

Mechanické vlastnosti strun pro tenisové rakety

Karel Machálka

Bakalářská práce
2010



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Karel MACHÁLKA**

Studijní program: **B 3909 Procesní inženýrství**

Studijní obor: **Technologická zařízení**

Téma práce: **Mechanické vlastnosti strun pro tenisové rakety**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literární studii na dané téma.
2. Popište metodiku měření při použití čelistí pro zkoušku tahem drátu a kordů.
3. Proveďte experimentální zkoušky na trhacím stroji ZWICK.
4. Proveďte 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: **19. února 2010**

Termín odevzdání bakalářské práce: **2. června 2010**

Ve Zlíně dne 22. ledna 2010



doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.
děkan



doc. Ing. Miroslav Maňas, CSc.
vedoucí katedry

ABSTRAKT

Práce se zabývá mechanickými vlastnostmi strun tenisových raket. V teoretické části jsou popsány technologie výroby strun z polymerních materiálů a vlastnosti těchto materiálů, které se v současné době používají. V praktické části je uvedena použitá metodika práce na trhacím stroji ZWIK 1456. Dále jsou uvedeny získané výsledky měření, která byla provedena pro sedm druhů různých strun tenisových raket, a to vždy pro 11 vzorků. Závěr práce tvoří vyhodnocení a porovnání mechanických vlastností jednotlivých druhů měřených strun tenisových raket.

Klíčová slova: Polymer, tenisová struna, mechanické vlastnosti, zkouška tahem, modul pružnosti, tažnost, napětí.

ABSTRACT

Work deals with the mechanical characteristics of tennis racket strings. The theoretical part describes the technology of the string of polymeric materials and properties of these materials, which are currently in use. The practical part deals with the methodology of work on the tensile machine ZWIK 1456th Listed below are the results of measurements made for seven kinds of different strings of tennis rackets, and always for the 11 samples. The thesis concludes with an evaluation and comparison of the mechanical properties of each species measured string tennis rackets.

Keywords: Polymer, tennis string, mechanical properties, tensile test, elastic modulus, elongation, stress.

Poděkování:

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu bakalářské práce Ing. Františku Rulíkovi, CSc. a Ing. Milanu Žaludkovi, Ph.D., za odborné vedení, ochotně poskytnuté rady a soustavnou pozornost, kterou mi věnovali při vypracování bakalářské práce.

OBSAH

ÚVOD	8
I TEORETICKÁ ČÁST	9
1 HISTORIE	10
2 VÝROBA STRUN	11
2.1 ŠNEKOVÉ VYTLAČOVACÍ STROJE	11
2.2 PÍSTOVÉ VYTLAČOVACÍ STROJE.....	13
2.3 DISKOVÉ A SPIRÁLOVÉ VYTLAČOVACÍ STROJE	13
2.4 LINKY NA VYTLAČOVÁNÍ	14
2.4.1 Výroba vláken vytlačováním	14
2.4.2 Opláštění vytlačováním	15
2.4.3 Zvlákňování.....	16
2.4.4 Výroba vláken z folií.....	17
3 POLYMERY PRO VÝROBU SYNTETICKÝCH VLÁKEN	18
3.1 POLYAMIDOVÁ VLÁKNA.....	18
3.2 POLYESTEROVÁ VLÁKNA	19
3.3 MATERIÁLY NA STRUNY TENISOVÝCH RAKET	20
4 STRUKTURA STRUN TENISOVÝCH RAKET	21
5 VYPLÉTACÍ STROJ	22
6 MECHANICKÉ ZKOUŠKY	24
6.1 ZKOUŠKA TAHEM	26
6.2 ZKOUŠKA TLAKEM	29
6.3 ZKOUŠKA OHYBEM.....	30
7 MECHANICKÉ VLASTNOSTI PLASTŮ	32
7.1 SKLOVITÝ STAV.....	32
7.2 KAUKUKOVITÝ STAV	33
7.3 VISKÓZNÍ STAV	33
8 MECHANICKÉ ZKOUŠKY PRO PLASTY	34
8.1 ZKOUŠKA TAHEM	34
8.2 ZKOUŠKA TLAKEM	35
8.3 ZKOUŠKA OHYBEM.....	35
9 CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE	36
II PRAKTICKÁ ČÁST	37
10 POPIS STOJE ZWICK	38
10.1 METODIKA MĚŘENÍ ZKOUŠKY TAHEM	41
11 VZORKY STRUN TENISOVÝCH RAKET	43
12 VÝSLEDKY MĚŘENÍ	45

12.1	POROVNÁNÍ MODULU PRUŽNOSTI E_s	47
12.2	POROVNÁNÍ TAŽNOSTI A_s	48
12.3	POROVNÁNÍ MAXIMÁLNÍ SÍLY F_s	49
12.4	POROVNÁNÍ MAXIMÁLNÍHO NAPĚTÍ Σ_s	50
13	TAHOVÉ DIAGRAMY TENISOVÝCH STRUN	51
14	UKÁZKA PŘETRŽENÝCH VZORKŮ	54
	ZÁVĚR	56
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	57
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	58
	SEZNAM OBRÁZKŮ	60
	SEZNAM TABULEK.....	62
	SEZNAM PŘÍLOH.....	63

ÚVOD

V dnešní době je tenis atraktivní sport, který je velmi populární. Svou popularitu také získal díky zpracování kvalitních materiálů a technologií, které se trvale vyvíjejí.

Z počátku se na výplety tenisových raket používaly přírodní materiály, jako byla střívka prasat, krav a ovcí, která v té době byla levnější než materiály syntetické. Postupem času došlo k rozvoji výroby polymerních materiálů, které svými mechanickými vlastnostmi plně nahradily původní přírodní materiály a zároveň se staly cenově dostupnější. Tato skutečnost také zpětně ovlivnila masovější rozšíření tenisu ve společnosti.

Obory zabývající se zpracováním polymerních materiálů se dále rozvíjí. Zvýšený objem výroby a nacházení stále nových surovin má vliv i na výběr materiálu a vlastní konstrukci struny a také na provedení výpletu tenisových raket. Objevují se i různé konstrukce provedení tenisové struny - od struny tvořené pouze jedním vláknem, přes struny složené z více vláken ze stejného materiálu, až po struny složené z jádra a obalu za použití shodných či odlišných materiálů. Liší se i vlastní výplety raket.

Přes uvedené skutečnosti zůstává jednou z možností, jak porovnávat různé materiály a jejich vhodnost pro určité použití, zjišťování jejich mechanických vlastností, jako je např. modul pružnosti, tažnost, pevnost.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 HISTORIE

V roce 1878, po ustanovení pravidel tenisu, výrobce tenisových rámců Angličan Bussey oslovil Pierra Babolata. Jeho požadavek byl jednoduchý. Potřeboval strunu dostatečné délky, aby pasovala do jeho rámců. V této době byly totiž vyráběny pouze dva typy strun – struny pro hudební nástroje a struny pro pálkový tenis. Testy provedené Babolatem se ukázaly velmi uspokojivé a tak rok po oficiálním vzniku tenisu byla vyvinuta první struna pro tenis, vyrobená z přírodních materiálů. [5]

Původně byla ovčí střívka základní surovinou, kterou si firma Babolat-Monnier zvolila k využití pro výrobu prvních tenisových strun. V minulosti byla ovčí střívka využívána k rozmanitým účelům. Tento přírodní materiál zajistil skvělé vlastnosti strun. S použitím materiálu vysoce hodnoceného pro své výjimečné vlastnosti a unikátní výrobní proces měly první struny vyrobené z přírodních materiálů předpoklady k proslavení na tenisových kurtech. [5]

V době po 2. světové válce příchod syntetických materiálů povzbudil výrobce tenisových strun k výrobě nylonových strun. Kvalita těchto zdokonalených strun ukázala svoji výjimečnost.

V této době se přišlo na speciálně potažený nylon, vytvořený pro obalení extrémně jemných nylonových vláken. Díky této novince syntetika nabídla větší pružnost pro tenisovou hru v porovnání s původními jednoduchými pletenci. [5]

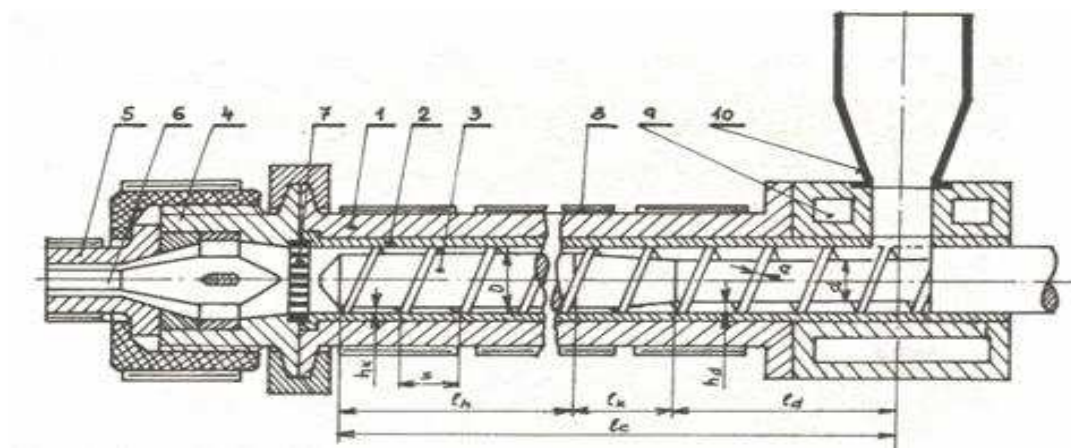
V 80. letech technici vyvinuli nové struny „Multifibres“ – mnohovlákná. Tyto nové struny byly označovány jako inovační tenisové struny. Tyto struny se vyráběly ve Francii. Stejně jako byla vyvinuta technologie pro výrobu strun ze střívek, tak i v případě syntetik přišli vědci s průmyslovými postupy pro výrobu těchto nových produktů.

Díky inovacím a technologiím byla založena továrna v Lyonu. Syntetické struny méně citlivé na vlhkost a levnější než tradiční struny vyrobené z přírodních materiálů přispěly k zpřístupnění tenisového sportu. [5]

2 VÝROBA STRUN

2.1 Šnekové vytlačovací stroje

Schéma uspořádání vytlačovacího stroje je na obr. 1. Ve vstupní části se musí většinou granulovaný nebo aglomerovaný polymer zachytit, přehřát a za odplynění stlačit. V kompresní části je polymer dále stlačován, plastikován a homogenizován s případnými přísadami. Ve výstupní části je již ve formě tepelně i materiálově homogenní taveniny pod tlakem kontinuálně vytlačován do „nástroje“ – vytlačovací hlavy. Ke zpracování plastů se používají především jednošnekové vytlačovací stroje, ale pro různé aplikace se konstruují i dvoušnekové vytlačovací stroje, stroje na kaučuky, apod. [4]

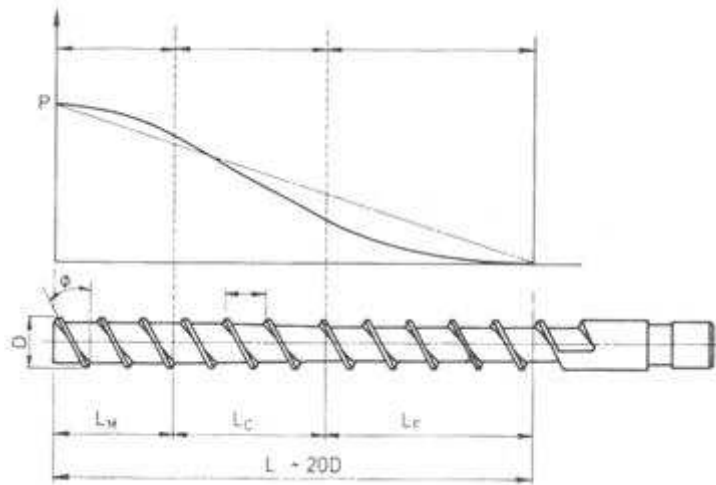


Obr. 1 Jednošnekový vytlačovací stroj

1 – pracovní válec, 2 – pouzdro, tavící komora, 3 – šnek, 4 – vytlačovací hlava, 5 – hubice,
6 – trn, 7 – lamač, 8 – topení, 9 – chlazení, 10 – násypka

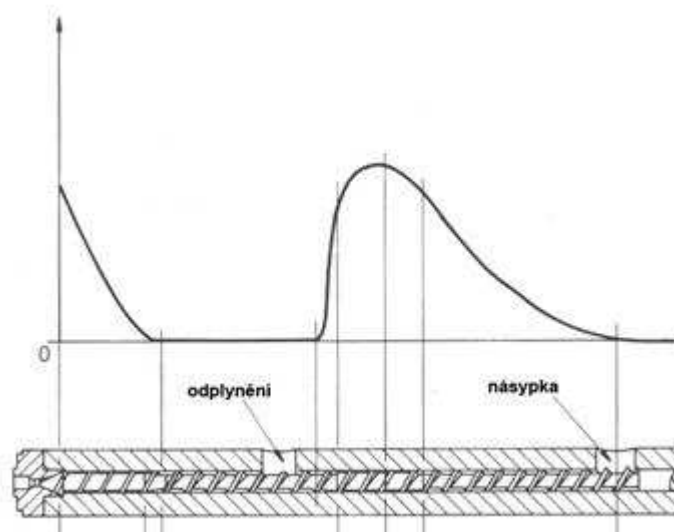
Šnek je nejvýznamnější funkční částí vytlačovacího stroje. Teoreticky by každý plast vyžadoval svůj speciální šnek, ale v praxi se používá několik ověřených konstrukcí šneků, které buď výrobce vytlačovacího stroje, nebo dodavatel polymeru pro jeho optimální zpracování doporučí. Velikost vytlačovacího stroje se určuje průměrem šneku D a jeho účinnou délkou L , která se obvykle vztahuje k průměru poměrem L/D . Pro zpracování termoplastů se používají většinou šneky s poměrem $L/D = 20$ a vyšším. Běžně jsou používány jednoduché šneky s úhlem stoupání $17,7^\circ$, což odpovídá stoupání závitů rovnému průměru.

