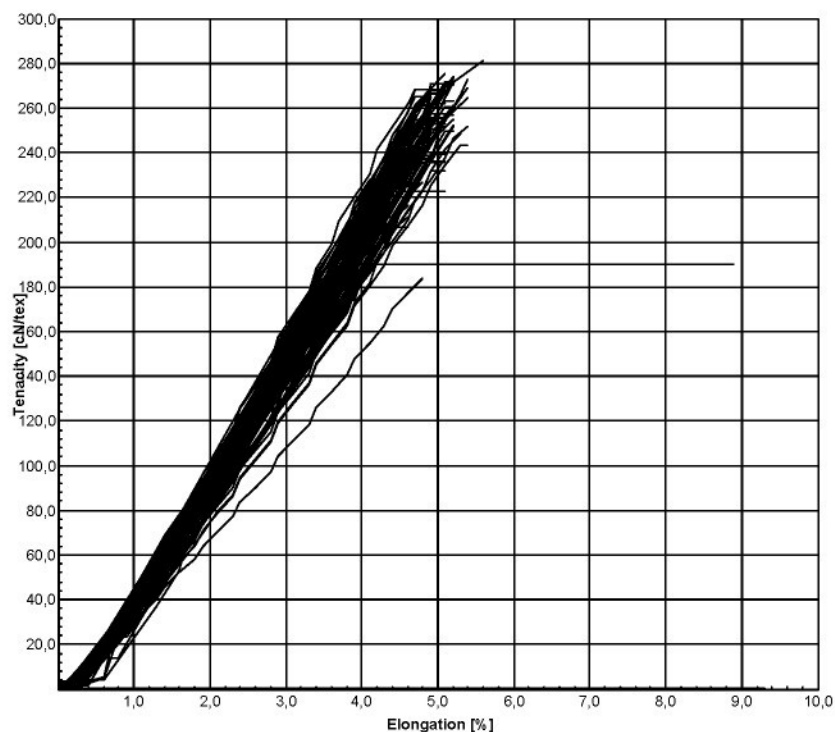
Measurenumber: :491



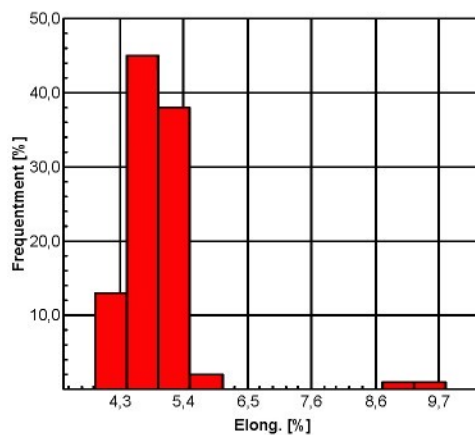
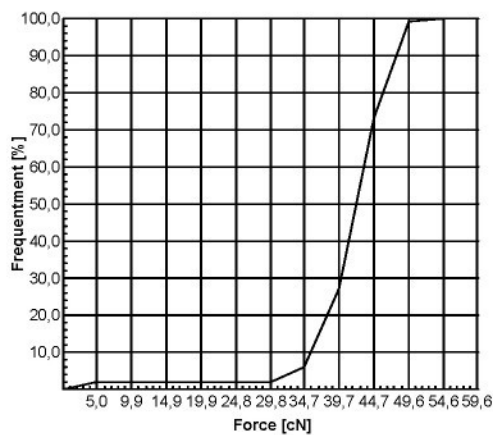
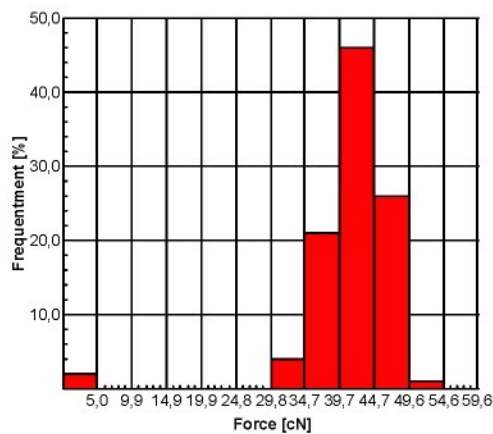
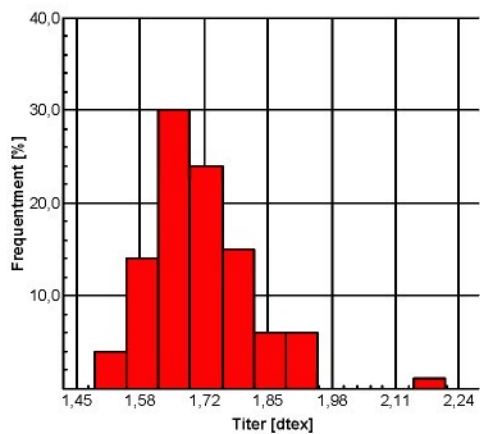
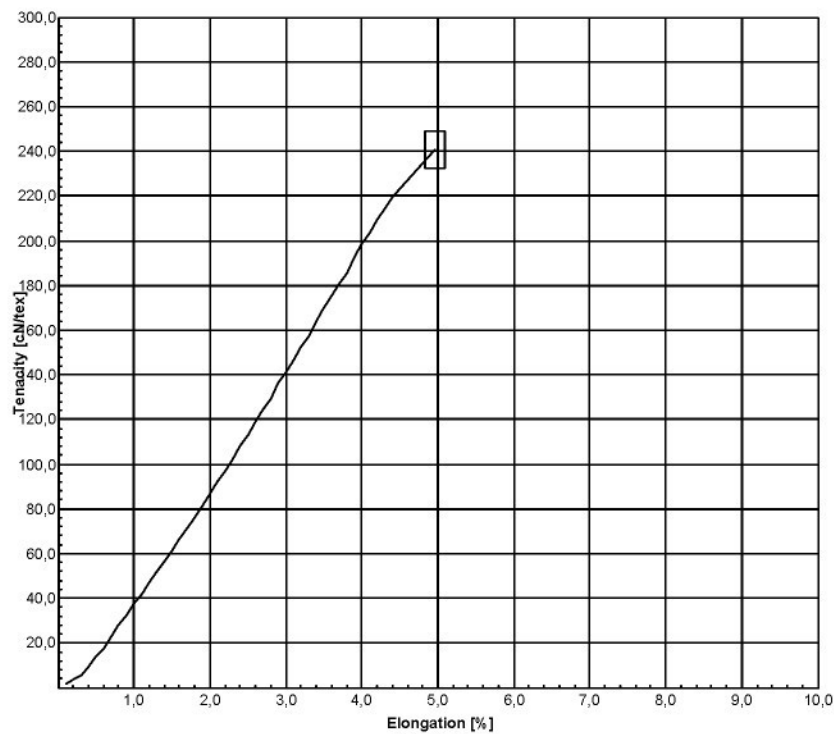
13.10.2008 13:07:06

