

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA TEXTILNÍ



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA TEXTILNÍ

Studijní program: B3107 Textil

Mechanická textilní technologie

KATEDRA TEXTILNÍCH TECHNOLOGIÍ

DYNAMICKÉ VLASTNOSTI
POLYPROPYLENOVÝCH STRUKTUR

DYNAMICAL PROPERTIES
OF POLYPROPYLENE STRUCTURE

Vedoucí bakalářské práce: doc. Dr. Ing. Dana Křemenáková

Konzultant bakalářské práce: Ing. Vladimír Kovačič

Rozsah práce a příloh:

Počet stran: 45

Počet obrázků: 71

Počet tabulek: 6

Počet příloh: 4

V Liberci, dne 26.5.2009

P r o h l á š e n í

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

Souhlasím s umístěním bakalářské práce v Univerzitní knihovně TUL.

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

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

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

Poděkování

Zde bych rád poděkoval své vedoucí bakalářské práce doc. Dr. Ing. Daně Křemenákové za velmi cenné rady, připomínky, náměty, ochotu a trpělivost, kterou mi věnovala při vytváření této práce. Touto cestou bych chtěl poděkovat Ing. Vladimíru Kovačičovi a Ing. Miroslavě Maršálkové za technickou pomoc a za věcné rady a připomínky, které mi poskytli v průběhu práce.

Chtěl bych také poděkovat svým rodičům, kteří mi umožnili studium na této škole, po celou dobu mě materiálně a hlavně psychicky podporovali.

Anotace

Tato práce se zabývá zkoumáním dynamicko-mechanických vlastností polypropylénových struktur. Pro experiment byly použity příze ze 100 % PP s různými zákrutovými koeficienty.

Práce je rozdělena do dvou částí. V první části jsou uvedeny teoretické informace. V druhé části je proveden experiment, kde bylo provedeno měření pro sledování průběhu dynamického spektra ztrátového činitele a dynamického modulu na přístroji DMA DX04T (dynamická mechanická analýza) firmy R.M.I.. Dynamické moduly a ztrátový činitel byly měřeny u přízi při různých frekvencích zatěžování, také byla měřena jednotlivá vlákna a svazky vláken bez zákrutu. Tato měření však nebylo možné vyhodnotit, neboť v rozsahu použitého měřicího napětí vykazovala chybu měření.

Cílem práce bylo navrhnout a realizovat experiment, který by pomohl objasnit změny dynamicko-mechanických vlastností vlivem struktury příze. Následně byl experiment vyhodnocen.

Annotation

The project work is surrounded around the dynamic-mechanical properties of polypropylene structure. For experiment work was used 100%PP yarn with varies different twisting ratios.

The work includes two parts. In the first part revolves around the theoretical information. In the second part is experimental, in which dynamic mechanical prosperities of the PP yarn were measured modulus of elasticity and tangent loss. This whole measurements of observations are done on DMA DX04T (Dynamic Mechanical Analysis) manufactured by R.M.I.. The elastics modulus and tangent loss were measured by various frequencies of strain. Were measured individual fibres and bundles fibres without twist, this measurement weren't possible evaluated, because selected range of measurement take error in measurement values.

The project is surrounded by full of experiment which help of dynamic mechanical properties of yarns structure. Conclusion of project is experimental based.

Seznam použitých zkratk a symbolů

A	opravný koeficient (konstanta závislá na materiálu vlákna) [-].
am	phrixův zákrutový koeficient [$\text{ktex}^{2/3} \text{m}^{-1}$]
DMA	dynamicko-mechanická analýza
e_1	celková deformace [mm]
e_3	plastická deformace [mm]
e_1-e_2	elastická deformace [mm]
e_2-e_3	viskoelastická (časově závislá) deformace [mm]
E	modul pružnosti v tahu [GPa]
E^*	komplexní modul pružnosti v tahu [GPa]
E'	reálná část modulu pružnosti [GPa]
E''	imaginární část modulu pružnosti [GPa]
f	frekvence [Hz]
F	síla [N]
F_{max}	maximální síla [N]
F_r	relativní síla [N/tex]
g	gravitační zrychlení [m.s^{-2}]
k	konstanta [-]
L	délka kmitající struny (vlákna) [m]
l	konečná délka [mm]
l_0	(upínací délka, původní vzdálenost čelistí) [mm]
l_p	maximální vzdálenost čelistí v okamžiku přetrhu v [mm]
t	čas [s]
T	jemnost [tex]
P	předpětí [Vibroskop - mg, Instron-mN/tex]
PP	polypropylen
R	poloměr kruhového průřezu struny (vlákna) [m],
S	plocha příčného řezu [mm^2]
t	čas [s]
T	jemnost [tex]
T_g	teplota skelného přechodu [$^{\circ}\text{C}$]

$\operatorname{tg} \delta$	ztrátový činitel [-]
δ	fázový (ztrátový) úhel [-]
ε	prodloužení [%]
ε_0	amplituda deformace [mm]
η	viskozita [Pa.s]
ρ	měrná hmotnost [kg/m ³]
σ	napětí [GPa]
σ_0	amplituda napětí [mN]
ω	úhlová rychlost dynamického namáhání [rad.s ⁻¹]

Klíčová slova

polypropylenová vlákna	Polypropylene Fibers
dynamické moduly	Dynamic Modulus
dynamická mechanická analýza	Dynamic – Mechanical Analysis
tažnost	Tensibility
namáhání	Strain
pevnost	Tenacity
koefficient zákrutu	Twisting Coefficient

1. ÚVOD

Vývoj výroby a použití syntetických vláken v textilním průmyslu spadá do poloviny třicátých let minulého století. Je málo průmyslových oborů, které zaznamenaly tak bouřlivý rozvoj jako výroba syntetických vláken, především vláken polyesterových, polypropylenových, polyamidových a polyakrilonitrilových.

Technický pokrok zasahl i do textilního průmyslu, kde strojní zařízení, technologické postupy, které ovlivňují vlastnosti vyráběných materiálů, ale i textilní vlákna zaznamenala velký pokrok ve vývoji. Do nejvýznamnějších oblastí textilní výroby patří dnes hlavně vývoj a výroba technických textilií a funkčních oděvů, po kterých se vyžaduje velká dynamická a mechanická odolnost, která zajistí pohodlné a zároveň bezpečné používání i v extrémních podmínkách. V 21.století člověk klade na oděvy velmi vysoké požadavky. S rozvojem sportu a současně s nebezpečností některých zaměstnání, se začal klást velký důraz na tyto vlastnosti. Za tímto účelem byly vyvinuty, a stále jsou vyvíjeny, materiály splňující i ty nejnáročnější potřeby, lze je nazvat jako materiály funkční nebo smart textíle.

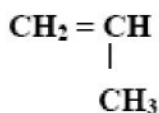
V dnešním moderním světě se s technickými textiliemi, které musí odolávat velkým dynamickým a mechanickým vlivům se můžeme setkat téměř kdekoli - v dopravě, zdravotnictví, stavebnictví u výrobků pro sport a volný čas, a v mnoha jiných průmyslových odvětvích. V bakalářské práci jsou popsány vlastnosti PP struktur a vlivy na jejich dynamicko-mechanické vlastnosti.

2. LITERÁRNÍ PRŮZKUM

V této kapitole jsou popsány vlastnosti polypropylenových vláken, dále hlavní charakteristické vlastnosti přízí: jemnost, zaplnění, zákrut, koeficient zákrutu, pevnost, tažnost, vlastnosti ovlivňující pevnost přízí a metody měření pevnosti a dynamicko-mechanických vlastností vláken a přízí.

2.1. POLYPROPYLEN (PP)

Jsou to syntetická vlákna s voskovým omakem a leskem, obecně mají kruhový průřez, ale pro speciální použití se vyrábí s nejrůznějšími profily. [5] Molekula propylenu (monomer) se skládá ze tří uhlíků a šesti vodíků s dvojnou vazbou ve struktuře, která je při polymeraci využita. [6]



Obr. 2.1: Molekula polypropylenu (monomer)

PP stříž je vyrobená běžnou technologií zvlákňování z taveniny. K výrobě se používá granulát. Pro zlepšení zpracovatelských vlastností je na vlákno nanášena aviváž. V základním provedení mají vlákna charakteristicky bílou barvu. Pro vyrobení barevných vláken se ke granulátu přidává pigmentové barvivo na polypropylenovém nosiči, určené pro barvení ve hmotě. [7]

Základní parametry vláken jsou dány průměrem použitých zvlákňovacích trysek a rychlostí odtahových válců (jemnost vláken), stupněm dloužení (pevnost a tažnost vláken), stupněm zkadeření (počet obloučků) a vzdáleností nožů na řezacím válci (délka stříhu). [7]

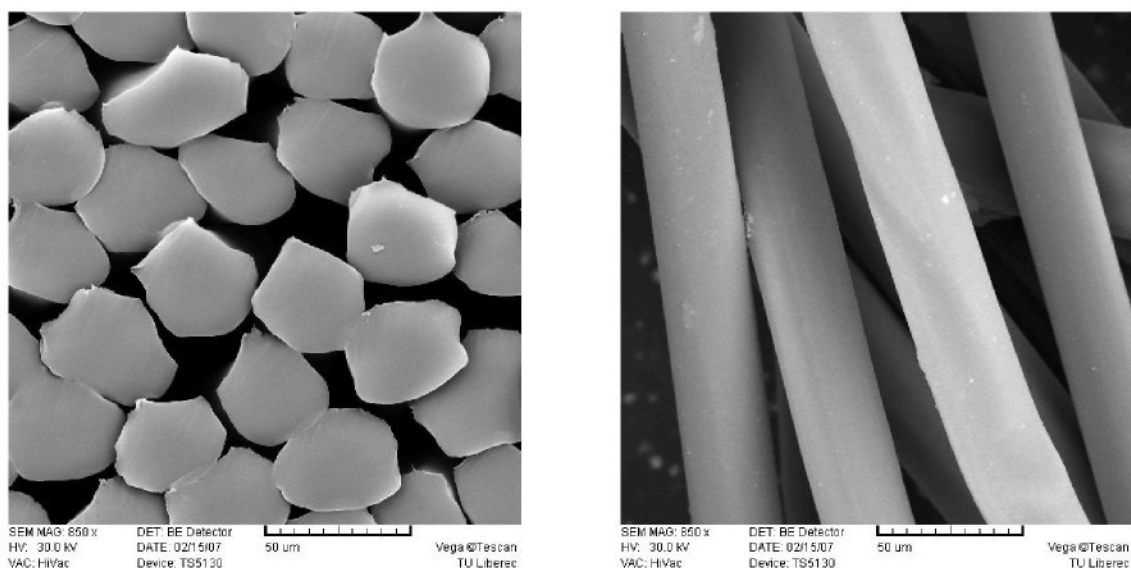
Modifikovaným typem jsou vlákna se stabilitou proti UV záření, s nehořlavou úpravou, baktericidní úpravou, antistatickou úpravou. K základní surovině PP granulátu je přidáván koncentrát na polypropylenovém nosiči zajišťující požadované modifikace a úpravy. [7]

Tab. 1 Vlastnosti vyráběných PP vláken [1]

Vlastnost	Jednotka	Hodnota
Měrná hmotnost	kg m^{-3}	910
Jemnost vláken	dtex	1,1 - 22
Pevnost	cN dtex^{-1}	1,5 - 6
Pevnost za mokra	%	100
Tažnost	%	15 - 60
Tažnost za mokra	%	44
Koeficient tření	-	0,25
Teplota žehlení	$^{\circ}\text{C}$	max. 130
Teplota měknutí	$^{\circ}\text{C}$	149 - 154
Teplota tání	$^{\circ}\text{C}$	165 - 170
Navlhavost při RH 65 %	%	0 – 0,005
Tepelná vodivost	$\text{mW m}^{-1} \text{K}^{-1}$	120

