

Mechanické vlastnosti strun pro travní sekačky

Ivo Kafka

Bakalářská práce
2009

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství
akademický rok: 2008/2009

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Ivo KAFKA**
Studijní program: **B 3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Technologická zařízení**

Téma práce: **Mechanické vlastnosti strun pro travní sekačky**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literární studii na dané téma
2. Navrhněte metodiku měření při použití čelistí pro zkoušku tahem drátů a kordů
3. Provedte experimentální zkoušky na trhacím stroji ZWICK
4. Provedte vyhodnocení experimentálních zkoušek

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

Dle doporučení vedoucího bakalářské práce

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. František Rulík, CSc.

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

20. února 2009

Termín odevzdání bakalářské práce:

3. června 2009

Ve Zlíně dne 16. února 2009



doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.
děkan



doc. Ing. Miroslav Maňas, CSc.
vedoucí katedry

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá mechanickými vlastnostmi žacích strun. Teoretická část obsahuje popis vlastností polymerů používaných na jejich výrobu a popis některých mechanických zkoušek, které lze za účelem zjištění mechanických vlastností strun použít. V praktické části je uveden popis zkušebních vzorků a zkušebního stroje ZWICK 1456. Je zde uvedena metodika měření při použití čelistí pro zkoušku tahem kordů a drátů. Dále jsou uvedeny výsledky měření formou tabulek a grafů včetně jejich vyhodnocení.

Klíčová slova: žací struny, mechanické zkoušky, ZWICK 1456, tah, modul pružnosti, polymer

ABSTRACT

My work treats about mechanical properties of trimmer lines. Theoretical part includes description of the most commonly used polymeric materials. And description of mechanical testing methods used to discover mechanical values of wires and cords. Experimental part of my work includes description of testing samples and testing machine ZWICK 1456. Methodology of wires tensile testing, results (tables and graphs) with interpretation are included too.

Keywords: trimer lines, mechanical testing, ZWICK 1456, tensile force, modulus of elasticity, polymer

Děkuji mému vedoucímu Ing. Františku Rulíkovi, CSc., za odborné vedení a ochotu, kterou mi věnoval při vypracovávání bakalářské práce. Rád bych také poděkoval Ing. Milanu Žaludkovi, Ph.D., za pomoc při měření na stroji ZWICK 1456.

Prohlašuji, že jsem na bakalářské/diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků, je-li to uvedeno na základě licenční smlouvy, budu uveden jako spoluautor.

Ve Zlíně

.....

Podpis diplomanta

OBSAH

ÚVOD	5
I TEORETICKÁ ČÁST	6
1 SORTIMENT ŽACÍCH STRUN	7
2 MATERIÁLY POUŽÍVANÉ NA VÝROBU ŽACÍCH STRUN	10
2.1 SILON (PA 6)	10
2.2 NYLON (PA 6/6)	11
2.3 PA 6/9	12
2.4 PA 6/12	13
2.5 PA 6/66	13
3 VÝROBA STRUN	15
3.1 VYTLAČOVÁNÍ.....	15
3.2 VÝROBA VLÁKEN VYTLAČOVÁNÍM	15
3.3 STROJE PRO VYTLAČOVÁNÍ.....	16
3.4 KONSTRUKCE VYTLAČOVACÍCH HLAV	16
4 MECHANICKÉ ZKOUŠKY	18
4.1 ZKOUŠKA TAHEM	18
4.2 ZKOUŠKA KRUTEM	21
4.3 ZKOUŠKA OHYBEM.....	23
5 CÍLE PRO PRAKTICKOU ČÁST	27
II PRAKTICKÁ ČÁST	28
6 ZKUŠEBNÍ VZORKY	29
7 ZKUŠEBNÍ STROJ	31
7.1 TECHNICKÉ ÚDAJE	31
7.2 UPÍNACÍ SYSTÉM.....	31
8 METODIKA MĚŘENÍ	33
9 NAMĚŘENÉ HODNOTY	35
9.1 KRUHOVÝ PROFIL	35
9.2 PROFIL HVĚZDA	39
9.3 ČTVERCOVÝ PROFIL	43
10 VYHODNOCENÍ MĚŘENÍ	46
10.1 KRUHOVÝ PROFIL	46
10.2 PROFIL HVĚZDA	47
10.3 ČTVERCOVÝ PROFIL	49
10.4 CHARAKTERISTICKÝ ROZMĚR Ø 1,3 MM	50
10.5 CHARAKTERISTICKÝ ROZMĚR Ø 2,0 MM	51
10.6 CHARAKTERISTICKÝ ROZMĚR Ø 2,4 MM A 2,4 X 2,4 MM	51
10.7 ZÁVĚREČNÉ VYHODNOCENÍ.....	52
ZÁVĚR	53
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	54
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	56

SEZNAM OBRÁZKŮ.....	58
SEZNAM TABULEK	60
SEZNAM PŘÍLOH.....	62

ÚVOD

Sekání trávy žací strunou má svá omezení vycházející z fyzikálních a mechanických vlastností struny. Aby byla ohebná plastová struna schopna přeseknout stébla trávy, musí dojít k jejímu „zpevnění“. Toho se dá dosáhnout pouze dostatečnými otáčkami motoru. Odstředivé síly zajistí natažení struny, která pak stéblo dokáže přeseknout. Je tedy patrné, že nejsilnější žací struna nemusí nejlépe sekát. A výběr tloušťky struny nám omezuje výkon motoru konkrétního vyžínače nebo křovinořezu. Již malé prodloužení žací struny sníží otáčky, stejná situace nastane při použití silnější struny. Žací struny velkých průměrů mají ve srovnání s kovovými nástroji podstatně menší hmotnost, ale jejich plocha je dostatečně velká k tomu, aby je okolní vzduch výrazně brzdil. Díky své nízké hmotnosti na ně působí také mnohem menší setrvačné síly. A další snížení otáček nastane při použití nevhodné silnější tloušťky struny, nebo překročení doporučené délky struny po prodloužení. Výstupní otáčky motorů se pak dostávají až ke kritické hranici, kdy je struna ještě schopna přeseknout stéblo díky své setrvačnosti. Při nárazech do porostu je výrazně brzděna, nadržuje přímku a svým koncem se zachycuje o silnější nebo zdřevnatělé stonky. Vznikají rázy, které jsou přenášeny do žací hlavy a způsobují tak její nadměrné opotřebení.

Také profil žacích strun by mohl ovlivňovat kvalitu a rychlost sečení. Profily najdeme na trhu různé – kruh, čtverec, trojúhelník, hvězdička... Výsledky zkoušek firmy Stihl ukázaly, že na kvalitu a rychlost sekání mají zanedbatelný vliv. Hranatý profil nepřinesl snadnější useknutí stébla, ale spíše vyšší opotřebení strunové hlavy. Struna při práci naráží na stéblo větší plochou. Takže k useknutí potřebuje větší setrvačnost. Hrany pravidelných profilů strun ale způsobují jiné víření vzduchu a jsou jinak slyšet. Vlastní práci, tedy uražení stébel trávy provádí pouze konec struny v délce asi 10-15 mm. Na tak malé činné délce se výhoda ostré hrany neprojeví. [7]

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 SORTIMENT ŽACÍCH STRUN

Žací struny jsou součástí rozmanitého příslušenství ke strunovým sekačkám, vyžínačům a křovinořezům. Jsou k dostání v různých průměrech, průřezech a délkách. Dále se vyrábí z různých materiálů. A v různých barvách. K dostání jsou v různých baleních. Výběr záleží především na výrobcí a typu sekačky. Druhu a stavu sekaného porostu. Zručnosti a pohodlnosti uživatele. Jeho informovanosti a ovlivnitelnosti reklamou a na jeho finančních možnostech. Například někteří výrobci dodávají náhradní struny již navinuté na žacích hlavách pro konkrétní typy vyžínačů. Ty se poté vymění i se strunou. Další možností je zakoupit samotnou strunu, kterou následně uživatel na žací hlavu aplikuje svépomocí. Tyto se prodávají buď ve formě cívek s větším množstvím struny (několika desítek až stovek metrů), nebo jako návin. Některé firmy mají v nabídce i předdělené struny po několika kusech. Pro konkrétní typy vyžínačů. Jedná se tedy o jakousi modifikaci varianty s již namotanou žací hlavou. Obě tato řešení se využívají především v segmentu hobby použití. Profesionální žací hlavy a struny se prodávají většinou odděleně.

Jako příklad jsem zvolil slovenského výrobce, firmu MERKUR SLOVAKIA s.r.o., a jejich struny Bison. Parametry řezných lanek BISON:

- kvalita materiálu
 - kopolyamid 6/9
 - § proti obyčejnému nylonu je podstatně odolnější na otěr
 - § používá se u tříd: BISON Basic Profi
 - kopolyamid 6/12
 - § proti kopolyamidu 6/9 je o 18% odolnější na otěr
 - § používá se u tříd: BISON Profi a BISON Super Profi
 - ARMED Profi a Super profi
 - § je vyroben z kvalitního kopolyamidu 6/12
 - § navíc je chráněný na povrchu elastickou vrstvou odolnou vůči nárazům, oděru a tavení
 - § používá se u tříd: ARMED Profi a ARMED Super Profi
- profil lanek
 - kulatý
 - § vhodný na sečení členitých porostů (zeleň při plotech)
 - hranatý - 4-hranný profil

- § o 1/3 větší jádro proti hvězdě
- § vhodný na sečení porostů bez pevných překážek (zelené plochy)
- NYLSAW - hranatý
 - § speciálně navrhnutý tvar - dosahuje menší odpor vzduchu, nižší vibrace a hlučnost
 - § kvalitnější řez a vyšší životnost lanka
 - § vhodný na sečení jakýchkoliv zanedbaných porostů i s výskytem slabších dřevin [7]

Výsledný produkt je kombinací těchto tří materiálů a profilů v různých délkách návinu a o různých velikostech průřezu.

Priemer lanka	balenie - dĺžka 15m	balenie - dĺžka 100m	cievka 263m - 524m
1,3 mm		- nevyrába sa -	- nevyrába sa -
1,6 mm		- nevyrába sa -	- nevyrába sa -
2,0 mm			- nevyrába sa -
2,4 mm			
2,7 mm			
3,0 mm			

 BISON Basic Profi
  BISON Profi
  BISON Super Profi
 ARMED Profi
  ARMED Super Profi

Obrázek 1: Tabulka balení strun BISON



Obrázek 2: 15 metrové balení, 100 metrové balení a balení ve velké cívce

Takovýto sortiment můžeme nalézt s menšími obměnami u většiny výrobců. Lze najít jen odlišnosti v užitém tvaru profilu struny. Například ve formě hvězdičky. Nebo užitém materiálu a jeho barvě. Zdaleka ne všichni výrobci také poskytují uživateli dostatek informací na štítku. Zpravidla jen průměr struny a tvar profilu. Informace o materiálu u levnějších strun zpravidla chybí.

2 MATERIÁLY POUŽÍVANÉ NA VÝROBU ŽACÍCH STRUN

2.1 Silon (PA 6)

Silon je polyamidové vlákno typu 6, které se pod tímto názvem do začátku 90. let minulého století vyrábělo v Československu. Historie silonu začala ve zlínské laboratoři firmy Baťa, kde vynálezce O. Wichterle v roce 1940 vypracoval výrobní postup k přípravě kaprolaktamu, základní sloučeniny k výrobě polyamidu 6. V roce 1941 pak byla na pokusném zařízení vyrobena první příze, ze které se zhotovily vzorky ponožek a punčoch. Průmyslová výroba silonu v podniku stejného jména v Plané nad Lužnicí byla zahájena teprve v roce 1947. V 80. letech se zde vyrábělo až 800 tun vláken ročně (několikanásobně větší množství polyamidových vláken se vyrábělo pod názvem chemlon na Slovensku). [12]

Typ polymeru: Termoplast

Výhody: Snadnější zpracování než Nylon 6/6 (slévateľný). Lze ho reakčně vstříkovat. Má nižší smrštění při formování než Nylon 6/6 s dobrou odolností proti únavě materiálu. Zvýšení tuhosti lze dosáhnout přidáním skelných vláken.

Nevýhody: Větší hodnota nasákavosti a vyšší obsah vody v rovnovážném stavu. Nižší pevnost a tuhost než Nylon 6/6. [2]

Tabulka vlastností:

Vlastnost	Hodnota
Hustota (g/cm ³)	1,14
Povrchová tvrdost	SD75
Pevnost v tahu (MPa)	40
Modul pružnosti (GPa)	1
Vrubová houževnatost IZOD (kJ/m)	0,25
Teplotní roztažnost (/°C x 10 ⁻⁵)	10
Průtažnost (%)	60
Max. provozní teplota (°C)	80
Absorpce vody (%)	1,5
Hořlavost UL94	HB
Teplota tavení (°C)	230 - 280

Tabulka 1: Vlastnosti Silonu

2.2 Nylon (PA 6/6)

V roce 1930 objevili v laboratoři firmy DuPont v USA polymer, který se nechal protahovat na vlákno, měl však nízký bod tání. Doktor W. H. Carothers, předák v laboratoři, pak provedl pokusy s asi 100 amidovými sloučeninami, z nichž jedna – polyamid 6.6 – měla vyhovující hodnoty (např. teplotu tání cca. 260 °C) a tu si v únoru 1935 nechal u firmy DuPont patentovat. K původu pojmenování vynálezu na nylon se najdou v literatuře různé verze (jedna z nich je akronym z Now You Look, Old Nipponese! vztahující se k tehdejší válce mezi Japonskem a USA), jisté je jen, že nylon není patentován jako obchodní značka. V anglosaských zemích se označení nylon začalo používat jako souhrnný pojem pro lineární alifatické polyamidy. Základní řetězec těchto polymerů je tvořen peptidickými vazbami, proto jsou také často označovány jako polyamidy. Nylon je první syntetický polymer a první syntetické vlákno, které bylo vyrobeno přímo z uhlí, vody a vzduchu, a které mělo komerční úspěch. [11]

Typ polymeru: Termoplast

Výhody: V porovnání s PA 6 má lepší oteřuvzdornost. Přidáním skelných vláken zvýšíme značně tuhost. Lepší houževnatost za nižších teplot než PA 6. Odolnost vůči únavě materiálu.

Nevýhody: Relativně obtížné zpracování vlivem výjimečně nízké viskozity. Vysoká absorpce vody (8% nasycený) ačkoliv nižší než PA 6. Smrštění po odformování. Stárnutím a povětrnostními vlivy může změnit barvu a stává se křehkým, pokud není vhodně stabilizovaný. [1]

Tabulka vlastností:

Vlastnost	Hodnota
Hustota (g/cm ³)	1,14
Povrchová tvrdost	RR90
Pevnost v tahu (MPa)	59
Modul pružnosti (GPa)	1,2
Vrubová houževnatost IZOD (kJ/m)	0,11
Teplotní roztažnost (/°C x 10 ⁻⁵)	8
Průtažnost (%)	60
Max. provozní teplota (°C)	80
Absorpce vody (%)	1,2
Hořlavost UL94	HB
Teplota tavení (°C)	280 - 300

Tabulka 2: Vlastnosti nylonu

Vlastnost	Polyamid 6.6 (nylon)	Polyamid 6 (silon)
Pevnost v tahu (cN/dtex) ¹	max. 5,2	max. 5,5
Pevnost za mokra (%)	85-90	85-90
Tažnost (%)	max. 31	max. 24
Teplota tání (°C)	250	215

Tabulka 3: Srovnání vybraných vlastností PA 6 a 6/6

Použití PA 6/6 nebo PA 6 se častěji volí podle kritérií dostupnosti, ceny nebo podle osobní zkušenosti, než z hlediska technického. Výjimkou je jen snadnost tváření, kde dominuje PA 6. [1]

2.3 PA 6/9

Typ polymeru: Termoplast

Výhody: Nižší hustota a nižší absorpce vody než běžný PA 6 nebo PA 6/6. Lepší rozměrová stabilita.

Nevýhody: Dražší (asi o 10%) než PA 6 nebo PA 6/6. [3]

Tabulka vlastností:

Vlastnost	Hodnota
Hustota (g/cm ³)	1,08
Povrchová tvrdost	SD78
Pevnost v tahu (MPa)	50
Modul pružnosti (GPa)	1,4

1

$f[\text{N/tex}] = \frac{\sigma[\text{Pa}]}{\rho[\text{kg/m}^3]}$; Pro potřeby vyjádření relativní pevnosti pro různé druhy vláken se používají odvozené jednotky [cN.dtex⁻¹], [mN.dtex⁻¹], atp.

Vrubová houževnatost IZOD (kJ/m)	0,06
Teplotní roztažnost ($/^{\circ}\text{C} \times 10^{-5}$)	9
Průtažnost (%)	15
Max. provozní teplota ($^{\circ}\text{C}$)	80
Absorpce vody (%)	0,48
Hořlavost UL94	V2
Teplota tavení ($^{\circ}\text{C}$)	230 - 280

Tabulka 4: Vlastnosti PA 6/9

2.4 PA 6/12

Typ polymeru: Termoplast

Výhody: Nižší absorpce vody než PA 6 nebo PA 6/6 (4% při nasycení). Nižší teplota křehnutí než PA 6 nebo PA 6/6. Lepší ohnivzdornost než PA 6/10. Nižší smrštění než PA 6, PA 6/6 nebo PA 6/10.