Šířka hřbetu závitů bývá obvykle $0,1 D$, vůle mezi hřbetem závitů a válcem $0,002$ až $0,005 D$. Dále jsou šneky pro zpracování polymerů charakterizovány tzv. kompresním poměrem. Pro granuláty termoplastů se pohybuje v rozmezí $1,8$ až 4 . [4]



Obr. 2 Průběh tlaku ve šnekovém vytlačovacím stroji

Doposud se nepodařilo zkonstruovat univerzální šnek pro všechny termoplasty. Obvykle se upravuje vzájemný poměr tří částí šneku tak, aby co nejlépe zpracovával daný polymer – tlakový profil šneku. Na obr. 2 je ukázán průběh tlaku ve šnekovém vytlačovacím stroji a na obr. 3 průběh tlaku na šneku s odplyňovací zónou. V odplyňovací části jsou z taveniny odstraňovány těkavé podíly, voda, apod. Délka odplyňovacích šneků je kolem 25 až $35 D$. [4]



Obr. 3 Průběh tlaku na stroji s odplyněním

2.2 Pístové vytlačovací stroje

Vytlačovací stroje pístové mají jako hlavní funkční část píst. Pohon pístu bývá hydraulický nebo mechanický. Pracovní část je tvořena válcem s pístem a vytlačovací hlavou. Materiál pro vytlačování se vkládá do pracovního válce. Velikost pístového vytlačovacího stroje je určena maximální vytlačovací silou, průměrem pracovního válce a zdvihem pracovního pístu. Pístové vytlačovací stroje se nejčastěji používají k vytlačování materiálů citlivých na teplotu, jako je např. PF nebo materiálů se špatnými tokovými vlastnostmi, jako je např. PTFE. Vytlačovaný materiál není namáhán vysokým smykovým zatížením a lze takto vyrábět profily v poměrně úzkých výrobních tolerancích. Nevýhodou pístových vytlačovacích strojů je jejich cyklický výrobní proces. [4]

2.3 Diskové a spirálové vytlačovací stroje

Vytlačovací stroje diskové jsou založeny na tzv. Weissenbergově efektu, který je podmíněn visko-elastickými vlastnostmi zpracovávaného materiálu. Výkon diskového vytlačovacího stroje závisí na průměru a tvaru disku, smykové rychlosti a druhu zpracovávaného polymeru. Konstrukčně jsou diskové vytlačovací stroje velmi jednoduché. Disk vytváří proti čelní desce štěrbinu, do které přes chlazenou násypku vstupuje materiál a účinkem elastických napětí se dopravuje v radiálním směru k hubici. Potřebné teplo k tavení vzniká v důsledku smykového namáhání materiálu ve štěrbině a také je dodáváno topnými tělesy. Nevýhodou takto řešeného diskového vytlačovacího stroje jsou nízké vytlačovací tlaky, které lze v určitém rozsahu ovlivňovat změnou otáček disku nebo nastavením velikosti štěrbin. Výhodami diskových vytlačovacích strojů je, že dosahují rychlé plastikace polymeru při vysoké homogenitě taveniny, mohou zpracovávat práškové i granulované materiály, tavenina se dá snadno odplynit a plastikační proces lze snadno ovládat. Vytlačovací stroje spirálové tvoří přechod mezi stroji diskovými a šnekovými. Rozdíl spočívá v tom, že pohyb materiálu nastává v kanálku, který má tvar spirály, vlivem účinku rychlostních složek a ne účinkem visko-elastických vlastností plastu. [4]

Struny obecně se vyrábí na vytlačovacích linkách, jejichž základ tvoří vytlačovací stroj. Vytlačovací stroje zpracovávají kaučuk, kaučukové směsi a téměř všechny druhy plastických hmot. Hmota se při průchodu vytlačovacím strojem intenzivně hřeje a jako plastikát

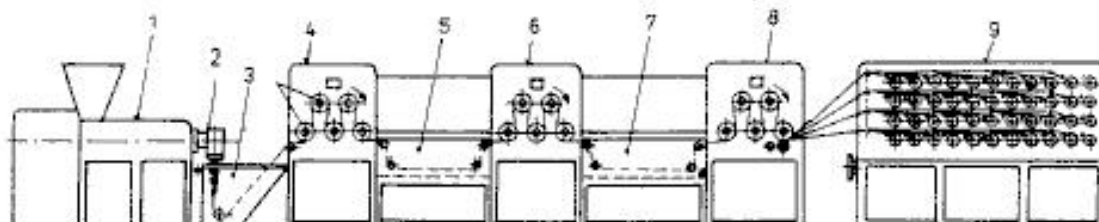
se protlačuje hubicí do volného prostoru. Na těchto strojích se zhotovují tyče, struny, pásy různých průřezů, desky, trubky atd. Dále se na nich oplášťovávají vodiče a jiné výrobky. Vytlačovací stroj nemusí být vždy hlavním strojem soustrojí, může např. připravovat polotovar pro jiná zařízení apod. [3]

2.4 Linky na vytlačování

Vytlačovací linky jsou určeny ke kontinuální nebo diskontinuální výrobě desek, fólií, trubek a jiných profilů z plastů nebo kaučukových směsí.

2.4.1 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 na obr. 4 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) mezi válci orientačního zařízení. Těchto temperačních a dloužících 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 přaden. [4]

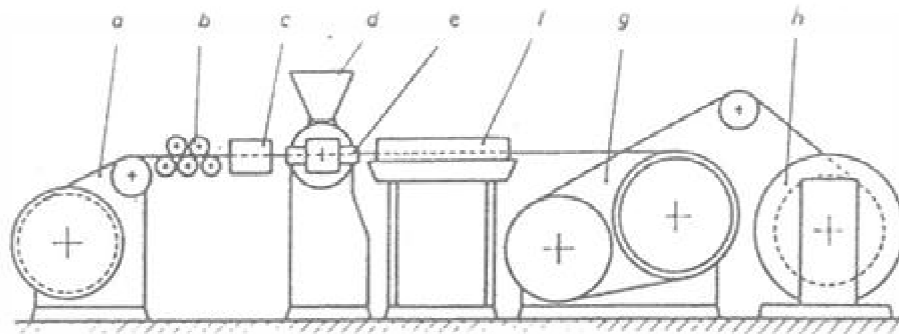


Obr. 4 Linka na výrobu vláken vytlačováním

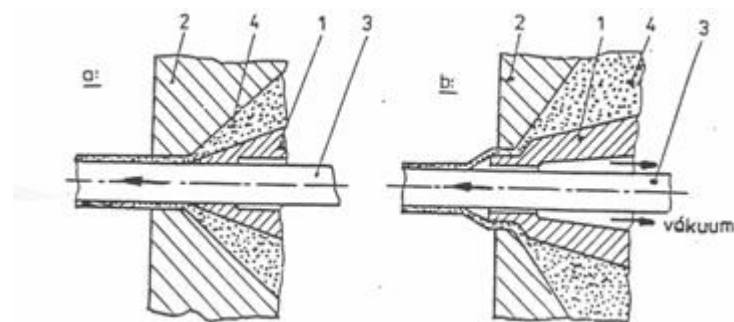
*1 - vytlačovací stroj, 2 - vytlačovací hlava, 3 - chladicí lázeň, 4 - první odtahovací zařízení,
5 - temperační lázeň, 6 - orientační zařízení, 7 - stabilizační lázeň,
8 - druhé odtahovací zařízení, 9 – cívky*

2.4.2 Opláštění vytlačováním

Uspořádání linky na opláštění se řeší s ohledem na druh zpracovávaného materiálu a typ opláštěvaného předmětu. Většinou se opláštějí vodiče a kabely, ale i ocelové trubky pro rozvody plynu, kovová nebo polyamidová lanka jako prádelní šňůry nebo struny do žacích strojů. Schéma linky na opláštění vodičů termoplastickou izolací je na obr. 5. Vodič je z cívky odvíjen přes vodicí kladky do přehřívacího zařízení. Nahřátý vodič vstupuje do příčné opláštěvací hlavy. Vzniklý plášť se kalibruje, ochlazuje v chladicí vaně, měří a kontroluje se soustřednost pláště, průměr a jeho izolační vlastnosti. Opláštěvaný vodič je odtahován synchronizovanými odtahovacími válci a přes vodicí kladky je navíjen na cívku v navíjecím ústrojí. Při opláštění trubek PE a PP se do linky zařazuje před přehřev ústrojí, které povrch trubky očistí a odmastí a opatří jej vrstvou adheziva. Dále se do linky obvykle zařazují značící přístroje. Na obr 6. je znázorněna kalibrace u opláštěvací linky. [4]



a - odvíjení, b - vodící kladky pro vedení a rovnání drátu, c – předehřev drátu, d - vytlačovací stroj, e – oplášťovací hlava, f - chladící vana, g - odtah, h - navíjení



ú

a – podtlaková kalibrace, b – přetlaková kalibrace,

1, 2 – vytlačovací hlava, 3 – drát, 4 – tavenina plastu

2.4.3 Zvlákňování

Zvlákňování polymeru je proces, při kterém se ze zplastikovaného vláknotvorného polymeru protlačováním otvory trysek získávají vlákna. Počátečním krokem při výrobě vláken je převedení makromolekulární látky do stavu, kdy je schopna toku. Toho se dosahuje rozpouštěním nebo roztavením polymeru – na tomto základě se rozlišují dva základní způsoby získávání vláken: zvlákňování z roztoku a zvlákňování z taveniny.

Pouze ve zvláštních případech je zvlákňovací hmota tvořena emulzí nebo tuhým měkkčným materiálem. Pro zvlákňování z roztoku je požadována úplná rozpustnost polymeru a možnost připravit dostatečně koncentrované roztoky. Některé polymery jsou rozpustné jen

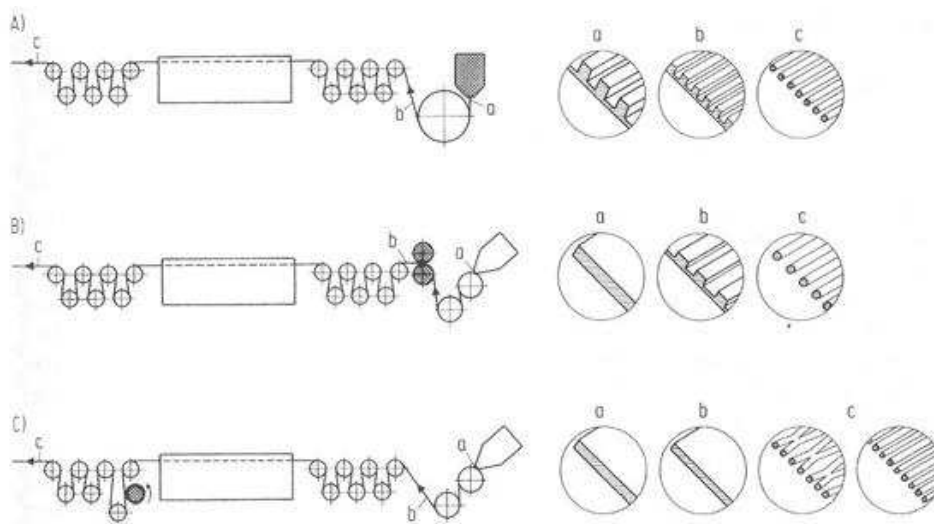
omezeně a vytvářejí roztoky o nedostatečné koncentraci. V tomto případě lze jejich rozpustnost zvětšit chemickou modifikací nebo kopolymerací. Používaná rozpouštědla musí být snadno dostupná a musí vyhovovat technologickým požadavkům svou rozpouštěcí schopností, hořlavostí, těkavostí, cenou apod.

Ke zvlákňování z taveniny jsou vhodné jen takové polymery, které poskytují taveniny o požadované viskozitě, např. polyamid, polyethyltereftalát. Aby tavenina neměla velkou viskozitu, zvyšuje se její teplota. Poněvadž tato teplota bývá již blízká teplotě rozkladu, je žádoucí zajistit co nejkratší zdržení polymeru v tavicí zóně. [6]

2.4.4 Výroba vláken z fólií

Monoaxiálně orientované fólie lze zpracovávat na vlákna. Z vyfouknuté fólie nebo z fólie vytlačované širokoštěrbínovou hlavou jsou na řezacím stroji nařezány pásy, které se temperují a orientují v dlouhícím zařízení v poměru 1:7 až 1:9 na vysoce pevné pásy o tloušťce v rozmezí 10 až 30 μm a šířce v rozmezí 2 až 10 mm.

Takto orientované pásy se mechanicky štěpí na vlákna. Rozvlákňování je snazší pro profilované pásy. Pro hladké pásy je vhodné použít válec s jehlami. Vlákna jsou v textilním průmyslu zpracovávána jako náhrada sisalu, juty nebo konopí. [4]



Obr. 7 Technologie výroby vláken rozvlákňováním

A – vytlačovaná profilovaná fólie, B – profilování dezénovacími válci,

C – rozvlákňování ostrými jehlami

3 POLYMERY PRO VÝROBU SYNTETICKÝCH VLÁKEN

U technických a velké části bytových textilií jsou syntetická vlákna nenahraditelná. Výrobky ze syntetických materiálů jsou většinou levnější a některé jejich fyzikální vlastnosti se nechají modifikací přizpůsobit požadavkům na finální výrobek. V tabulce je seřazeno několik typů nejpoužívanějších materiálů s jejich základními fyzikálními vlastnostmi viz tab. 1.

Druh vlákna	Fyzikální vlastnosti		
	Pevnost cN/tex*	Tažnost %	Polymerační stupeň
Polyester	40-65	15-40	100-150
Polyamid	40-60	30-60	50-200
Polypropylen	25-60	15-30	12000
Bavlna	30	10	2500-3000
Vlna	19	25-35	--

Tab. 1 Porovnání vlastností

* jednotka 1g/1000m

3.1 Polyamidová vlákna

Vlákna z homopolymeru mají značnou pevnost v tahu, dobrou ohebnost a proto i poměrně dobrou pevnost ve smyčce a v uzlu a velkou pružnost, především podélnou, projevující se dobrým dopružováním při malém protažení. Pokud jde o odolnost proti oděru, překonávají polyamidová vlákna běžných typů daleko všechna vlákna přírodní, umělá i ostatní syntetická. Jejich navlhavost je nízká, jen několik procent. [2]

Polyamidová vlákna se snadno barví, jsou málo odolná povětrnostním vlivům, hlavně slunečnímu záření. Také při delším působením teplot nad 100°C na vzduchu nastává rychle degradace. Mrazu odolávají tyto vlákna velmi dobře. Jsou rozpustná jen v polárních rozpouštědlech např. kyselině sírové, dusičné nebo solné. [2]

Polyamidy jsou lineární polymery s modulem pružnosti $E = 900 - 3200$ MPa. Pro výrobu vláken se z polyamidu prosadily hlavně PA 6 a PA 66. Mají vhodnou surovinovou bázi a jejich teploty tání jsou přiměřené pro výrobu, zpracování i použití vláken. [2]

Polyamid 6 (PA 6) – vlákna, rybářské vlasce, struny, štětiny, vlákna na síta, textilní vlákna.