2.2. VLASTNOSTI POLYPROPYLENOVÝCH VLÁKEN

Chemicky jsou PP vlákna inertní, porušují se jen kyselinou sírovou a kyselinou dusičnou. Vlákna lze barvit pouze ve hmotě, díky tomu se vyznačují vysokou stálostí barvy. Mají přiměřenou zotavovací schopnost, nevyvolávají alergie. Jsou lipofilní, tzn. vážou tuky tedy i potní tuk, proto je lze označit za vlákna s dobrými hygienickými (fyziologickými) vlastnostmi. Nenapadají je mikroorganismy a hmyz. PP je výborný elektro-izolační materiál. K nevýhodám PP vláken patří snadná zápalnost. Prakticky neabsorbuje molekuly vody nebo jen velmi málo. Polypropylenová stříž se pro své antibakteriální a nenavlhající vlastnosti uplatňuje při výrobě funkčních a outdoorových oděvů. Dále se používá pro výrobu pletenin pro vrchní ošacení, kobereců, dekoračních tkanin, stuh atd. Polypropylenová vlákna se také používají ve směsi s přírodními vlákny na výrobu tkanin a pletenin. Z technických aplikací jsou z PP vlákna významné pro geotextilie, zde mají separační, ochrannou, filtrační, zpevňovací funkci a nemají negativní vliv na kvalitu pitné vody. Dále se používají pro hygienu, filtrační tkaniny, lana, pásové dopravníky, automobilový, stavební průmysl atd. [1, 5, 6,]



Obr. 2.2: Příčný a podélný pohled polypropylenových vláken

2.3. VLASTNOSTI OVLIŇUJÍCÍ PEVNOST PŘÍZE

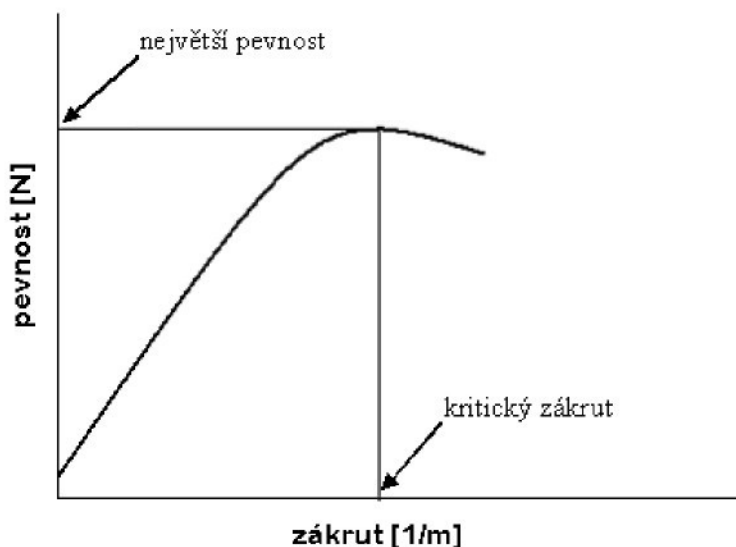
Pevnost a tažnost příze ovlivňuje velké množství faktorů. Z hlediska vlákenné suroviny je to jemnost, délka, pevnost vláken, variabilita pevnosti a tažnosti vláken.

Z hlediska příze je pevnost ovlivněna jemností (počet vláken v příčném řezu) a zákrutem příze, které souvisí se zaplněním. Významným faktorem je technologie výroby příze, která vede k charakteristickému uspořádání vláken v přízi a tím i ovlivnění celkových vlastností. Nezanedbatelný vliv má také vnitřní uspořádání vláken v přízi. Mezi hlavní faktory ovlivňující pevnost příze patří sklon vláken k ose příze, navlnění vláken, prokluzu a migrace vláken. [3]

2.3.1. KRITICKÝ KOEFICIENT ZÁKRUTU

Vztah mezi pevností a zákrutem příze byl předmětem studia řady autorů. Nepatrnou pevnost vykazuje již svazek nezakroucených vláken, ta je výsledkem přirozené soudržnosti vlákenného materiálu. Při nízkých hodnotách zákrutu příze vlákna prokluzují. S rostoucím zákrutem dochází ke stlačení a lepšímu sevření vláken, což omezuje možnosti prokluzu.

Na obr. 2.3 je znázorněna závislost mezi pevností a zákrutem příze. Platí, že po hranici kritického zákrutu pevnost příze s počtem zákrutů narůstá. Za touto hranicí klesá v důsledku překroucení vláken. [2]



Obr. 2.3: Závislost mezi pevností a zákrutem příze

2.3.2. VLIV SKLONU VLÁKEN

Sklon vláken k ose příze je velmi důležitým faktorem ovlivňující pevnost zakrouceného svazku. Šroubovicový model je ideální případ, kdy v reálné přízi mají vlákna jiné sklony vláken v jádru a na povrchu příze. [8]

2.4. MECHANICKÉ VLASTNOSTI

Mechanické vlastnosti patří mezi nejdůležitější vlastnosti textilních vláken. Jsou významné jak pro spotřebitele, tak i pro zpracování vláken v textilním průmyslu. Mezi nejdůležitější vlastnosti vláken patří: pevnost, tažnost, odolnosti vůči oděru, mačkavost atd. Mechanické charakteristiky jsou závislé na chemickém složení vláken (typu a intenzitě mezimolekulových vazeb) molekulové hmotnosti polymerních řetězců a podmínkách zvlákňování resp. fixace (krystalinitě, orientaci krystalické fáze, orientaci amorfní fáze). Mechanické vlastnosti je možno charakterizovat jako změny tvaru nebo objemu látek vlivem působení různých druhů vnějších mechanických sil. Pokud na nějaké těleso, tedy i vlákno, působí vnější mechanická síla, vyvolává ve vláknech

napětí a ta mění svůj tvar – deformují se. Mechanické vlastnosti jsou významně závislé nejen na chemické a fyzikální struktuře vláken, ale i na teplotě, vlhkosti, způsobu namáhání, rychlosti namáhání za které je zjišťujeme. [1]

Rozdělení mechanických vlastností:

podle účinku vnějších sil na

- deformační-elastické, plastické, viskoelastické
- destrukční

podle časového režimu namáhání na

- statické
- dynamické

podle stavu napjatosti rozlišujeme vlastnosti

- při jednoosé napjatosti
- při víceosé napjatosti

podle způsobu namáhání vyvolané působením

- tahu
- smyku
- tlaku
- krutu
- ohybu [4]

Tyto druhy namáhání se většinou vyskytují v kombinaci (tah – příčné stlačení u vláken v zakrucované niti). Laboratorně se tato namáhání zkoumají odděleně, přičemž normovány jsou pouze zkoušky pevnosti v tahu.

2.5. DEFORMAČNÍ PROCESY

V závislosti na velikosti aplikovaného podnětu, teplotě a vlhkosti rozlišujeme tři typy deformace.

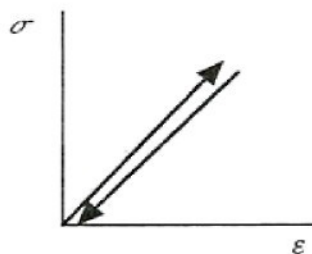
A. Elastická deformace

B. Plastická deformace

C. Viskoelastická deformace

A. Elastická deformace

Ideální elastická deformace je okamžitá, přímo úměrná deformačnímu napětí σ a dokonale vratná (viz obr. 2.4). Je nezávislá na době trvání deformace a rychlosti jejího vzniku. Pružná deformace se řídí Hookovým zákonem. [1, 4]



Obr. 2.4: Elastická deformace [1]

Hookův zákon

Napětí σ [GPa] je definované jako síla F [N] působící na jednotku průřezu S [m²].

$$\sigma = \frac{F}{S} \quad (1)$$

Důsledkem působení napětí je relativní prodloužení ε [%]:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} = \frac{l - l_0}{l} \cdot 100 \quad (2)$$

kde l_0 [mm] je původní délka a l [mm] je konečná délka.

Hookův zákon pro elastickou deformaci je vyjádřen vztahem:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad (3)$$

kde E je modul pružnosti v tahu nebo-li Yongův modul. Je definován jako materiálová konstanta určená myšleným normálovým napětím, kterým by se těleso z daného materiálu prodloužilo na dvojnásobek původní délky. Vyjadřuje se [GPa] a závisí na druhu materiálu, teplotě, rychlosti a době zatěžování. [1, 7, 8]

Ideálně elasticky se deformují tělesa krystalických nebo sklovitých materiálů při teplotách hluboko pod teplotou skelného přechodu T_g . [9]

B. Plastická deformace

Plastická deformace nebo-li trvalá deformace, je časově závislá a po odlehčení deformované těleso sice relaxuje, ale nevrátí se do původního stavu.

Zbytková plastická deformace je charakterizována jako změna geometrických parametrů plasticky deformovaného a pak relaxovaného tělesa oproti parametrům původním. Tato deformace se zvyšuje se zvyšováním zatížení tělesa.

Pro plastickou deformaci platí, že rychlost deformace je úměrná působícímu napětí:

$$\frac{d\varepsilon}{dt} = \frac{\sigma}{\eta} \quad (4)$$

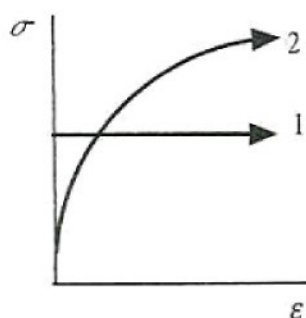
kde η [Pa.s] je viskozita a t je čas [s].

V případě ideálního plastického tělesa je závislost mezi napětím a deformací při zatěžování konstantní deformace konstanta (viz obr. 2.5 křivka 1).

$$\frac{d\varepsilon}{dt} = k \quad (5)$$

Oproti tomu křivka 2 na obr. 2.5 znázorňuje deformaci při konstantní rychlosti zatěžování vyjádřenou vztahem:

$$\frac{d\sigma}{dt} = k \quad (6)$$

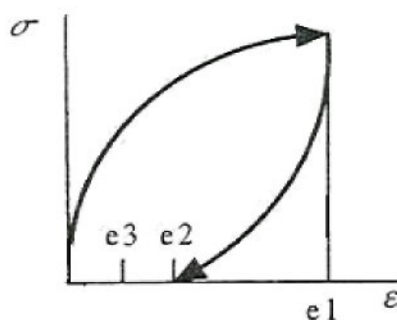


Obr. 2.5: Deformace plastického členu při konstantní rychlosti deformace (1), při konstantní rychlosti zatěžování (2) [1]

Elastická deformace přechází v deformaci plastickou po překročení napětí nazývaného mez kluzu. Plastická deformace je typická pro lineární a rozvětvené polymery při teplotách dostatečně nad T_m , ve $^{\circ}\text{C}$ resp. T_g . [1, 9]

C. Viskoelastická deformace

Viskoelastická deformace je kombinací elastické deformace a viskózního toku. Je částečně vratná a časově závislá. Typický průběh křivky je znázorněn na obr. 2.6, kde e_1 je celková deformace, e_3 je plastická deformace, rozdíl $(e_1 - e_2)$ je elastická deformace a rozdíl $(e_2 - e_3)$ je viskoelastická (časově závislá) deformace.



Obr. 2.6: Křivka zatížení – odlehčení [1]

Ideálně viskoelasticky se deformují zasíťované polymery při teplotách nad T_g , resp. nad T_m , kdy jsou možné konformační přeměny jejich řetězců. [1, 4, 9]

Mezi vlastnosti reálně viskoelastické látky patří: látka si pamatuje deformační historii, po zatížení okamžitá i časově závislá deformace, část deformační práce se akumuluje a část se mění v teplo. Doba viskoelastické deformace závisí na dobách relaxace polymerních segmentů. [1, 4]

2.6. PEVNOST A TAŽNOST

Pevnost příze

Zachytává okamžik porušení, ke kterému dochází v nejslabším a nejméně pevném místě zatěžované příze. V dlouhém úseku příze je předpoklad, že se vyskytne aspoň jedno slabé místo, které bude mít predispozici k nižší pevnosti. [2]

Protikladem je krátký úsek příze, na kterém se nemusí vyskytnout ani jedno slabé místo, z čeho vyplývá, že jeho pevnost bude větší.

Pevnost příze je určena upínací délkou, rychlostí čelistí trhacího přístroje, dále pevností samotného vláknenného materiálu a strukturálními faktory – zejména zákrutem, stupněm napřimění vláken, migrací vláken a dalšími vlivy.