Nevýhody: Dražší (asi o 10%) než PA 6 nebo PA 6/6. [4]

Tabulka vlastností:

Vlastnost	Hodnota
Hustota (g/cm^3)	1,06
Povrchová tvrdost	RR105
Pevnost v tahu (MPa)	51
Modul pružnosti (GPa)	1,4
Vrubová houževnatost IZOD (kJ/m)	0,04
Teplotní roztažnost ($/^{\circ}\text{C} \times 10^{-5}$)	9
Průtažnost (%)	300
Max. provozní teplota ($^{\circ}\text{C}$)	70
Absorpce vody (%)	0,25
Hořlavost UL94	V2
Teplota tavení ($^{\circ}\text{C}$)	230 - 280

Tabulka 5: Vlastnosti PA 6/12

2.5 PA 6/66

Typ polymeru: Termoplast

Výhody: Větší tažnost než PA 6 nebo PA 6/6. Prodloužení při přetržení pro PA 6 je 60%, PA 6/6 je 60%, PA 6/66 je 110%. Zvýšená rázuvzdornost při nižších teplotách.

Nevýhody: Absorpce vody 8.5% při nasycení. Špatná rozměrová stabilita. [5]

Tabulka vlastností:

Vlastnost	Hodnota
Hustota (g/cm ³)	1.11
Povrchová tvrdost	RM87
Pevnost v tahu (MPa)	80
Modul pružnosti (GPa)	1.2
Vrubová houževnatost IZOD (kJ/m)	0.23
Teplotní roztažnost (/°C x 10 ⁻⁵)	12
Průtažnost (%)	200
Max. provozní teplota (°C)	80
Absorpce vody (%)	1.6
Hořlavost UL94	HB
Teplota tavení (°C)	260 - 280

Tabulka 6: Vlastnosti PA 6/66

3 VÝROBA STRUN

3.1 Vytlačování

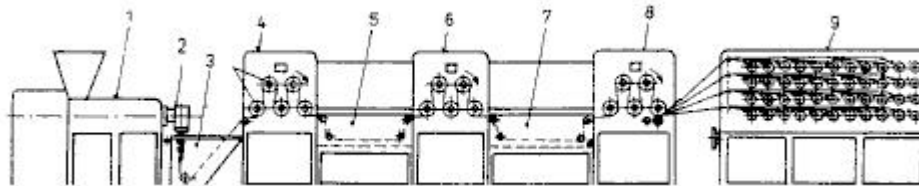
Vytlačování je technologická operace, při které je tavenina plastu kontinuálně vytlačována přes profilovací zařízení (vytlačovací hlavu) do volného prostoru. Technologie vytlačování slouží k výrobě buď konečných tvarů, nebo k výrobě polotovarů. Podle tvaru konečného výrobku nebo tvaru polotovaru se technologie vytlačování mohou rozdělit do tří základních skupin:

- výroba trubek a profilů,
- výroba folií a desek,
- ostatní způsoby (oplašťování, výroba vláken a povlaků, atd.).

Tyto technologické způsoby využívají hlavně šnekové vytlačovací stroje, které však nepracují samostatně, ale jsou součástí výrobních linek, kde ostatní stroje a zařízení zajišťují odtah, kalibraci, doplňkovou úpravu tvaru nebo povrchu, apod. [9]

3.2 Výroba vláken vytlačováním

Linky na výrobu vláken vytlačováním jsou rozdílně sestavovány, a to především podle typu zpracovávaného materiálu. Tímto způsobem se vyrábějí silná vlákna z taveniny PP, HDPE, PA, PBT, PET, PMMA, apod. Vytlačovací stroj je osazený vytlačovací hlavou na vlákna. Z ní se vlákna vytlačují do chladicí lázně, za kterou následuje první odtahovací zařízení. Potom vlákna vstupují do temperační jednotky, kde se temperují na teplotu vhodnou k jejich orientaci (dloužení) meziválci orientačního zařízení. Těchto temperačních a dlouhých jednotek může být do linky zařazeno i několik. Orientační poměr se dá nastavovat. Běžně se pohybuje až do hodnoty 1 : 9. Před navíjením se musí zorientované vlákno rozměrově stabilizovat. Stabilizace se dosahuje ve stabilizační lázni, ve které jsou vlákna udržována pod napětím druhým odtahovacím zařízením. Za ním už následuje navíjecí zařízení na cívky. Návin bývá buď válcový nebo kuželový, nebo se vlákna navíjejí do přáden. Schematická ukázka linky na výrobu vláken je na obrázku 3. [9]



Obrázek 3: Linka na výrobu vláken vytlačováním

1 - vytlačovací stroj, 2 - vytlačovací hlava, 3 - chladicí lázeň, 4 - první odtahovací zařízení, 5 - temperační lázeň, 6 - orientační zařízení, 7 - stabilizační lázeň, 8 - druhé odtahovací zařízení, 9 - cívky

3.3 Stroje pro vytlačování

Pro vytlačování se používají stroje různé konstrukce, které charakterizuje pracovní člen. Potom rozeznáváme stroje pístové, šnekové a diskové. Požadavky na vytlačovací stroj jsou následující: vysoký vytlačovací výkon (úměrný otáčkám šneku u šnekového stroje) co nejméně závislý na protitlaku, rovnoměrná doprava taveniny bez pulzací, vytlačování taveniny bez orientace, homogenní zamíchání polymeru se všemi případnými aditivami bez tekavých podílů, místně a časově rovnoměrná teplota taveniny, která je optimální z hlediska výkonu stroje, zpracovávaného polymeru a kvality vytlačovaného výrobku.

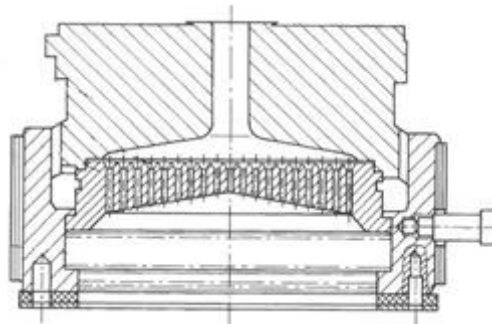
Šnekové vytlačovací stroje se také dělí na rychloběžné a pomaloběžné. Zatímco u rychloběžných strojů v důsledku vysokých otáček šneku (250 až 1500 min^{-1}) stačí vytápět pouze na začátku cyklu, neboť vzniklé teplo třením stačí k roztavení materiálu, u pomaloběžných strojů musí být ohřev tavící komory neustálý. Rychloběžné stroje mají krátké šneky s délkou 10 až $17 D$, kde D je průměr šneku. [9]

3.4 Konstrukce vytlačovacích hlav

Vytlačovací hlava je část stroje, ve které dopravovaný materiál získává definitivní, ale nezafixovaný tvar. Hlava musí mít takový profil, aby zaručovala pravidelný a trvalý tok taveniny. Nesmí v ní existovat tzv. mrtvé prostory, ve kterých by se materiál mohl zastavit a zůstat tak dlouho v kontaktu s vyhřívaným tělem hlavy, až by degradoval. Zvláště nebezpečné jsou mrtvé prostory při zpracovávání PVC. Mezi konec šneku a vytlačovací

hlavu se vkládá lamač, což je děrovaná deska s otvory (3 až 8 mm) pro konečnou homogenizaci taveniny a jako opěra pro čistící síta. Hlava bývá připojena k válci šnekového vytlačovacího stroje různými způsoby. U menších strojů se někdy šroubuje na konec válce, jinak se používá bajonetové nebo objímkové uchycení nebo přírubové uchycení sklápěcími šrouby.

Podle konstrukčního uspořádání rozdělujeme vytlačovací hlavy na hlavy přímé, nepřímé, širokoštěrbinové a speciální. Rozdělení může být i podle druhu vyráběných výrobků a polotovarů. Na obrázku 4 je zobrazen jeden z typů vytlačovacích hlav na výrobu vláken.
[9]



Obrázek 4: Hlava pro vytlačování vláken

4 MECHANICKÉ ZKOUŠKY

Z hlediska působení síly na zkušební těleso je možné rozdělit mechanické zkoušky do několika skupiny:

- Zkoušky statické -za normálních teplot
-za zvýšených nebo snížených teplot
- Zkoušky dynamické -rázové
-cyklické

Měření mechanických vlastností může sledovat různé cíle. Prvním a nejstarším je získávání dat pro konstruktéry. Za druhé se mechanické vlastnosti používají jako důkaz kvality materiálu. Mohou být kritériem pro výstupní kontrolu nebo pro přejímku materiálů. Za třetí v materiálovém výzkumu, který usiluje o pochopení a strukturní vysvětlení mechanického chování a konkrétních mechanických vlastností. [10]

4.1 Zkouška tahem

Tato zkouška dle ČSN 42 0310 je jednou ze základních mechanických zkoušek. Zkušební těleso předepsaného tvaru se zatěžuje ve zkušebním stroji pomalu rostoucí silou až do jeho porušení.

Těleso zatížené silou F se v případě že je z tvárného materiálu prodlouží z počáteční délky L_0 na hodnotu L_u . Původní průřez S_0 se zmenší na průřez S . Síla F způsobí jmenovité napětí σ (R) v závislosti na použitém průřezu.²

$$\sigma = \frac{F}{S_0} \quad (1.1)$$

² Označení σ se užívá pro napětí u plastů a R u kovů

Dále zjišťujeme celkové prosté prodloužení

$$\Delta L = L_u - L_0 \quad (1.2)$$

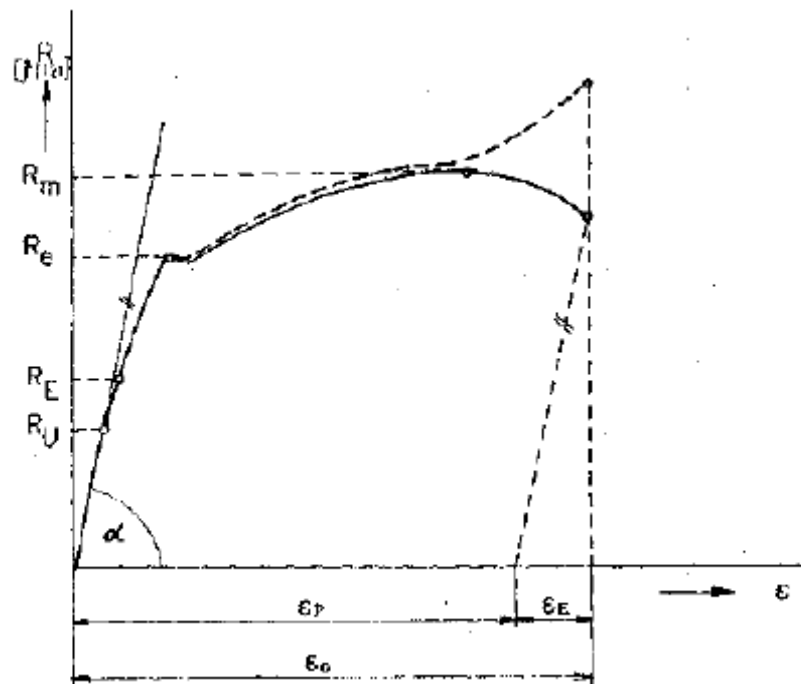
a poměrné prodloužení

$$e = \frac{\Delta L}{L_0} \quad (1.3)$$

Dle normy ČSN 42 0310 se tahovou zkouškou určují zpravidla následující vlastnosti:

- a) Mez pevnosti v tahu (R_m, S_{Pt})
- b) Mez výrazná (R_e, S_{Kt}); není-li, pak
- c) Smluvní mez kluzu ($R_r, R_p, R_T, S_{0,2}$)
- d) Tažnost (A, d)
- e) Kontrakce (Z, y).

Závislost mezi napětím a prodloužením je pro uhlíkovou ocel znázorněna v pracovním diagramu na obrázku 5. [10]



Obrázek 5: Pracovní diagram měkké uhlíkové oceli
s výraznou mezí kluzu

Až do napětí, daného mezí úměrnosti R_U , je diagram přímkový a prodloužení je dle Hookova zákona přímo úměrné napětí R . Tento zákon objevil Robert Hook, který jej v roce 1676 zveřejnil. Začátkem 18. století Thomas Young popsal výstižněji Hookův zákon ve tvaru:

$$E = \frac{R}{\varepsilon} \quad (1.4)$$

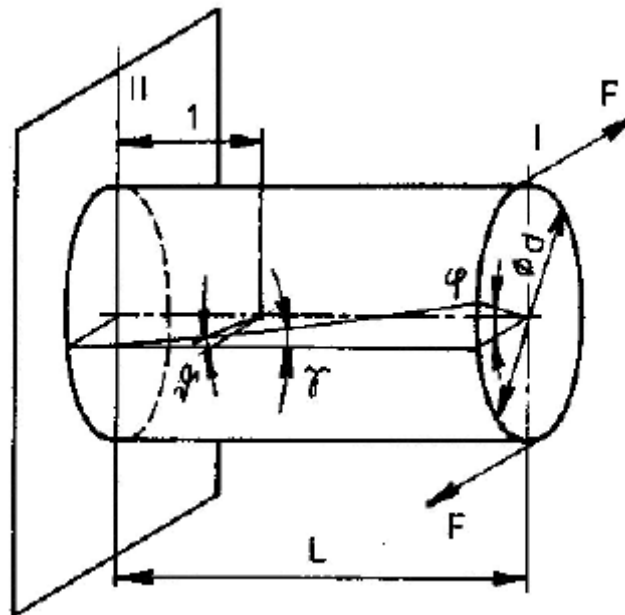
Podíl napětí a deformace je v určitém rozmezí konstantní a charakteristický pro určitý materiál. Tento podíl se nazývá Youngův modul E a odpovídá směrnici přímkové části (tangenta úhlu α). Vysoká hodnota Youngova modulu znamená tuhý a tvrdý materiál, naopak nízkou hodnotu mají materiály křehké a poddajné. Youngův modul je důležitou materiálovou charakteristikou, mírou tuhosti materiálu.

Nad mezí úměrnosti roste deformace rychleji a křivka se odchyluje od přímkového průběhu. Jednoznačná fyzikální mez pružnosti – tj. napětí, do kterého se materiál deformuje pouze pružně, se u polykrystalických látek téměř nevyskytuje. Norma ČSN ji

neuvádí. Z toho důvodu se k zachycení napětí, způsobujícího první plastické deformace, používá smluvní mez pružnosti R_{Et} značená též $R_{E0,005}$. Je to napětí vyvolané trvalým prodloužením 0,005%. Zjišťování této meze je značně náročné na přesnost měřících zařízení. [10]

4.2 Zkouška krutem

Tato zkouška se využívá především při hledání vhodného materiálu pro hřídele, torzní tyče a pro zkoušky drátů. Podmínky zkoušky a její vyhodnocení nejsou předepsány českými normami. Těleso je na jednom svém konci vetknuté a na druhém konci je namáháno dvojicí sil.



Obrázek 6: Schéma zatěžování při zkoušce krutem

Krouticí moment má hodnotu

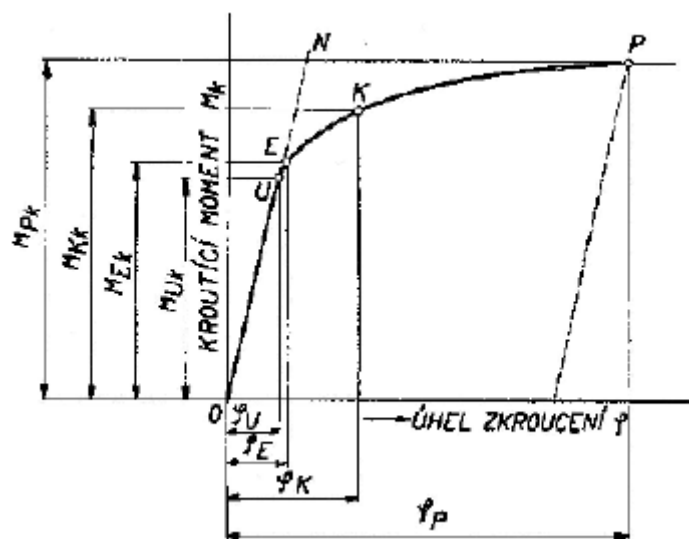
$$M_k = F \cdot d \quad (1.5)$$

V průřezu tyče vznikají při tomto namáhání smyková napětí R_k . Osa tělesa je neutrální osou, na níž je smykové napětí nulové. Největšího napětí se dosáhne v okrajových vláknech zkušební tělesa. Toto napětí pak slouží k výpočtu pevnosti v krutu:

$$R_{mk} = \frac{M_{pk}}{W} \quad (1.6)$$

Kde W_k je moment odporu v krutu pro daný průřez. M_{pk} je největší krouticí moment, který předchází porušení. Rovnice platí pouze při pružných deformacích, ale používá se smluvně k výpočtu R_{mk} i při trvalé deformaci, která předchází lomu.

Mezi zkouškou krutem a zkouškou tahem je značná podobnost, jak vyplývá z obr. 7.



Obrázek 7: Diagram zkoušky v krutu pro houževnatý materiál

Na svislou osu je vynesena krouticí moment a na vodorovnou osu úhel zkroucení φ . Z diagramu lze odečíst velikost krouticího momentu, odpovídajícího mezi úměrnosti M_{Uk} , mezi pružnosti M_{Ek} , a mezi kluzu M_{Kk} , a pevnosti v krutu M_{Pk} . [10]

U tvárného materiálu dochází často při namáhání krutem k lomu, až když dosahuje úhel zkroucení φ větší hodnoty jak 360° . Pak již přechází zkouška krutem v technologickou zkoušku. Hranice dělicí zkoušku krutem od zkoušky technologické na krut je stanovena na hodnotu úhlu zkroucení $\varphi = 270^\circ$.