No.	Titer	Force	Elong.	Ten.	Ten/ 10%	YM 1%	YM 1%	YM 1%
	dtex	cN	%	cN/tex	cN/tex	cN/tex	cN/dtex	g/den
86	1,62	39,46	4,60	243,58	0,00	3 874,07	387,41	438,79
87	1,69	42,79	5,10	253,20	0,00	3 624,85	362,49	410,56
88	1,68	34,87	4,10	207,56	0,00	3 538,10	353,81	400,74
89	1,53	39,94	4,90	261,05	0,00	4 091,50	409,15	463,42
90	1,66	40,17	4,80	241,99	0,00	3 618,07	361,81	409,79
91	1,80	46,00	4,90	255,56	0,00	3 893,06	389,31	440,94
92	1,66	42,63	5,20	256,81	0,00	3 518,07	351,81	398,47
93	1,56	40,15	4,90	257,37	0,00	3 891,03	389,10	440,71
94	1,81	49,65	5,20	274,31	0,00	4 079,32	407,93	462,04
95	1,71	43,95	4,70	257,02	0,00	3 541,52	354,15	401,12
96	1,80	43,15	5,10	239,72	0,00	3 408,33	340,83	386,04
97	1,66	43,50	5,10	262,05	0,00	3 638,55	363,86	412,11
98	1,76	39,99	4,40	227,22	0,00	4 009,09	400,91	454,08
99	1,62	43,50	4,70	268,52	0,00	4 526,75	452,67	512,71
100	1,58	37,80	4,60	239,24	0,00	3 910,13	391,01	442,87
Average :	1,71	41,13	4,97	240,82	0,00	3 743,61	374,36	424,01
Std.dev. :	0,10	7,00	0,68	40,25	0,00	658,46	65,85	74,58
CV% :	6,07	17,02	13,73	16,71		17,59	17,59	17,59
Maximum :	2,15	49,65	9,30	280,94	0,00	4 530,91	453,09	513,18
Minimum :	1,49	0,01	3,90	0,06	0,00	0,75	0,08	0,09
Span width :	0,66	49,64	5,40	280,88	0,00	4 530,16	453,01	513,09
Confid- :	1,69	39,70	4,83	232,61	0,00	3 609,29	360,93	408,80
Intervall :	1,73	42,56	5,10	249,03	0,00	3 877,94	387,79	439,23

T / E Line



Mean T / E Line



Vibroskop / Vibrodyn

Serial number : 1460 / 1455

Measurenumber: :494



20.10.2008 12:05:48

Sample ID : 20.10.2008 09:36:45

Operator : Pokorna

Ballen ID :

Nominal Titer : 1,7 dtex

Product : Kevlar Twaron 2300

Stapel length : 20 mm

Type :

Gauge length : 20 mm

Articel :

Test speed : 5 mm/min

Material :

Tension weight : 100 mg

Comment :