Kvantitativní vyjadřování této vlastnosti provádíme jednak jako absolutní pevnost v tahu a vyjadřujeme v jednotkách síly N. Daleko běžnějším a pro textilní praxi vhodnějším je použití tzv. poměrné pevnosti, která je definována jako relativní síla F_r [cN/tex] nebo jako napětí σ [GPa], které způsobí přetržení materiálu. Relativní pevnost lze vyjádřit vztahem:

$$F_r = \frac{F}{T} = \frac{F}{S \cdot \rho} = \frac{\sigma}{\rho} \quad (7)$$

kde F [N] je maximální síla potřebná k přetrhu, T [tex] je jemnost, σ je napětí [N/mm²], S je plocha příčného řezu [mm²] a ρ je měrná hmotnost [kg/m³].

$$\sigma = \frac{F}{S} \quad (8)$$

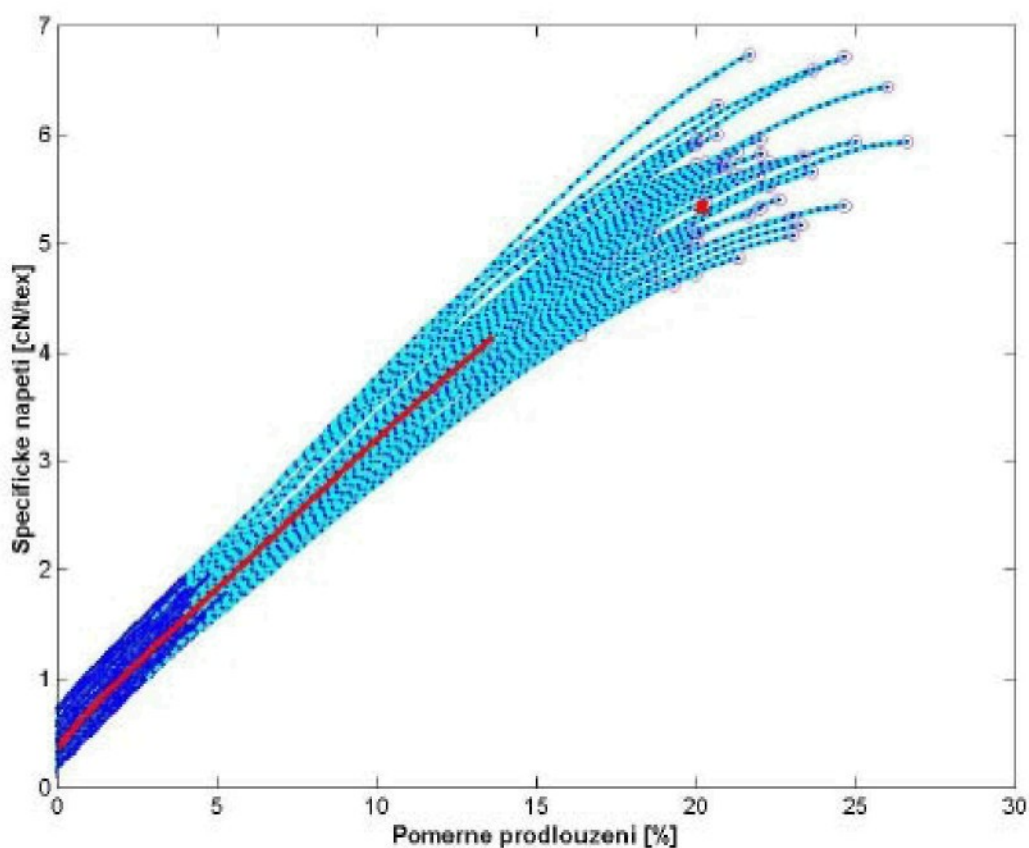
Tažnost příze

Tažností příze se rozumí celkové poměrné prodloužení při přetržení, které vyjádříme podle vztahu:

$$\varepsilon = \frac{l_p - l_0}{l_0} 10^2 \quad (9)$$

kde ε je tažnost [%], l_p je max. vzdálenost čelistí v okamžiku přetrhu [mm] a l_0 je původní vzdálenost čelistí [mm]. [10]

Grafické znázornění závislosti mezi tahovou silou potřebnou na přetrhnutí příze a prodloužení příze se nazývá tahová křivka. Konstrukce průměrných tahových křivek se realizuje ze soustavy tahových křivek jednotlivých přízí. K destrukci přízí dochází při různých hodnotách tažnosti a poměrné pevnosti. Minimální hodnoty těchto veličin se stávají limitujícími pro průměrnou tahovou křivku. Ze soustavy jednotlivých tahových křivek se vytvoří soubor průměrných bodů. Přeložením křivky přes tyto průměrné body vzniká průměrná tahová křivka. Na obr. 2.7 je znázorněno schéma průměrné tahové křivky. [9]



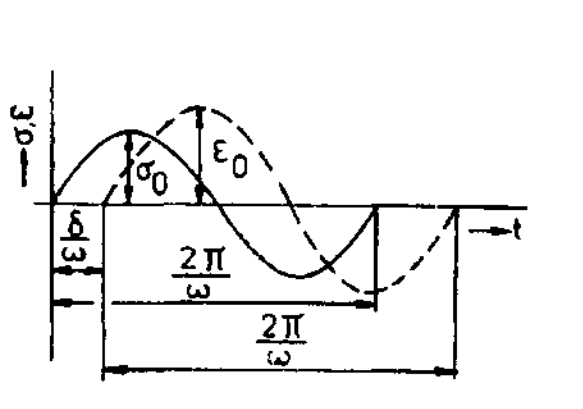
Obr. 2.7: Graf průměrné tahové křivky

Při zkoumání mechanických vlastností vláken se ukázalo, že pevnost a tažnost při přetrhu nejsou dostatečným kritériem kvality vlákna. Proto je nutno sledovat i průběh změn, ke kterým dochází při zatěžování nebo napínání vláken.

2.7.DYNAMICKO-MECHANICKÉ VLASTNOSTI

Vlastnosti viskoelastické látky jsou spojením vlastností látky elastické a viskózní. Odezvu viskoelastické látky na působení periodickými kmity napětí σ je možno rozdělit na dvě části: na elastickou odezvu, která je ve fázi s napětím a viskózní odezvu, která je v kvadratuře s napětím. Pro vyjádření viskoelastických vlastností vláken se určují dynamické moduly, a to modul pružnosti E' a ztrátový modul E'' , které jsou reálnou a imaginární složkou komplexního modulu E^* .

Jestliže se napětí vlákna mění cyklicky s časem, deformace $\varepsilon(t)$ v přiměřeně krátkém čase nestačí sledovat změny napětí $\sigma(t)$ a zpožďuje se za ním o fázový (ztrátový) úhel δ , který bude nabývat hodnot od 0 do $\pi/2$. [11]



Obr.2.8: Schematické znázornění závislosti napětí a deformace při dynamickém namáhání [11]

Změnu napětí a deformace v čase při sinusovém průběhu síly můžeme vyjádřit vztahy:

$$\sigma(t) = \sigma_0 \cdot \sin \cdot \omega t \quad (10)$$

$$\varepsilon(t) = \varepsilon_0 \cdot \sin \cdot (\omega t - \delta) \quad (11)$$

kde σ_0 , ε_0 je amplituda napětí a deformace, t je čas [s], přičemž jejich poměr udává absolutní dynamický modul E [GPa], který je funkcí frekvence a teploty.

$$E = \frac{\sigma_0}{\varepsilon_0} \quad (12)$$

Při dynamicko-mechanické analýze je viskoelastická odezva materiálu rozdělena na dvě komponenty:

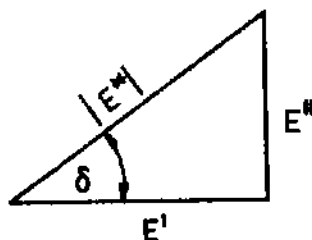
Reálná část reprezentuje elastický modul E' [GPa], který nazýváme akumulovaným modulem (modul pružnosti) a je mírou ideálně elastického odporu vlákna proti mechanickému namáhání za daných podmínek. Modul odpovídá čistě elastickým bezeztrátovým deformačním dějům, které v látce probíhají a je mírou energie, která se v látce při deformaci akumuluje a po odlehčení je využita pro částečný návrat do původního stavu (vratná složka).

Imaginární část představuje viskozitní složku E'' [GPa] je to tzv. ztrátový modul, komplexního modulu pružnosti. Je mírou ztráty energie při deformaci viskoelastické látky. V průběhu deformace se při překonávání vnitřního tření látky část energie nevratně mění v teplo (ztrátová energie).

Pro celkový tzv. komplexní modul E^* platí:

$$E^* = E' + iE'' \quad (13)$$

Vztah mezi složkami E' a E'' je vyjádřen z na obrázku :



Obr.2.9: Rozklad absolutní hodnoty komplexního modulu

Charakteristickou mírou mechanických ztrát je poměr energie rozptýlené a energie, která se uchová, což je fázový posun, resp. ztrátový činitel $\tan \delta$ [-].

$$\tan \delta = \frac{E''}{E'} \quad (14)$$

3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST A DISKUZE VÝSLEDKŮ

Úkolem práce bylo navrhnout a realizovat vhodný experiment, který by pomohl objasnit změny dynamicko-mechanických vlastností polypropylenových vláken a přízí vlivem struktury příze, pomocí změny zákrutu.

Studovaný materiál

- 100% polypropylenové kompaktní česané příze o jemnosti 25 tex obsahující vlákna - dloužená, nefixovaná ve formě staplu o délce 50 mm vyrobená v podniku SPOLSIN, spol. s r.o. Česká Třebová.
- Příze byly s rozdílným zákrutovým koeficientem (35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 90, 95).

Nejdříve byly provedeny trhací zkoušky kompaktních přízí na laboratorním přístroji INSTRON 4411 a trhací zkoušky vláken na přístroji Vibrodyn 400 a na Vibroskopu 400 byla zjištěna jejich jemnost.

K měření změny dynamických modulů bylo použito zařízení DMA na katedře textilních materiálů. Důležitý parametr charakterizující materiál je modul pružnosti získaný na trhacím stroji, takto získaný modul pružnosti je zároveň vstupní hodnotou modulu pružnosti při měření na přístroji DMA. Pro všechna měření byl navržen shodný měřicí program, jako budicí impuls bylo zvoleno tahové napětí pohybující se v mezích 50–100 mN s určitou frekvencí. Pro experiment byly navrženy frekvence namáhání 1 a 10 Hz.

3.1. EXPERIMENT NA PŘÍSTROJI INSTRON 4411

Na přístroji byla zjišťována pevnost a modul pružnosti experimentálních materiálů (přízí). Pevnost a tažnost jsou mechanické vlastnosti, a jejich experimentální zjišťování je dáno normou ČSN EN ISO 2062 (80 0700).[15] Podstata měření spočívá v silovém působení na zkoušený vzorek až do jeho přetržení.

Experiment byl prováděn při konstantní rychlosti 400 mm/min posunu čelistí, upínací délce vzorků 500 mm. Předpětí bylo stanoveno v závislosti na délkové hmotnosti jednotlivých přízí. Pro jednoduchou přízi 25 tex je předpětí 1,25 mN/tex.

Celkem bylo provedeno 50 měření pro všechny příze s odlišným zákrutovým koeficientem.

Trhací přístroj INSTRON 4411

Trhací přístroj INSTRON 4411 je určen k zjišťování mechanických vlastností délkových a plošných textilií. Je možno realizovat jednoosé namáhání tlakem, tahem a ohybem. Na přístroji bylo naměřeno maximální protažení ε [mm], maximální síla F_{max} [N], poměrná pevnost F_r [cN/tex] a modul (Automatický Youngův modul pružnosti) E [N/tex]. [12]

Na trhacím přístroji INSTRON 4411 je možno provádět i nadstandardní zkoušky:

Simulace pevnosti na různých upínacích délkách.

Model je založen na principu pevnosti nejslabšího článku, kde pevnost základního článku je určena experimentálně. Měří se pevnost příze na standardních a krátkých upínacích délkách (0-35cm). Počítačovou simulací se generuje pevnost příze na libovolně větších upínacích délkách. Metoda je vhodná pro všechny druhy přízí bez ohledu na použitou technologii výroby, surovinu a strukturu. Pro měření na krátkých upínacích délkách je přístroj vybaven automatem pro podávání a upínání přízí.