Při zkoušce v krutu se stanovují následné veličiny:

a) Poměrné zkroucení na jednotku délky – zkrut:

$$J = \frac{j}{L} \quad (1.7)$$

b) Poměrné posunutí povrchového vlákna – zkos:

$$g = \frac{j \cdot r}{L} \quad (1.8)$$

c) Modul pružnosti v krutu

$$G = \frac{R_k}{\gamma} \quad (1.9)$$

Vztah mezi modulem pružnosti v tahu a v krutu je

$$G = \frac{E}{2(1 + \mu)}, \quad (1.10)$$

kde μ je Poissonovo číslo (platí pouze pro izotropní látky). [10]

4.3 Zkouška ohybem

Pro houževnaté materiály má zkouška ohybem menší význam než ostatní mechanické zkoušky, protože tělesa se deformují, aniž by bylo možno stanovit výslednou pevnost, jelikož nedojde k lomu. Z tohoto důvodu má zkouška ohybem význam pro křehké materiály, kde lze z průhybu určit deformační schopnost, což při zkoušce tahem není možné, neboť se napětím vyvolá pouze nepatrné a těžko měřitelné prodloužení.

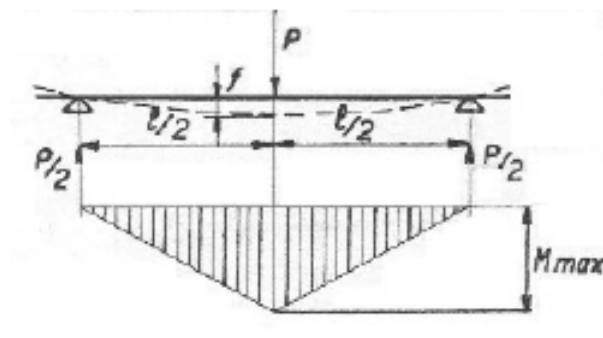
Působí-li síla F uprostřed zkušebního tělesa, pak při vzdálenosti podpěr l je maximální ohybový moment dán vztahem:

$$M_{o_{max}} = \frac{F \cdot l}{4} \quad (1.11)$$

Největší napětí se stanoví ze vztahu:

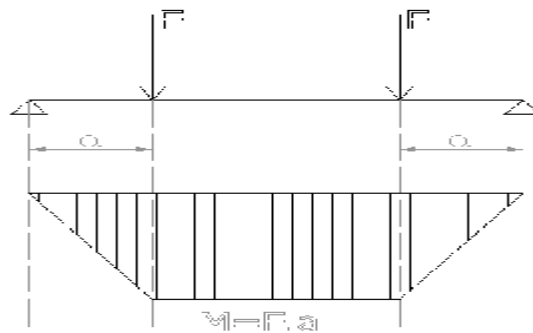
$$R_o = \frac{M_{o_{max}}}{W_o} \quad (1.12)$$

Rozlišujeme tříbodovou a čtyřbodovou zkoušku ohybem. Při tříbodové zkoušce (obr. 8) je zkušební těleso podepřeno jako nosník dvěma podpěrami a konstantní rychlostí prohýbáno trnem působícím uprostřed rozpětí podpěr tak dlouho, dokud se těleso nezlomí nebo dokud deformace nedosáhne předem stanovené hodnoty. [10]



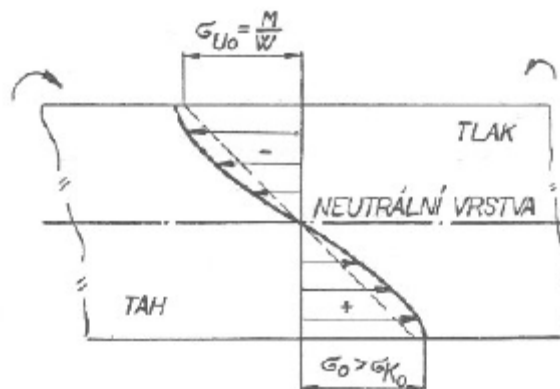
Obrázek 8: Průběh ohybového momentu u tříbodové zkoušky ohybem

Při čtyřbodové zkoušce je zkušební těleso prohýbáno dvěma trny působícími v jedné třetině nebo jedné polovině vzdálenosti podpěrných trnů. Hodnoty pevností v ohybu jsou nižší než u tříbodového systému a jak ukazuje obr. 9, je i jiné rozložení ohybového momentu. Jeho rovnoměrnější působení v celé délce zkušební tělesa vedlo k tomu, že se modul pružnosti stanovuje hlavně tímto způsobem.



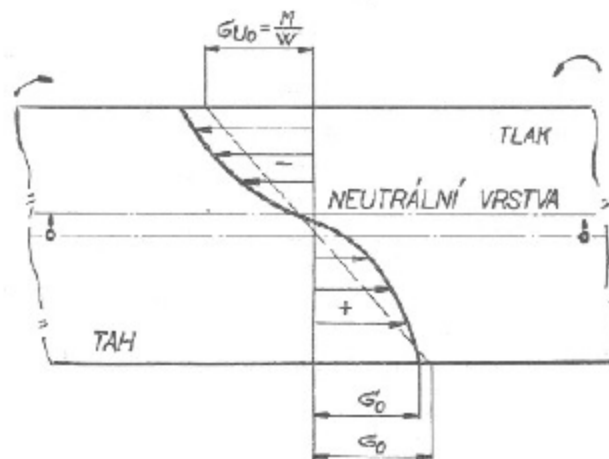
Obrázek 9: Průběh ohybového momentu u čtyřbodové zkoušky ohybem

Ohybový moment vyvolá v horních vláknech průřezu tah, v dolních tlak. Je-li průřez symetrický, je neutrální vrstva v ose zkušebního tělesa. To však platí pouze v případě, že materiál má stejné vlastnosti v tahu i tlaku.



Obrázek 10: Symetrický průřez, stejné vlastnosti v tahu i tlaku

V případě, že materiál nemá stejné vlastnosti v tahu i tlaku, posouvá se neutrální osa směrem k tužší straně, kde je při daném namáhání vyšší pevnost. [10]



Obrázek 11: Symetrický průřez, různé
vlastnosti v tahu a tlaku

Ohybovou zkouškou lze zjistit modul pružnosti E a to i u křehkých materiálů (při tahové zkoušce není možno stanovit Youngův modul pružnosti E kvůli nepatrné deformaci, která předchází porušení vzorku).

Modul pružnosti se stanoví dle vztahu:

$$E = \frac{F \cdot l^3}{48 \cdot I \cdot y} \quad (1.13)$$

Kde $f(y)$ je průhyb v místě zatěžující síly F a I je moment setrvačnosti. [10]

5 CÍLE PRO PRAKTICKOU ČÁST

V praktické části bakalářské práce bude provedeno experimentální měření mechanických vlastností strun pomocí trhacího stroje. Bude vypracována metodika tohoto měření při použití čelistí pro zkoušku tahem drátů a kordů. Následně budou jednotlivé vzorky změřeny. Experimentálně získané výsledky tahové zkoušky budou vyhodnoceny. Zaměřím se především na porovnání vlastností jednotlivých velikostí průměrů v jedné profilové řadě. Dále na porovnání vlastností stejné velikosti průměru v různých profilových řadách. Případně bude na jednom vzorku z každého návinu provedeno měření při zvýšeném obsahu vody ve vzorku. Tyto vzorky budou ponechány stanovenou dobu ve vodě. Cílem tohoto experimentu bude vyhodnotit vliv okolního prostředí na struny.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

6 ZKUŠEBNÍ VZORKY

Všechny žací struny byly zakoupeny ve stejný den v prodejně OBI ve Zlíně a jsou od jednoho výrobce. Jedná se o tři vzorky kruhového průřezu, tři vzorky průřezu pěticípé hvězdy a jeden vzorek čtvercového průřezu. Barevné provedení odlišuje jednotlivé profily. Barva žlutá pro kruhový profil, barva červená pro hvězdičku, barva zelená pro čtvercový profil. Kruhový a hvězdičkový profil je zastoupen třemi vzorky o charakteristických rozměrech 1,3 mm, 2,0 mm, 2,4 mm, čtvercový pouze jedním charakteristickým rozměrem 2,4x2,4 mm. Pro správný výpočet modulu pružnosti je zapotřebí zadávat do programu hodnoty průřezu. Pro kruhové průřezy a čtvercový průřez program spočítá hodnoty automaticky ze zadaného průměru nebo délky hrany průřezu, pro hvězdu bylo nutno zadat hodnoty ručně. Ty byly získány s použitím přibližného nákresu tvaru průřezu pěticípé hvězdy, vepsané do kruhu o výrobcem udávaném průměru, v programu AutoCAD 2002 (příloha P II) a jsou uvedeny v tab. 7. Výrobce bohužel neuvádí materiál, ze kterého jsou struny vyrobeny. Všechny struny jsou patnáct metrů dlouhé. Pro větší přehled jsou jednotlivé zakoupené struny popsány (tab. 7) a nafoceny (obr. 12). Pro účely měření vlhkých vzorků byly použity struny číslo 3, 6 a 7. V počtu tří měření každého průřezu. Tyto vzorky byly před samotným zkoušením ponechány pod vodní hladinou po dobu dvaceti šesti hodin.

Struna č.	Profil	Charakteristický rozměr	Plocha průřezu	Délka	Barva
1	Kruh	ø 1,3 mm	1,327 mm ²	15 m	Žlutá
2	Kruh	ø 2,0 mm	3,142 mm ²	15 m	Žlutá
3	Kruh	ø 2,4 mm	4,524 mm ²	15 m	Žlutá
4	Hvězda	Opsaný ø 1,3 mm	0,738 mm ²	15 m	Červená
5	Hvězda	Opsaný ø 2,0 mm	1,745 mm ²	15 m	Červená
6	Hvězda	Opsaný ø 2,4 mm	2,526 mm ²	15 m	Červená
7	Čtverec	2,4x2,4 mm	5,760 mm ²	15 m	Zelená

Tabulka 7: Vlastnosti strun



Obrázek 12: Zakoupené struny

7 ZKUŠEBNÍ STROJ

Měření byla provedena na zkušebním stroji ZWICK 1456 (obr. 13). S použitím testovacího softwaru testXpert v7.11 od výrobce. Lze na něm provádět zkoušky tahové, tlakové a ohybové. Použitím různých upínacích přípravků lze provádět zkoušky různých vzorků a různých materiálů. K dispozici jsou dva snímače síly. Do 2,5 kN a do 20 kN. Další možností je použití teplotní komory k měření při různých teplotách. Stroj je dále vybaven extenzometry pro zpřesnění měření modulu pružnosti. Veškeré výpočty na základě naměřených hodnot provádí software automaticky a zaznamenává výsledky do tabulek a grafů.

7.1 Technické údaje

ZWICK 1456	
Maximální posuv příčnicku	800 mm/min
Snímače síly	2,5 kN a 20 kN
Teplotní komora	-80 / +250 °C
testXpert software	Tah/Ohyb/Tlak

Tabulka 8: Technické údaje

7.2 Upínací systém

K upnutí měřených vzorků byly použity upínací čelisti pro zkoušku tahem kordů a drátů, které ve své bakalářské práci „Konstrukce upínacích čelistí pro zkoušku tahem drátů a kordů“ navrhl v roce 2008 pan Michal Baroň. [6]



Obrázek 13: Zkušební stroj ZWICK 1456

8 METODIKA MĚŘENÍ

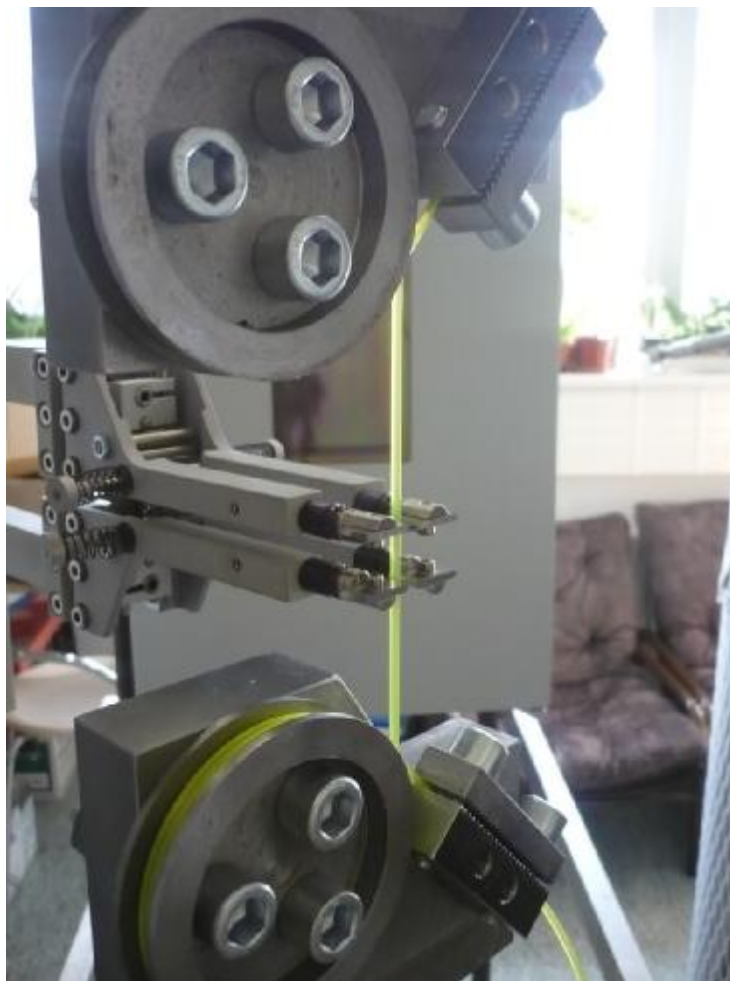
Metodika měření se zkušebním strojem ZWICK 1456. Na zkušební stroj ZWICK připevníme snímač síly v rozsahu do 2,5 kN. Dále čelisti pro zkoušku tahem kordů a drátů. Zapneme počítač, ke kterému je stroj připojen, a zapneme i stroj. Na počítači spustíme příslušný software, v našem případě testXpert v7.11, kde si založíme nový soubor pro naši sérii měření. Nastavíme propojení mezi snímačem síly a programem a nastavíme i další parametry měření. Jako požadovaný průběh grafu, nebo četnost zapisování dat. Nastavíme rychlost zatěžování 50 mm/min. Pomocí manuálního posuvu příčnicku nastavíme čelisti do vhodné výchozí polohy pro měření. Do programu zadáme aktuální pozici příčnicku, kterou odečteme na měřítku na pravém sloupku. Zvolíme rozumnou pozici bezpečnostních zárážek nahoře i dole, které vymezují rozsah pohybu příčnicku a v případě nedodržení rozmezí vypnou posuv a zkoušku přeruší. A nastavíme počáteční vzdálenost čelistí L_0 . V našem případě se jedná o vzdálenost středů kladek, kterou určíme například pravítkem. Přidáme extenzometr do místa, kudy bude procházet struna (obrázek 14). Provedeme nastavení parametrů extenzometru v programu. Pokud nejsou nastavení provedena správně nebo se vyskytne jiná chyba, program nás upozorní varovným oknem s popisem možné příčiny.

Po úspěšném nastavení veškerých potřebných parametrů měření přichází na řadu upnutí vzorku do čelistí. Strunu vložíme mezi upínací desky horní čelisti a pevně utáhneme pomocí šroubů. Dáváme ovšem pozor abychom strunu neustříhli mezi zoubky upínacích desek. Následně strunu vedeme přes kladku zespoda a dvakrát omotáme. Návin klademe vedle sebe tak, aby se struna nezkřížila. Pokračujeme mezi otevřenými čelistmi extenzometru na spodní kladku. Kde opět dvakrát omotáme strunu kolem kladky a upneme mezi upínacími deskami dolní čelisti. Přebytečnou strunu oddělíme.

Před samotným měřením nastavíme průřez měřeného vzorku. Pro kruhové průřezy nastavíme kruh (round specimen) a číselnou hodnotu průměru v milimetrech. Pro hvězdu nastavíme možnost přímého vložení plochy průřezu (direct input) a plochu v milimetrech čtverečních. A pro čtverec nastavíme možnost zadat rozměry hranolu (slab) a rozměry čtverce v milimetrech. Následuje tahová zkouška, která se ovládá pouze za pomoci programu testXpert. Kliknutím na tlačítko Force 0 nebo stisknutím klávesy F2 vynulujeme hodnotu síly, kterou měří sonda. Kliknutím na tlačítko Start nebo stlačením kombinace kláves Shift+F10 spustíme tahovou zkoušku. Zkouška začíná předzatížením, jehož hodnotu

jsme nastavili s nastavením extenzometru. Po dosažení stanovené síly extenzometry sevřou strunu a začíná měření modulu pružnosti. Na monitoru se začíná vykreslovat graf závislosti napětí na poměrné deformaci. Rychlost posuvu je dána normou. Po dosažení stanoveného bodu měření extenzometry uvolní sevření a rychlost se zvyšuje na nastavených padesát milimetrů za minutu. Měření pokračuje do doby, než dojde k přerušení struny. Poté se měření ukončí a v grafu se vyznačí maximální napětí a napětí při přetržení. Zároveň se vytvoří nová pozice pro další měření v sérii.