No.	Titer dtex	Force cN	Elong. %	Ten. cN/tex	Ten/ 10% cN/tex	YM 1% cN/tex	YM 1% cN/dtex	YM 1% g/den
1	1,57	38,22	4,00	243,44	0,00 5 407,64	540,76	612,49	
2	1,62	43,93	4,70	271,17	0,00 4 950,62	495,06	560,72	
3	1,66	42,88	4,40	258,31	0,00 4 939,76	493,98	559,49	
4	1,63	44,13	4,30	270,74	0,00 4 628,83	462,88	524,28	
5	1,70	44,44	4,30	261,41	0,00 5 209,80	520,98	590,08	
6	1,59	41,48	4,20	260,88	0,00 5 446,54	544,65	616,89	
7	1,62	43,90	4,30	270,99	0,00 5 419,75	541,98	613,86	
8	1,70	43,63	4,50	256,65	0,00 4 641,18	464,12	525,67	
9	1,63	44,62	4,60	273,74	0,00 5 163,60	516,36	584,85	
10	1,63	43,39	4,40	266,20	0,00 4 865,03	486,50	551,03	
11	1,62	38,37	4,10	236,85	0,00 5 078,19	507,82	575,17	
12	1,67	40,53	4,10	242,69	0,00 4 871,26	487,13	551,73	
13	1,56	38,28	4,10	245,38	0,00 5 153,85	515,38	583,74	
14	1,64	45,16	4,30	275,37	0,00 5 770,33	577,03	653,56	
15	1,83	43,60	4,10	238,25	0,00 4 863,39	486,34	550,84	
16	1,56	42,03	4,40	269,42	0,00 5 250,00	525,00	594,63	
17	1,59	39,86	4,20	250,69	0,00 4 462,26	446,23	505,41	
18	1,70	44,18	4,30	259,88	0,00 5 352,94	535,29	606,29	
19	1,70	43,47	4,20	255,71	0,00 5 070,59	507,06	574,31	
20	1,61	43,34	4,50	269,19	0,00 5 285,71	528,57	598,68	
21	1,65	47,12	4,40	285,58	0,00 5 612,12	561,21	635,65	
22	1,69	44,39	4,30	262,66	0,00 4 978,30	497,83	563,86	
23	1,63	45,29	4,60	277,85	0,00 5 325,15	532,52	603,14	
24	1,73	44,88	4,40	259,42	0,00 4 739,88	473,99	536,85	
25	1,63	43,40	4,60	266,26	0,00 4 800,61	480,06	543,73	
26	1,58	42,52	4,20	269,11	0,00 5 860,76	586,08	663,81	
27	1,66	41,40	4,30	249,40	0,00 5 078,31	507,83	575,19	
28	1,77	45,47	4,70	256,89	0,00 4 615,82	461,58	522,80	
29	1,76	44,34	4,50	251,93	0,00 4 676,14	467,61	529,63	
30	1,76	43,54	4,30	247,39	0,00 4 809,66	480,97	544,76	
31	1,64	43,70	4,60	266,46	0,00 4 615,85	461,59	522,81	
32	1,77	49,79	4,80	281,30	0,00 4 217,51	421,75	477,69	
33	1,60	39,76	4,30	248,50	0,00 4 818,75	481,87	545,79	
34	1,73	46,06	4,80	266,24	0,00 4 450,87	445,09	504,12	
35	1,61	41,20	4,50	255,90	0,00 4 786,75	478,67	542,16	
36	1,66	44,17	4,30	266,08	0,00 5 274,10	527,41	597,36	
37	1,66	42,99	4,30	258,98	0,00 5 138,55	513,86	582,01	

Vibroskop / Vibrodyn

Serial number : 1460 / 1455

Measurenumber: :494



20.10.2008 12:05:48

No.	Titer	Force	Elong.	Ten.	Ten/ 10%	YM 1%	YM 1%	YM 1%
	dtex	cN	%	cN/tex	cN/tex	cN/tex	cN/dtex	g/den
38	1,64	43,06	4,50	262,56	0,00 4 789,63	478,96	542,49	
39	1,77	41,48	4,20	234,35	0,00 4 418,08	441,81	500,41	
40	1,75	45,19	4,40	258,23	0,00 4 822,86	482,29	546,25	
41	1,59	43,18	4,30	271,57	0,00 5 289,31	528,93	599,08	
42	1,63	44,68	4,50	274,11	0,00 5 147,24	514,72	582,99	
43	1,68	44,62	4,40	265,60	0,00 4 996,03	499,60	565,87	
44	1,75	41,59	4,50	237,66	0,00 4 142,86	414,29	469,23	
45	1,61	46,42	4,50	288,32	0,00 5 254,66	525,47	595,16	
46	1,71	43,64	4,60	255,20	0,00 4 725,15	472,51	535,18	
47	1,77	44,44	4,30	251,07	0,00 4 689,27	468,93	531,12	
48	1,83	42,73	4,20	233,50	0,00 4 628,42	462,84	524,23	
49	1,73	42,68	4,40	246,71	0,00 4 383,15	438,32	496,45	
50	1,76	42,22	4,30	239,89	0,00 4 875,00	487,50	552,16	
51	1,77	46,74	4,40	264,07	0,00 5 111,11	511,11	578,90	
52	1,65	40,23	4,30	243,82	0,00 4 500,00	450,00	509,68	
53	1,71	39,89	4,20	233,27	0,00 4 853,80	485,38	549,76	
54	1,76	44,48	4,60	252,73	0,00 4 454,55	445,45	504,54	
55	1,72	40,16	4,30	233,49	0,00 4 322,67	432,27	489,60	
56	1,70	41,18	4,20	242,24	0,00 4 905,88	490,59	555,66	
57	1,53	36,04	4,10	235,56	0,00 4 859,48	485,95	550,40	
58	1,58	37,96	4,00	240,25	0,00 5 284,81	528,48	598,57	
59	1,63	39,07	4,10	239,69	0,00 4 825,15	482,52	546,51	
60	1,66	41,64	4,50	250,84	0,00 4 162,65	416,27	471,47	
61	1,64	38,34	4,00	233,78	0,00 4 274,39	427,44	484,13	
62	1,59	41,80	4,00	262,89	0,00 5 909,85	590,99	669,37	
63	1,62	39,77	4,30	245,49	0,00 4 734,57	473,46	536,25	
64	1,83	39,49	4,30	215,79	0,00 4 052,82	405,28	459,04	
65	1,65	40,58	4,00	245,94	0,00 5 309,09	530,91	601,32	
66	1,69	45,52	4,30	269,35	0,00 5 230,77	523,08	592,45	
67	1,61	42,53	4,30	264,16	0,00 5 118,01	511,80	579,68	
68	1,59	42,23	4,30	265,60	0,00 5 213,84	521,38	590,54	
69	1,59	42,38	4,40	266,54	0,00 5 320,75	532,08	602,65	
70	1,74	40,08	4,20	230,34	0,00 4 706,90	470,69	533,12	
71	1,73	45,12	4,20	260,81	0,00 5 554,91	555,49	629,17	
72	1,69	46,28	4,40	273,85	0,00 5 502,96	550,30	623,28	
73	1,67	44,65	4,30	267,37	0,00 5 377,25	537,72	609,04	
74	1,61	43,46	4,40	269,94	0,00 5 068,32	506,83	574,05	
75	1,63	44,06	4,70	270,31	0,00 4 711,66	471,17	533,66	
76	1,58	43,96	4,80	278,23	0,00 4 729,96	473,00	535,73	
77	1,66	42,85	4,20	258,13	0,00 5 421,69	542,17	614,08	
78	1,64	41,73	4,10	254,45	0,00 5 292,68	529,27	599,47	
79	1,77	45,69	4,20	258,14	0,00 5 056,50	505,65	572,71	
80	1,69	45,51	4,50	269,29	0,00 4 992,11	499,21	565,42	
81	1,63	41,32	4,10	253,50	0,00 5 251,53	525,15	594,81	
82	1,51	35,97	4,00	238,21	0,00 5 324,50	532,45	603,07	
83	1,56	42,53	4,30	272,63	0,00 5 272,44	527,24	597,17	
84	1,67	43,50	4,30	260,48	0,00 5 311,38	531,14	601,58	
85	1,72	48,81	4,60	283,78	0,00 5 476,74	547,67	620,31	