Rozbor tahových křivek

Stlačování netkaných textilií

Měření tření délkových textilií



Obr. 3.1: Trhací přístroj INSTRON 4411 [12]

Technické parametry

- ± 10 V neohraničený analogový výstup signálu pro sílu a deformace, pokud jsou příslušné kanály připojeny
- číslicový řídicí systém pohonu příčnicku s možností měnit rychlost
- integrovanou číslicovou regulační smyčku řídicí elektroniky a sběru dat
- display dat - až tři kanály mohou zobrazovat měřené hodnoty v reálném čase
- volitelný systém jednotek - SI, metrické, dle US zvyklostí (dle výběru uživatele)
- měřicí kanály protažení a síly (jeden, další může být přidán)
- zpětný rychloposuv 600 mm/min se zabudovanou zpomalovací funkcí pro přesné polohování příčnicku
- rozsah rychlosti příčnicku 0,5 mm/min až 500 mm/min
- přesné, předepjaté kuličkové šrouby pro vedení pohonu příčnicku
- maximální dráha příčnicku 1067 mm
- šířka pracovního prostoru 250 mm
- max. zatížení 5 kN (500 kg)

Příslušenství ke stroji

- automatický ventil pro zajištění předpětí pro model 4411
- měřicí hlavy pro stroje typu 4411
- měřicí hlava tah-tlak max. zatížení ± 5 kN 6 mm průměr clevis uchycení
- měřicí hlava tah/tlak max. zatížení ± 100 N 6 mm průměr clevis uchycení
- měřicí hlava tah/tlak max. zatížení ± 5 N 6 mm průměr clevis uchycení
- software pro model 4411
- software Serie IX verze 5 pro monotoní zkoušku tahem, tlakem, ohybem a zkoušku vláken/přízí pro trhací stroje INSTRON a operační systém MS-DOS.
- upínací čelisti pneumatické - přízové a tkaninové
- upínací čelisti mechanické, malé vláknové, velké do 5 kN
- přípravek na automatické upínání přízí
- speciální upínací čelisti kruhové prům. 10 cm na stlačování netkaných textilií



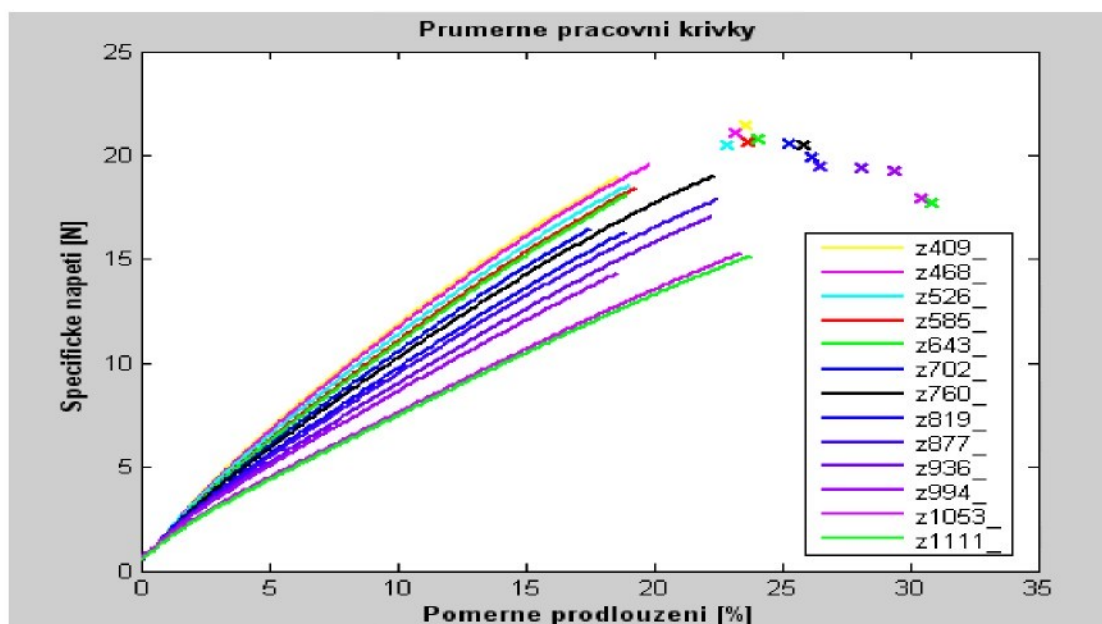
Obr. 3.2: Upínací čelisti-pneumatické

Postup měření:

Přístroj má dvě čelisti, z jichž jedna je pevná a druhá se pohybuje konstantní rychlostí. Zkušební vzorek byl ručně upnut do čelisti pomocí signálu nožního ovládání tak, aby osa příze procházela středem čelistí. Pohyblivá čelist byla uvedena do chodu a zkušební vzorek byl napínán až do přetrhu. Byla zaznamenána maximální síla (pevnost) a protažení při maximální síle, poměrná pevnost a modul pružnosti.

Tab. 2 Naměřené průměrné hodnoty na trhacím přístroji INSTRON 4411

Zákrutový koeficient [ktex ^{2/3} m ⁻¹]	α [m ⁻¹]	Maximální síla [N]	Poměrná pevnost [cN/tex]	Maximální protažení [mm]	Modul pružnosti [N/tex]
35	409	5,378	21,485	114,358	1,399
40	468	5,283	21,135	116,728	1,380
45	526	5,125	20,907	118,683	1,335
50	585	5,119	20,776	119,182	1,271
55	643	5,107	20,598	121,581	1,239
60	702	5,068	20,376	126,459	1,211
65	760	5,031	20,523	130,341	1,192
70	819	4,985	19,967	131,658	1,099
75	877	4,876	19,504	133,297	1,089
80	936	4,859	19,438	141,719	1,018
85	994	4,761	19,372	147,897	0,968
90	1053	4,572	18,638	152,453	0,893
95	1111	4,436	17,743	155,392	0,824

**Obr. 3.3: Graf průměrných tahových křivek z přístroje INSTRON 4411 v závislosti na počtu zákrutů**

Z obrázku 3.3 je patrné, že se zvyšujícím se počtem zákrutů se pevnost příze snižuje a tažnost zvyšuje. Je to dáno tím, že po hranici kritického zákrutu pevnost příze klesá v důsledku překroucení vláken.

3.2. EXPERIMENT NA PŘÍSTROJI VIBROSKOP 400 A VIBRODYN 400

Pomocí přístroje Vibroskop 400 firmy Lenzing Technik (obr.3.5) byla změřena jemnost PP vláken a na přístroji Vibrodyn 400 také firmy Lenzing Technik (obr.3.4) byla změřena pevnost a tažnost.

Pevnost a tažnost a jemnost PP vláken byla měřena na přístroji Vibrodyn a Vibroskop na katedře KTM podle normy ČSN EN 5079.[16] Bylo provedeno 50 měření. Experiment na přístroji Vibrodyn 400 byl prováděn při konstantní rychlosti 10 mm/min posunu čelistí, upínací délce 10 mm a předpětí 150 mg dle jemnosti vlákna.



Obr..3.4:Vibrodyn 400



Obr. 3.5:Vibroskop 400

Vibrodyn je elektronický, automatický dynamometr pro měření pevnosti a prodloužení jednotlivých vláken nebo monofilů. Vláknem s odpovídajícím předpětím je vloženo do přístroje. Po stisku tlačítka začíná test pevnosti v tahu. Získané informace o průběhu jsou uloženy v počítači. Výsledky jsou vyhodnoceny pomocí softwaru, který vytvoří protokol obsahující informace o pevnosti, prodloužení, síle, Youngovu modulu a elastickém modulu s grafy a histogramy. [13]

Technické parametry

- rozsah měřicí síly: 0–500 cN
- rozsah měřicího prodloužení: max 1000 % při upínací délce 10 mm
- upínací délka: 5–50 mm
- testovací rychlost: 0.5–300 mm/min
- předpětí: pomocí Vibroclipsu

Vibroskop - pracuje na principu rezonančních metod. Tyto metody jsou založeny na stanovení frekvence, popř. délky vlny kmitající struny, která je závislá na délce kmitající struny (vlákna), její hmotnosti a předpětí podle vztahu:

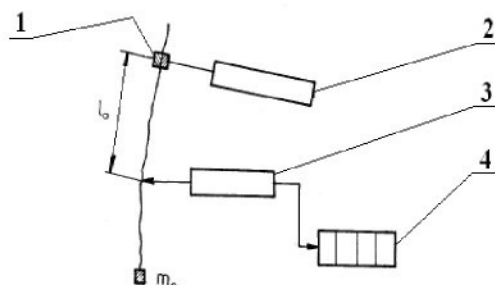
$$f = \frac{1}{2L} \cdot \sqrt{\frac{F}{m \cdot g}} \cdot A \quad (15)$$

kde f je rezonanční frekvence [Hz], L je délka kmitající struny (vlákna) [m], F je napětí (předpětí) struny (vlákna) [N], m je hmotnost jednotky délky [kg], g je gravitační zrychlení [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$] a A je opravný koeficient (konstanta závislá na materiálu vlákna) [-].

$$A = \left(1 + \frac{R^2}{L}\right) \sqrt{E \frac{\pi}{P}} \quad (16)$$

kde R je poloměr kruhového průřezu struny (vlákna) [m], E je modul elasticity [Pa], P je předpětí [mg].

Měření na přístroji Vibroskop probíhá po upnutí předepnutého vlákna do horní čelisti tak, že posunem dolní čelisti spojené se snímačem kmitů se hledá uzlový bod kmitajícího vlákna. V tomto případě je rozkmit vlákna největší a upínací délka L [m] je rovna.



Obr.3.6: Schéma přístroje Vibroskop

1 – horní čelist pro upnutí vlákna, 2 – generátor kmitů
3 – snímač kmitů, 4 – vyhodnocovací člen s

Postup měření:

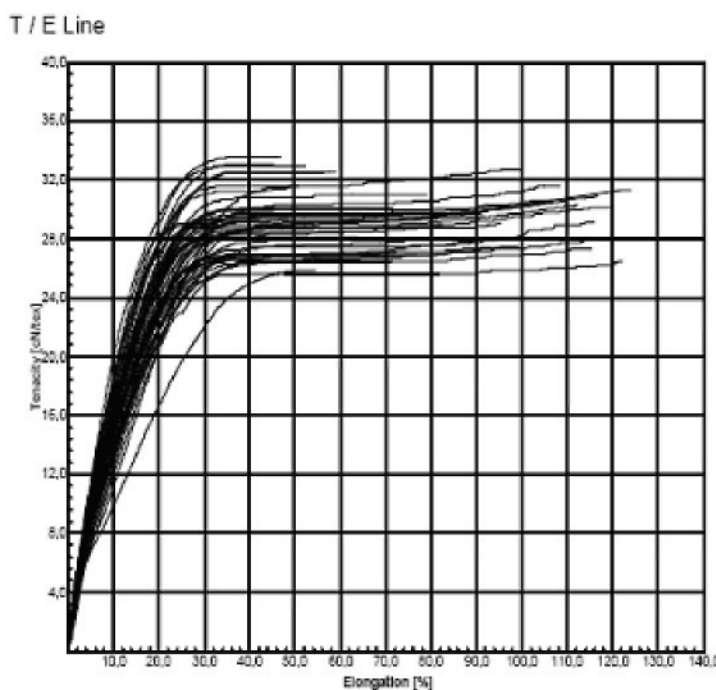
Měření na přístroji Vibroskop 400 probíhá po upnutí předepnutého vlákna do horní čelisti a následné změření jemnosti. Poté je vlákno s odpovídajícím předpětím je vloženo do přístroje Vibrodyn 400. Po stisku tlačítka začíná test pevnosti v tahu. Získané informace o průběhu jsou uloženy v počítači.

Výsledky jsou vyhodnoceny pomocí softwaru, který vytvoří protokol obsahující informace o pevnosti, prodloužení, síle, Youngovu modulu a elastickém modulu s grafy a histogramy.