- obchodní název SILON

- mez pevnosti v tahu $\sigma_m = 30 - 85$ MPa

- modul pružnosti v tahu $E = 900 - 3200$ MPa

Polyamid 66 (PA66) - koberce a podlahové krytiny, punčochové zboží. [2]

3.2 Polyesterová vlákna

Polyesterová vlákna mají teplotu tavení mezi 65 až 100°C a nehodí se k výrobě textilních vláken, třebaže se dají dobře orientovat dloužením a mají pak dosti dobré mechanické vlastnosti. Teprve pravidelným vestavěním aromatických jader v poloze para stoupne teplota tavení nad 200°C a získají se dobrá vlákna k textilnímu použití. Ve velkém se vyrábí pouze polyethyltereftalát. [2]

Struktura polyethyltereftalátu umožňuje libovolně měnit vzájemný podíl krystalické a amorfní fáze i stupně orientace prostým měnění podmínek při zvlákňování a hlavně při dloužení. Lze měnit průtažnost od 8 do 80% a pevnost v tahu. Zároveň se mění ostatní vlastnosti, jako modul pružnosti, ohebnost a měkkost. [2]

Tato měnitelnost polyethyltereftalátových vláken umožňuje přizpůsobit vlastnosti požadovaným účelům mnohem více než u většiny ostatních vláken umělých i syntetických. [2]

3.3 Materiály na struny tenisových raket

Carbon Nanotube TM

Tento výrobek je výsledkem základního výzkumu a je 5x tužší než klasický karbon. Jeho molekulární struktura je stejně čistá jako u diamantu a výsledkem je větší odolnost materiálu při hře. Carbon Nanotube TM je zakomponován do raket a jeho výjimečné vlastnosti vedou ke zvýšení odolnosti raket proti kroucení. [5]

High modulus graphite

Materiál z vysoce přizpůsobivého grafitu obsahuje vysoce výkonná vlákna, která nabízejí skvělý poměr mezi tuhostí a váhou rakety. To znamená, že i při nízké váze rakety je zachována vysoká tuhost rámu. [5]

Zylon TM used

Toto organické vlákno je o 50% tužší než standardní karbon. Vlákno je kompletně (360 stupňů) omotáno okolo hlavy rakety. Toto zaručuje lepší kontrolu letu míče dokonce i při úderech zahraných mimo střed rakety. [5]

Graphite

Tuhý složený materiál, který je ale zároveň trvanlivý a lehký. [5]

Kevlar®

Typ vlákna, které v sobě spojuje vyšší trvanlivost a pohodlí. [5]

Fiberglass

Materiál používaný v kombinaci s grafitem, vlastnosti tohoto těžšího materiálu zlepšují pohlcování vibrací. [5]

4 STRUKTURA STRUN TENISOVÝCH RAKET

Natural Gut (přírodní struny)

Je to typ jak struktury, tak i specifického materiálu. Skupina 13-15 proužků, počet záleží na požadovaném konečném průměru, je dohromady spojena kolagenem. Tato provázanost zaručuje nejdokonalejší schopnost udržet napětí strun a tím i co nejlepší výkon. Přírodní struny jsou stále symbolem nejvyšší celosvětové kvality. [8]

Multifilaments (mnohovlákna)

Skupina velkého množství vláken stejného průměru, která jsou všechna dohromady chráněna optimálním potahem. Tyto syntetické výplety jsou vysoce technické a zaručují skvělé výkony. [8]

Wraps (zabalená vlákna)

Tento typ struktury je nejvšestrannější ve smyslu trvanlivosti a výkonu. Jedna či více vrstev svázaných vláken jsou zabaleny okolo velkého středového jádra. [8]

Jednoduchý zábal

– jedna vrstva svázaných vláken je zabalena okolo centrálního [8]

Dvojitý zábal

- dvě vrstvy svázaných vláken jsou zabaleny v protisměru (ZS struktura). [8]

Macrofibers (makrovlákna)

Osm stejných svazků vláken je umístěno okolo centrálního mnohovláknového jádra. Tato struktura je podobná jako u mnohovláken a zajišťuje zvýšený komfort. [8]

Monofilaments (jednovlákno)

Je složeno z centrálního jádra, které je nataženo a potaženo. Průměr strun určuje také vlastnosti strun. Tenčí pro více síly a silnější pro větší trvanlivost. [8]

5 VYPLÉTACÍ STROJ

V roce 1977 bylo při použití vyplétacího stroje Multilec 01 na obr. 8 napnutí strun maximálně 30 kg. O dva roky později už byl stroj Multilec 02 schopen zvýšit toto napnutí na 35 kg. V roce 1980 stroj Exclusive dosáhl 40-ti kg. Toto představuje 10 kg navíc během pouhých 3 let!



Obr. 8 Vyplétací stroj Multilec 01

Nová generace vyplétacích strojů se soustřeďuje na elektronickou inteligenci. Neexistuje žádný jiný vyplétací stroj, který by mohl konkurovat stroji Sensor Expert. [5]

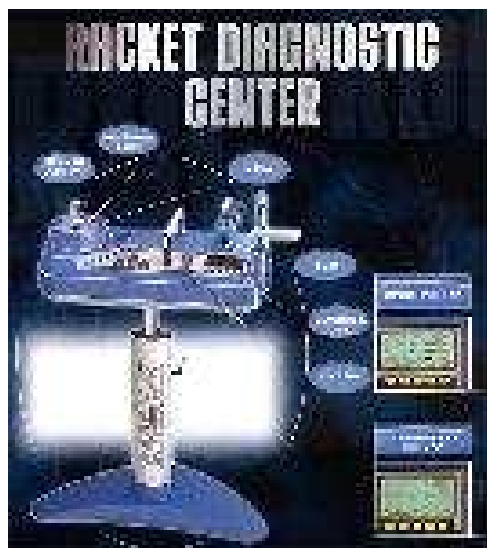


Obr. 9 Vyplétací stroj Sencor Expert

Vyplétací servis během tenisových turnajů se stal běžnou záležitostí od počátku osmdesátých let. Důležitost takového servisu je stále patrná: spojení se závodním tenisem je neustále bližší a inovace přicházejí jako samozřejmost. [5]

V roce 1992 se technikům firmy Babolat podařilo dokončit úžasný stroj – Diagnostické centrum tenisových raket.

Diagnostické centrum tenisových raket je zcela pokrokový přístroj, který umožňuje testovat tenisové rakety na resistenci a přesnost: tento přístroj zkontroluje váhu a vyváženost rakety, pružnost rámu, průhyb strun tenisové rakety, stejně tak jako chování tenisového rámu při švih. Tento přístroj se rychle stal nepostradatelným v tenisových obchodech, u výrobců tenisových rámu a na tenisových turnajích. V podstatě tento přístroj také zaručuje vrcholovým hráčům, že všechny jejich rakety jsou naprosto identické. Tímto tedy bylo dosaženo skutečnosti, že výměna rakety nepředstavuje absolutně žádný problém. [5]



Obr. 10 Diagnostické centrum

6 MECHANICKÉ ZKOUŠKY

Při zpracovávání i při použití jsou materiály vystaveny různému namáhání, jako je tah, tlak, krut, ohyb a stříh. Tato namáhání obvykle nepůsobí samostatně, ale působí většinou současně jako kombinace dvou i více namáhání, např. tah a ohyb nebo ohyb a krut. Aby jim materiál mohl odolávat, musí mít určité vlastnosti, jako je pevnost, tvrdost, pružnost aj.

Na mechanické vlastnosti materiálů má značný vliv také teplota. Při určitých teplotách se mění struktura materiálů a tím se mění i jejich mechanické vlastnosti. [9]

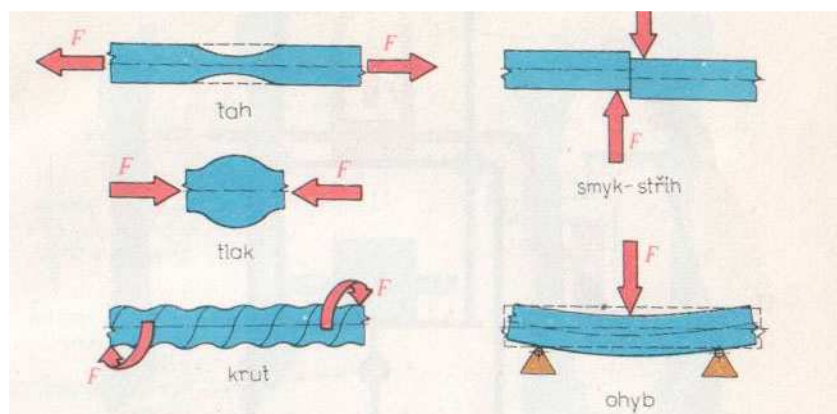
Mechanické zkoušky se většinou neprovádějí na součásti, ale na zvláštních vzorcích zhotovených buď přímo ze součásti, nebo z téhož materiálu. Podrobné údaje o mechanických zkouškách materiálů obsahují příslušná ČSN. [9]

Mechanické zkoušky dělíme na statické a dynamické.

Mechanické zkoušky statické: zkouška tahem, tlakem, ohybem, tvrdosti.

Mechanické zkoušky dynamické: zkouška rázem, opětovným namáháním. [9]

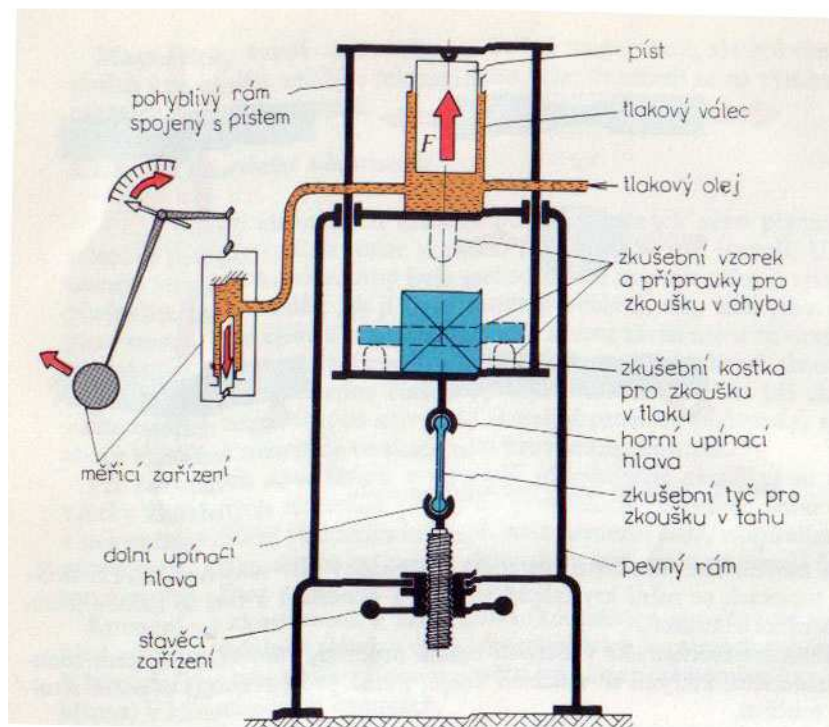
Tyto zkoušky jsou základem mechanického zkoušení materiálu. Materiál se zatěžuje pozvolna bez rázu, a to buď pouze jednou, nebo se zatěžování několikrát opakuje. Základem jsou zkoušky pevnosti, které se podle způsobu směru působení dělí na zkoušky pevnosti v tahu, tlaku, ohybu, krutu, a stříhu. [9]



Obr. 11 Základní druhy namáhání materiálu

Zkušební stroje jsou buď jednoúčelové (pro jeden druh zkoušek), nebo univerzální (pro různé druhy zkoušek).

Na obr. 12 je schéma univerzálního zkušebního stroje. Skládá se z rámu, zatěžovacího ústrojí, z měřicího a registračního zařízení (na obrázku není zakresleno). Do tlakového válce se přivádí olej a tím se zvedá pohyblivý rám stroje. Zkouška pevnosti v tahu se provádí na zkušební tyči upnuté do upínacích hlav. Zkouška pevnosti v tlaku se dělá na zkušební kostce nebo válečku, položených na desce pohyblivého rámu. Zkouška pevnosti v ohybu se provádí tak, že se zkušební vzorek položí na dvě podpěry. Namáhání je vyvozeno ohýbacím trnem připevněným na horní desku pevného rámu. Měřicí zařízení je spojeno potrubím s pracovním prostorem tlakového válce. Tlak působící na píst měřicího válečku je vyvážen kyvadlem se závažím. Ručička na ramenu páky kyvadla udává na stupnici zatížení v jednotkách síly. [9]

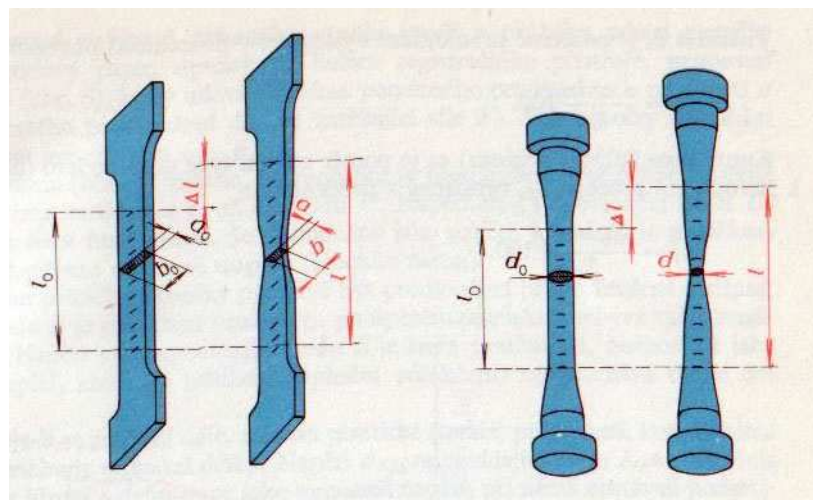


Obr. 12 Schéma univerzálního stroje

6.1 Zkouška tahem

Zkouška tahem, je nejrozšířenější statickou zkouškou. Je nutná téměř u všech technických materiálů, protože se pomocí ní získávají základní hodnoty potřebné pro výpočet konstrukčních prvků a volbu vhodného materiálu. Tvary a rozměry zkušebních tyčí jsou normalizovány, viz. obr. 13. Aby bylo možno měřit prodloužení zkušební tyče po přetržení, vyznačí se na ní před zkouškou rysky ve vzdálenosti 10 mm. Trhací zkouškou se zjišťují pevnost v tahu, poměrné prodloužení, tažnost a zúžení zkoušeného materiálu. [9]

U všech statických zkoušek vzniká v materiálu napětí. Je to míra vnitřních sil, které vznikají v materiálu působením vnějších sil. Číselná hodnota napětí se stanoví jako podíl síly a plochy, na niž síla působí. Podíl síly a skutečné plochy průřezu, v kterémkoliv okamžiku zkoušky, nazýváme skutečné napětí. Běžně se však používá smluvní napětí, protože se neuvažuje změna průřezu tyče. Zatížení se proto vztahuje na původní průřez S_0 . [9]



Obr. 13 Tvary zkušebních tyčí pro zkoušku tahem

Pevnost v tahu R_{Pt} je smluvní napětí, dané podílem největšího zatížení F , které snese zkušební tyč, a původního průřezu tyče S_0 .

$$R_{Pt} = \frac{F_{\max}}{S_0}, \quad (1)$$

Byla-li původní délka zkušební tyče l_0 a délka zjištěná po přetržení l , je prosté prodloužení:

$$\Delta l_t = l - l_0 \quad (2)$$

Poměrné prodloužení ε_t je dáno poměrem prostého prodloužení Δl_t k původní délce zkušební tyče l_0 .