Vibroskop / Vibrodyn

Serial number : 1460 / 1455

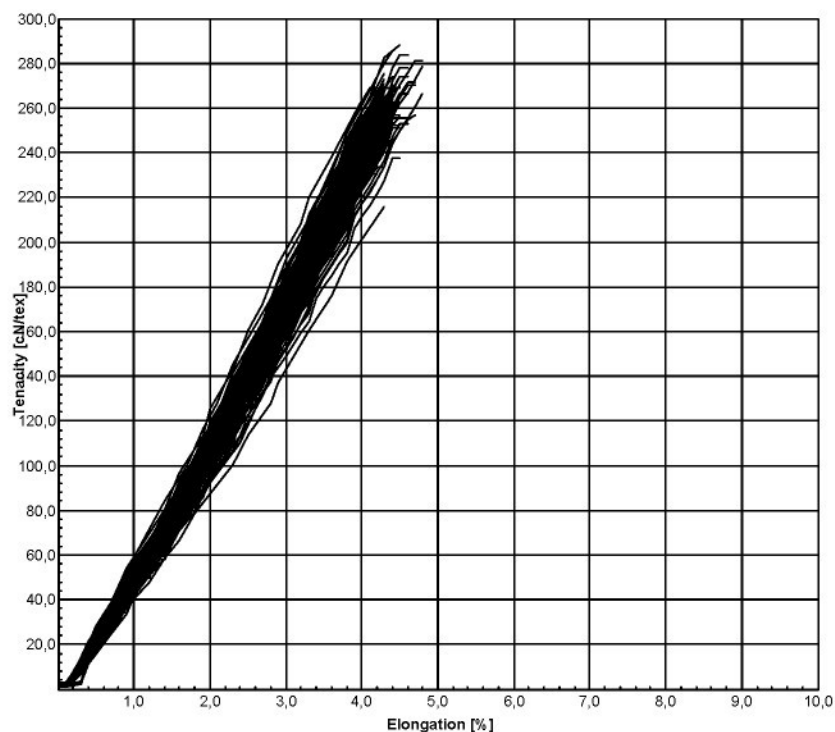
Measurenumber: :494



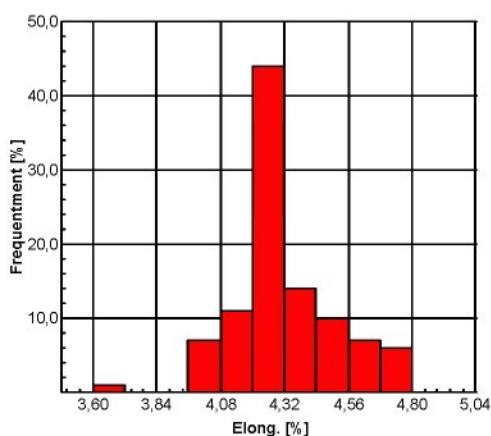
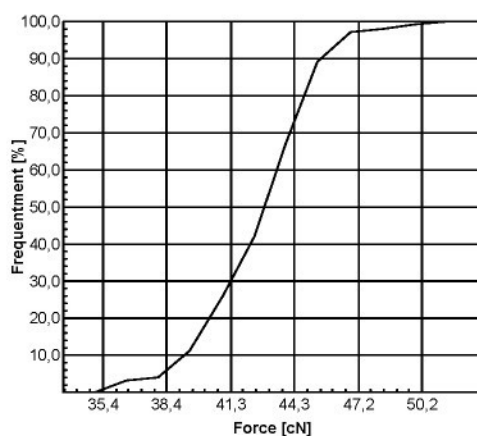
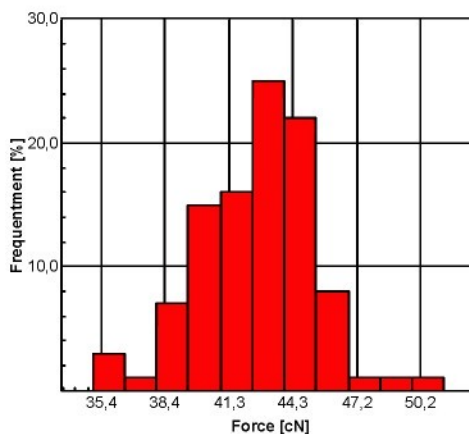
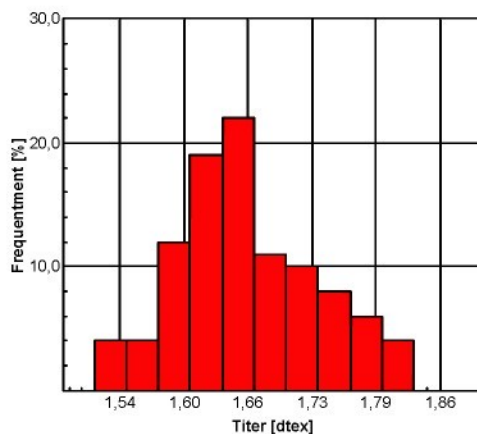
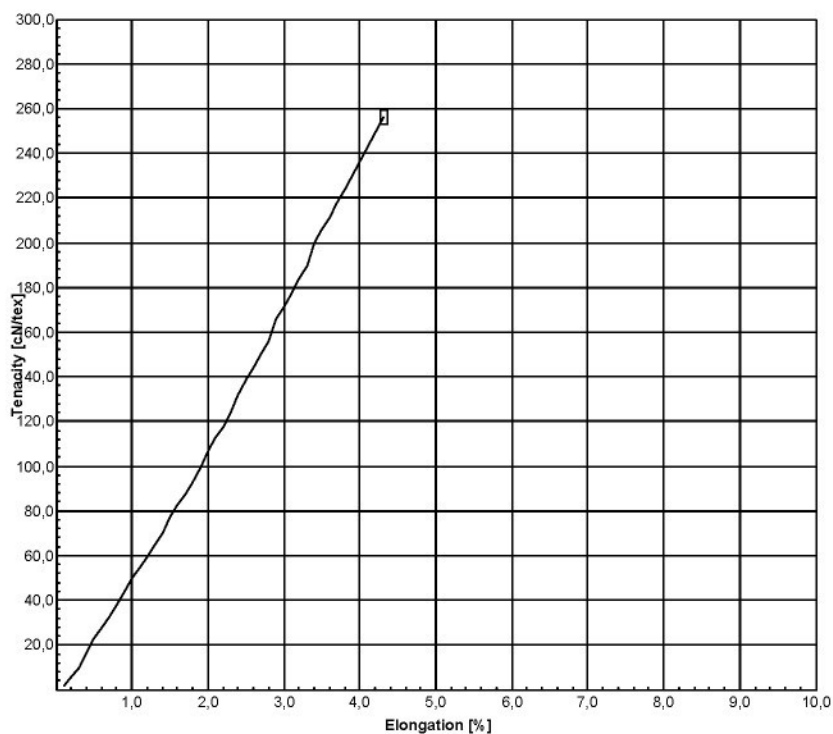
20.10.2008 12:05:48