Tab. 3 Naměřené hodnoty na trhačím přístroji Vibroskop 400 a Vibrodyn 400

	Jemnost [dtex]	Síla [cN]	Tažnost [%]	Poměrná pevnost [cN/tex]
Střední hodnota	2,23	6,53	73,05	29,48
Směrodatná odch.	0,45	1,19	30,11	1,89
Variační koef.[%]	20,39	18,30	41,21	6,42
IS	<2,10; 2,36>	<6,18; 6,87>	<64,37; 81,74>	<28,93; 30,03>

Výsledky jednotlivých měření jsou uvedeny v příloze č. 2.

**Obr. 3.7: Graf průběhu tahových křivek PP vláken**

Z obrázku 3.7 je zřejmé, že pevnost vlákna je v průměru do 29 cN/tex a poté se vlákno protahuje až do přetrhu.

3.3. EXPERIMENT NA PŘÍSTROJI DMA DX04T

Na přístroji DMA DX04T byly měřeny dynamické moduly PP příze s těmito zákrutovými koeficienty (35, 45, 65, 75, 80 a 95). K nastavení přístroje bylo zapotřebí znát parametry materiálu. Proto byly použity hodnoty modulu pružnosti příze z trhacího stroje zvolen což je nejpřesnější způsob popisující materiál.

Technické parametry pro experiment:

- Měřicí mód: 1 frekvence, 1 amplituda síly, bez teplotní programu
- Deformační mód: Tension – měření v tahu (nutnost předpětí 40 mN)
- Způsoby vkládání síly na vzorek: s konstantní silou
- Průběhy síly: sinus
- Měřicí frekvence : 1Hz a 10Hz
- Celková nepřesnost frekvence < 0,01%
- Celkové harmonické zkreslení sinusového průběhu < 0,01%
- Celkový rozsah: 50-100mN
- Nepřesnost měření síly: < 0,25%
- Měření závislosti modulu pružnosti a ztrátového úhlu: na čase

Dynamická mechanická analýza je jednou z nejpřesnějších metod termické analýzy. Slouží k charakterizaci pevných látek, která je založena na vyhodnocování dynamicko mechanických spekter pro jednotlivé materiály specifických vlastností (jsou funkcí specifického relaxačního procesu spojeného s určitým druhem molekulárního pohybu). Tato dynamická spektra se měří jako funkce teploty, frekvence, času, napětí nebo kombinace těchto parametrů. [17]

DMA může charakterizovat materiály závislosti modulu a ztrátového úhlu na teplotě (případně na čase, frekvenci). Tím poskytuje údaje o mechanických vlastnostech, které mají přímý vztah ke zpracování a užitným vlastnostem výrobků. DMA se zpravidla používá k identifikaci sekundárních přechodů v polymerních materiálech, ale je schopna zaznamenat i řadu dalších méně intenzivních přechodů odrážejících se v rázové houževnatosti vzorku.

Dynamicko-mechanická analýza je založena na principu jak mechanických, tak dynamických a tepelných odezev zkoumaného materiálu.



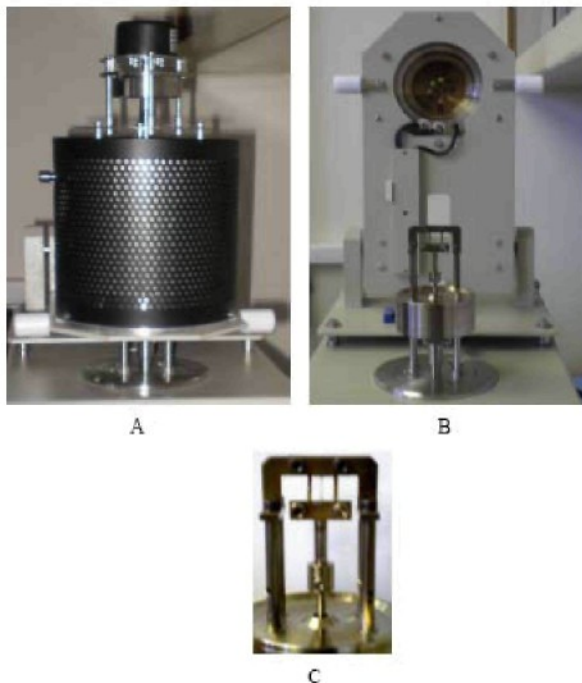
Obr. 3.8: Přístroj DMA DX04T

Přístroj DMA DX04T umožňuje měřit celý průběh skutečné síly působící na vzorek a celý průběh deformace vzorku, z těchto hodnot následně vypočítat mnoho údajů, například obě složky komplexního modulu E' , E'' z jejich průběhů ztrátový činitel $\tan \delta$. Na rozdíl od přístrojů jiných firem (jak uvádí firma R.M.I.) je přístroj schopen zobrazovat hysterezní křivku, ze které lze zjistit energetické ztráty v materiálu.

Přístroj je plně řízen standartním PC. Pro tvorbu grafů a vyhodnocení dynamicko-mechanické analýzy je používán program DMA Grapher. Dynamicko-mechanický analyzátor DMA DX04T umožňuje současnou aplikaci dvou různých metod k určení průběhu modulu a ztrátového úhlu.

První metoda je přímé určení modulu z amplitudy kladné a záporné půlvlny síly a deformace (získáme dvě křivky modulu - E_{UP} , E_{DN}) a určení ztrátového úhlu z fázového posunu mezi náběžnými a sestupnými hranami průběhů síly a deformace (získáme opět dvě křivky ztrátového úhlu $\tan \delta_{UP}$, $\tan \delta_{DN}$), přičemž příslušné dvojice křivek v případě správného měření splývají.

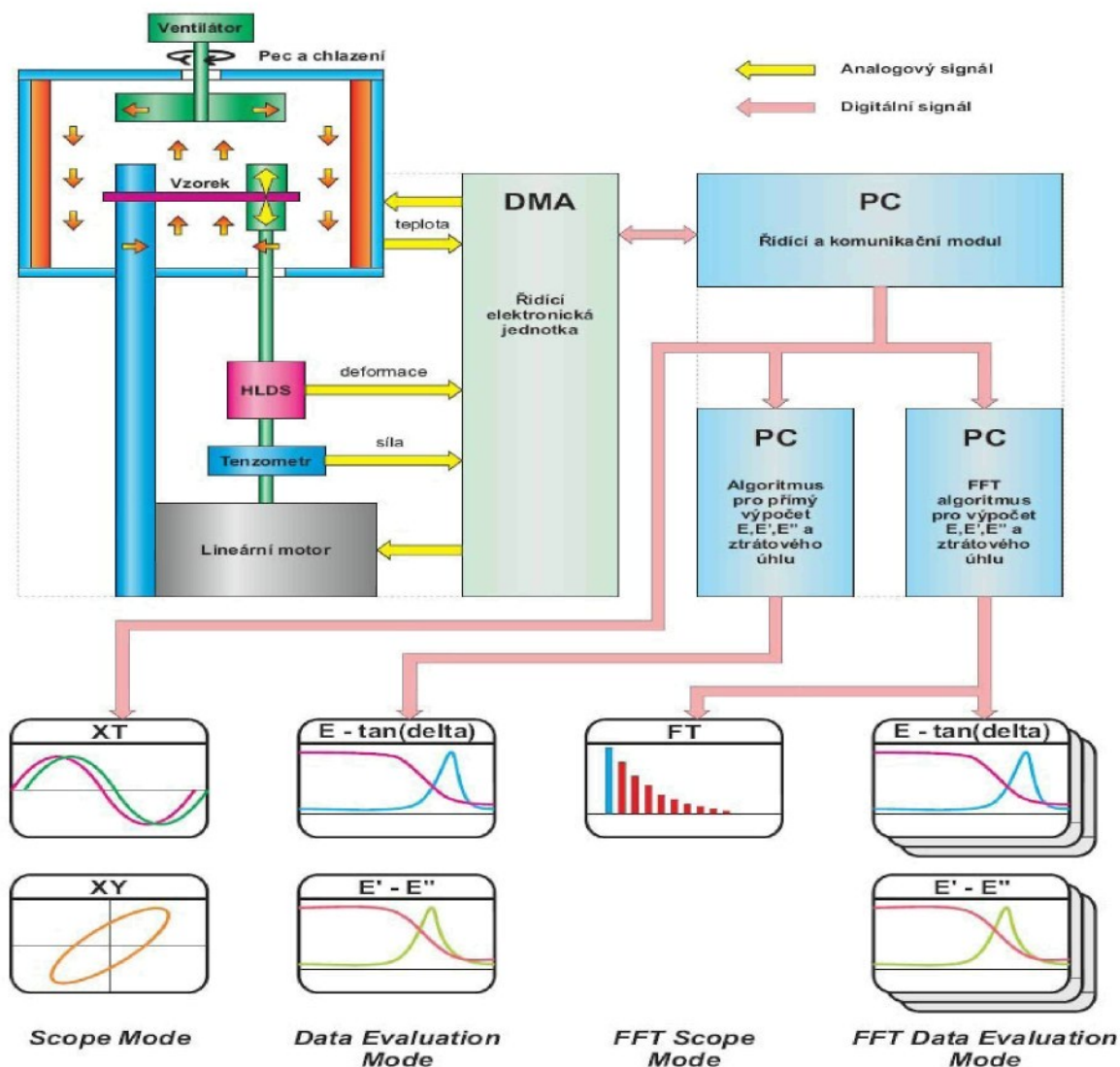
Druhá metoda je založena na zcela odlišném principu - data se zpracují pomocí FFT (Fast Fourier Transform) a výsledkem je průběh modulu a ztrátového úhlu v závislosti na teplotě nebo na čase pro každou harmonickou složku. Porovnání výsledků obou metod již v průběhu měření dává perfektní možnost rychlé a snadné kontroly správnosti měření. [17]



Obr. 3.9: Přístroj DMA: (A) pec, (B) detail pece při otevření, (C) upnutí vzorku do čelistí

DMA lze použít k určení:

- teploty skelného přechodu, bodu měknutí a tání
- mechanických ztrát v materiálu (charakterizuje jeho tlumicí schopnost)
- tečení metodou creepu (postupná změna rozměrů materiálu při zatížení)
- stupeň krystalizace, míra orientace, bod nesítní
- dlouhodobou teplotní stabilitu (stárnutí materiálu)



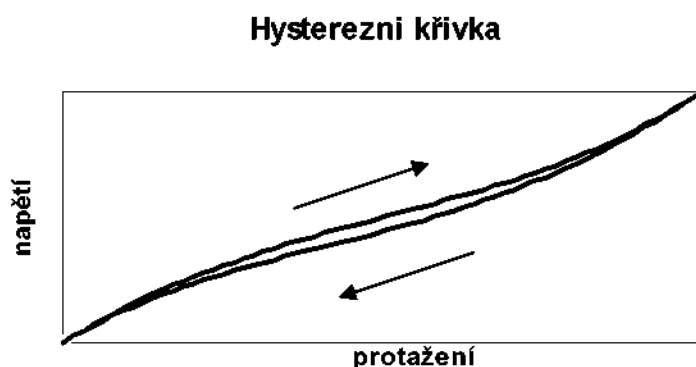
Obr. 3.10: Schéma přístroje DMA DX04T [17]

Základem přístroje jsou dvě vyvážená rovnoběžná ramena, uložená na speciálních čepech, umístěných blízko středu ramen. Čepy jsou vysoce přesné torzní pružiny. Mezi ramena se upíná vzorek, který vytváří rezonanční systém tj. rezonanční frekvence závislá na modulu a geometrii vzorku. Celé zařízení je umístěno v termostatovaném prostředí, což umožňuje jak izotermní měření tak měření při změně teploty, obvykle od 150 °C–500 °C.

Hysterezní křivka

Vlákna jsou schopna ve větší nebo menší míře vracet se po deformaci do původních rozměrů a původního tvaru. Cyklickým zatěžováním a odlehčováním vláken zůstává určitá deformace vláken trvalá. Dalším zatěžováním neprobíhá proces deformace vlákna

stejně a po uvolnění napětí se vlákno nevrací zpět do původního stavu. Dokonale elastické vlákno by se vracelo stejnou cestou do původního stavu a do původních rozměrů. U nedokonale pružných vláken se uvolňuje jen část energie vložené do vlákna při deformaci.