Z čelistí odstraníme zbytky struny. A kliknutím na tlačítko LE nebo stisknutím klávesy F3 vrátíme čelisti zpět do výchozí polohy pro měření. Upneme další vzorek a postup měření opakujeme. Při změně průřezu nebo průměru vzorku započneme s měřením nové sub-série a změníme nastavení této hodnoty. V jednotlivých sériích provádíme osm měření pro vzorky suché a tři měření pro vzorky navlhčené.



Obrázek 14: Upnutí v čelistech a pozice extenzometru

9 NAMĚŘENÉ HODNOTY

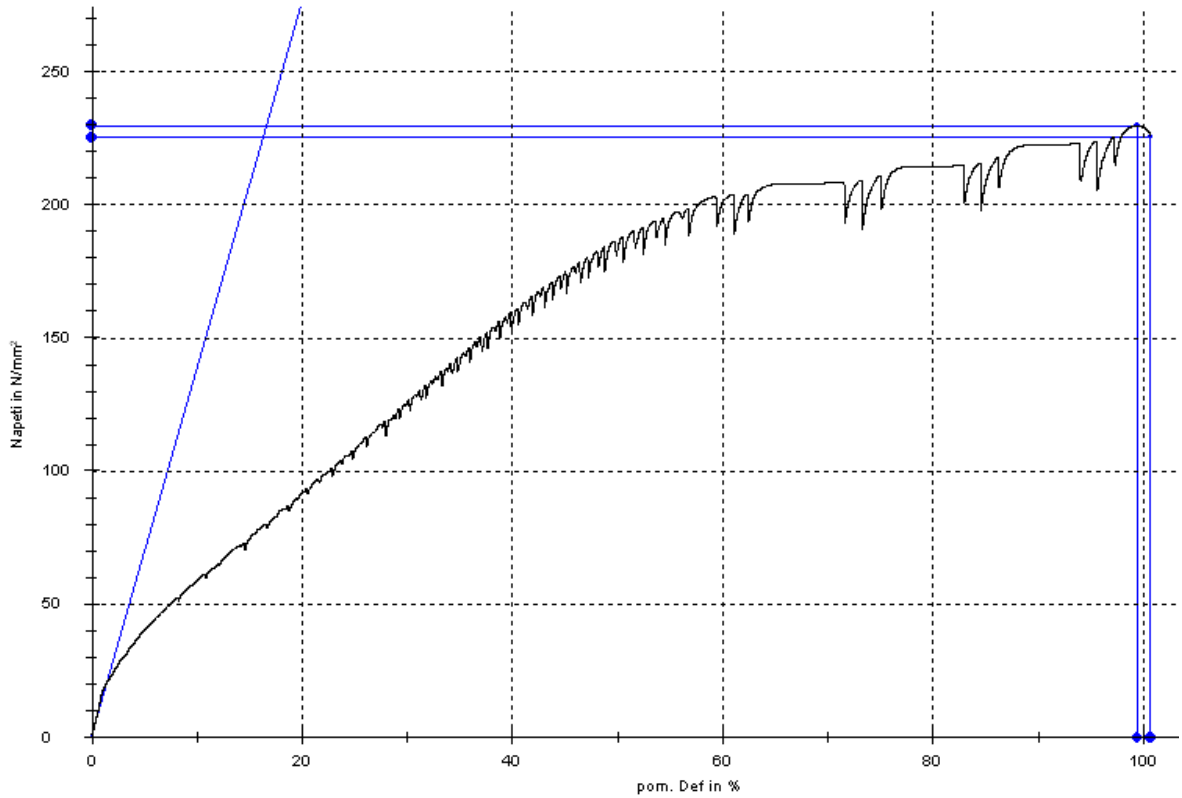
Měření bylo rozděleno do deseti sérií. Sedm pro vzorky suché a tři pro vzorky máčené ve vodě. V každé sérii bylo provedeno osm měření u suchých a tři měření u máčených vzorků. Hodnoty a grafy byly z programu testXpert exportovány do programu MS Excel. Hodnoty jednotlivých měření v sériích jsou uvedeny v příloze P I. Statistické vyhodnocení provedl pro každou sérii program testXpert formou tabulky. Aritmetický průměr \bar{x} , směrodatná odchylka s , variační rozpětí n . Dále je vždy uveden graf závislosti napětí na poměrné deformaci jednoho měření ze série, který je pro danou sérii charakteristický.

9.1 Kruhový profil

Statistické vyhodnocení měření suchého vzorku o charakteristickém rozměru $\varnothing 2,4$ mm:

Sub-série č. 1	Rychlost	L_0 ST	Průměr d_0	F_{max}	σ_m	Nominal strain- σ_m	L_0	E	$\epsilon \sigma_m$	σ Break	ϵ Break	ϵ Fmax	ϵ Break
n = 8	mm/min	mm	mm	N	MPa	mm	mm	N/mm ²	%	N/mm ²	mm	mm	mm
\bar{x}	50	15,63	2,4	1044,07	230,79	204,40	15	1251,20	100,36	225,02	15,40	15,08	15,38
s	0	1,768	0	47,38	10,47	29,16	0	56,23	14,70	10,40	1,94	2,20	1,94
n	0	11,31	0	4,54	4,54	14,27	0	4,49	14,65	4,62	12,62	14,62	12,64

Tabulka 9: Statistika měření pro suchý kruhový profil, $\varnothing 2,4$ mm

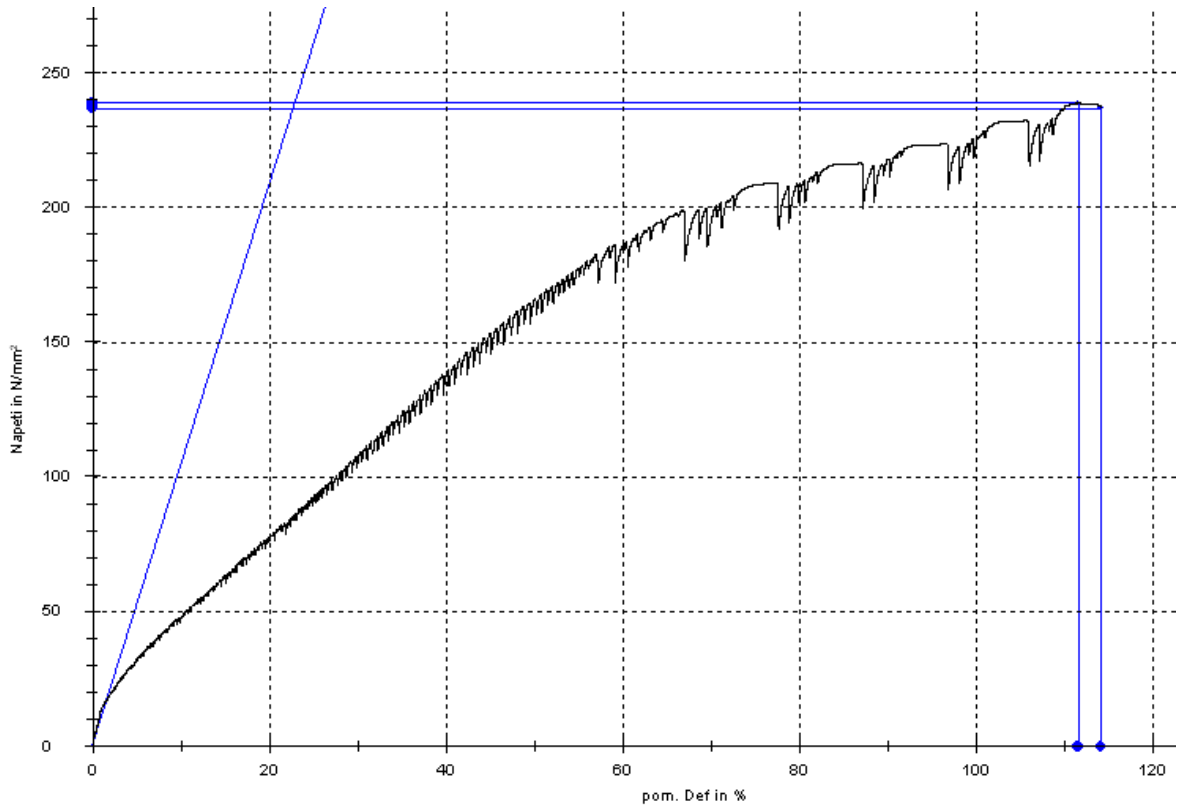


Obrázek 15: Graf závislosti napětí na poměrné deformaci (první série druhé měření)

Statistické vyhodnocení měření suchého vzorku o charakteristickém rozměru $\varnothing 2,0$ mm:

Sub-série č. 2	Rychlost	L_0 ST	Průměr d_0	F_{max}	σ_m	Nominal strain- σ_m	L_0	E	$\epsilon \sigma_m$	σ_{Break}	ϵ_{Break}	$\epsilon_{Fmax.}$	ϵ_{Break}
n = 8	mm/min	mm	mm	N	MPa	mm	mm	N/mm ²	%	N/mm ²	mm	mm	mm
\bar{x}	50	15	2	758,73	241,51	232,18	15	1043,91	114,53	240,16	17,42	17,20	17,40
s	0	0	0	23,56	7,50	19,02	0	46,82	9,59	7,77	1,45	1,44	1,45
n	0	0	0	3,11	3,11	8,19	0	4,49	8,37	3,23	8,32	8,36	8,33

Tabulka 10: Statistika měření pro suchý kruhový profil, $\varnothing 2,0$ mm

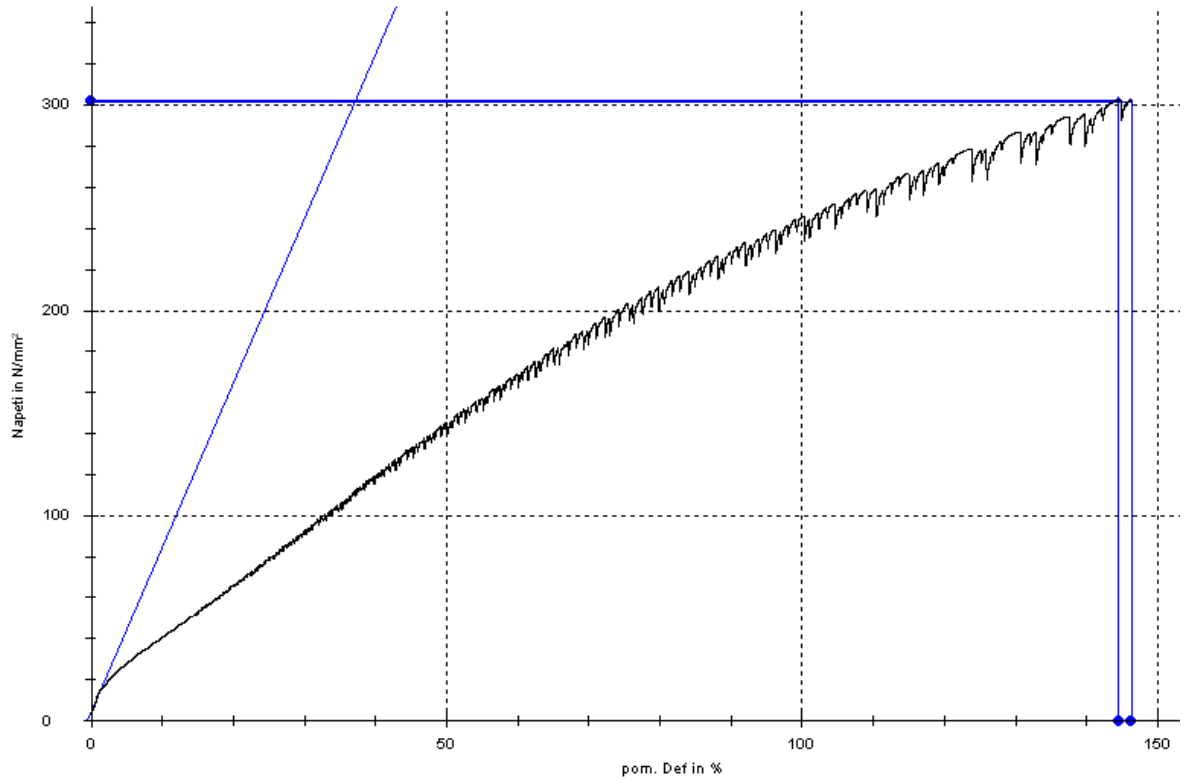


Obrázek 16: Graf závislosti napětí na poměrné deformaci (druhá série druhé měření)

Statistické vyhodnocení měření suchého vzorku o charakteristickém rozměru \varnothing 1,3 mm:

Sub-série č. 3	Rychlost	L_0 ST	Průměr d_0	F_{max}	σ_m	Nominal strain- σ_m	L_0	E	$\epsilon \sigma_m$	σ_{Break}	ϵ_{Break}	$\epsilon_{Fmax.}$	ϵ_{Break}
n = 8	mm/min	mm	mm	N	MPa	mm	mm	N/mm ²	%	N/mm ²	mm	mm	mm
\bar{x}	50	19,38	1,3	415,02	312,68	304,90	19,38	704,34	151,30	308,90	29,60	29,45	29,49
s	0	1,768	0	12,24	9,22	14,63	1,77	157,92	7,60	10,10	3,31	3,31	3,27
n	0	9,12	0	2,95	2,95	4,80	9,12	22,42	5,02	3,27	11,17	11,24	11,10

Tabulka 11: Statistika měření pro suchý kruhový profil, \varnothing 1,3 mm

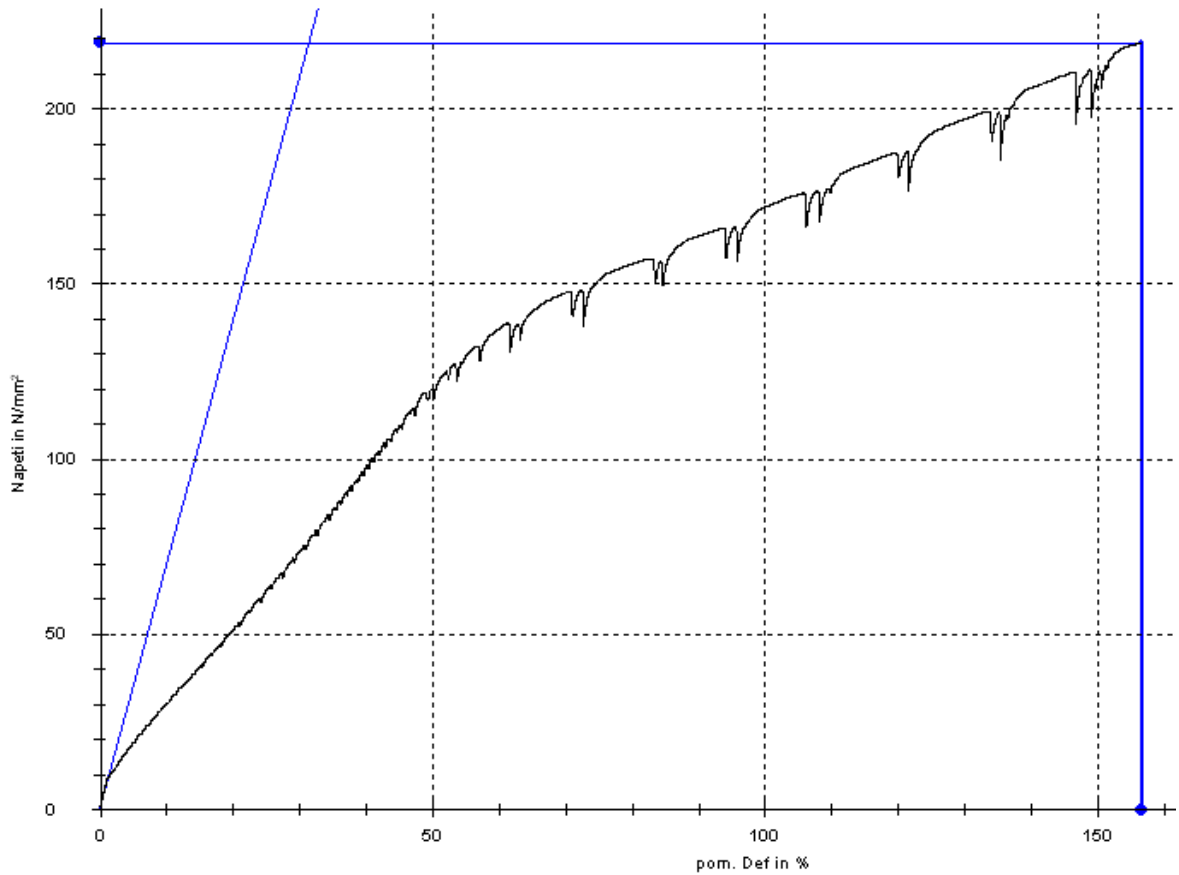


Obrázek 17: Graf závislosti napětí na poměrné deformaci (třetí série druhé měření)

Statistické vyhodnocení měření vlhkého vzorku o charakteristickém rozměru $\varnothing 2,4$ mm:

Sub-série č. 10	Rychlost	L_0 ST	Průměr d_0	F_{max}	σ_m	Nominal strain- σ_m	L_0	E	$\epsilon \sigma_m$	σ_{Break}	ϵ_{Break}	$\epsilon_{Fmax.}$	ϵ_{Break}
n = 3	mm/min	mm	mm	N	MPa	mm	mm	N/mm ²	%	N/mm ²	mm	mm	mm
\bar{x}	50	20	2,4	1007,94	222,80	328,91	20	692,44	163,02	221,39	32,69	32,64	32,65
s	0	0	0	21,36	4,72	17,32	0	4,18	8,68	5,26	1,77	1,74	1,77
n	0	0	0	2,12	2,12	5,27	0	0,60	5,32	2,38	5,41	5,32	5,41

Tabulka 12: Statistika měření pro vlhký kruhový profil, $\varnothing 2,4$ mm



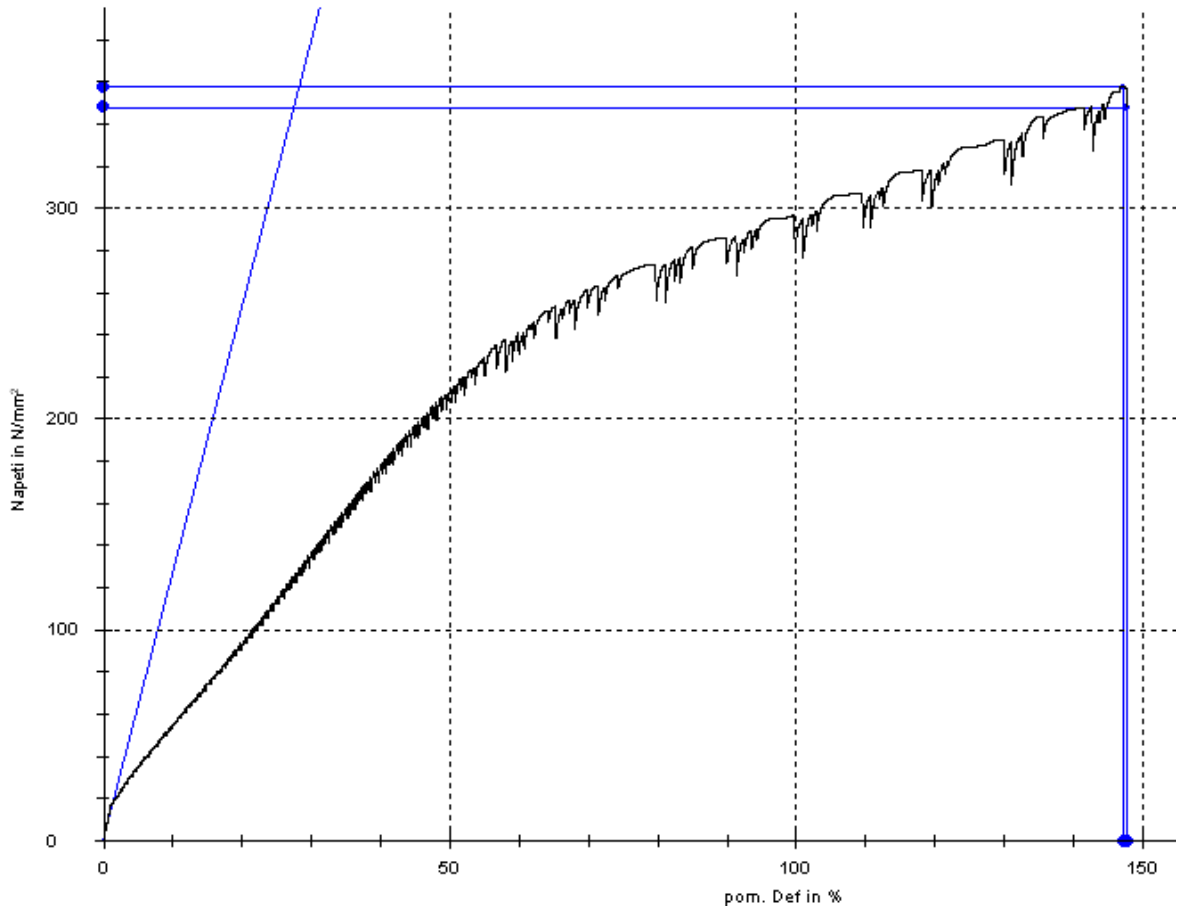
Obrázek 18: Graf závislosti napětí na poměrné deformaci (desátá série druhé měření)

9.2 Profil hvězda

Statistické vyhodnocení měření suchého vzorku o charakteristickém rozměru průměr kružnice opsané 2,4 mm:

Sub-série č. 4	Rychlost	L_0 ST	Opsaný průměr d_0	F_{max}	σ_m	Nominal strain- σ_m	L_0	E	$\epsilon \sigma_m$	σ_{Break}	ϵ_{Break}	$\epsilon_{Fmax.}$	ϵ_{Break}
n = 8	mm/min	mm	mm	N	MPa	mm	mm	N/mm ²	%	N/mm ²	mm	mm	mm
\bar{x}	50	20	2,4	888,37	351,69	289,74	20	1243,52	142,68	348,22	28,70	28,56	28,68
s	0	0	0	36,87	14,60	21,34	0	41,38	10,58	14,40	2,18	2,12	2,18
n	0	0	0	4,15	4,15	7,37	0	3,33	7,42	4,14	7,59	7,41	7,59

Tabulka 13: Statistika měření pro suchý profil hvězda, opsaný ϕ 2,4 mm

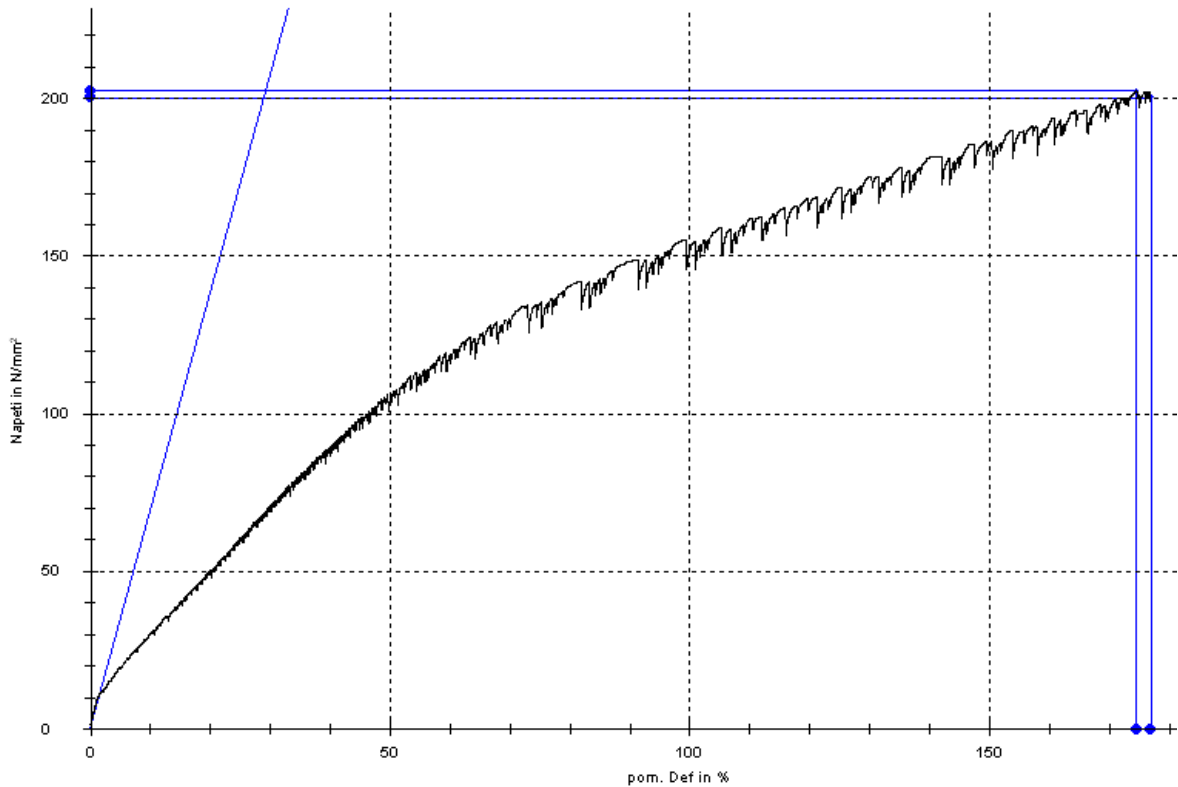


Obrázek 19: Graf závislosti napětí na poměrné deformaci (čtvrtá série páté měření)

Statistické vyhodnocení měření suchého vzorku o charakteristickém rozměru průměr kružnice opsané 2,0 mm:

Sub-série č. 5	Rychlost	L_0 ST	Opsaný průměr d_0	F_{max}	σ_m	Nominal strain- σ_m	L_0	E	$\epsilon \sigma_m$	σ_{Break}	ϵ_{Break}	$\epsilon_{Fmax.}$	ϵ_{Break}
n = 8	mm/min	mm	mm	N	MPa	mm	mm	N/mm ²	%	N/mm ²	mm	mm	mm
\bar{x}	50	20	2,0	590,46	339,01	341,62	20	1122,33	169,54	335,66	34,17	33,96	34,12
s	0	0	0	34,35	19,72	30,15	0	37,19	14,97	19,11	3,08	2,99	3,08
n	0	0	0	5,82	5,82	8,83	0	3,31	8,83	5,69	9,02	8,81	9,04

Tabulka 14: Statistika měření pro suchý profil hvězda, opsaný ϕ 2,0 mm

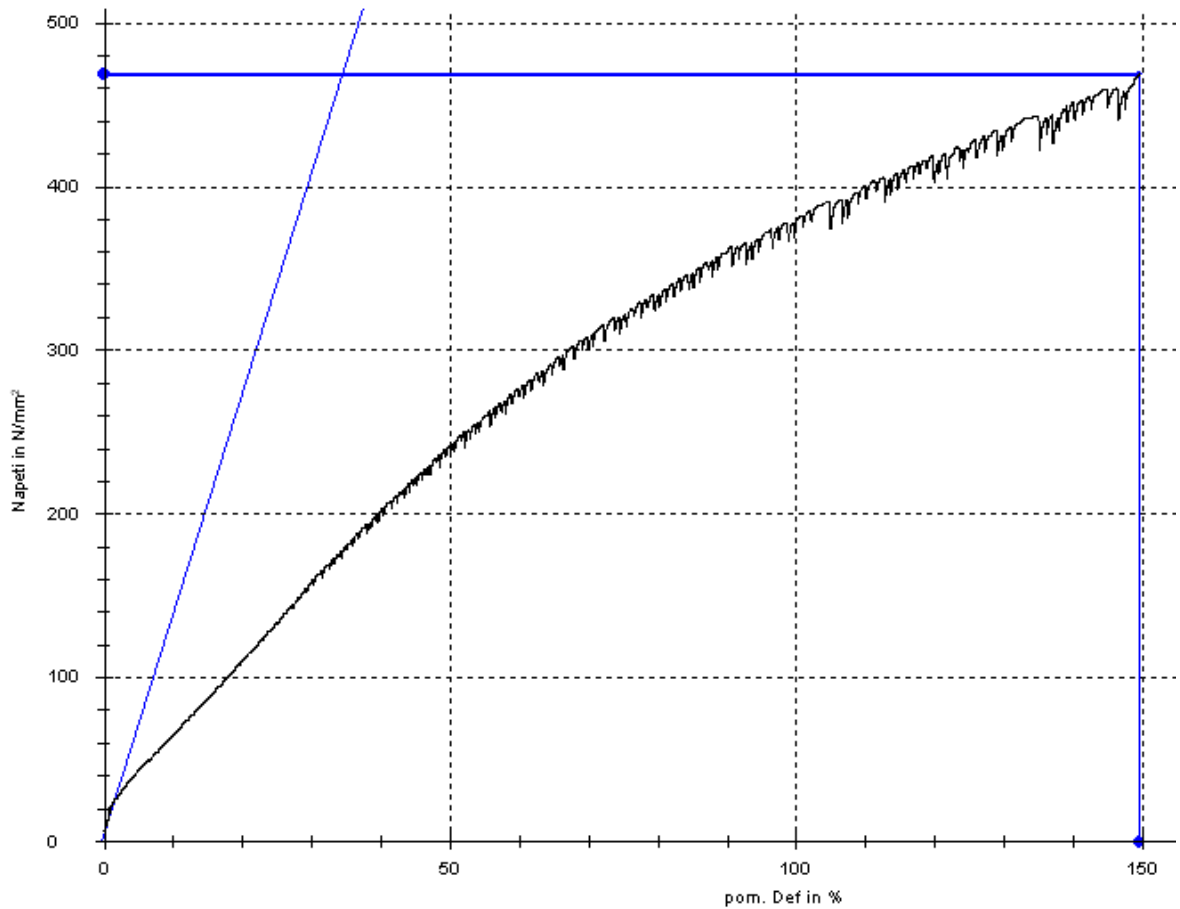


Obrázek 20: Graf závislosti napětí na poměrné deformaci (pátá série čtvrté měření)

Statistické vyhodnocení měření suchého vzorku o charakteristickém rozměru průměr kružnice opsané 1,3 mm:

Sub-série č. 6	Rychlost	L_0 ST	Opsaný průměr d_0	F_{max}	σ_m	Nominal strain- σ_m	L_0	E	$\epsilon \sigma_m$	σ_{Break}	ϵ_{Break}	$\epsilon_{Fmax.}$	ϵ_{Break}
n = 8	mm/min	mm	mm	N	MPa	mm	mm	N/mm ²	%	N/mm ²	mm	mm	mm
\bar{x}	50	20	1,3	339,75	462,75	287,41	20	1332,97	142,16	457,56	28,57	28,53	28,47
s	0	0	0	13,30	18,11	21,36	0	54,23	10,54	15,68	2,11	2,11	2,11
n	0	0	0	3,91	3,91	7,43	0	4,07	7,42	3,43	7,39	7,39	7,42

Tabulka 15: Statistika měření pro suchý profil hvězda, opsaný ϕ 1,3 mm

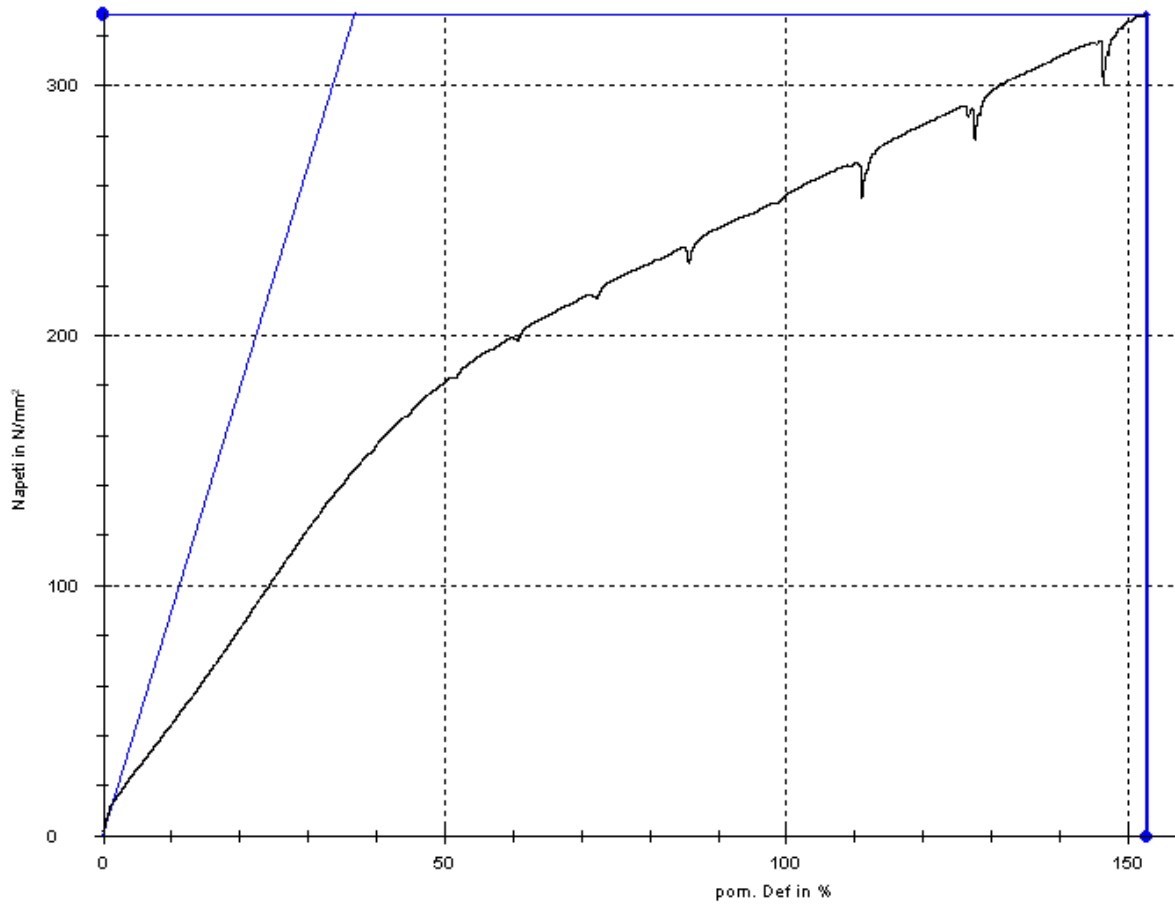


Obrázek 21: Graf závislosti napětí na poměrné deformaci (šestá série druhé měření)