No.	Titer	Force	Elong.	Ten.	Ten/ 10%	YM 1%	YM 1%	YM 1%
	dtex	cN	%	cN/tex	cN/tex	cN/tex	cN/dtex	g/den
86	1,73	43,75	4,00	252,89	0,00 5 160,40	516,04	584,48	
87	1,52	39,34	4,10	258,82	0,00 5 513,16	551,32	624,44	
88	1,71	40,00	4,30	233,92	0,00 4 584,80	458,48	519,29	
89	1,64	41,63	4,40	253,84	0,00 4 810,98	481,10	544,91	
90	1,58	40,71	4,30	257,66	0,00 4 886,08	488,61	553,41	
91	1,64	42,00	4,10	256,10	0,00 5 526,83	552,68	625,99	
92	1,61	39,11	4,20	242,92	0,00 4 826,09	482,61	546,62	
93	1,76	44,64	4,20	253,64	0,00 5 191,29	519,13	587,98	
94	1,58	39,97	4,30	252,97	0,00 5 113,92	511,39	579,22	
95	1,65	42,89	4,30	259,94	0,00 5 124,24	512,42	580,39	
96	1,70	43,37	4,40	255,12	0,00 4 629,41	462,94	524,34	
97	1,66	40,21	4,10	242,23	0,00 5 144,58	514,46	582,69	
98	1,54	40,25	4,30	261,36	0,00 4 915,58	491,56	556,75	
99	1,80	43,75	4,30	243,06	0,00 4 594,44	459,44	520,38	
100	1,66	35,03	3,60	211,02	0,00 5 192,77	519,28	588,15	
Average :	1,66	42,58	4,32	256,06	0,00 4 985,02	498,50	564,62	
Std.dev. :	0,07	2,63	0,20	14,66	0,00 383,16	38,32	43,40	
CV% :	4,32	6,18	4,69	5,72		7,69	7,69	
Maximum :	1,83	49,79	4,80	288,32	0,00 5 909,85	590,99	669,37	
Minimum :	1,51	35,03	3,60	211,02	0,00 4 052,82	405,28	459,04	
Span width :	0,32	14,76	1,20	77,30	0,00 1 857,03	185,71	210,33	
Confid- :	1,65	42,04	4,28	253,07	0,00 4 906,86	490,69	555,77	
Intervall :	1,68	43,11	4,36	259,05	0,00 5 063,19	506,32	573,47	

T / E Line



Mean T / E Line



Vibroskop / Vibrodyn

Serial number : 1460 / 1455

Measurenumber: :561



15.4.2009 10:43:12

Sample ID : Twaron 2300

Operator : Pokorna

Ballen ID :

Nominal Titer : 1,7 dtex

Product : twaron

Stapel length : 20 mm

Type : 2300

Gauge length : 50 mm

Articel :

Test speed : 10 mm/min

Material :

Tension weight : 150 mg

Comment :