Obr.3.11: Hysterézní křivka [14]

Křivky napětí-tažnost jsou při zatěžování vlákna odlišné od křivek napětí-tažnost při uvolňování napětí a vzniká hysterezní smyčka viz obr. 3.11. Plocha smyčky hystereze udává rozdíl v množství spotřebované a navrácené energie. Čím je plocha smyčky větší, tím více energie zůstává po deformaci ve vzorku. Energie se mění na teplo.[14]

Využití přístroje DMA DX04T v praxi

Vzhledem k tomu, že přístroj umožňuje měřit ve všech standartních deformačních modech (tlak, tah, třibodový ohyb, jednoduchý a dvojitý vetknutý nosník a smyk) je možné jej v textilu využít nejen pro standartní měření vlákenného materiálu při tahovém namáhání, ale je možné zjišťovat také vlastnosti kompozitních materiálů.

Přístroj dává rychlé, přesné a velmi dobře reprodukovatelné výsledky při nenáročnosti přípravy měření a proto je ideální pro nasazení jak ve výzkumu, tak hlavně při kontrole jakosti materiálů.

Postup měření:

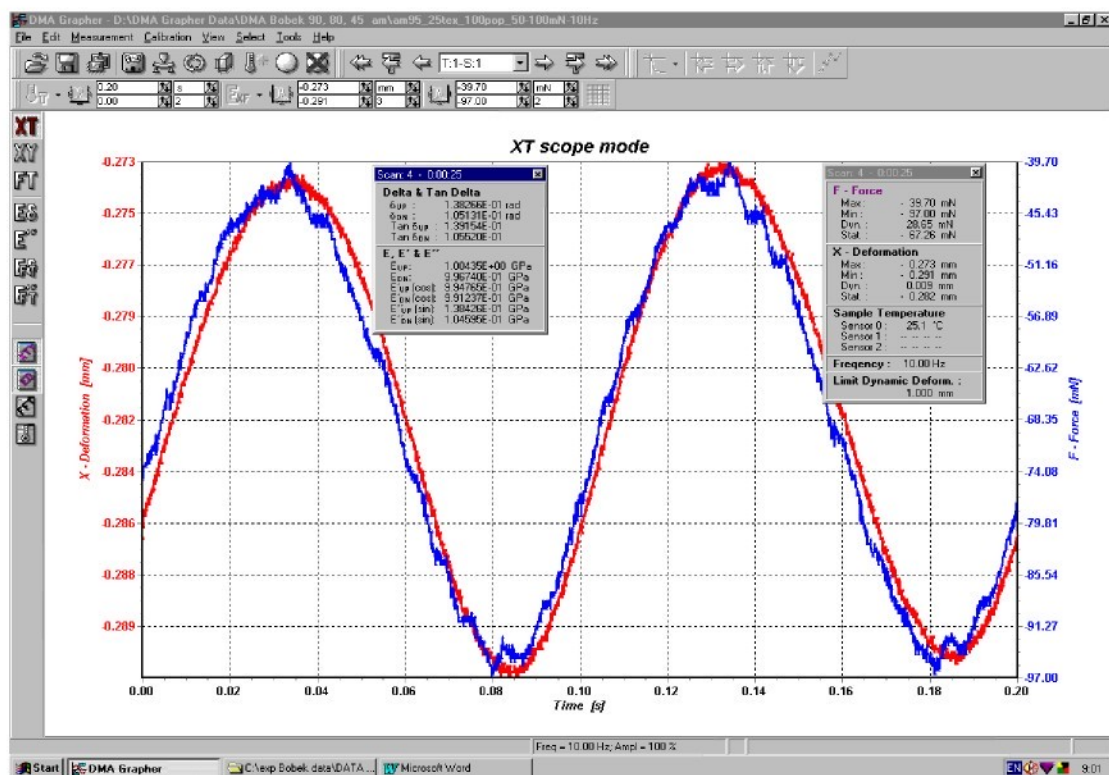
Vzorek byl vlepen do papírového rámečku velikosti 10 x 10 mm a upnut do čelistí. Důležité je prostřížení papírového rámečku, neboť ten slouží pouze ke snadnému založení vzorku do přístroje. Pomocí programu byl vzorek napnut v čelistech a byly nadefinovány vstupní parametry. Vzorek byl měřen za pokojové teploty (cca. 23°C). Po skončení měření se grafy vyhodnotily pomocí programu DMA Grapher.

Tab. 4 Naměřené hodnoty přístroji DMA DX04T při frekvenci zatěžování 1 Hz

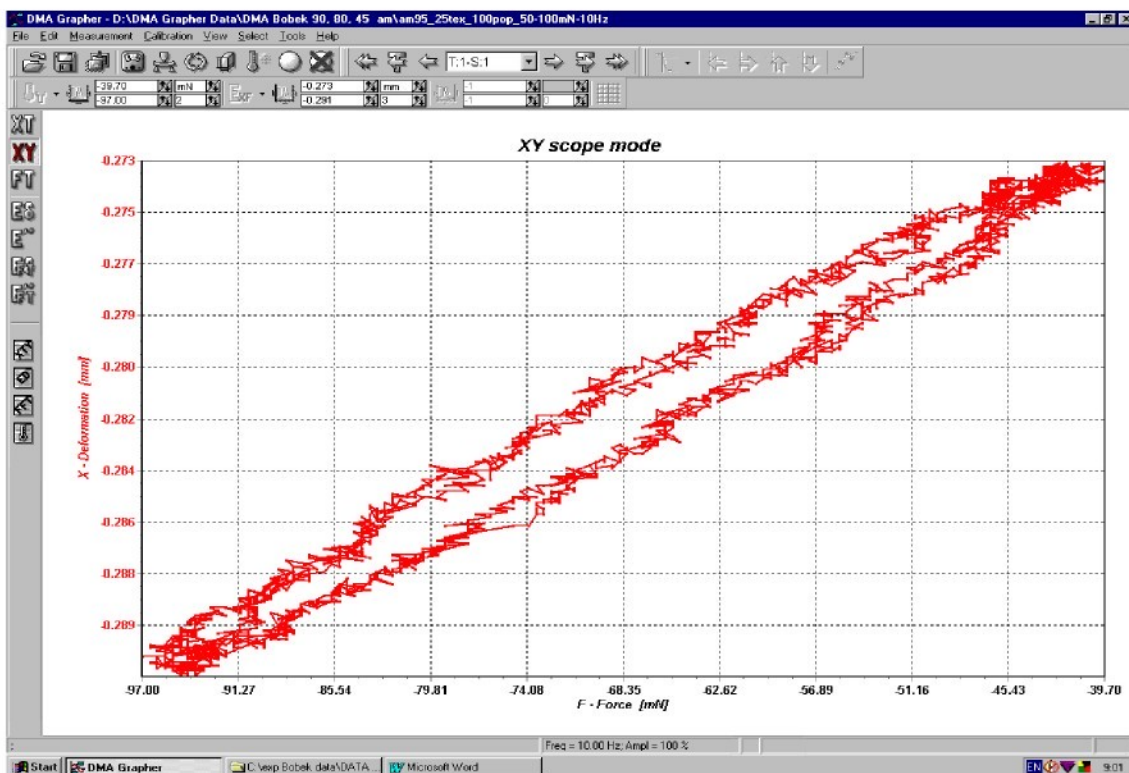
Zákrutový koeficient [$\text{ktex}^{2/3} \text{m}^{-1}$]	$\text{tg}\delta$ [-]	E [Pa]	E' [Pa]	E'' [Pa]
35	6,95E - 02	1,65E + 09	1,65E + 09	1,15E + 08
45	7,01E - 02	1,48E + 09	1,48E + 09	1,03E + 08
65	6,56E - 02	1,13E + 09	1,13E + 09	7,38E + 07
75	7,14E - 02	1,35E + 09	1,35E + 09	9,65E + 07
80	8,45E - 02	1,29E + 09	1,29E + 09	1,09E + 08
95	1,54E - 01	5,47E + 08	5,41E + 08	8,35E + 07

Tab. 5 Naměřené hodnoty přístroji DMA DX04T při frekvenci zatěžování 10 Hz

Zákrutový koeficient [$\text{ktex}^{2/3} \text{m}^{-1}$]	$\text{tg}\delta$ [-]	E [Pa]	E' [Pa]	E'' [Pa]
35	7,34E - 02	1,56E + 09	1,55E + 09	1,14E + 08
45	8,92E - 02	1,27E + 09	1,26E + 09	1,13E + 08
65	1,00E - 01	7,39E + 08	7,35E + 08	7,39E + 07
75	8,16E - 02	1,57E + 09	1,15E + 09	9,38E + 07
80	1,07E - 01	9,73E + 08	9,68E + 08	1,09E + 08
95	1,05E - 01	1,07E + 08	1,06E + 09	1,12E + 08

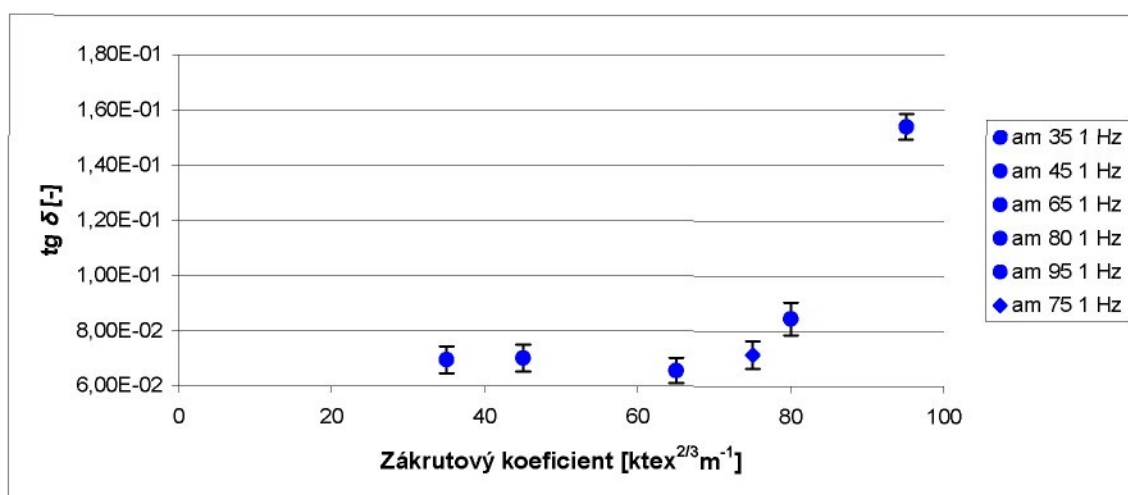
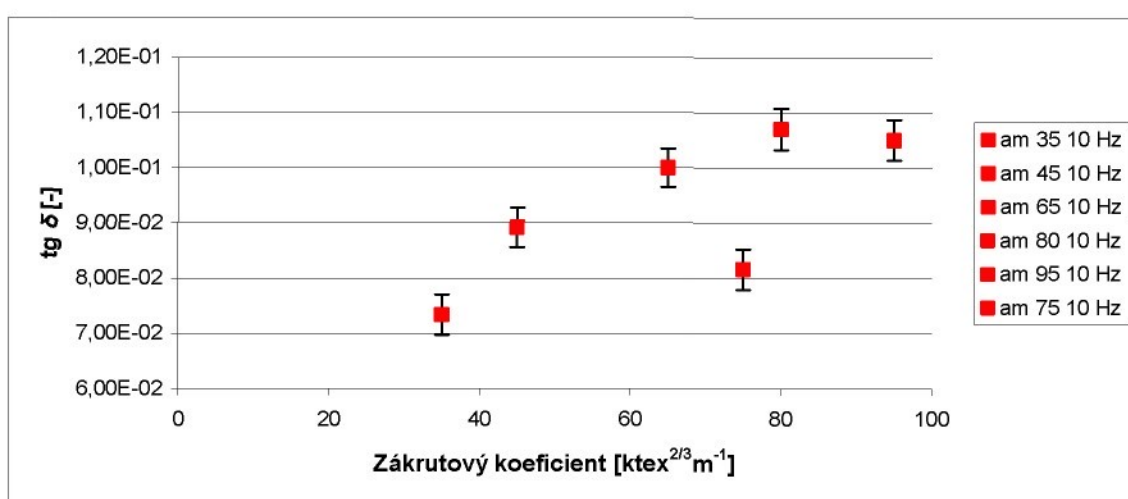
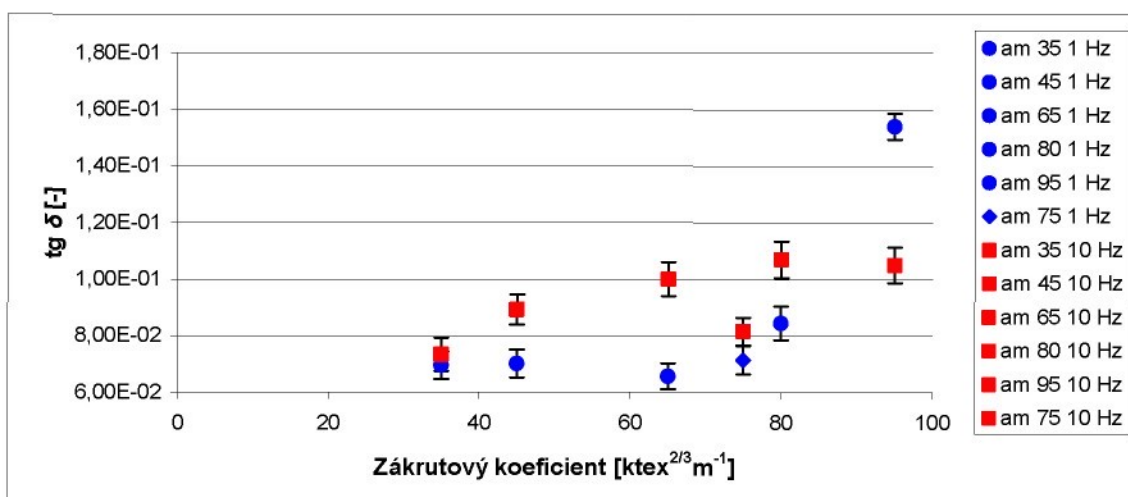