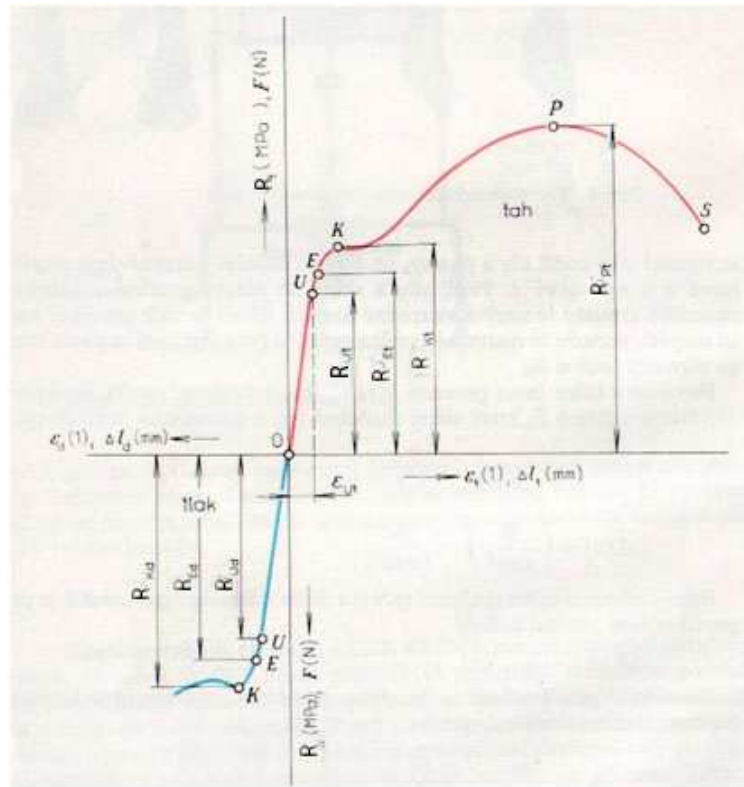
$$\varepsilon_t = \frac{\Delta l_t}{l_0} = \frac{l - l_0}{l_0} \quad (3)$$

Tažnost A je poměrné prodloužení vyjádřené v procentech původní délky:

$$A = \frac{l - l_0}{l_0} \cdot 100 \quad (4)$$

Kontrakce (zúžení průřezu) φ_t je poměr zúžení tyče po přetržení ($S_0 - S$) k původnímu průřezu S_0 , vyjádřený v procentech:

$$\varphi_t = \frac{S_0 - S}{S_0} \cdot 100 \quad (5)$$



Obr. 14 Pracovní diagram zkoušky tahem a tlakem u měkké oceli

Zapisovací zařízení trhačického stroje kreslí v průběhu zkoušky na milimetrový papír, upnutý na buben registračního přístroje, pracovní diagram obr. 14, který udává závislost poměrného prodloužení ε na napětí R . [9]

Na diagramu zpočátku je prodloužení přímo úměrné vzrůstajícímu zatížení, a to až do bodu U . Napětí R_{Ut} , odpovídá bodu U , které se nazývá mez úměrnosti. Je označena jako napětí, při němž je prodloužení ještě přímo úměrné napětí (Hookův zákon). [9]

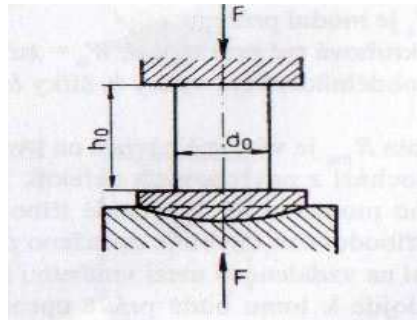
V dalším průběhu zkoušky přestává být prodloužení přímo úměrné zatížení. Až do bodu E je protažení pružné, tj. po úplném odlehčení nabývá tyč původní délky. Napětí R_{Et} odpovídajícímu bodu E je mez pružnosti, definovaná jako mezní napětí, které po odlehčení nezačne trvalé deformace. [9]

Zvětšuje-li se zatížení dále, nastává plastické přetváření. Po odlehčení už tyč nenabude původní délky. Napětí R_{Kt} , odpovídající bodu K , se označuje mez kluzu a definuje se jako nejmenší napětí, při němž nastávají podstatné deformace, které někdy dočasně pokračují, aniž se zároveň zvyšuje napětí. [9]

Od bodu K se při dalším zatěžování tyč již prodlužuje mnohem rychleji než vzrůstá zatížení. Bodu P na vrcholu křivky odpovídá největší napětí R_{Pt} (mez pevnosti čili pevnost v tahu). V bodě S se tyč přetrhne, avšak napětí R_{St} (skutečné napětí při přetrhnutí) je menší než napětí R_{Pt} v bodě P . [9]

6.2 Zkouška tlakem

Zkušebním tělesem je zpravidla váleček o výšce h_0 a průměru d_0 . Zkušební těleso se položí mezi dvě podložky, z nichž jedna je uložena v kruhovém sedle. Kruhové sedlo zajišťuje zatížení v ose válečku. Při zkoušce se zaznamenává tlaková síla v závislosti na velikosti stlačení výšky válečku obr. 15. [10]



Obr. 15 Schéma zkoušky tlakem

Tlakovou zkouškou se hodnotí pevnost hlavně křehkých materiálů, které slouží pro výrobu součástí nebo konstrukcí namáhaných v provozu tlakovým zatěžováním. Základní veličina pevnosti v tlaku je dána vztahem:

$$R_{pd} = \frac{F_s}{S_0} [MPa] \quad (6)$$

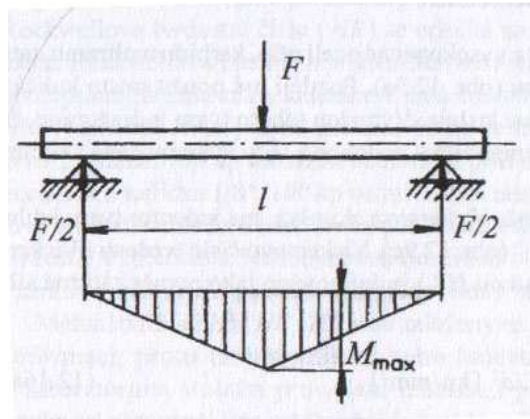
F_s je síla při porušení a S_0 původní průřez zkušebním tělesem.

Pro hodnocení mechanických vlastností tvárných materiálů se běžně používá pouze zkouška tahem. Tlaková zkouška u těchto materiálů má však velký význam pro hodnocení objemové tvářitelnosti. Podobně jako u zkoušky tahem i v případě tlakové zkoušky se zjišťuje závislost skutečného napětí na skutečné tlakové deformaci. [10]

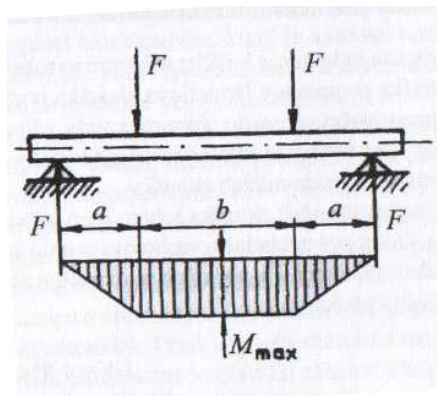
6.3 Zkouška ohybem

Při zkoušce se zkušební tyč obdélníkového nebo kruhového průřezu položí na dvě opory. Zkušební stroj pracuje v režimu tlakového zatěžování. Horní část přípravku pro ohybovou zkoušku tvoří jeden trn, který působí silou uprostřed zkušební tyče obr. 16, nebo dva trny umístěné symetricky vzhledem ke středu tyče obr. 17. [10]

Účelem zkoušky je získat závislost síla-průhyb tyče. Průhyb se měří snímačem přemístění středu tyče vzhledem k nejbližším oporám. [10]



Obr. 16 Zkouška třibodovým ohybem



Obr. 17 Zkouška čtyřbodovým ohybem

Při průhybu není napětí v průřezu konstantní, ale mění se. Na povrch vzorku, proti zatěžovacímu trnu působí maximální tahové napětí. Směrem ke středu tyče napětí klesá na nulovou hodnotu a dále nabývá záporných hodnot, tj. je tlakové. [10]

Zkouška se používá pro hodnocení křehkých materiálů, např. litiny. Za pevnost v ohybu se bere maximální hodnota tahového napětí působící na povrch tyče v okamžiku lomu. Hodnota smluvní pevnosti v ohybu R_{mo} je dána:

$$R_{mo} = \frac{Mo_{\max}}{Wo} \quad (7)$$

Kde: Mo_{\max} je maximální ohybový moment

- v případě tříbodového ohybu:

$$Mo_{\max} = \frac{F.l}{4} \quad (8)$$

- v případě čtyřbodového ohybu:

$$Mo_{\max} = F.a \quad (9)$$

Wo je modul průřezu:

- Kruhová tyč průměru d ,

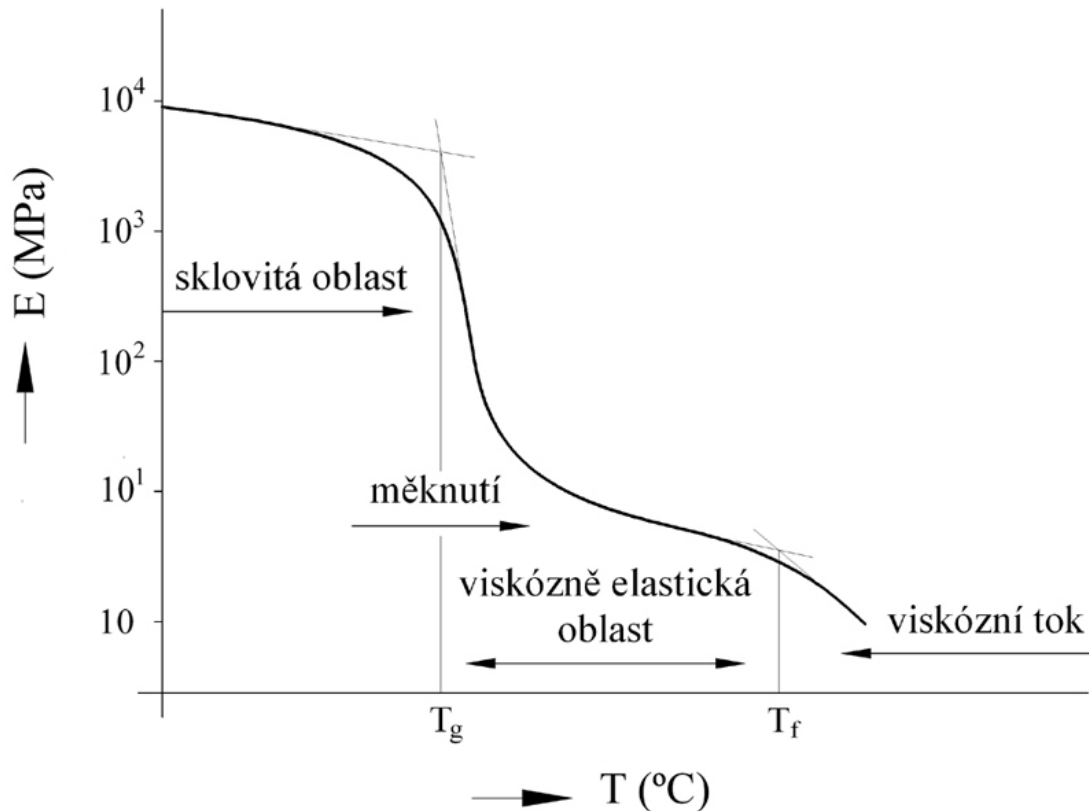
$$Wo = \frac{\pi.d^3}{32} \quad (10)$$

- Obdélníková tyč výšky h , šířky b

$$Wo = \frac{bh^2}{6} \quad (11)$$

7 MECHANICKÉ VLASTNOSTI PLASTŮ

Kovy jako nízkomolekulární látky mohou existovat ve stavu tuhém, kapalném a plynném. Polymery vzhledem k rozměrnosti makromolekul ale nemohou být ve stavu plynném. Vyskytují se ve stavu tuhém (sklovitém), kaučukovitém (viskózně – elastickém) a kapalném (viskózním). [11]



Obr. 18 Závislost modulu pružnosti polymeru na teplotě

7.1 Sklovitý stav

Sklovitý stav se nachází pod teplotou skelného přechodu T_g a je pro něj charakteristický vysoký modul pružnosti a velmi malá deformace, prakticky nezávislá na čase. Makromolekuly jsou jako celky tuhé, polymer je v tomto stavu tvrdý a křehký. Platí zde Hookův zákon lineární úměrnosti napětí a deformace. [11]

Teplota skelného přechodu T_g je tedy nejdůležitější fyzikální charakteristika rozhodující o teplotním rozsahu konstrukčního použití plastu. [11]

7.2 Kaučukovitý stav

Nachází se nad teplotou T_g a je pro něj charakteristické snadné rozvinutí řetězce při působení zatížení, ale až po určité době. Po uvolnění napětí se řetězce opět pozvolna vrací do původního stavu, který je pro ně nejstabilnější (viskoelastická deformace).