No.	Titer dtex	Force cN	Elong. %	Ten. cN/tex	Ten/ 10% cN/tex	YM 1% cN/tex	YM 1% cN/dtex	YM 1% g/den
1	1,70	38,98	3,60	229,29	0,00 5 847,06	584,71	662,26	
2	1,74	40,47	3,60	232,59	0,00 5 528,74	552,87	626,20	
3	1,82	39,85	3,50	218,96	0,00 5 236,26	523,63	593,08	
4	1,76	38,74	3,40	220,11	0,00 5 494,32	549,43	622,30	
5	1,88	46,15	3,90	245,48	0,00 5 755,32	575,53	651,87	
6	1,80	44,47	3,90	247,06	0,00 5 622,22	562,22	636,79	
7	1,74	40,76	3,60	234,25	0,00 5 810,34	581,03	658,10	
8	1,83	43,45	3,80	237,43	0,00 5 098,36	509,84	577,46	
9	1,77	42,16	3,60	238,19	0,00 5 745,76	574,58	650,78	
10	1,72	41,21	3,80	239,59	0,00 5 296,51	529,65	599,90	
11	1,76	46,12	4,00	262,05	0,00 5 647,73	564,77	639,68	
12	1,91	46,66	3,90	244,29	0,00 5 099,48	509,95	577,58	
13	1,80	41,62	3,90	231,22	0,00 5 238,89	523,89	593,37	
14	1,68	44,02	4,00	262,02	0,00 5 297,62	529,76	600,02	
15	1,79	42,49	3,70	237,37	0,00 5 474,86	547,49	620,10	
16	1,72	42,11	3,70	244,83	0,00 5 377,91	537,79	609,12	
17	1,86	44,14	3,60	237,31	0,00 5 586,02	558,60	632,69	
18	1,74	44,70	4,00	256,90	0,00 5 603,45	560,34	634,66	
19	1,64	36,04	3,40	219,76	0,00 5 707,32	570,73	646,43	
20	1,77	42,32	3,70	239,10	0,00 5 805,08	580,51	657,50	
21	1,70	43,46	3,80	255,65	0,00 5 752,94	575,29	651,60	
22	1,56	36,55	3,50	234,29	0,00 5 576,92	557,69	631,66	
23	1,82	46,25	4,10	254,12	0,00 4 989,01	498,90	565,07	
24	1,81	46,44	3,90	256,57	0,00 5 839,78	583,98	661,43	
25	1,86	46,42	4,00	249,57	0,00 4 989,25	498,92	565,10	
26	1,78	45,02	3,90	252,92	0,00 5 803,37	580,34	657,31	
27	1,48	37,02	3,80	250,14	0,00 5 601,35	560,14	634,43	
28	1,75	41,53	3,70	237,31	0,00 5 800,00	580,00	656,93	
29	1,80	42,38	3,40	235,44	0,00 5 844,44	584,44	661,96	
30	1,87	42,53	3,50	227,43	0,00 5 577,54	557,75	631,73	
31	1,77	44,50	4,00	251,41	0,00 4 988,70	498,87	565,04	
32	1,77	47,18	4,10	266,55	0,00 5 090,40	509,04	576,55	
33	1,51	38,07	3,90	252,12	0,00 5 602,65	560,26	634,57	
34	1,93	46,82	3,70	242,59	0,00 5 756,48	575,65	652,00	
35	1,72	39,72	3,70	230,93	0,00 4 680,23	468,02	530,10	
36	1,76	46,50	4,10	264,20	0,00 5 420,45	542,05	613,94	
37	1,78	42,85	4,00	240,73	0,00 4 859,55	485,96	550,41	

Vibroskop / Vibrodyn

Serial number : 1460 / 1455

Measurenumber: :561



15.4.2009 10:43:12

No.	Titer	Force	Elong.	Ten.	Ten/ 10%	YM 1%	YM 1%	YM 1%
	dtex	cN	%	cN/tex	cN/tex	cN/tex	cN/dtex	g/den
38	1,65	40,82	3,60	247,39	0,00 6 230,30	623,03	705,66	
39	1,50	35,05	3,70	233,67	0,00 5 473,33	547,33	619,93	
40	1,83	44,88	3,90	245,25	0,00 5 327,87	532,79	603,45	
41	1,73	40,62	3,40	234,80	0,00 6 000,00	600,00	679,58	
42	1,75	42,62	3,80	243,54	0,00 5 417,14	541,71	613,56	
43	1,75	37,27	3,40	212,97	0,00 5 440,00	544,00	616,15	
44	1,81	44,82	3,70	247,62	0,00 5 635,36	563,54	638,28	
45	1,77	45,79	3,80	258,70	0,00 6 129,94	612,99	694,30	
46	1,77	45,56	3,90	257,40	0,00 5 830,51	583,05	660,38	
47	1,48	34,72	3,80	234,59	0,00 5 614,86	561,49	635,96	
48	1,87	40,18	3,50	214,87	0,00 5 224,60	522,46	591,75	
49	1,78	42,85	3,70	240,73	0,00 5 432,58	543,26	615,31	
50	1,49	36,40	4,00	244,30	0,00 5 000,00	500,00	566,32	
51	1,57	38,08	3,60	242,55	0,00 5 806,79	580,68	657,70	
52	1,53	39,09	4,10	255,49	0,00 5 150,33	515,03	583,34	
53	1,62	30,99	3,00	191,30	0,00 5 345,68	534,57	605,47	
54	1,88	45,21	3,60	240,48	0,00 5 824,47	582,45	659,70	
55	1,73	47,17	4,20	272,66	0,00 5 069,36	506,94	574,17	
56	1,60	35,85	3,80	224,06	0,00 4 587,50	458,75	519,59	
57	1,75	45,15	4,00	258,00	0,00 5 754,29	575,43	651,75	
58	1,61	40,17	3,60	249,50	0,00 6 527,95	652,80	739,38	
59	1,84	41,27	3,90	224,29	0,00 4 472,83	447,28	506,61	
60	1,61	37,77	4,10	234,60	0,00 4 608,70	460,87	522,00	
61	1,71	42,48	3,90	248,42	0,00 5 362,57	536,26	607,38	
62	1,63	36,83	3,40	225,95	0,00 6 245,40	624,54	707,37	
63	1,78	44,01	4,00	247,25	0,00 5 016,85	501,69	568,22	
64	1,61	37,05	3,70	230,12	0,00 4 962,73	496,27	562,09	
65	1,80	40,55	3,60	225,28	0,00 5 655,56	565,56	640,57	
66	1,71	37,33	3,90	218,30	0,00 4 695,91	469,59	531,87	
67	1,80	43,97	3,60	244,28	0,00 5 888,89	588,89	666,99	
68	1,90	41,19	3,70	216,79	0,00 5 015,79	501,58	568,10	
69	1,76	46,11	4,10	261,99	0,00 5 039,77	503,98	570,82	
70	1,69	37,72	3,80	223,20	0,00 4 615,38	461,54	522,75	
71	1,87	40,79	3,60	218,13	0,00 4 930,48	493,05	558,44	
72	1,99	44,90	3,90	225,63	0,00 4 592,96	459,30	520,21	
73	1,78	43,08	3,70	242,02	0,00 5 932,58	593,26	671,94	
74	1,71	46,11	4,10	269,65	0,00 5 590,64	559,06	633,21	
75	1,76	41,58	3,90	236,25	0,00 4 835,23	483,52	547,65	
76	1,63	39,92	3,50	244,91	0,00 6 300,61	630,06	713,63	
77	1,87	47,56	3,90	254,33	0,00 5 422,46	542,25	614,16	
78	1,80	47,57	4,10	264,28	0,00 5 427,78	542,78	614,77	
79	1,77	42,29	3,70	238,93	0,00 5 480,23	548,02	620,71	
80	1,87	36,86	3,60	197,11	0,00 4 379,68	437,97	496,06	
81	1,70	38,28	3,50	225,18	0,00 5 664,71	566,47	641,60	
82	1,80	42,33	3,50	235,17	0,00 5 355,56	535,56	606,59	
83	1,98	44,27	3,80	223,59	0,00 5 166,67	516,67	585,19	
84	1,71	39,22	3,40	229,36	0,00 5 725,15	572,51	648,45	
85	1,82	42,54	3,50	233,74	0,00 5 697,80	569,78	645,35	