Obr.3.12 Příklad osciloskopického módu ukazuje skutečné průběhy síly a deformace na vzorku pro am95_25tex_100pop_50-100mN-10Hz

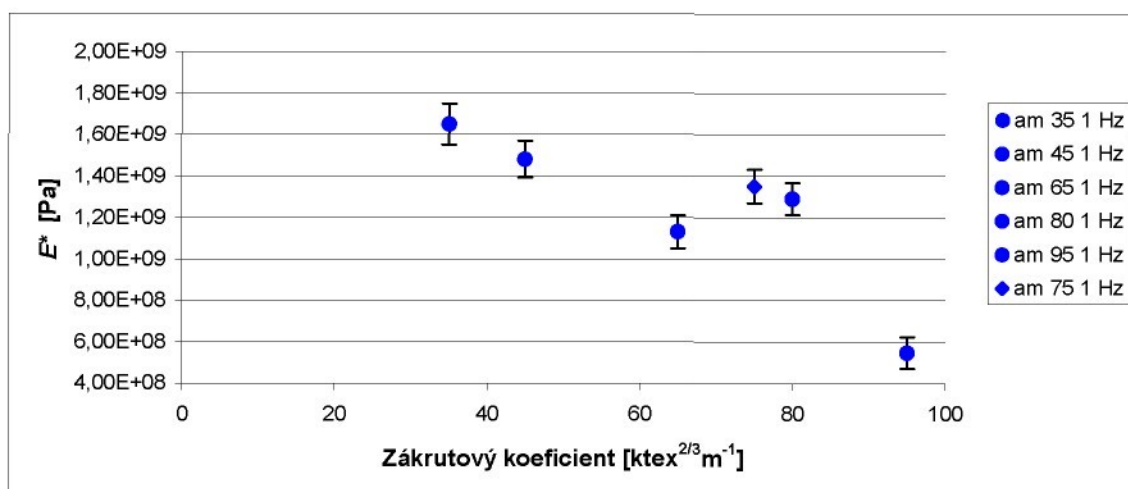


Obr.3.13 Příklad hysterezní smyčky pro am95_25tex_100pop_50-100mN-10Hz

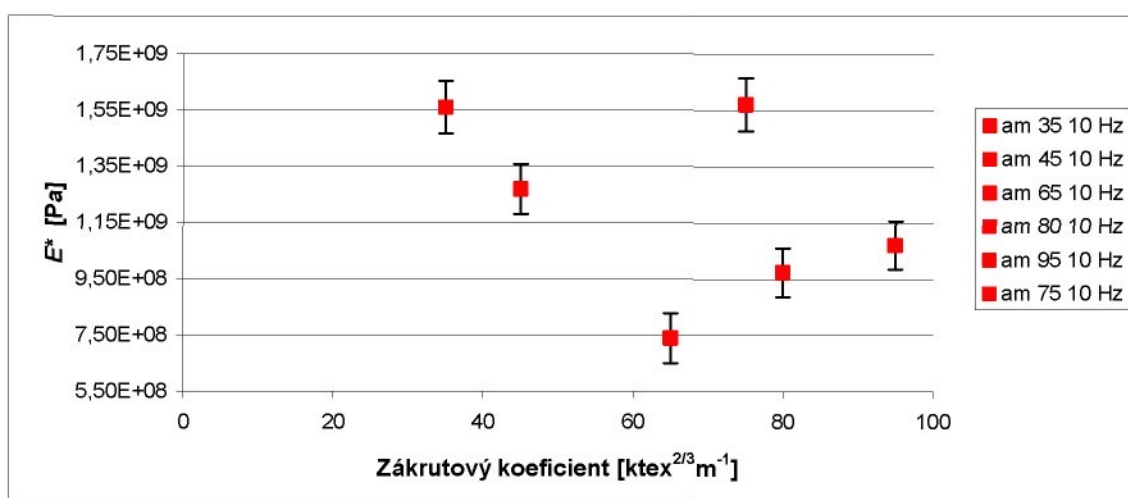
Výsledky jednotlivých měření jsou uvedeny v příloze č. 4.

Obr. 3.14: Graf závislosti $\tan \delta$ na velikosti zákrutového koeficientu, frekvence měření 1 HzObr. 3.15: Graf závislosti $\tan \delta$ na velikosti zákrutového koeficientu, frekvence měření 10 HzObr. 3.16: Graf závislosti $\tan \delta$ na velikosti zákrutového koeficientu, porovnání frekvencí měření 1 a 10 Hz

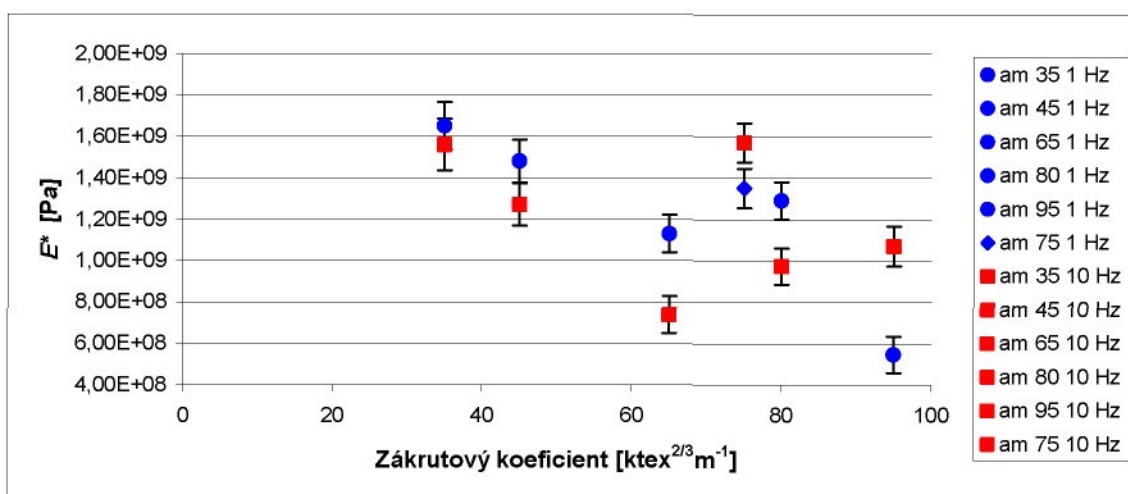
Závislost ztrátového činitele $\tan \delta$ na zákrutovém koeficientu (3.14 až 3.16) je při obou měřených frekvencích (1 a 10 Hz) stoupající. U frekvence 10 Hz není stoupání $\tan \delta$ tak výrazné a okolo zákrutového koeficientu 80 ktex^{2/3} m⁻¹ se ustaluje a nepatrně klesá.



Obr. 3.17: Graf závislosti E^* na velikosti zákrutového koeficientu, frekvence měření 1 Hz

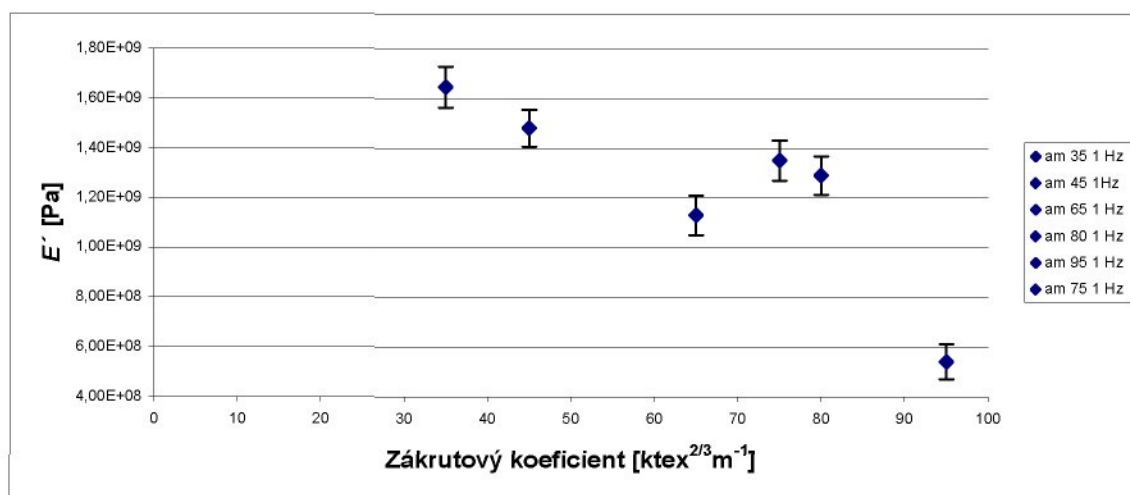


Obr. 3.18: Graf závislosti E^* na velikosti zákrutového koeficientu, frekvence měření 10 Hz

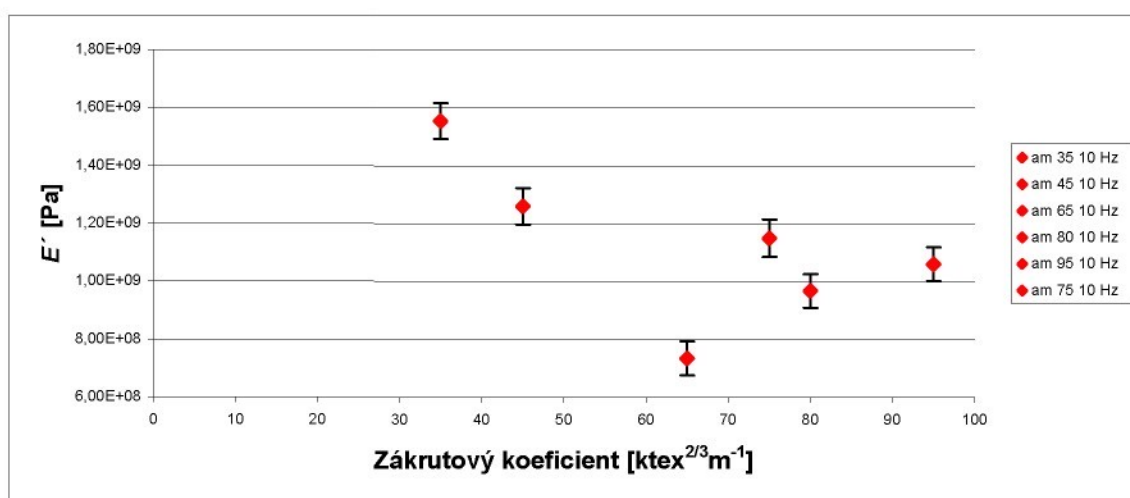


Obr. 3.19: Graf závislosti E^* na velikosti zákrutového koeficientu, porovnání frekvencí měření 1 a 10 Hz