Amorfní termoplasty a elastomery jsou v tomto stádiu měkké a pružně tvárné, semikrystalické termoplasty jsou pevné a houževnaté. Kaučukovitý stav se projevuje jen v amorfních oblastech polymeru. Reaktoplasty v této oblasti měknou jen málo.[11]

7.3 Viskózní stav

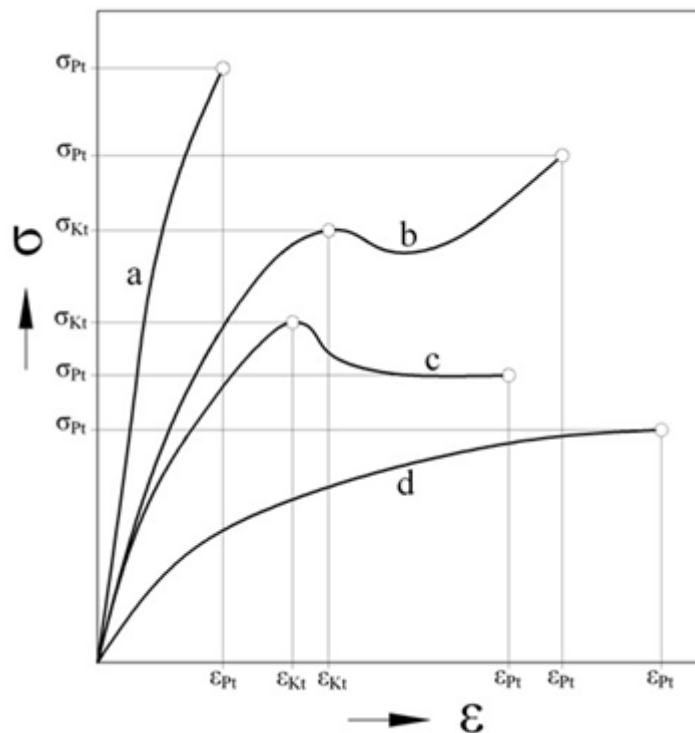
U lineárních polymerů amorfních leží nad teplotou měknutí T_f , u lineárních polymerů semikrystalických nad teplotou tání krystalu T_m . Polymer se nachází ve stavu taveniny. [11]

8 MECHANICKÉ ZKOUŠKY PRO PLASTY

Základní mechanické zkoušky pro plasty jsou zkouška tahem, zkouška tlakem, zkouška ohybem.

8.1 Zkouška tahem

Praktické provedení zkoušky je stejné jako u materiálů kovových. U kovů se pro napětí používá symbolu R , kdežto u plastu se napětí označuje σ . Průběh tahových diagramů je na rozdíl od kovů silně závislý na teplotě a čase. U jednoho typu plastu se mohou v závislosti na podmínkách zkoušky vyskytovat různé tvary průběhu od křehkého charakteru (nízké teploty, vysoké rychlosti zatěžování), přes křivky s výraznou mezí kluzu za normálních teplot, až po houževnatý charakter bez meze kluzu (amorfní plasty v oblasti teploty T_g). [10]



Obr. 19 Charakteristické křivky napětí – deformace pro polymerní materiály

- křehký materiál
- houževnatý materiál s napětím na mezi kluzu nižším než napětí při přetržení
- houževnatý materiál s napětím na mezi kluzu vyšším než napětí při přetržení
- houževnatý materiál bez meze kluzu

8.2 Zkouška tlakem

Při deformaci v tlaku nastává zkracování zkušební tělesa. U tuhých, tvrdých a křehkých plastů napětí v tlaku stoupá do meze pevnosti, která je destrukční mezí. Překročí-li napětí mez pevnosti, dojde k roztržení nebo pomalejšímu rozdrčení materiálu. Často dochází k výskytu trhlin na povrchu zkušební tělesa, aniž by došlo k velké deformaci a byla porušena celková soudržnost. Při stlačování houževnatých a měkčích plastů se těleso deformuje, aniž by docházelo k jeho viditelné destrukci. [10]

Zkušební tělesa mají tvar hranolu, válce nebo trubky – délka 10 až 50 mm, šířka 10 mm, tloušťka 4 mm. V průběhu zkoušky se stanovuje síla (napětí) a odpovídající stlačení (poměrné stlačení) zkušební tělesa. [10]

8.3 Zkouška ohybem

Výsledkem ohybové zkoušky jsou ohybové křivky znázorňující průběh závislosti síla (napětí) – průhyb. Při ohybové zkoušce se zkušební těleso namáhá tlakem a tahem současně. V horních vrstvách je napětí tlakové, směrem k neutrální ose se zmenšuje a přes nulové napětí se mění v dolní polovině průřezu na tahové. Zkouška dává konstrukční podklady pro plasty, které jsou při aplikaci namáhány na ohyb, a je zvláště vhodná pro křehké plasty, pro které je provedení zkoušky tahem obtížné. [10]

9 CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Cílem bakalářské práce je za použití čelistí pro tahové zkoušky kordů a drátů zjistit základní mechanické vlastnosti (modul pružnosti, tažnost, maximální zatěžovací sílu v tahu, maximální tahové napětí) tenisových strun. Měření s uvedenými čelistmi bude probíhat na trhacím stroji ZWICK 1456.

Výsledky zkoušek budou vyhodnoceny a zpracovány do tabulek a grafů. Struny budou porovnány mezi sebou s ohledem na jejich mechanické vlastnosti získané z provedených měření.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

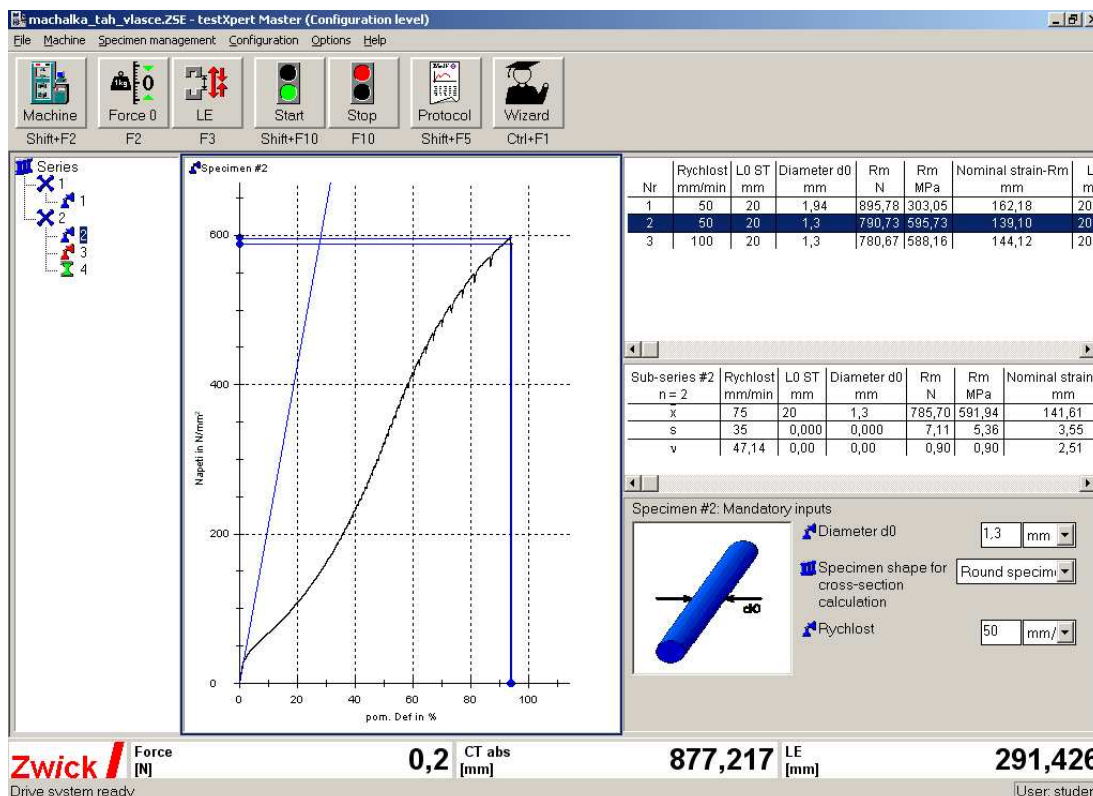
10 POPIS STROJE ZWICK

Univerzální stoj ZWICK se používá na měření mechanických vlastností – obr. 20. Tento stroj dokáže vyvinout sílu až 20 kN. Nejčastěji se používá na zkoušky tahem, ale při použití vhodných čelistí lze provádět také zkouška tlakem a ohybem. Zkoušky lze provádět za teploty okolí, ale také při zvýšené či snížené teplotě.



Obr. 20 Zkušební stroj ZWICK 1456

Univerzální zkušební stroj váží celkem 150 kg, je 2012 mm vysoký a 630 mm široký. Maximální rychlost posuvu příčnicku je 800 mm/min. Nastavení parametrů měření se provádí na PC pomocí speciálního programu TestXpert Master, který také zobrazuje a vyhodnocuje naměřené hodnoty obr. 21.



Obr. 21 Prostředí programu TestXpert Master

Pro měření tenisových strun byly na upínacím zařízení stroje upnuty čelisti pro zkoušku tahem drátů a kordů obr. 22. Čelisti se skládají ze dvou upínacích desek, mezi které se upevní konec zkoušené struny. Dostatečné upnutí se zajistí utažením dvou šroubů. Struna je obtočena kolem kladek. Spodní čelist je statická, horní se při spuštěném testu pohybuje nahoru rychlostí 50 mm/min. K přesnému odečtení modulu pružnosti E je použit extenzometr, který je umístěn uprostřed mezi čelistmi. Struna se natahuje konstantní rychlostí až do přetržení.



Obr. 22 Čelisti pro zkoušku tahem

10.1 Metodika měření zkoušky tahem

Měření mechanických vlastností tenisových strun tahem na stroji ZWICK 1456 jsem prováděl v následujících krocích.

1. Připravil jsem si vzorky jednotlivých strun o délce cca *100 cm*.
2. Pomocí programu TestXpert Master jsem nastavil čelisti na vzdálenost *145 mm* a do programu jsem vložil průměr konkrétního vzorku.
3. Upnutí měřeného vzorku do čelistí jsem provedl tak, aby nedošlo k jeho poškození, ale aby byl mírně napnut. Vzhledem k ostrým hranám na upínacích čelistech jsem mezi čelisti a upínaný vzorek vložil tvrdý papír obr. 23.



Obr. 23 Upnutí struny

4. Před spuštěním programu jsem provedl vynulování působící síly tlačítkem „Force 0“ či klávesou „F2“.
5. Spuštění programu jsem provedl tlačítkem „Start“.
6. Po skončení měření jsem vrátil čelisti do původní pozice tlačítkem „LE“ nebo klávesou „F3“.

7. Zkontroloval jsem přetržený vzorek struny, zda k přetržení nedošlo v místě upnutí a provedl jsem upnutí dalšího vzorku.
8. Měření jsem opakoval vždy pro celou sérii vzorků.

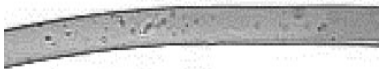
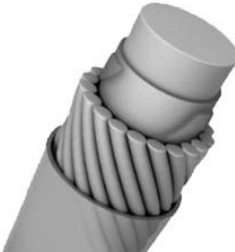

Podmínky měření:

- 1) Teplota v místnosti: 22 °C
- 2) Rychlost posuvu čelistí 100 mm/min
- 3) Vzdálenost čelistí 145 mm
- 4) Vzdálenost extenzometru 20 mm


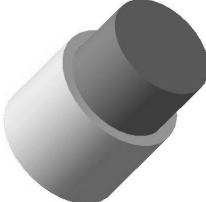


11 VZORKY STRUN TENISOVÝCH RAKET

V následující tabulce uvádím zobrazení a základní vlastnosti strun tenisových raket, z nichž byly připraveny vzorky pro měření viz. tab. 2.

Popis vlastností a zobrazení strun jsem čerpal z údajů výrobce, které uváděl na obalech zakoupených strun. Uvedené ceny jsem získal od firmy KOMERC PLUS, s.r.o. [13]

vzorek	Název	průměr	materiál	cena za 12 metrů	cena za 200 metrů
Vlastnosti			Obrázek		
č.1	Tour nylon	1.3mm	Nylon	150Kč	990Kč
<p>Nylon je první syntetický polymer a první syntetické vlákno, které bylo vyrobeno. Zajišťuje optimální komfort a životnost vlákna.</p>					
č.2	Synthetic Gut	1.3mm	Nylon	140Kč	2300Kč
<p>Tato struna má jádro z nylonu a to je opletené několika vlákny nylonu. Tím se zvýší pevnost a trvanlivost.</p>					
č.3	Cyclone	1.3mm	polymer	200Kč	1900Kč
<p>Tento typ struny zvyšuje rotaci míče díky unikátnímu tvaru. Vyrábí se ve tvaru n-úhelníku. Nejčastěji strunu můžeme najít v balení po 12 metrech.</p>					

Pokračování tabulky

vzorek	Název	průměr	materiál	cena za 12 metrů	cena za 200 metrů
Vlastnosti			Obrázek		
č.4	Quantum Sensor	1.3mm	PA66	490Kč	6900Kč
<p>Polyamid 66 je spleten s polyuretanem. Na to je nanášena speciální vrstva titanu, která zlepšuje pružnost.</p>					
č.5	Energy-pure	1.3mm	polyester	140Kč	1060Kč
<p>Tento produkt má vyšší životnost díky polyesteru ale nižší tvrdost.</p> <p>Vyrábí se o průměrech 1.26mm, 1.3mm, 1.35mm.</p>					
č.6	Gripper	1.3mm	multivlákno	570Kč	7000Kč
<p>U této struny se přidala textura, která zlepšuje mechanické vlastnosti.</p> <p>Vyrábí se o průměrech 1.25mm a 1.3mm.</p>					
č.7	Power Fiber II	1.3mm	multivlákno	250Kč	1400Kč
<p>Struna se skládá z několika vláken a ty jsou spojeny pryskyřicí. Tím se sníží otřesy a vibrace.</p>					

Tab. 2 Ukázka vzorků

12 VÝSLEDKY MĚŘENÍ

K měření jsem použil celkem 7 druhů tenisových strun, viz. tab. 2. Od každého druhu jsem do série měření zahrnul 11 ks vzorků. Celkový počet měřených vzorků tak představuje počet 77 ks. Všechny vzorky měly shodný průměr – $D_s = 1,3$ mm. Z programu TextXpert byly získány mj. následující údaje:

Maximální síla před přetržením	F_s [N]
Maximální napětí před přetržením	σ_s [MPa]
Modul pružnosti v tahu	E_s [MPa]
Tažnost struny	A_s [%]

a to v následující podobě:

Průměrná hodnota	x
Směrodatná odchylka	s
Poměr směrodatné odchylky a průměrné hodnoty	v

Měřením získané údaje jsem sestavil pro větší názornost do následující souhrnné tabulky tab. 3. Všechny naměřené hodnoty jsou uvedené v příloze.