Vibroskop / Vibrodyn

Serial number : 1460 / 1455

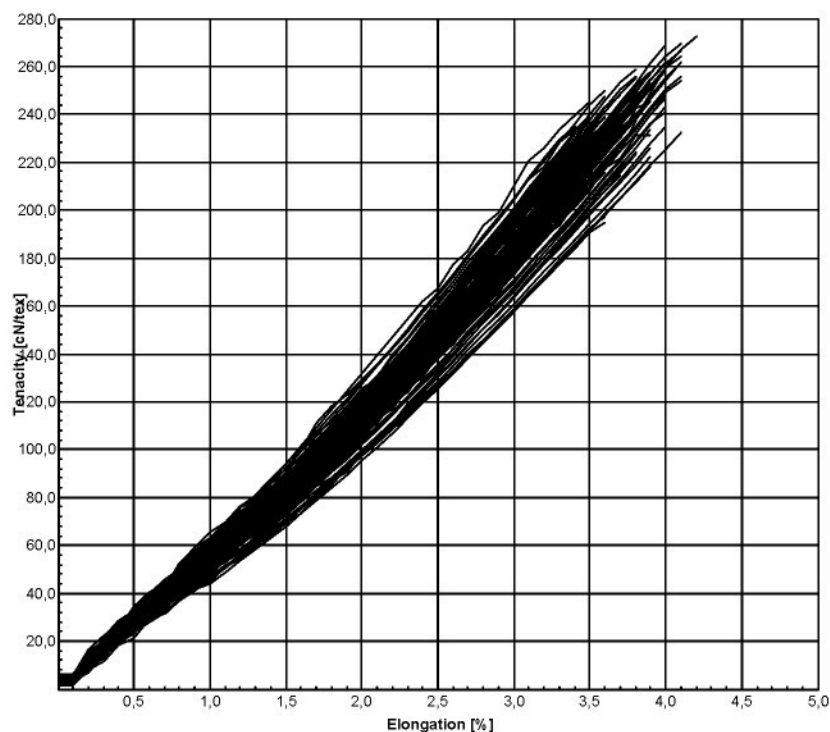
Measurenumber: :561



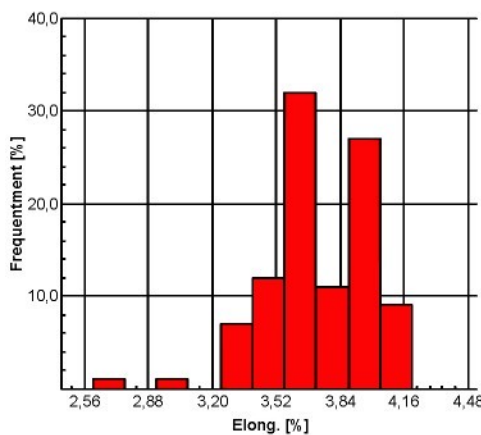
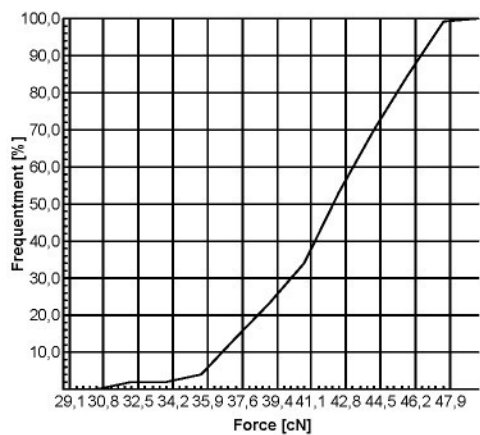
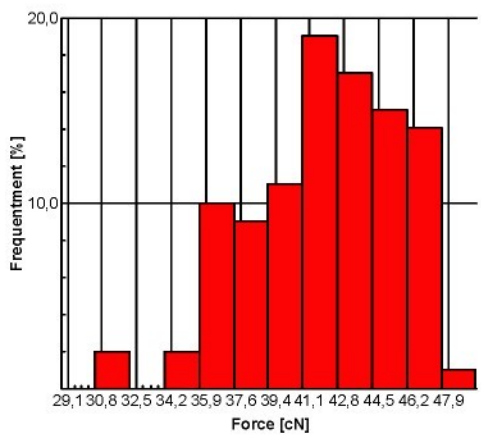
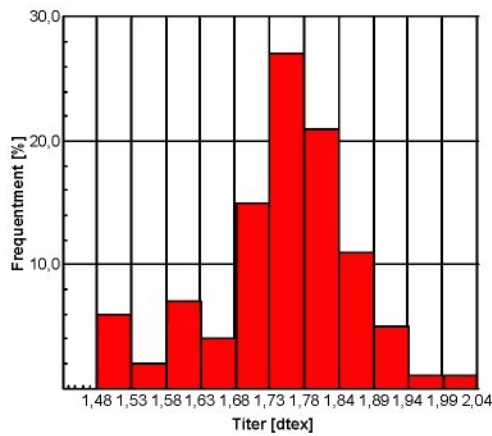
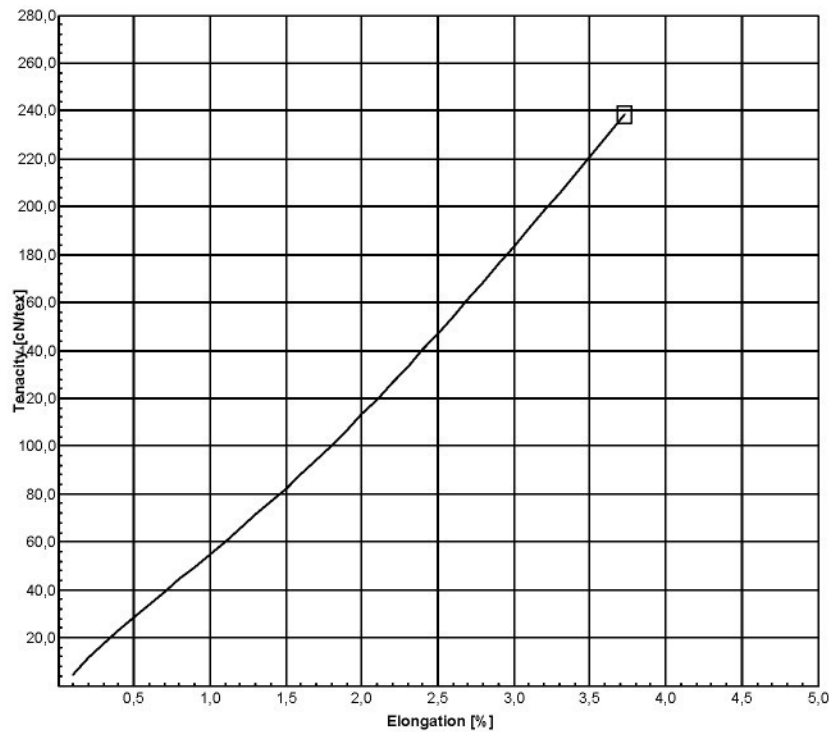
15.4.2009 10:43:12

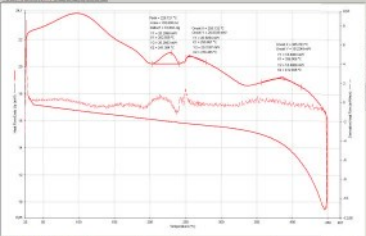
No.	Titer	Force	Elong.	Ten.	Ten/ 10%	YM 1%	YM 1%	YM 1%
	dtex	cN	%	cN/tex	cN/tex	cN/tex	cN/dtex	g/den
86	1,79	42,17	3,60	235,59	0,00 5 782,12	578,21	654,90	
87	1,79	45,16	3,90	252,29	0,00 5 513,97	551,40	624,53	
88	1,78	42,95	3,50	241,29	0,00 6 011,24	601,12	680,85	
89	1,88	36,59	3,60	194,63	0,00 4 882,98	488,30	553,06	
90	1,73	41,33	3,50	238,90	0,00 6 179,19	617,92	699,87	
91	1,83	38,09	3,50	208,14	0,00 4 890,71	489,07	553,94	
92	1,90	44,65	4,00	235,00	0,00 4 994,74	499,47	565,72	
93	1,78	45,40	3,80	255,06	0,00 6 162,92	616,29	698,03	