Statistické vyhodnocení měření vlhkého vzorku o charakteristickém rozměru průměr kružnice opsané 2,4 mm:

Sub-série č. 9	Rychlost	L_0 ST	Opsaný průměr d_0	F_{max}	σ_m	Nominal strain- σ_m	L_0	E	$\epsilon \sigma_m$	σ_{Break}	ϵ_{Break}	$\epsilon_{Fmax.}$	ϵ_{Break}
n = 3	mm/min	mm	mm	N	MPa	mm	mm	N/mm ²	%	N/mm ²	mm	mm	mm
\bar{x}	50	20	2,4	748,46	296,30	293,66	20	831,90	145,47	295,50	29,20	29,14	29,15
s	0	0	0	37,76	14,95	19,22	0	10,82	9,60	15,05	1,92	1,92	1,93
n	0	0	0	5,05	5,05	6,54	0	1,30	6,60	5,09	6,59	6,58	6,61

Tabulka 16: Statistika měření pro vlhký profil hvězda, opsaný ϕ 2,4 mm



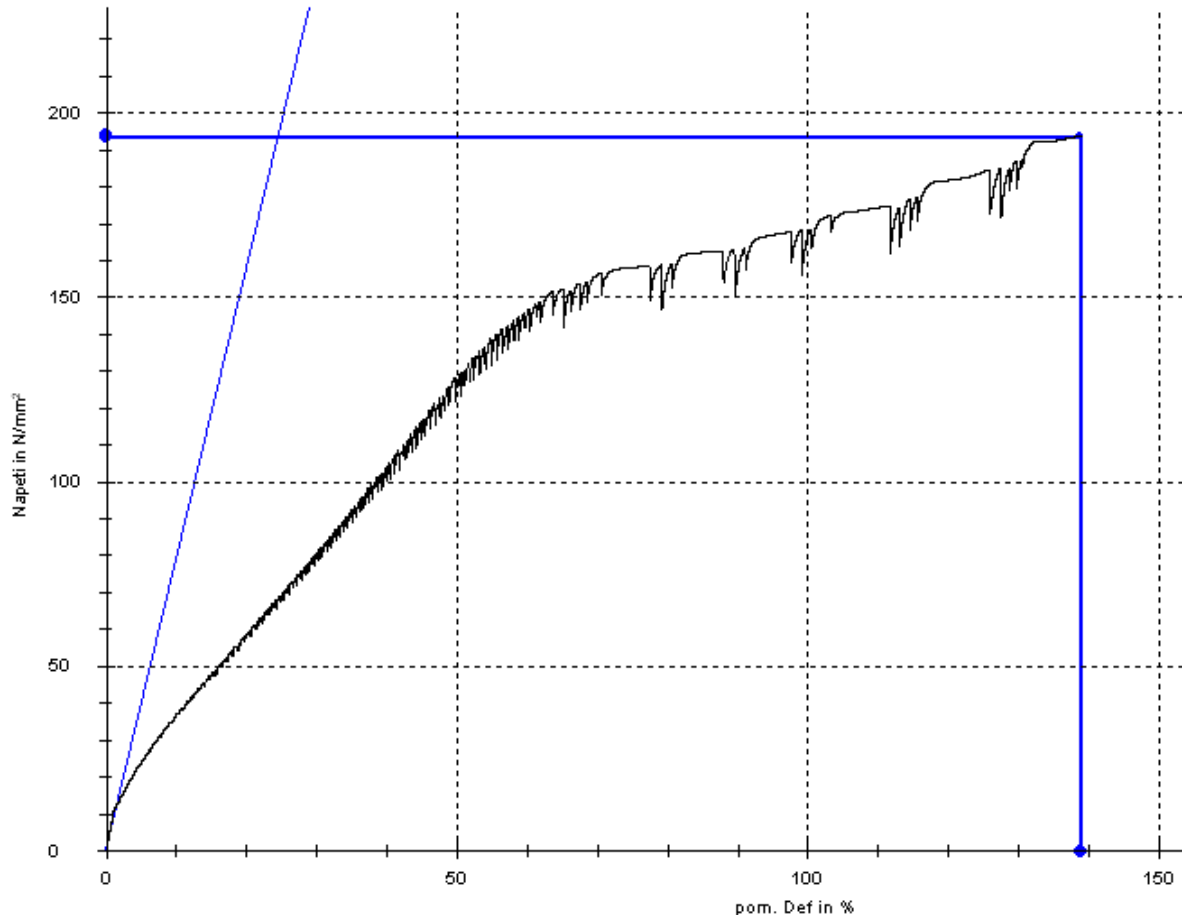
Obrázek 22: Graf závislosti napětí na poměrné deformaci (devátá série třetí měření)

9.3 Čtvercový profil

Statistické vyhodnocení měření suchého vzorku o charakteristickém rozměru 2,4x2,4 mm:

Sub-série č. 7	Rychlost	L_0 ST	a_0	b_0	F_{max}	σ_m	Nominal strain- σ_m	L_0	E	$\epsilon \sigma_m$	σ_{Break}	ϵ_{Break}	$\epsilon_{Fmax.}$	ϵ_{Break}
n = 8	mm/min	mm	mm	mm	N	MPa	mm	mm	N/mm ²	%	N/mm ²	mm	mm	mm
\bar{x}	50	20	2,4	2,4	1127,51	195,75	287,03	20	824,74	141,09	193,14	28,34	28,24	28,31
s	0	0	0	0	68,86	11,96	39,17	0	34,22	19,43	11,46	3,83	3,89	3,83
n	0	0	0	0	6,11	6,11	13,65	0	4,15	13,77	5,93	13,52	13,76	13,54

Tabulka 17: Statistika měření pro suchý čtvercový profil 2,4x2,4 mm

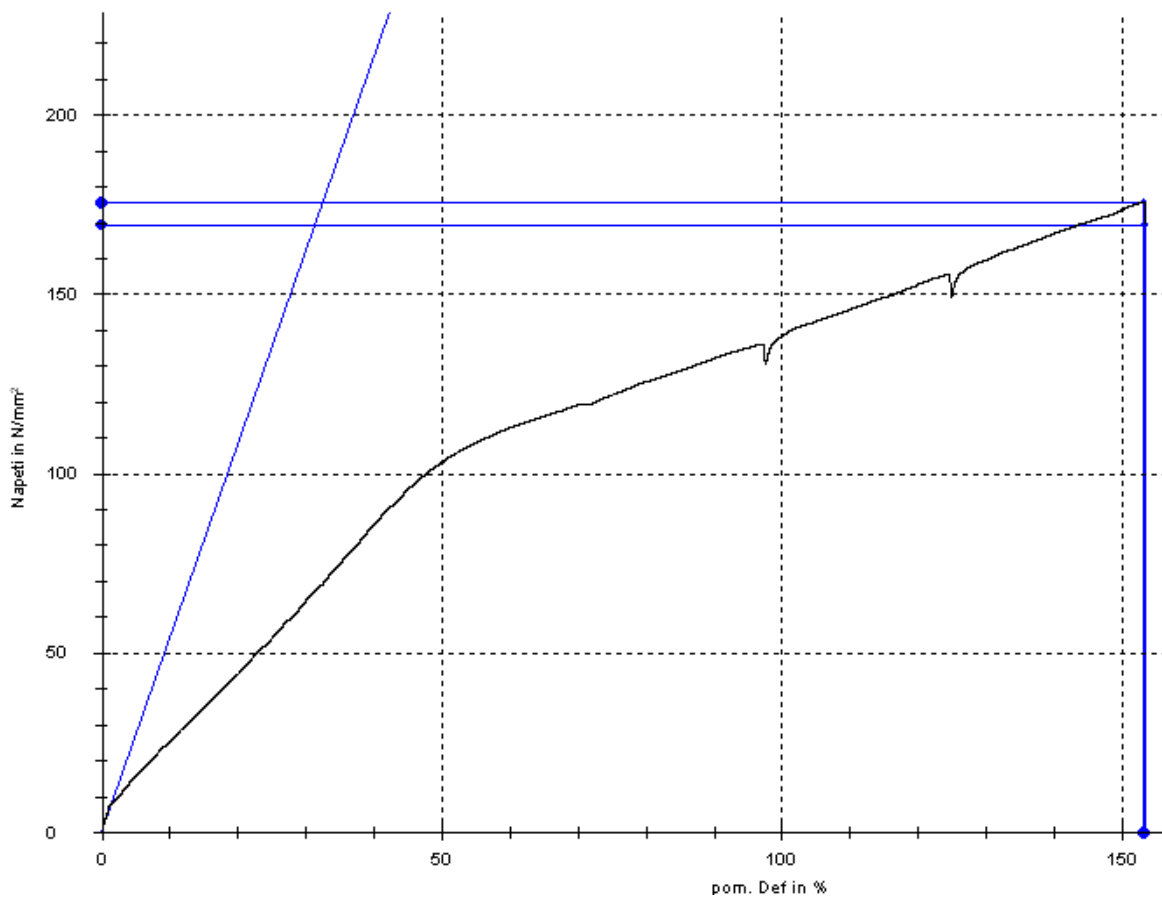


Obrázek 23: Graf závislosti napětí na poměrné deformaci (sedmá série šesté měření)

Statistické vyhodnocení měření vlhkého vzorku o charakteristickém rozměru 2,4x2,4 mm:

Sub-série č. 8	Rychlost	L_0 ST	a_0	b_0	F_{max}	σ_m	Nominal strain- σ_m	L_0	E	$\epsilon \sigma_m$	σ_{Break}	ϵ_{Break}	$\epsilon_{Fmax.}$	ϵ_{Break}
n = 3	mm/min	mm	mm	mm	N	MPa	mm	mm	N/mm ²	%	N/mm ²	mm	mm	mm
\bar{x}	50	20	2,4	2,4	978,15	169,82	308,44	20	532,00	152,81	167,39	30,63	30,60	30,60
s	0	0	0	0	37,56	6,52	8,48	0	10,92	4,37	4,42	0,90	0,87	0,90
n	0	0	0	0	3,84	3,84	2,75	0	2,05	2,86	2,64	2,93	2,86	2,93

Tabulka 18: Statistika měření pro vlhký čtvercový profil 2,4x2,4 mm



Obrázek 24: Graf závislosti napětí na poměrné deformaci (osmá série první měření)

10 VYHODNOCENÍ MĚŘENÍ

Porovnáme výsledky měření jednotlivých charakteristických rozměrů strun v rámci jednoho profilu. Dále porovnáme jednotlivé profily mezi sebou a rozdíl mezi suchými a vlhkými vzorky. Přehled očíslování a uspořádání vzorků v sériích je uveden v tab. 19. Celkový počet měřených vzorků byl 65.

Série	Měření	Struna	Profil	Charakteristický rozměr	Počet měření	Stav vzorku
1	1-8	3	Kruh	Ø 2,4 mm	8	Suchý
2	9-16	2	Kruh	Ø 2,0 mm	8	Suchý
3	17-24	1	Kruh	Ø 1,3 mm	8	Suchý
4	25-32	6	Hvězda	Opsaný Ø 2,4 mm	8	Suchý
5	33-40	5	Hvězda	Opsaný Ø 2,0 mm	8	Suchý
6	41-48	4	Hvězda	Opsaný Ø 1,3 mm	8	Suchý
7	49-56	7	Čtverec	2,4x2,4 mm	8	Suchý
8	57-59	7	Čtverec	2,4x2,4 mm	3	Vlhký
9	60-62	6	Hvězda	Opsaný Ø 2,4 mm	3	Vlhký
10	63-65	3	Kruh	Ø 2,4 mm	3	Vlhký

Tabulka 19: Uspořádání vzorků v sériích

10.1 Kruhový profil

Pro vyhodnocení výsledků měření byla vytvořena shrnující tabulka (tab. 20), která obsahuje pouze nejdůležitější zjišťované hodnoty (σ_m a E).

Struna číslo	Charakteristický rozměr	σ_m [MPa]	E [N/mm ²]
1	Ø 1,3 mm	312,68	704,34
2	Ø 2,0 mm	241,51	1043,91
3 - suchá	Ø 2,4 mm	230,79	1251,20
3 - vlhká	Ø 2,4 mm	222,80	692,44

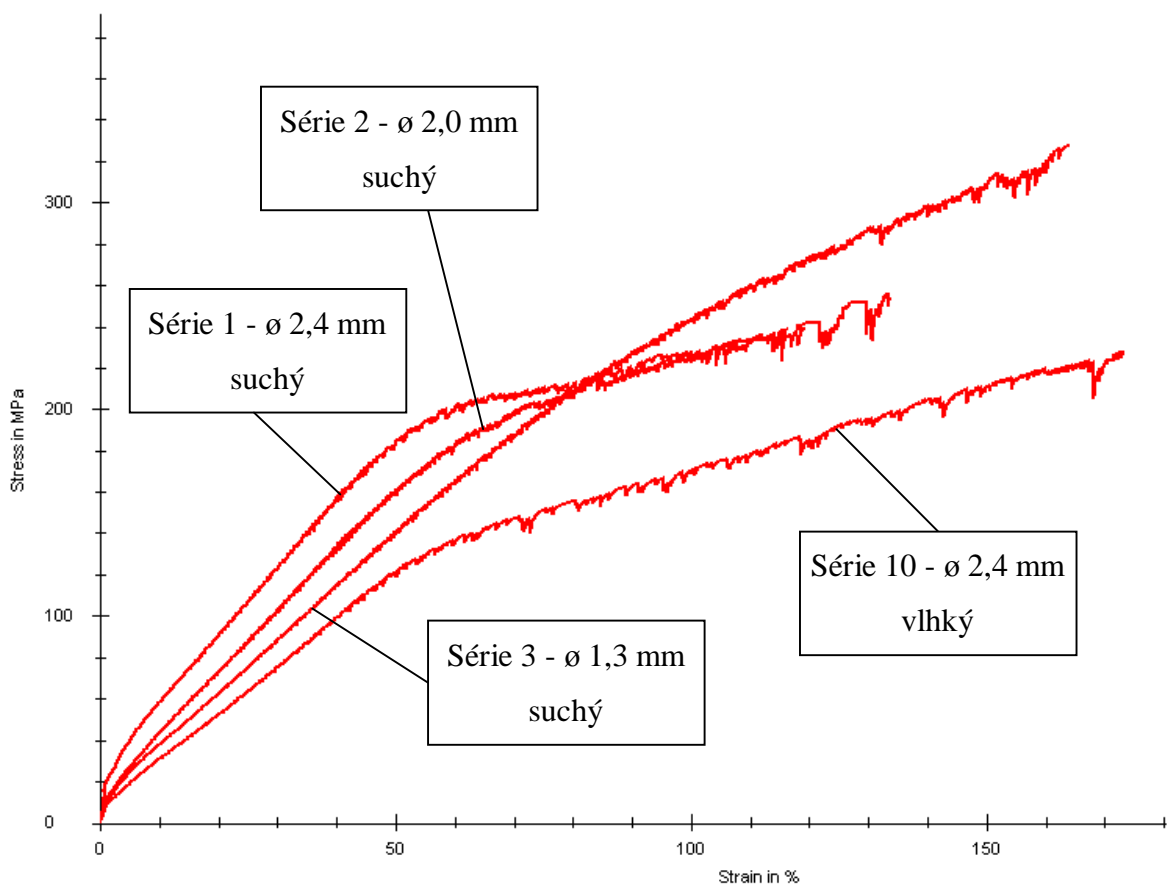
Tabulka 20: Napětí a modul pružnosti profil kruh

Při porovnání hodnot napětí a modulu pružnosti pro různé průměry kruhového profilu lze konstatovat, že:

- nejvyšší hodnota napětí byla dosažena u nejmenšího průměru 1,3 mm (312,68 MPa);

- hodnota modulu pružnosti u struny číslo 3 o průměru 2,4 mm mezi suchým (1251,20 N/mm²) a vlhkým stavem (692,44 N/mm²) klesá téměř na poloviční hodnotu;
- hodnota modulu pružnosti u struny číslo 1 o průměru 1,3 mm (704,34 N/mm²) je srovnatelná s touž hodnotou u struny číslo 3 o průměru 2,4 mm měřené za vlhka (692,44 N/mm²);

Grafické porovnání průběhu závislosti napětí na poměrné deformaci u strun kruhového profilu získané pomocí programu testXpert:



Obrázek 25: Souhrnný graf závislosti napětí na poměrné deformaci strun kruhových profilů

10.2 Profil hvězda

Pro vyhodnocení výsledků měření byla vytvořena shrnující tabulka (tab. 21), která obsahuje pouze nejdůležitější zjišťované hodnoty (σ_m a E).