Na základě naměřených hodnot jsem provedl vyhodnocení mechanických vlastností měřených tenisových strun.

Měřený vzorek a průměr	F_s	σ_s	E_s	A_s
	[N]	[MPa]	[Mpa]	[%]
1)Tour nylon - 1,3mm				
x	770,12	580,21	2293,84	95,41
s	35,86	27,01	85,84	9,06
v	4,66	4,66	3,74	9,5
2)Synthetic Gut - 1,3mm				
x	761,59	573,78	2473,07	85,97
s	40,79	30,73	54,12	9,63
v	5,36	5,36	2,19	11,2
3)Cyclone - 1,3mm				
x	622,24	468,79	7782,32	73,98
s	10,69	8,05	1795,63	5,77
v	1,72	1,72	23,07	7,79
4)Quantum Sensor - 1,3mm				
x	511,44	385,29	2494,56	66,34
s	46,04	36,69	47,60	3,76
v	9,00	9,00	4,84	1,28
5)Energy-pure 1,3mm				
x	589,72	444,29	8218,58	55,42
s	4,34	3,27	49,93	3,94
v	0,74	0,74	2,00	5,94
6)Gripper - 1,3mm				
x	573,37	431,97	2647,18	65,34
s	55,52	41,83	66,09	5,53
v	9,68	9,68	2,5	8,46
7)Power Fiber II - 1,3mm				
x	619,92	467,04	2685,63	67,01
s	76,55	57,68	128,85	7,38
v	12,35	12,35	4,8	6,84

Tab. 3 Souhrnná tabulka

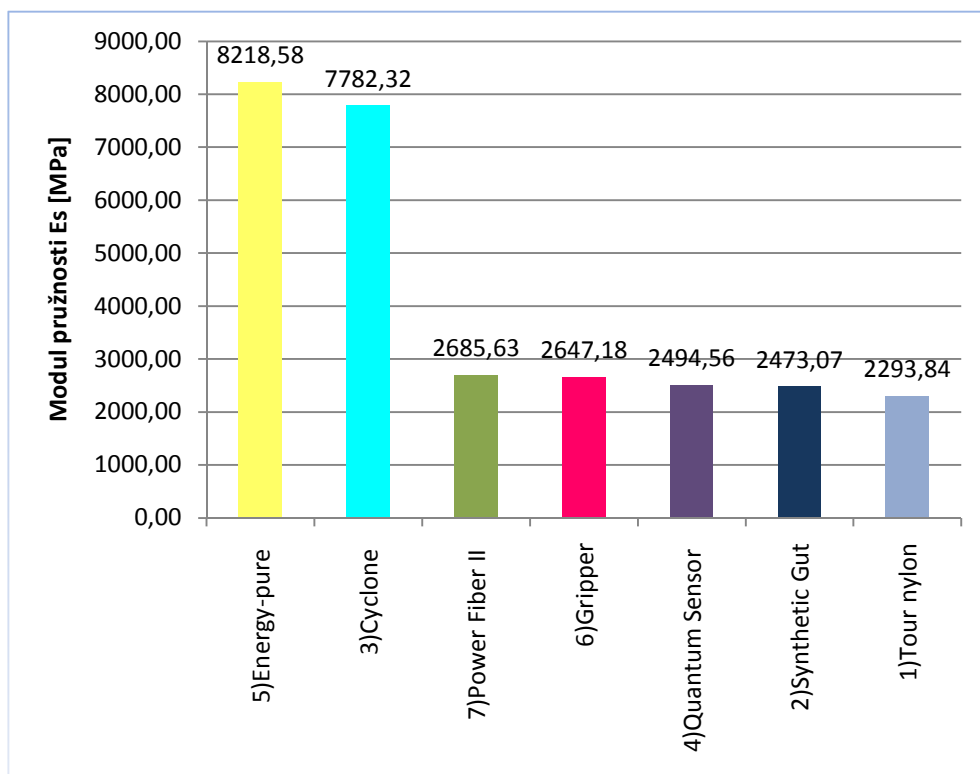
12.1 Porovnání modulu pružnosti E_s

Naměřené hodnoty modulu pružnosti se pohybovaly v rozmezí od 2200 do 8200 MPa tab. 4. Největší modul pružnosti měla struna Energy-pure (8218,58 MPa) a nejmenší struna Tour nylon (2293,84 MPa).

Struny Energy-pure a Cyclone byly výrazně odlišné od ostatních a to až o 5000 MPa.

Měřený vzorek	E_s	D_s	σ_s	A_s
	[Mpa]	[mm]	[MPa]	[%]
5)Energy-pure	8218,58	1,30	444,29	55,42
3)Cyclone	7782,32	1,30	468,79	73,98
7)Power Fiber II	2685,63	1,30	467,04	67,01
6)Gripper	2647,18	1,30	431,97	65,34
4)Quantum Sensor	2494,56	1,30	385,29	66,34
2)Synthetic Gut	2473,07	1,30	573,78	85,97
1)Tour nylon	2293,84	1,30	580,21	95,41

Tab. 4 Porovnání modulu pružnosti



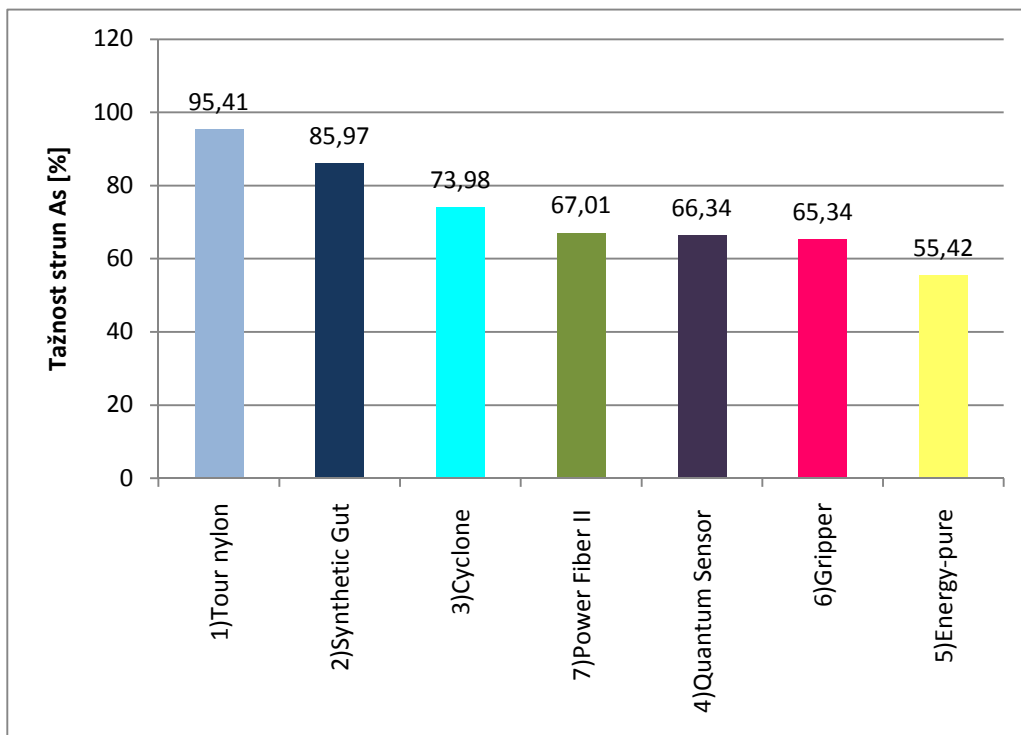
Obr. 24 Graf modulu pružnosti

12.2 Porovnání tažnosti A_s

Tažnost vzorků se pohybovala v rozmezí od 55 do 85% - tab. 5. Největší tažnost měl vzorek Synthetic Gut (85,97%) a nejmenší Energy-pure (55,42%). Vzorky Gripper, Quantum Sensor, Power Fiber II vykazaly přibližně shodnou hodnotu tažnosti (v rozmezí 65,34 – 67,01 %).

Měřený vzorek	A_s	D_s	σ_s	E_s
	[%]	[mm]	[MPa]	[Mpa]
1)Tour nylon	95,41	1,30	580,21	2293,84
2)Synthetic Gut	85,97	1,30	573,78	2473,07
3)Cyclone	73,98	1,30	468,79	7782,32
7)Power Fiber II	67,01	1,30	467,04	2685,63
4)Quantum Sensor	66,34	1,30	385,29	2494,56
6)Gripper	65,34	1,30	431,97	2647,18
5)Energy-pure	55,42	1,30	444,29	8218,58

Tab. 5 Porovnání tažnosti strun



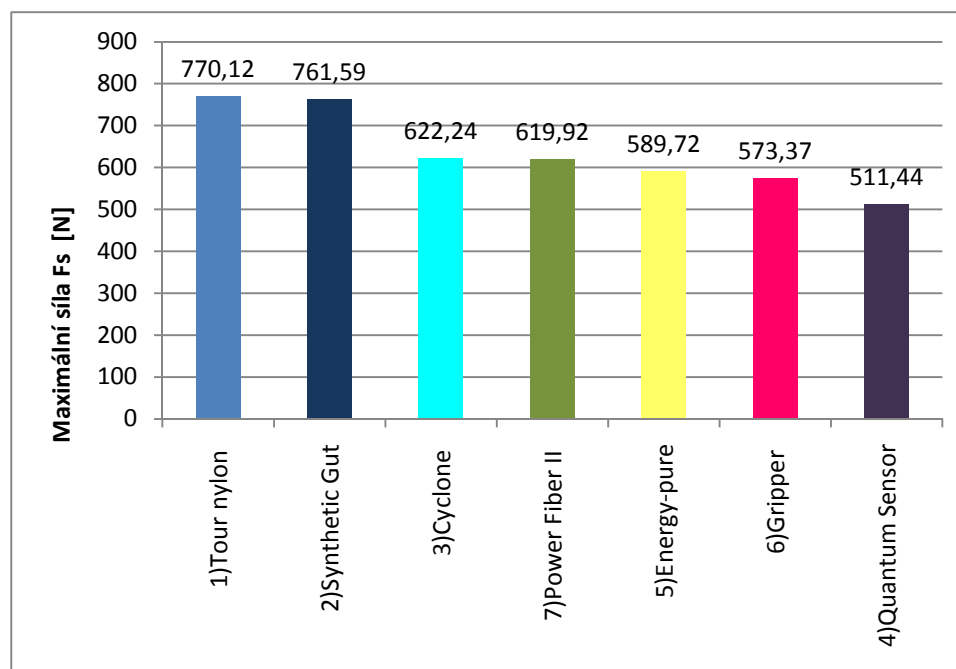
Obr. 25 Graf tažnosti strun

12.3 Porovnání maximální síly F_s

Maximální síla u strun se pohybovala v intervalu od 551 do 770 N - tab. 6. Největší síla musela být vyvinuta na vzorek Tour Nylon (770 N) a vzorek Synthetic Gut (761N). Nejmenší síla byla u Quantum Sensor (511 MPa). V úzkém rozsahu (od 573,37 N do 622,24 N) byly zbývající vzorky Cyclone, Power Fieber II, Energy pure a Gripper.

Měřený vzorek	F_s	σ_s	E_s	A_s
	[N]	[MPa]	[Mpa]	[%]
1)Tour nylon	770,12	580,21	2293,84	95,41
2)Synthetic Gut	761,59	573,78	2473,07	85,97
3)Cyclone	622,24	468,79	7782,32	73,98
7)Power Fiber II	619,92	467,04	2685,63	67,01
5)Energy pure	589,72	444,29	8218,58	55,42
6)Gripper	573,37	431,97	2647,18	65,34
4)Quantum Sensor	511,44	385,29	2494,56	66,34

Tab. 6 Porovnání maximální síly



Obr. 26 Maximální síla při přetržení

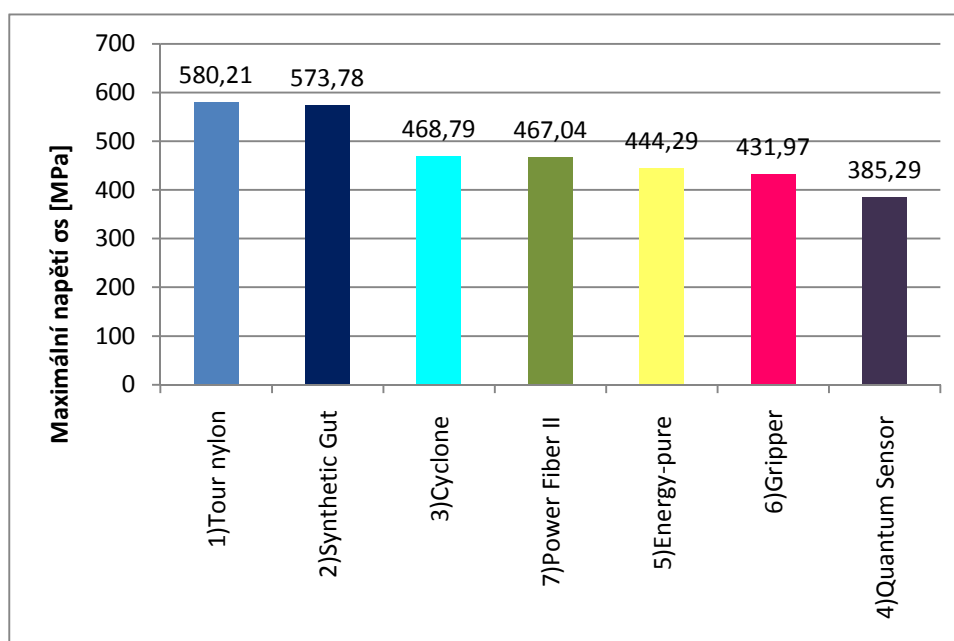
12.4 Porovnání maximálního napětí σ_s

Vzhledem k tomu, že pro měření byly použity vzorky shodného průměru ($D_s = 1,3 \text{ mm}$) kopírovalo rozložení hodnot maximálního napětí hodnoty maximální síly – kap. 12.3.