94	1,66	39,98	3,60	240,84	0,00 5 879,52	587,95	665,93	
95	1,89	42,94	3,60	227,20	0,00 5 592,59	559,26	633,43	
96	1,80	41,57	3,50	230,94	0,00 5 988,89	598,89	678,32	
97	1,83	41,46	3,60	226,56	0,00 5 595,63	559,56	633,78	
98	1,76	43,65	3,70	248,01	0,00 5 863,64	586,36	664,13	
99	1,72	46,25	4,00	268,90	0,00 5 831,40	583,14	660,48	
100	1,81	30,46	2,60	168,29	0,00 5 795,58	579,56	656,43	
Average :	1,75	41,79	3,73	238,40	0,00 5 463,17	546,32	618,78	
Std.dev. :	0,11	3,65	0,25	17,36	0,00 445,73	44,57	50,48	
CV% :	6,03	8,74	6,68	7,28		8,16	8,16	8,16
Maximum :	1,99	47,57	4,20	272,66	0,00 6 527,95	652,80	739,38	
Minimum :	1,48	30,46	2,60	168,29	0,00 4 379,68	437,97	496,06	
Span width :	0,51	17,11	1,60	104,37	0,00 2 148,27	214,83	243,32	
Confid- :	1,73	41,05	3,68	234,86	0,00 5 372,24	537,22	608,48	
Intervall :	1,78	42,54	3,78	241,94	0,00 5 554,10	555,41	629,07	

T / E Line



Mean T / E Line





Perkin-Elmer Thermal Analysis