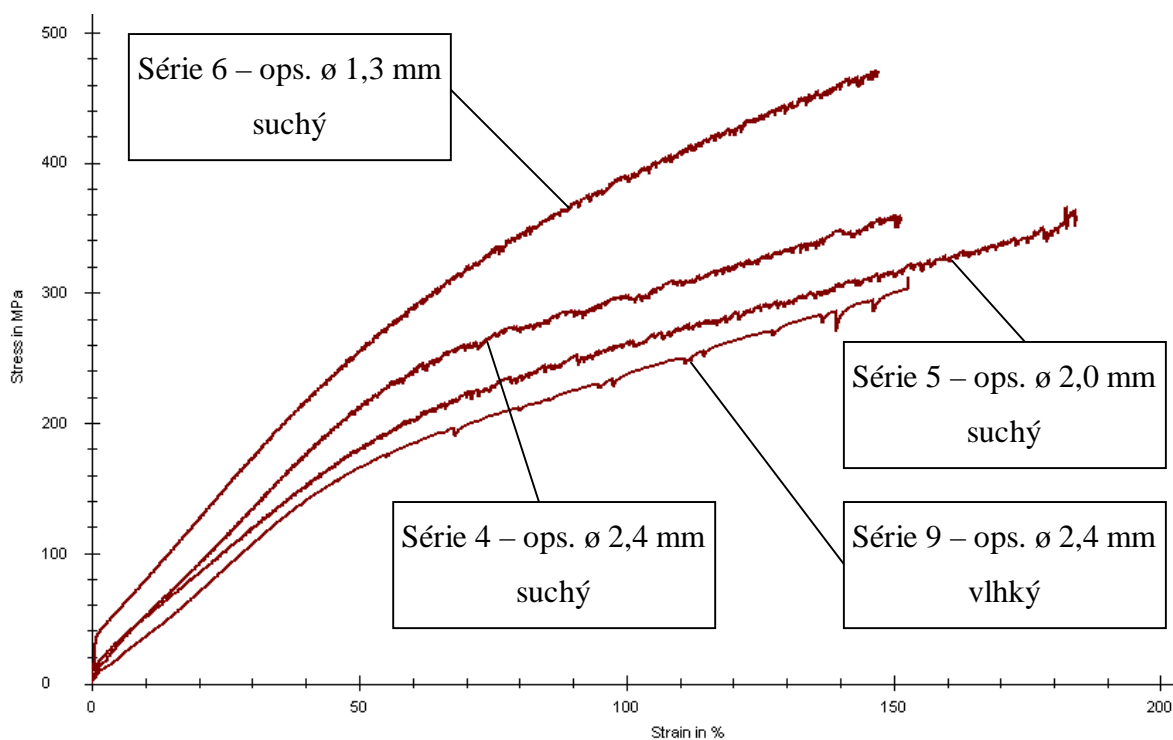
Struna číslo	Charakteristický rozměr	σ_m [MPa]	E [N/mm ²]
4	Opsaný Ø 1,3 mm	462,75	1332,97
5	Opsaný Ø 2,0 mm	339,01	1122,33
6 - suchá	Opsaný Ø 2,4 mm	351,69	1243,52
6 - vlhká	Opsaný Ø 2,4 mm	296,30	831,90

Tabulka 21: Napětí a modul pružnosti profil hvězda

Při porovnání hodnot napětí a modulu pružnosti pro různé charakteristické rozměry profilu hvězda lze konstatovat, že:

- nejvyšší hodnota napětí (462,75 MPa) i modulu pružnosti (1332,97 N/mm²) vykazala struna číslo 4 s nejmenším charakteristickým rozměrem 1,3 mm;
- hodnota modulu pružnosti u struny číslo 6 o charakteristickém rozměru 2,4 mm mezi suchým (1243,52 N/mm²) a vlhkým stavem (831,90 N/mm²) klesá na cca 2/3 hodnotu.

Grafické porovnání průběhu závislosti napětí na poměrné deformaci u strun hvězdového profilu získané pomocí programu testXpert:



Obrázek 26: Souhrnný graf závislosti napětí na poměrné deformaci strun profilů hvězda

10.3 Čtvercový profil

Pro vyhodnocení výsledků měření byla vytvořena shrnující tabulka (tab. 22), která obsahuje pouze nejdůležitější zjišťované hodnoty (σ_m a E).

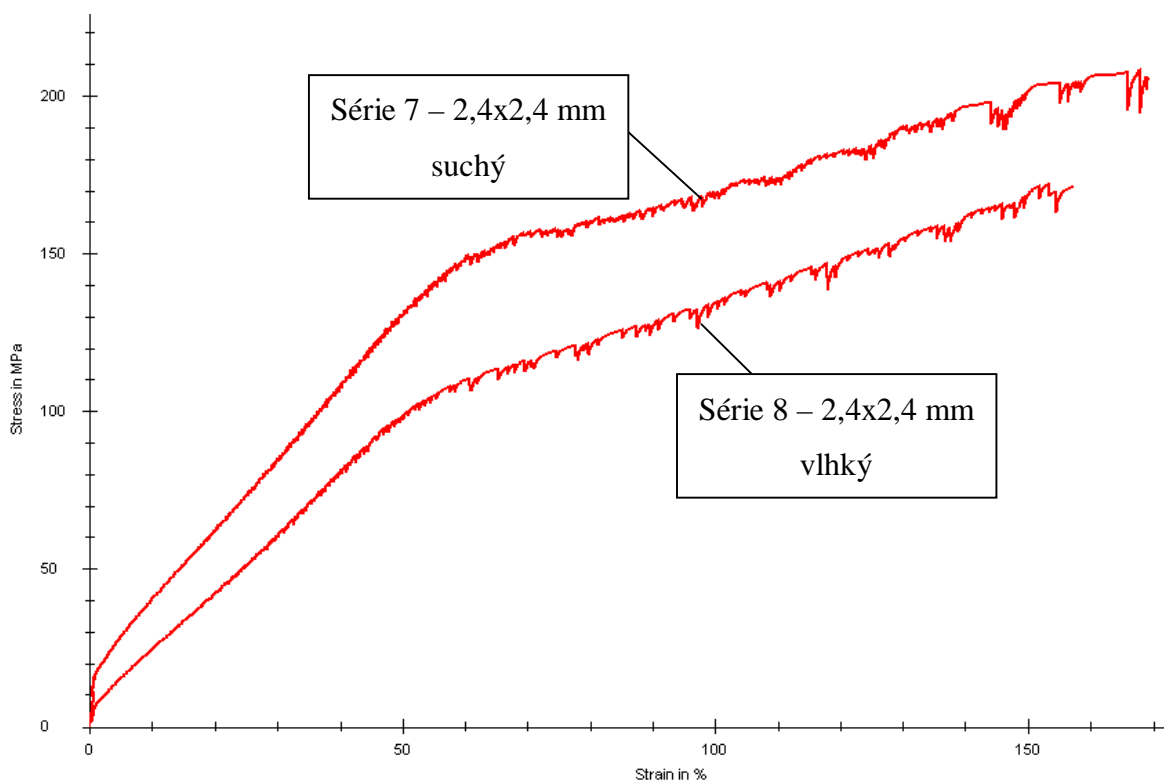
Struna číslo	Charakteristický rozměr	σ_m [MPa]	E [N/mm ²]
7 - suchá	2,4 x 2,4 mm	195,75	824,74
7 - vlhká	2,4 x 2,4 mm	169,82	532,00

Tabulka 22: Napětí a modul pružnosti profil čtverec

Při porovnání hodnot napětí a modulu pružnosti pro charakteristický rozměr profilu čtverec lze konstatovat, že:

- dosažené hodnoty napětí se výrazně neliší – hodnota za vlhka představuje cca 87% hodnoty za sucha;
- hodnota modulu pružnosti vzorku měřeného za vlhka dosahuje cca 2/3 hodnoty vzorku měřeného za sucha.

Grafické porovnání průběhu závislosti napětí na poměrné deformaci u strun čtvercového profilu získané pomocí programu testXpert:



Obrázek 27: Souhrnný graf závislosti napětí na poměrné deformaci strun čtvercových profilů

10.4 Charakteristický rozměr $\varnothing 1,3$ mm

Pro vyhodnocení výsledků měření byla vytvořena shrnující tabulka (tab. 23), která obsahuje pouze nejdůležitější zjišťované hodnoty (σ_m a E).

Struna číslo	Profil	σ_m [MPa]	E [N/mm ²]
1	Kruh	312,68	704,34
4	Hvězda	462,75	1332,97

Tabulka 23: Napětí a modul pružnosti charakteristický rozměr $\varnothing 1,3$ mm

U charakteristického rozměru $\varnothing 1,3$ mm bylo zjištěno, že hodnota napětí i modulu pružnosti je u profilu hvězda vyšší než u profilu kruhového a to u modulu pružnosti cca dvojnásobně.

10.5 Charakteristický rozměr \varnothing 2,0 mm

Pro vyhodnocení výsledků měření byla vytvořena shrnující tabulka (tab. 24), která obsahuje pouze nejdůležitější zjišťované hodnoty (σ_m a E).

Struna číslo	Profil	σ_m [MPa]	E [N/mm ²]
2	Kruh	241,51	1043,91
5	Hvězda	339,01	1122,33

Tabulka 24: Napětí a modul pružnosti charakteristický rozměr \varnothing 2,0 mm

U charakteristického rozměru \varnothing 2,0 mm jsou naměřené hodnoty napětí i modulu pružnosti opět vyšší u profilu hvězda než u profilu kruhového. Nejsou však již tak velké u modulu pružnosti jako v předchozím případě.

10.6 Charakteristický rozměr \varnothing 2,4 mm a 2,4 x 2,4 mm

Pro vyhodnocení výsledků měření byla vytvořena shrnující tabulka (tab. 25), která obsahuje pouze nejdůležitější zjišťované hodnoty (σ_m a E).

Struna číslo	Profil	σ_m [MPa]	E [N/mm ²]
3 - suchá	Kruh	230,79	1251,20
3 - vlhká	Kruh	222,80	692,44
6 - suchá	Hvězda	351,69	1243,52
6 - vlhká	Hvězda	296,30	831,90
7 - suchá	Čtverec	195,75	824,74
7 - vlhká	Čtverec	169,82	532,00

Tabulka 25: Napětí a modul pružnosti charakteristický rozměr \varnothing 2,4 mm a 2,4 x 2,4 mm

Z porovnání všech tří profilů o shodném charakteristickém rozměru \varnothing 2,4 mm a 2,4 x 2,4 mm lze usoudit, že:

- nejvyšší hodnotu napětí vykazala struna číslo 6 profilu hvězda za sucha (351,69 MPa) a naopak nejnižší struna číslo 7 čtvercového profilu za vlhka (169,82 MPa);
- nejvyšší hodnotu modulu pružnosti dosahuje struna číslo 3 kruhového profilu za sucha (1251,20 N/mm²) a struna profilu hvězda za sucha (1243,52 N/mm²);
- nejnižší hodnotu modulu pružnosti vykazují u všech tří profilů struny měřené za vlhka – čtverec (struna číslo 7: 532,00 N/mm²), kruh (struna číslo 3: 692,44 N/mm²) a hvězda (struna číslo 6: 831,90 N/mm²).

10.7 Závěrečné vyhodnocení

Na základě dílčích vyhodnocení měření uvedených v předchozích kapitolách (10.1 až 10.6) lze konstatovat, že:

- nejvyšší hodnotu napětí (462,75 MPa) i modulu pružnosti (1332,97 N/mm²) vykazala struna číslo 4 profilu hvězda o charakteristickém rozměru \varnothing 1,3 mm za sucha;
- nejnižší hodnotu napětí (169,82 MPa) i modulu pružnosti (532,00 N/mm²) byla zjištěna u struny číslo 7 čtvercového profilu o charakteristickém rozměru 2,4 x 2,4 mm za vlhka.

ZÁVĚR

V teoretické části jsem se věnoval popisu a vlastnostem polymerních materiálů používaných k výrobě žacích strun a mechanických zkoušek. Použitý materiál totiž zásadně ovlivní vlastnosti výrobku. V praktické části jsem popsal zkušební vzorky i zkušební stroj a vypracoval metodiku měření při použití čelistí pro zkoušku tahem kordů a drátů na stroji ZWICK 1456. Následně jsem provedl několik sérií měření za účelem zjištění mechanických vlastností žacích strun různých profilů a rozměrových řad. A to u některých vzorků za sucha i za vlhka. Soustředil jsem se hlavně na srovnání hodnot maximálního napětí v tahu a modulu pružnosti v tahu. Výsledky zkoušek jednoznačně prokázaly závislost těchto vlastností na velikosti plochy průřezu zkoušeného vzorku. Dalším zajímavým zjištěním bylo, na kolik tyto vlastnosti ovlivní obsah vody ve vzorku. Ať již při dosažených hodnotách modulu pružnosti a napětí v tahu, nebo na průběhu křivek grafů závislosti napětí na poměrné deformaci.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] *Azomaterials : The A to z of Materials* [online]. c2000-2009 [cit. 2009-02-28]. Polyamide 6/6 - Nylon 6/6 – PA 6/6. Anglicky. Dostupný z WWW: <<http://www.azom.com/Details.asp?ArticleID=477>>.
- [2] *Azomaterials : The A to z of Materials* [online]. c2000-2009 [cit. 2009-02-28]. Polyamide 6 - Nylon 6 – PA 6. Anglicky. Dostupný z WWW: <<http://www.azom.com/Details.asp?ArticleID=442>>.
- [3] *Azomaterials : The A to z of Materials* [online]. c2000-2009 [cit. 2009-02-28]. Polyamide 6/9 - Nylon 6/9 – PA 6/9. Anglicky. Dostupný z WWW: <<http://www.azom.com/Details.asp?ArticleID=752>>.
- [4] *Azomaterials : The A to z of Materials* [online]. c2000-2009 [cit. 2009-02-28]. Polyamide 6/12 - Nylon 6/12 – PA 6/12. Anglicky. Dostupný z WWW: <<http://www.azom.com/Details.asp?ArticleID=468>>.
- [5] *Azomaterials : The A to z of Materials* [online]. c2000-2009 [cit. 2009-02-28]. Polyamide 6/6-6 - Nylon 6/6-6 – PA 6/6-6. Anglicky. Dostupný z WWW: <<http://www.azom.com/Details.asp?ArticleID=751>>.
- [6] BAROŇ, Michal. *Konstrukce upínacích čelistí pro zkoušku tahem drátů a kordů*. [s.l.], 2008. 61 s. , 15 výkresů, 1 CD-ROM . Práce byla obhájena 16.6.2008 na Fakultě technologické Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně. Vedoucí bakalářské práce Ing. Milan Žaludek, Ph.D. Dostupný z WWW: <<https://www.stag.utb.cz/apps/stag/dipfile/index.php?download=8421>>.
- [7] *BISON - rezné lanká do vyžínačov a krovínorezov* [online]. 2008 [cit. 2009-02-03]. Slovenština. Dostupný z WWW: <<http://www.bison.sk/index.htm>>.
- [8] KOSIČKA, Miroslav. Odpovědi na dotazy čtenářů : Technické okénko. *MAGAZÍN STIHL* [online]. 2008 [cit. 2008-11-17], s. 10. Dostupný z WWW: <http://www.stihl.cz/navi/zabava/files/leto_2008.pdf>.

[9] LENFELD, Petr. *Technologie II : Zpracování plastů* [online]. [1998-2005] , 26. listopadu 2008 9:25:00 [cit. 2009-03-02]. Dostupný z WWW:
<http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/06.htm>.

[10] *Mechanické vlastnosti* [online]. [2006] [cit. 2008-11-24]. Dostupný z WWW:
<http://www.ateam.zcu.cz/mechanicke_vlastnosti.pdf>.

[11] *Wikipedie : Otevřená encyklopedie : Nylon* [online]. c2009 , Stránka byla naposledy editována 24. 1. 2009 v 06:06 [cit. 2009-02-28]. Dostupný z WWW:
<<http://cs.wikipedia.org/wiki/Nylon>>.