Napětí v tahu u strun se pohybovalo v intervalu od 385 do 580 MPa - tab. 6. Největší napětí měl vzorek Tour Nylon (580 MPa) a vzorek Synthetic Gut (573,78 MPa). Nejmenší měl Quantum Sensor (385 MPa). V úzkém rozsahu napětí v tahu (od 431,97 MPa do 467,79 MPa) byly zbývající vzorky Cyclone, Power Fiber II, Energy-pure, Gripper.

Měřený vzorek	σ_s	D_s	E_s	A_s
	[MPa]	[mm]	[Mpa]	[%]
1)Tour nylon	580,21	1,30	2293,84	95,41
2)Synthetic Gut	573,78	1,30	2473,07	85,97
3)Cyclone	468,79	1,30	7782,32	73,98
7)Power Fiber II	467,04	1,30	2685,63	67,01
5)Energy-pure	444,29	1,30	8218,58	55,42
6)Gripper	431,97	1,30	2647,18	65,34
4)Quantum Sensor	385,29	1,30	2494,56	66,34

Tab. 7 Porovnání maximálního napětí



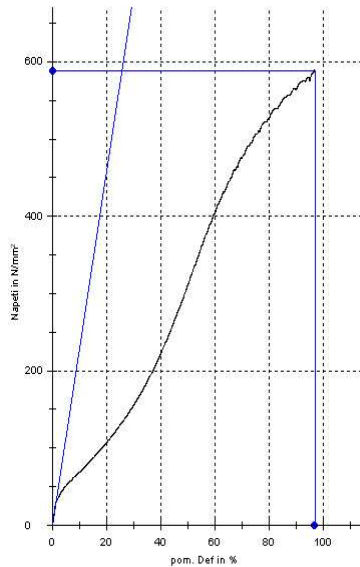
Obr. 27 Maximální napětí strun

13 TAHOVÉ DIAGRAMY TENISOVÝCH STRUN

Pro ilustraci uvádím typické průběhy tahových diagramů získaných vždy pro sérii jednoho druhu vzorků z průměrných naměřených hodnot.

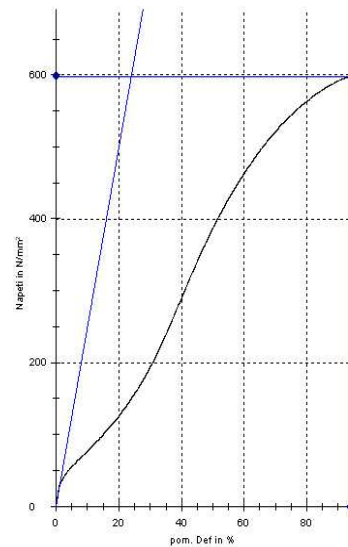
1) Tour Nylon $F_s=770,12\text{N}$,

$E_s=2293,84\text{ MPa}$



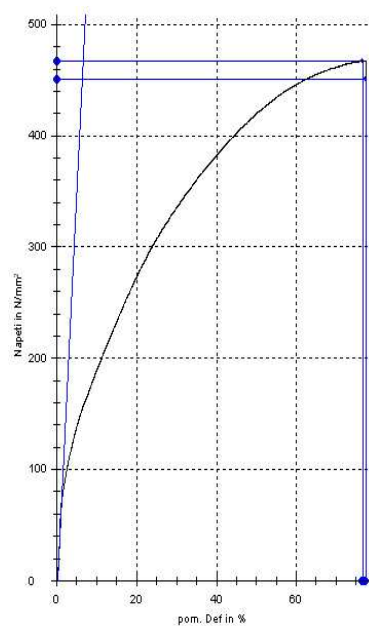
2) Synthetic Gut $F_s=761,59\text{N}$,

$E_s=2473,07\text{ MPa}$



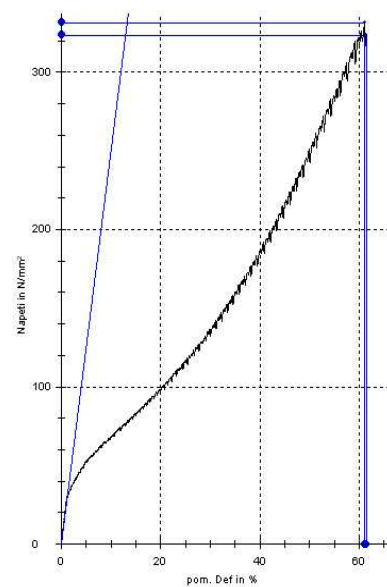
3) Cyclone $F_s=622,24\text{N}$,

$E_s=7782,32\text{ MPa}$



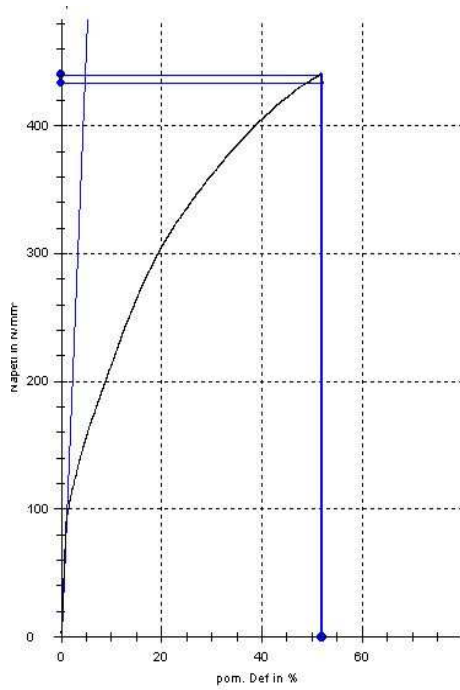
4) Quantum Sencor $F_s=511,44\text{N}$,

$E_s=2494,56\text{ MPa}$



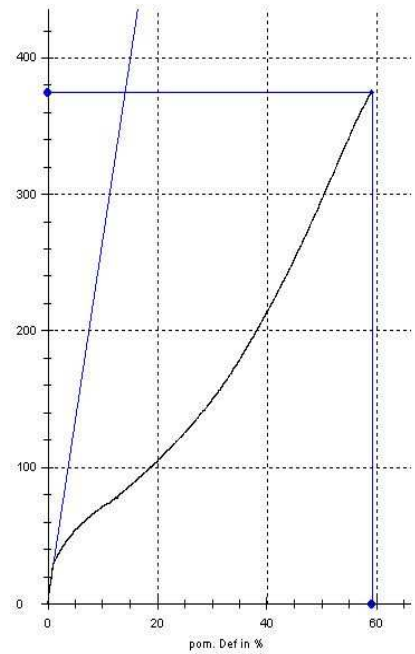
5) Energy Pure $F_s=589,72\text{N}$

$E_s=8218,58\text{MPa}$



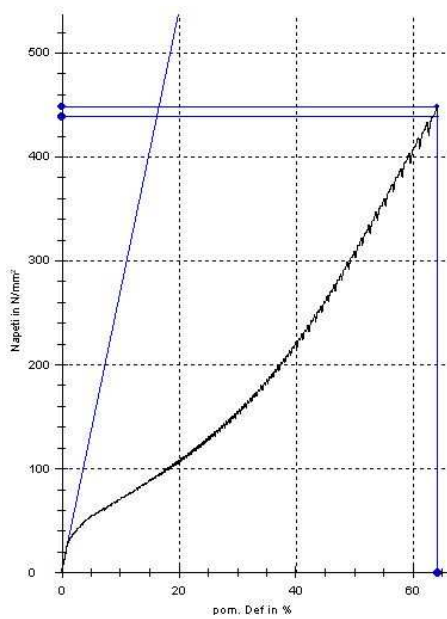
6) Gripper $F_s=573,37\text{N}$,

$E_s=2685,63\text{MPa}$



7) Power FiberII $F_s=619,92\text{N}$

$E_s=2685,63\text{MPa}$



Obr. 28 Tahové diagramy

Z grafů je patrné, že Tour nylon, Synthetic Gut a Gripper mají podobný „esovitý“ průběh. U strun Power Fieber II a Quantum Sensor je vidět, jak se chovala jednotlivé vlákna. Ale u Gripperu a Cyclone je průběh odlišný od ostatních tím že je konvexní – obr. 28.

14 UKÁZKA PŘETRŽENÝCH VZORKŮ

Velmi zajímavé se ukázalo i porovnání konců přetržených strun. Na následujících obrázcích uvádím charakteristická zobrazení pro jednotlivé druhy.



Obr. 29 Tour nylon



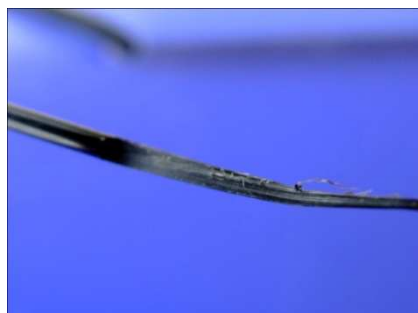
Obr. 32 Quantum sensor



Obr. 30 Sytnhetic gut



Obr. 33 Energy pure



Obr. 31 Cyclone



Obr. 34 Gripper



Obr. 35 Power Fieber

Výrazné roztřepení měly vzorky Power Fieber II, Gripper, Quantum sensor, Tour nylon, mírné pak vzorky Synthetic Gut, Cyclone a zcela bez otřepu byl vzork Energy Pure. Uvedené skutečnosti plně odpovídají struktuře těchto vzorků - tab. 2.

ZÁVĚR

V teoretické části jsem se zabýval popisem výroby a materiálů, ze kterých se vyrábějí struny tenisových raket a také popisem mechanických zkoušek. Použití materiálů na struny tenisových raket výrazně ovlivňuje jejich mechanické vlastnosti.

V praktické části je popis stroje ZWIK 1456, na kterém jsem prováděl měření. Je zde uvedena i použitá metodika měření. Při měření jsem použil čelisti, které byly navrženy na tahové zkoušky kordů a drátů. Celkově bylo testováno sedm druhů strun. Pro získání objektivních výsledků bylo použito 11 kusů vzorků od každého druhu. Vzájemně jsem porovnával nejdůležitější mechanické veličiny, které jsou pro praktické využití rozhodující: modul pružnosti, tažnost, maximální síla a maximální napětí při zkoušce v tahu.

Z naměřených hodnot je patrné, že nejmenší modul pružnosti má struna Tour-nylon, ale její ostatní hodnoty mechanických veličin jsou největší. Opakem je struna Energy-pure, která má největší modul pružnosti, ale ostatní hodnoty jsou nejnižší. Nejhorší mechanické vlastnosti měla struna Quantum Sensor, která má téměř všechny hodnoty nejnižší. Podrobnější hodnocení je uvedeno v kapitole 12 této práce. Veškeré naměřené hodnoty jsou zaneseny souhrnně v příloze PI a na přiloženém CD nosiči, na kterém je uvedena i fotodokumentace.

Z porovnání získaných výsledků mohu konstatovat, že zde neplatí, čím dražší struna, tím má lepší mechanické vlastnosti.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Králová, A. *Zpracování polymerů*, Praha:SNTL, 1986
- [2] Stoy, A. *Technologie syntetických vláken*, Praha: Statní nakladatelství technické literatury, 1957
- [3] Jahelka, M. *Gumárenské a plastikářské stroje*, Praha:SNTL, 1969
- [4] *Technologie II Tváření kovů a plastů* [online] [cit.2009-03-15] Dostupné z http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/06.htm#063
- [5] *Historie a technologie BABOLAT* [online] [cit.2009-03-15] Dostupné z <http://www.babolat.cz>
- [6] Ducháček. V. *Polymery: Výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. 2006.
- [7] Pospíšil a kol.: *Příručka textilního odborníka* (SNTL Praha 1981)
- [8] *Technologie tenisových strun* [online] [cit.2009-03-15] Dostupná z <http://www.top-spin.cz>
- [9] Hluchá, M. *Strojírenská technologie*, Praha:SNTL, 1981
- [10] Ptáček, L. a kolektiv *Nauka o materiálu 1.*, Brno:CERM 2001
- [11] Ptáček, L. a kolektiv *Nauka o materiálu 2.*, Brno:CERM 2002
- [12] Březina, R. *Technologie I. - Část 2*. Ostrava, 1999.
- [13] KOMERC PLUS, s.r.o. nám. T. G. Masaryka 1281, 760 01 Zlín

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Δl_t	[mm]	prodloužení
A_s	[%]	tažnost
b	[mm]	šířka
d	[mm]	průměr
D_s	[mm]	průměr struny
E_s	[MPa]	modul pružnosti v tahu
ε_t	[-]	poměrné prodloužení
F	[N]	síla
F_{\max}	[N]	maximální síla
F_s	[N]	síla při porušení struny
σ_s	[MPa]	maximální napětí před přetržením
σ_m	[MPa]	mez pevnosti v tahu
h	[mm]	výška
l	[mm]	délka po přetržení
l_o	[mm]	délka po přetržení
$M_{o_{\max}}$	[Nmm]	maximální ohybový moment
R	[MPa]	jmenovité napětí v tahu pro kovy
R_{mo}	[MPa]	smluvní pevnost v ohybu
R_{Pt}	[MPa]	smluvní napětí
S	[-]	směrodatná odchylka
S_o	[mm ²]	průřez
W_o	[mm ³]	průřezový modul k ose ohybu
X	[-]	průměrná hodnota
v	[-]	poměr směrodatné odchylky a průměrné hodnoty

ϕ	[%]	kontrakce (zúžení)
T _g		teplota skelného přechodu
T _f		teplota měknutí
T _m		teplota tání
HDPE		vysoko hustotní polyetylen
PA 6		polyamid 6 (silon)
PA 66		polyamid 66 (silon)
PBT		polybutyltereftalát
PE		polyetylen
PET		polyethyltereftalát
PMMA		polymethylmetakrylát
PP		polypropylen