[12] *Wikipedie : Otevřená encyklopedie : Silon* [online]. c2009 , Stránka byla naposledy editována 16. 1. 2009 v 13:45 [cit. 2009-02-28]. Dostupný z WWW:
<<http://cs.wikipedia.org/wiki/Silon>>.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

\bar{x}		Aritmetický průměr
μ	[-]	Poissonovo číslo
d	[m]	Průměr
E	[MPa]	Youngův modul
F	[N]	Síla
G	[MPa]	Modul pružnosti v krutu
HDPE		Vysokohustotní polyethylen
l	[m]	Vzdálenost podpěr u zkoušky ohybem
L	[m]	Vzdálenost mezi pootočenými průřezy
L_0	[mm]	Počáteční délka
L_u	[mm]	Délka po prodloužení
M_{Ek}	[Nm]	Krouticí moment na mezi pružnosti
M_k	[Nm]	Krouticí moment
M_{Kk}	[Nm]	Krouticí moment na mezi kluzu
M_{Omax}	[Nm]	Maximální ohybový moment
M_{Pk}	[Nm]	Krouticí moment na mezi pevnosti v krutu
M_{Uk}	[Nm]	Krouticí moment na mezi úměrnosti
n		Variační rozpětí
PA		Polyamid

PBT		Polybutylentereftalát
PET		Polyethylentereftalát
PMMA		Polymethylmethakrylát
PP		Polypropylen
PVC		Polyvinylchlorid
r	[mm]	Poloměr
R	[MPa]	Jmenovité napětí v tahu pro kovy
R_{mk}	[MPa]	Maximální napětí v krutu
R_O	[MPa]	Maximální napětí v ohybu
s		Směrodatná odchylka
S	[mm ²]	Průřez po prodloužení
S_0	[mm ²]	Počáteční průřez
W_k	[mm ³]	Průřezový modul v krutu
W_O	[mm ³]	Průřezový modul k ose ohybu
y	[mm]	Průhyb v místě zatěžující síly u ohybové zkoušky
γ	[-]	Zkos
ΔL	[mm]	Prosté prodloužení
ε	[-]	Poměrné prodloužení
ϑ	[rad.mm ⁻¹]	Zkrut
σ	[MPa]	Jmenovité napětí v tahu pro plasty
φ	[°]	Úhel zkroucení

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obrázek 1: Tabulka balení strun BISON</i>	<i>8</i>
<i>Obrázek 2: 15 metrové balení, 100 metrové balení a balení ve velké cívce</i>	<i>8</i>
<i>Obrázek 3: Linka na výrobu vláken vytlačováním.....</i>	<i>16</i>
<i>Obrázek 4: Hlava pro vytlačování vláken</i>	<i>17</i>
<i>Obrázek 5: Pracovní diagram měkké uhlíkové oceli s výraznou mezí kluzu.....</i>	<i>20</i>
<i>Obrázek 6: Schéma zatěžování při zkoušce krutem</i>	<i>21</i>
<i>Obrázek 7: Diagram zkoušky v krutu pro houževnatý materiál</i>	<i>22</i>
<i>Obrázek 8: Průběh ohybového momentu u tříbodové zkoušky ohybem</i>	<i>24</i>
<i>Obrázek 9: Průběh ohybového momentu u čtyřbodové zkoušky ohybem.....</i>	<i>25</i>
<i>Obrázek 10: Symetrický průřez, stejné vlastnosti v tahu i tlaku.....</i>	<i>25</i>
<i>Obrázek 11: Symetrický průřez, různé vlastnosti v tahu a tlaku</i>	<i>26</i>
<i>Obrázek 12: Zakoupené struny</i>	<i>30</i>
<i>Obrázek 13: Zkušební stroj ZWICK 1456</i>	<i>32</i>
<i>Obrázek 14: Upnutí v čelistech a pozice extenzometru.....</i>	<i>34</i>
<i>Obrázek 15: Graf závislosti napětí na poměrné deformaci (první série druhé měření).....</i>	<i>36</i>
<i>Obrázek 16: Graf závislosti napětí na poměrné deformaci (druhá série druhé měření).....</i>	<i>37</i>
<i>Obrázek 17: Graf závislosti napětí na poměrné deformaci (třetí série druhé měření).....</i>	<i>38</i>
<i>Obrázek 18: Graf závislosti napětí na poměrné deformaci (desátá série druhé měření)</i>	<i>39</i>
<i>Obrázek 19: Graf závislosti napětí na poměrné deformaci (čtvrtá série páté měření)</i>	<i>40</i>
<i>Obrázek 20: Graf závislosti napětí na poměrné deformaci (pátá série čtvrté měření)</i>	<i>41</i>
<i>Obrázek 21: Graf závislosti napětí na poměrné deformaci (šestá série druhé měření)</i>	<i>42</i>
<i>Obrázek 22: Graf závislosti napětí na poměrné deformaci (devátá série třetí měření)</i>	<i>43</i>
<i>Obrázek 23: Graf závislosti napětí na poměrné deformaci (sedmá série šesté měření).....</i>	<i>44</i>
<i>Obrázek 24: Graf závislosti napětí na poměrné deformaci (osmá série první měření).....</i>	<i>45</i>

<i>Obrázek 25: Souhrnný graf závislosti napětí na poměrné deformaci strun kruhových profilů.....</i>	<i>47</i>
<i>Obrázek 26: Souhrnný graf závislosti napětí na poměrné deformaci strun profilů hvězda.....</i>	<i>49</i>
<i>Obrázek 27: Souhrnný graf závislosti napětí na poměrné deformaci strun čtvercových profilů.....</i>	<i>50</i>

SEZNAM TABULEK

<i>Tabulka 1: Vlastnosti Silonu.....</i>	<i>10</i>
<i>Tabulka 2: Vlastnosti nylonu.....</i>	<i>11</i>
<i>Tabulka 3: Srovnání vybraných vlastností PA 6 a 6/6.....</i>	<i>12</i>
<i>Tabulka 4: Vlastnosti PA 6/9.....</i>	<i>13</i>
<i>Tabulka 5: Vlastnosti PA 6/12.....</i>	<i>13</i>
<i>Tabulka 6: Vlastnosti PA 6/66.....</i>	<i>14</i>
<i>Tabulka 7: Vlastnosti strun.....</i>	<i>29</i>
<i>Tabulka 8: Technické údaje.....</i>	<i>31</i>
<i>Tabulka 9: Statistika měření pro suchý kruhový profil, \varnothing 2,4 mm.....</i>	<i>35</i>
<i>Tabulka 10: Statistika měření pro suchý kruhový profil, \varnothing 2,0 mm.....</i>	<i>36</i>
<i>Tabulka 11: Statistika měření pro suchý kruhový profil, \varnothing 1,3 mm.....</i>	<i>37</i>
<i>Tabulka 12: Statistika měření pro vlhký kruhový profil, \varnothing 2,4 mm.....</i>	<i>38</i>
<i>Tabulka 13: Statistika měření pro suchý profil hvězda, opsaný \varnothing 2,4 mm.....</i>	<i>39</i>
<i>Tabulka 14: Statistika měření pro suchý profil hvězda, opsaný \varnothing 2,0 mm.....</i>	<i>40</i>
<i>Tabulka 15: Statistika měření pro suchý profil hvězda, opsaný \varnothing 1,3 mm.....</i>	<i>41</i>
<i>Tabulka 16: Statistika měření pro vlhký profil hvězda, opsaný \varnothing 2,4 mm.....</i>	<i>42</i>
<i>Tabulka 17: Statistika měření pro suchý čtvercový profil 2,4x2,4 mm.....</i>	<i>43</i>
<i>Tabulka 18: Statistika měření pro vlhký čtvercový profil 2,4x2,4 mm.....</i>	<i>44</i>
<i>Tabulka 19: Uspořádání vzorků v sériích.....</i>	<i>46</i>
<i>Tabulka 20: Napětí a modul pružnosti profil kruh.....</i>	<i>46</i>
<i>Tabulka 21: Napětí a modul pružnosti profil hvězda.....</i>	<i>48</i>
<i>Tabulka 22: Napětí a modul pružnosti profil čtverec.....</i>	<i>49</i>
<i>Tabulka 23: Napětí a modul pružnosti charakteristický rozměr \varnothing 1,3 mm.....</i>	<i>50</i>
<i>Tabulka 24: Napětí a modul pružnosti charakteristický rozměr \varnothing 2,0 mm.....</i>	<i>51</i>

Tabulka 25: <i>Napětí a modul pružnosti charakteristický rozměr \varnothing 2,4 mm a 2,4 x 2,4 mm</i>	51
--	----

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha PI

Tabulka 1: Kompletní přehled naměřených hodnot - profil kruh.....63

Tabulka 2: Kompletní přehled naměřených hodnot - profil hvězda64

Tabulka 3: Kompletní přehled naměřených hodnot - profil čtverec.....65

Příloha PII

Obrázek 1: Výpočet plochy hvězdy pomocí AutoCAD 200266

PŘÍLOHA PI: TABULKY NAMĚŘENÝCH HODNOT

	Rychlost	L0 ST	Průměr d0	Rm	Rm	Nominal strain- Rm	L ₀	E-Modul	ε Rm	RB	ε Break	ε Fmax.	ε Break
Měření	mm/min	mm	mm	N	MPa	mm	mm	N/mm ²	%	N/mm ²	mm	mm	mm
1	50	20	2,4	1057,1	233,67	201,1	15	1262,22	97,87	220,97	14,94	14,71	14,91
2	50	15	2,4	1039,12	229,7	203,54	15	1380,57	99,44	225,44	15,11	14,93	15,1
3	50	15	2,4	1054,25	233,04	215,37	15	1240,04	106,09	220,48	16,18	15,93	16,16
4	50	15	2,4	1027,11	227,04	196,58	15	1260,65	97,01	224,96	14,74	14,57	14,73
5	50	15	2,4	939,98	207,78	140,54	15	1230,12	68,33	205,7	11,28	10,27	11,26
6	50	15	2,4	1070,75	236,69	226,51	15	1212,89	111,62	228,68	16,79	16,76	16,77
7	50	15	2,4	1100,62	243,29	237,54	15	1210,14	117,24	241,85	17,64	17,61	17,62
8	50	15	2,4	1063,65	235,12	214	15	1212,97	105,29	232,06	16,5	15,82	16,48
9	50	15	2	770,17	245,15	225,5	15	1104,55	110,78	244,12	16,71	16,64	16,68
10	50	15	2	749,9	238,7	226,48	15	1039,17	111,59	236,7	17,14	16,76	17,12
11	50	15	2	734,82	233,9	206,36	15	1081,54	101,56	231,99	15,55	15,26	15,53
12	50	15	2	767,77	244,39	243,77	15	1062,62	120,06	242,96	18,08	18,03	18,05
13	50	15	2	744,8	237,08	229,66	15	1013,45	113,37	235,96	17,06	17,03	17,04
14	50	15	2	746,39	237,58	222,82	15	1037,01	109,87	237,1	16,52	16,5	16,5
15	50	15	2	809,11	257,55	271,66	15	1061,71	134,51	256,71	20,43	20,2	20,4
16	50	15	2	746,91	237,75	231,21	15	951,23	114,5	235,76	17,89	17,2	17,86
17	50	15	1,3	405,06	305,17	296,37	15	643,68	147,39	301,6	22,29	22,19	22,21
18	50	20	1,3	401,47	302,47	291,63	20	801,56	144,53	301,97	29,36	29	29,27
19	50	20	1,3	398,72	300,39	283,15	20	761,24	140,06	297,31	28,17	28,11	28,08
20	50	20	1,3	420,33	316,67	319,9	20	790,83	158,51	313,9	31,84	31,8	31,75
21	50	20	1,3	422,27	318,14	303,18	20	781,54	150,25	313,28	30,68	30,14	30,59
22	50	20	1,3	418,77	315,5	309,2	20	756,59	152,83	315,33	30,68	30,66	30,59
23	50	20	1,3	418,79	315,52	308,06	20	766,61	152,96	300,78	30,69	30,68	30,59
24	50	20	1,3	434,79	327,57	327,72	20	332,66	163,91	326,99	33,12	33,06	32,84
63	50	20	2,4	1002,7	221,65	322,7	20	687,92	159,76	218,09	32,02	31,99	31,99
64	50	20	2,4	989,69	218,77	315,55	20	693,24	156,44	218,63	31,34	31,32	31,31
65	50	20	2,4	1031,43	228	348,48	20	696,16	172,85	227,46	34,69	34,6	34,66

Tabulka 1: Kompletní přehled naměřených hodnot - profil kruh

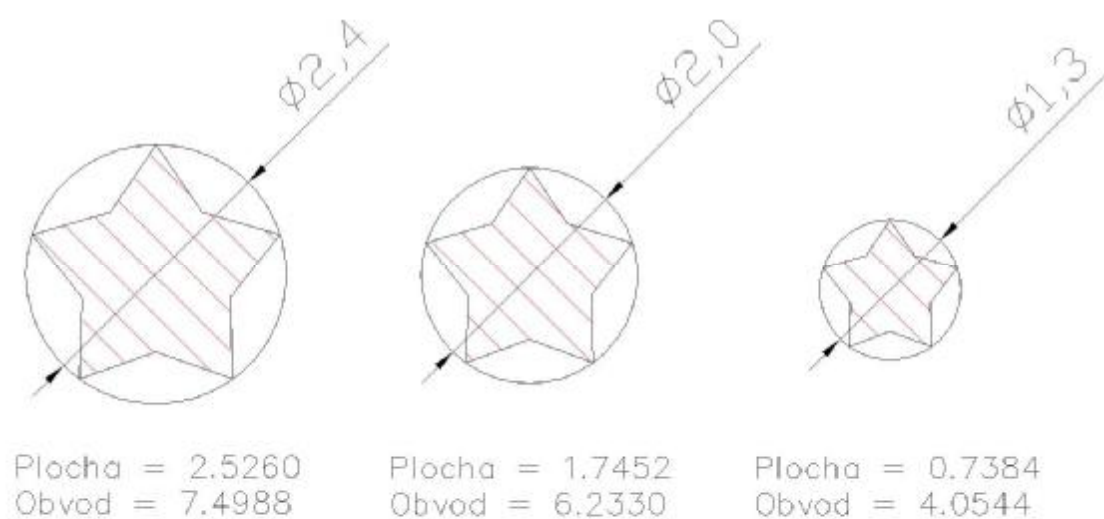
	Rychlost	L0 ST	Rm	Rm	Nominal strain-Rm	L0	E-Modul	ε Rm	RB	ε Break	ε Fmax.	ε Break
Měření	mm/min	mm	N	MPa	mm	mm	N/mm ²	%	N/mm ²	mm	mm	mm
25	50	20	874,56	346,22	290,28	20	1294,3	142,24	342,18	28,52	28,48	28,49
26	50	20	908,09	359,5	303,18	20	1232,49	149,4	358,48	30,57	29,91	30,54
27	50	20	887,38	351,3	282,68	20	1248,95	138,68	350,2	27,86	27,76	27,84
28	50	20	921,67	364,87	306,93	20	1264,46	151,19	363,37	30,29	30,27	30,26
29	50	20	902,6	357,32	298,55	20	1268,31	147,13	347,57	29,55	29,45	29,53
30	50	20	901,86	357,03	296,58	20	1185	146,18	348,74	29,3	29,27	29,27
31	50	20	804,07	318,32	240,31	20	1273,47	118,43	316,98	23,78	23,71	23,75
32	50	20	906,7	358,95	299,43	20	1181,21	148,17	358,25	29,76	29,66	29,73
33	50	20	605,31	347,54	355,03	20	1146,96	176,27	345,13	35,48	35,3	35,43
34	50	20	519,98	298,55	279,16	20	1125,36	138,71	297,54	27,83	27,79	27,78
35	50	20	599,11	343,98	364,76	20	1089,02	181,04	343,7	36,39	36,26	36,34
36	50	20	606,8	348,39	351,93	20	1182,69	174,41	345,08	35,42	34,93	35,38
37	50	20	566,32	325,15	313,2	20	1066	155,17	317,7	31,2	31,09	31,15
38	50	20	636,14	365,24	366,81	20	1117,46	182,17	357,62	36,94	36,48	36,89
39	50	20	591,85	339,81	354,23	20	1148,96	175,92	335,5	35,31	35,23	35,26
40	50	20	598,15	343,43	347,81	20	1102,2	172,63	343,05	34,78	34,58	34,73
41	50	20	354,1	482,29	305,86	20	1387,37	151,4	458,78	30,37	30,37	30,28
42	50	20	344,02	468,57	302,16	20	1347,44	149,39	468,43	29,98	29,97	29,89
43	50	20	342,44	466,41	278,22	20	1424,88	137,61	466,24	27,63	27,61	27,54
44	50	20	309,5	421,54	240,02	20	1296,02	118,83	421,29	23,89	23,87	23,79
45	50	20	336,58	458,43	285,49	20	1349,42	140,95	455,59	28,45	28,28	28,36
46	50	20	346,15	471,47	298,74	20	1281,83	147,9	471,32	29,68	29,68	29,58
47	50	20	339,12	461,89	288,29	20	1269,06	142,6	461,79	28,63	28,62	28,53
48	50	20	346,09	471,38	300,53	20	1307,7	148,58	457,04	29,93	29,82	29,83
60	50	20	742,74	294,04	301,72	20	828,69	149,28	292,51	29,99	29,9	29,94
61	50	20	713,88	282,61	271,72	20	823,05	134,55	282,17	27,01	26,96	26,96
62	50	20	788,75	312,25	307,54	20	843,96	152,57	311,83	30,61	30,56	30,56

Tabulka 2: Kompletní přehled naměřených hodnot - profil hvězda

	Rychlost	L0 ST	a0	b0	Rm	Rm	Nominal strain-Rm	L0	E-Modul	ε Rm	RB	ε Break	ε Fmax.	ε Break
Měření	mm/min	mm	mm	mm	N	MPa	mm	mm	N/mm ²	%	N/mm ²	mm	mm	mm
49	50	20	2,4	2,4	1200,49	208,42	326,85	20	886,09	159,65	207,87	32,02	31,95	32
50	50	20	2,4	2,4	1125,55	195,41	283,73	20	827,22	139,69	189,32	28,08	27,96	28,05
51	50	20	2,4	2,4	1001,4	173,85	221,21	20	855,4	107,99	171,59	21,87	21,63	21,85
52	50	20	2,4	2,4	1130,12	196,2	288,33	20	799,06	141,6	195,39	28,41	28,35	28,38
53	50	20	2,4	2,4	1156,18	200,73	297,13	20	837,54	145,63	200,04	29,21	29,15	29,18
54	50	20	2,4	2,4	1117,7	194,05	280,56	20	788,17	138,61	193,34	27,8	27,75	27,77
55	50	20	2,4	2,4	1071,97	186,11	252,47	20	789,74	124,5	184,59	25,03	24,93	25
56	50	20	2,4	2,4	1216,68	211,23	345,96	20	814,7	171,08	203	34,28	34,25	34,26
57	50	20	2,4	2,4	1011,76	175,65	308,76	20	540,95	153,11	169,28	30,7	30,66	30,67
58	50	20	2,4	2,4	985,1	171,02	316,76	20	535,22	157,03	170,54	31,5	31,44	31,46
59	50	20	2,4	2,4	937,6	162,78	299,81	20	519,82	148,3	162,34	29,7	29,69	29,67

Tabulka 3: Kompletní přehled naměřených hodnot - profil čtverec

PŘÍLOHA P II: VÝPOČET PLOCHY HVĚZDY



Obrázek 1: Výpočet plochy hvězdy pomocí AutoCAD 2002