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Jednošnekový vytlačovací stroj	11
Obr. 2 Průběh tlaku ve šnekovém vytlačovacím stroji	12
Obr. 3 Průběh tlaku na stroji s odplyněním	12
Obr. 4 Linka na výrobu vláken vytlačováním	15
Obr. 5 Linka na opláštění vodičů	16
Obr. 6 Kalibrace u technologie opláštění	16
Obr. 7 Technologie výroby vláken rozvlákňováním	17
Obr. 8 Vyplétací stroj Multilec 01	22
Obr. 9 Vyplétací stroj Sencor Expert	22
Obr. 10 Diagnostické centrum	23
Obr. 11 Základní druhy namáhání materiálu	24
Obr. 12 Schéma univerzálního stroje	25
Obr. 13 Tvary zkušebních tyčí pro zkoušku tahem	26
Obr. 14 Pracovní diagram zkoušky tahem a tlakem u měkké oceli	28
Obr. 15 Schéma zkoušky tlakem	29
Obr. 16 Zkouška tříbodovým ohybem	30
Obr. 17 Zkouška čtyřbodovým ohybem	30
Obr. 18 Závislost modulu pružnosti polymeru na teplotě	32
Obr. 19 Charakteristické křivky napětí – deformace pro polymerní materiály	34
Obr. 20 Zkušební stroj ZWICK 1456	38
Obr. 21 Prostředí programu TestXpert Master	39
Obr. 22 Čelisti pro zkoušku tahem	40
Obr. 23 Upnutí struny	41
Obr. 24 Graf modulu pružnosti	47
Obr. 25 Graf tažnosti strun	48
Obr. 26 Maximální síla při přetržení	49
Obr. 27 Maximální napětí strun	50
Obr. 28 Tahové diagramy	52
Obr. 29 Tour nylon	54
Obr. 30 Syntetický gut	54
Obr. 31 Cyclone	54
Obr. 32 Quantum sensor	54

Obr. 33 Energy pure.....	54
Obr. 34 Gripper.....	54
Obr. 35 Power Fieber.....	54

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Porovnání vlastností	18
Tab. 2 Ukázka vzorků	44
Tab. 3 Souhrnná tabulka	46
Tab. 4 Porovnání modulu pružnosti.....	47
Tab. 5 Porovnání tažnosti strun	48
Tab. 6 Porovnání maximální síly	49
Tab. 7 Porovnání maximálního napětí.....	50
Tab. 8 Celkový přehled naměřených hodnot struny Nylon	65
Tab. 9 Celkový přehled naměřených hodnot struny Synthetic gut.....	65
Tab. 10 Celkový přehled naměřených hodnot struny Cyclon	66
Tab. 11 Celkový přehled naměřených hodnot struny Quantum sensor	66
Tab. 12 Celkový přehled naměřených hodnot struny Energy pure	67
Tab. 13 Celkový přehled naměřených hodnot struny Gripper.....	67
Tab. 14 Celkový přehled naměřených hodnot struny Power fieber II.....	68

SEZNAM PŘÍLOH

PI Naměřené hodnoty

Do přílohy jsou zařazeny všechny naměřené hodnoty u jednotlivých strun. Tyto hodnoty byly získány na stroji Zwick 1456.

SEZNAM PŘÍLOH NA CD:

- Bakalářská práce ve formátu PDF
- Tahové diagramy všech tenisových strun
- Tabulky naměřených hodnot
- Fotodokumentace měření
- Fotodokumentace vybraných přetržených strun

PŘÍLOHA P I: TABULKY NAMĚŘENÝCH HODNOT

	Rychlost	L0 ST	Diameter d0	F _{max}	Rm	Nominal strain- Rm	E- Modulus	ε Rm	RB	ε Break	ε Fmax.	ε Break
Nr	mm/min	mm	mm	N	MPa	mm	N/mm	%	N/mm	mm	mm	mm
2	100	20	1,3	790,73	595,73	139,1	2115,92	93,9	587,98	18,9	18,81	18,86
3	100	20	1,3	780,67	588,16	144,12	2297,63	96,93	588,16	19,41	19,41	19,39
4	100	20	1,3	804,15	605,84	153,22	2191,33	103,23	602,17	20,82	20,68	20,79
5	100	20	1,3	760,08	572,64	140,78	2216,47	94,68	572,64	18,97	18,97	18,94
6	100	20	1,3	810,77	610,83	155,59	2334,26	104,89	610,83	21,01	21,01	20,98
7	100	20	1,3	811,46	611,35	158,43	2318,46	106,93	603,98	21,42	21,41	21,39
8	100	20	1,3	733,38	552,53	125,76	2289,01	84,4	552,53	16,91	16,91	16,88
9	100	20	1,3	740,14	557,62	130,28	2337,85	87,28	557,62	17,48	17,48	17,46
10	100	20	1,3	711,14	535,77	121,87	2358,68	81,67	535,77	16,36	16,36	16,33
11	100	20	1,3	733,52	552,63	133,19	2388,85	89,28	536,65	17,89	17,88	17,86
12	100	20	1,3	795,29	599,17	158,08	2383,82	106,31	585,85	21,29	21,29	21,27

Tab. 8 Celkový přehled naměřených hodnot struny Nylon

	Rychlost	L0 ST	Diameter d0	F _{max}	Rm	Nominal strain- Rm	E- Modulus	ε Rm	RB	E Break	ε Fmax.	ε Break
Nr	mm/min	mm	mm	N	MPa	mm	N/mm	%	N/mm	mm	mm	mm
13	100	20	1,3	793,92	598,14	139,8	2490,84	94,06	598,14	18,83	18,83	18,81
14	100	20	1,3	756,34	569,82	126,14	2528,9	84,38	569,77	16,9	16,9	16,88
15	100	20	1,3	793,78	598,03	136,98	2459,95	91,9	597,75	18,41	18,41	18,39
16	100	20	1,3	742,2	559,17	123,34	2410,39	82,59	559,17	16,54	16,54	16,52
17	100	20	1,3	707,37	532,93	109,49	2495,14	72,91	532,18	14,61	14,6	14,59
18	100	20	1,3	796,25	599,89	136,54	2527,47	91,58	599,89	18,33	18,33	18,32
19	100	20	1,3	800,27	602,92	147,06	2472,88	98,8	574,19	19,78	19,78	19,76
20	100	20	1,3	776,21	584,79	133,02	2513,82	89,05	584,77	17,83	17,83	17,81
21	100	20	1,3	734,17	553,12	116,78	2452,05	77,93	547,15	15,64	15,61	15,61
22	100	20	1,3	681,56	513,48	102,79	2349,34	68,43	504,05	13,8	13,7	13,79
23	100	20	1,3	795,36	599,22	139,64	2503,04	94,04	599,22	18,83	18,83	18,81

Tab. 9 Celkový přehled naměřených hodnot struny Synthetic gut

	Rychlost	LO ST	Diameter d0	F _{max}	Rm	Nominal strain- Rm	E- Modulus	ε Rm	RB	ε Break	ε Fmax.	ε Break
Nr	mm/min	mm	mm	N	MPa	mm	N/mm	%	N/mm	mm	mm	mm
24	100	20	1,3	619,92	467,04	115,04	7219,69	76,59	450,57	15,43	15,28	15,47
25	100	20	1,3	627,02	472,4	108,36	5347,97	72,27	471,41	14,51	14,42	14,55
26	100	20	1,3	593,42	447,08	90,05	8956,37	58,59	446,46	11,75	11,71	11,75
27	100	20	1,3	621,05	467,9	113,83	4317,3	76,06	465,57	15,33	15,18	15,36
28	100	20	1,3	621,91	468,54	104,78	5847,14	69,97	467,72	14,02	13,96	14,05
29	100	20	1,3	631,83	476,02	118,58	9082,07	78,2	465,26	15,75	15,63	15,76
30	100	20	1,3	627,64	472,86	116,37	9138,09	76,18	472,24	15,33	15,23	15,33
31	100	20	1,3	630,22	474,8	120,32	8834,99	79,12	455,1	15,91	15,82	15,91
32	100	20	1,3	623,76	469,94	115,29	9164,66	75,85	468,73	15,26	15,16	15,26
33	100	20	1,3	617,24	465,03	111,88	9006,65	73,49	447,08	14,78	14,69	14,78
34	100	20	1,3	630,59	475,09	118,1	8690,63	77,51	454,17	15,55	15,49	15,56

Tab. 10 Celkový přehled naměřených hodnot struny Cyclon

	Rychlost	LO ST	Diameter d0	F _{max}	Rm	Nominal strain- Rm	E- Modulus	ε Rm	RB	ε Break	ε Fmax.	ε Break
Nr	mm/min	mm	mm	N	MPa	mm	N/mm	%	N/mm	mm	mm	mm
35	100	20	1,3	440,22	331,66	92,48	2472,88	61,15	323,67	12,31	12,25	12,29
36	100	20	1,3	502,31	378,43	99,33	2422,6	65,86	371,01	13,22	13,2	13,19
37	100	20	1,3	500,69	377,22	97,29	2444,15	64,66	377,22	12,96	12,96	12,93
38	100	20	1,3	431,74	325,27	89,04	2504,48	58,96	312,09	11,84	11,81	11,82
39	100	20	1,3	558,11	420,48	105,93	2477,19	70,4	390,35	14,14	14,1	14,12
40	100	20	1,3	537,31	404,81	102,57	2518,85	68,27	394,72	13,78	13,68	13,75
41	100	20	1,3	565,42	425,98	106,1	2580,61	70,41	425,98	14,1	14,1	14,08
42	100	20	1,3	504,57	380,14	98,52	2564,1	65,1	380,14	13,04	13,04	13,02
43	100	20	1,3	515,21	388,16	100,74	2518,85	66,85	387,64	13,51	13,39	13,48
44	100	20	1,3	498,53	375,59	99,46	2440,56	66,06	355,45	13,27	13,23	13,25
45	100	20	1,3	571,32	430,43	108,38	2495,86	72	426,81	14,43	14,42	14,4

Tab. 11 Celkový přehled naměřených hodnot struny Quantum sensor

	Rychlost	LO ST	Diameter d0	F _{max}	Rm	Nominal strain-Rm	E-Modulus	ε Rm	RB	ε Break	ε Fmax.	ε Break
Nr	mm/min	mm	mm	N	MPa	mm	N/mm	%	N/mm	mm	mm	mm
46	100	20	1,3	583,83	439,86	80,37	9270,29	51,85	433,32	10,41	10,37	10,41
47	100	20	1,3	591,45	445,59	82,71	9194,18	53,97	440,81	10,81	10,79	10,82
48	100	20	1,3	598,21	450,69	94,13	263,13	65,06	450,12	13,44	13,31	13,14
49	100	20	1,3	591,31	445,49	86,84	9064,95	56,69	445,15	11,36	11,33	11,37
50	100	20	1,3	590,14	444,61	84,71	9030,49	55,21	444,09	11,06	11,03	11,07
51	100	20	1,3	587,84	442,88	84,69	8487,71	55,42	420,39	11,15	11,08	11,15
52	100	20	1,3	589,22	443,91	82,05	9316,95	53,53	443,42	10,75	10,7	10,75
53	100	20	1,3	587,81	442,85	84,34	8963,72	54,56	441,95	10,93	10,91	10,93
54	100	20	1,3	582,56	438,9	78,81	8784,95	50,27	434,38	10,22	10,06	10,21
55	100	20	1,3	590,9	445,18	86,82	9109,47	57,05	437,89	11,46	11,41	11,46
56	100	20	1,3	593,68	447,27	85,94	8918,49	56,04	446,83	11,26	11,2	11,26

Tab. 12 Celkový přehled naměřených hodnot struny Energy pure

	Rychlost	LO ST	Diameter d0	F _{max}	Rm	Nominal strain-Rm	E-Modulus	ε Rm	RB	ε Break	ε Fmax.	ε Break
Nr	mm/min	mm	mm	N	MPa	mm	N/mm	%	N/mm	mm	mm	mm
57	100	20	1,3	553,5	417,01	94,01	2626,29	62,29	415,64	12,48	12,48	12,46
58	100	20	1,3	497,24	374,62	89,65	2636,35	59,19	374,39	11,87	11,86	11,85
59	100	20	1,3	676,08	509,36	114,84	2699,53	76,5	509,36	15,33	15,31	15,32
60	100	20	1,3	541,56	408,01	92,75	2601,88	61,42	407,86	12,32	12,3	12,3
61	100	20	1,3	601,74	453,35	102,55	2635,63	68,06	452,16	13,64	13,63	13,62
62	100	20	1,3	545,41	410,91	94,67	2680,14	62,57	410,88	12,53	12,52	12,52
63	100	20	1,3	553,23	416,8	96,1	2749,78	63,51	416,8	12,72	12,72	12,7
64	100	20	1,3	654,74	493,28	109,99	2596,14	73,28	489,97	14,75	14,67	14,74
65	100	20	1,3	564,04	424,94	96,75	2536,55	64,1	424,4	12,87	12,84	12,86
66	100	20	1,3	515,01	388,01	90,8	2608,35	59,95	387,67	12,03	12	12,02
67	100	20	1,3	604,48	455,42	102,72	2748,35	67,9	455,42	13,6	13,6	13,58

Tab. 13 Celkový přehled naměřených hodnot struny Gripper

	Rychlost	L0 ST	Diameter d0	F _{max}	Rm	Nominal strain- Rm	E- Modulus	ε Rm	RB	ε Break	ε Fmax.	ε Break
Nr	mm/min	mm	mm	N	MPa	mm	N/mm	%	N/mm	mm	mm	mm
68	100	20	1,3	595,12	448,36	96,32	2705,27	64,11	438,98	12,85	12,83	12,84
69	100	20	1,3	532,92	401,5	90,01	2762,71	59,51	386,97	11,97	11,92	11,96
70	100	20	1,3	665,34	501,27	107,31	2716,76	71,1	498,19	14,25	14,23	14,24
71	100	20	1,3	581,02	437,74	92,02	2624,14	61,17	432,57	12,26	12,25	12,24
72	100	20	1,3	507,33	382,22	86,49	2750,5	57,1	382,22	11,43	11,43	11,42
73	100	20	1,3	555,46	418,48	90,93	2866,81	59,89	418,48	11,99	11,99	11,98
74	100	20	1,3	665,31	501,24	107,01	2759,12	71,17	499,54	14,26	14,24	14,25
75	100	20	1,3	611,1	460,4	99,71	2584,65	66,31	449,19	13,28	13,28	13,27
76	100	20	1,3	726,58	547,4	115,76	2695,22	77,3	531,64	15,49	15,48	15,47
77	100	20	1,3	631	475,4	102,1	2732,55	67,86	469,14	13,6	13,59	13,58
78	100	20	1,3	747,89	563,45	122,11	2344,14	81,51	563,45	16,33	16,33	16,3

Tab. 14 Celkový přehled naměřených hodnot struny Power fieber II