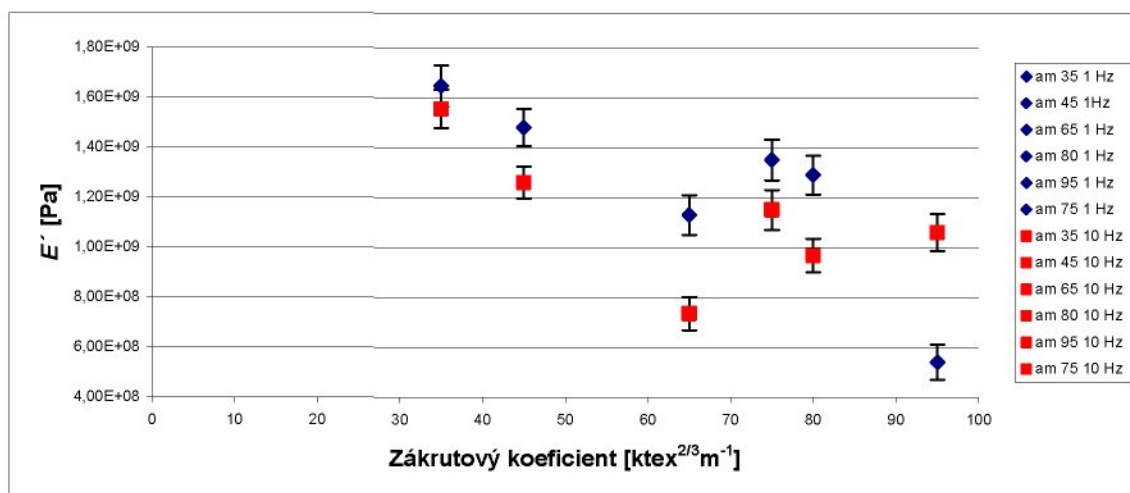
Závislost komplexního modulu pružnosti (obr. 3.17 až 3.19) na zákrutovém koeficientu má při měřené frekvenci 1 Hz lineárně klesající trend. U frekvence 10 Hz je závislost parabolická, kde minimum je u zákrutového koeficientu 65 ktex^{2/3}m⁻¹.



Obr. 3.20: Graf závislosti E' na velikosti zákrutového koeficientu, frekvence měření 1 Hz

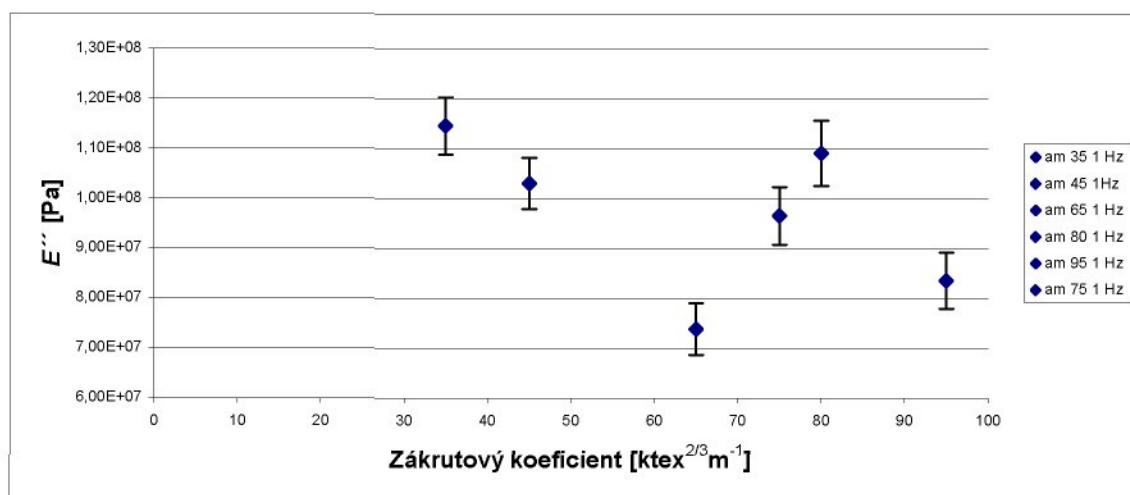
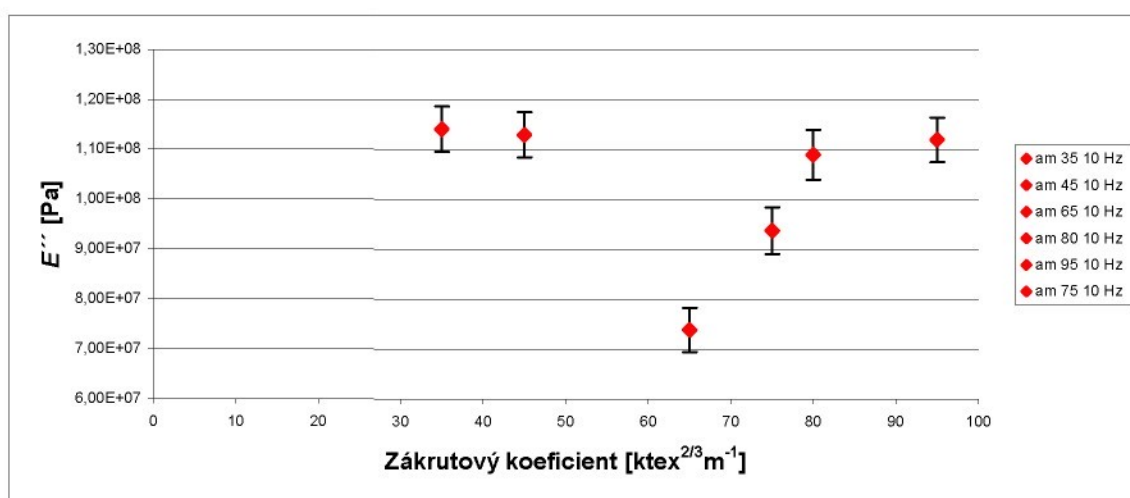
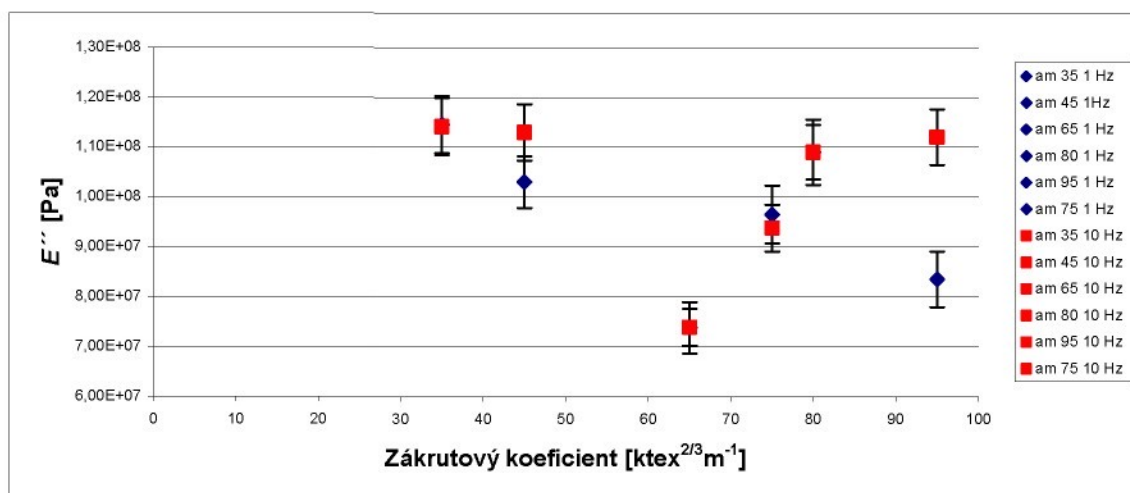


Obr. 3.21: Graf závislosti E' na velikosti zákrutového koeficientu, frekvence měření 10 Hz

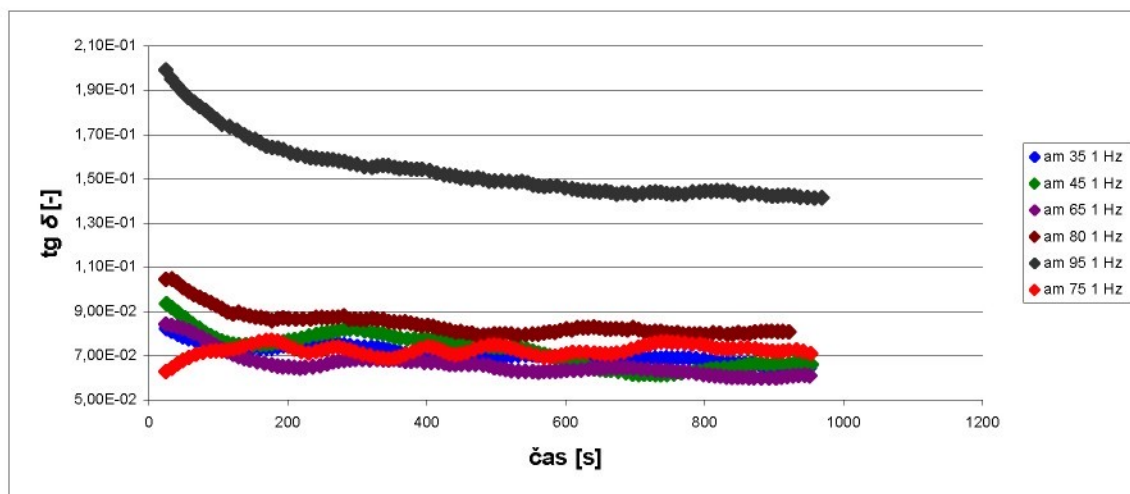


Obr. 3.22: Graf závislosti E' na velikosti zákrutového koeficientu, porovnání frekvencí měření 1 a 10 Hz

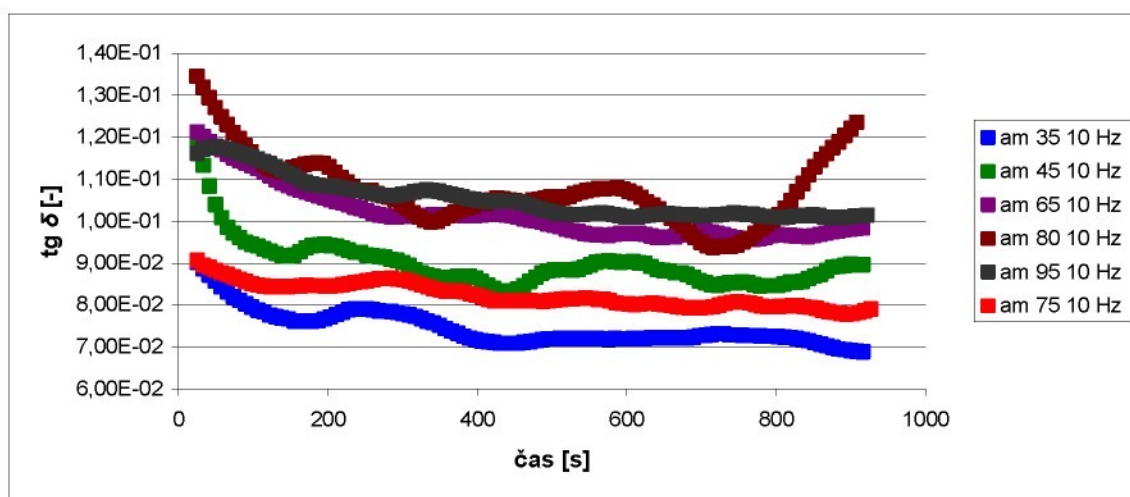
Průběh závislostí reálné složky komplexního modulu pružnosti (obr. 3.20 až 3.22) má stejné trendy jako průběh celkového modulu pružnosti (obr. 3.17 až 3.19).

Obr. 3.23: Graf závislosti E'' na velikosti zákrutového koeficientu, frekvence měření 1 HzObr. 3.24: Graf závislosti E'' na velikosti zákrutového koeficientu, frekvence měření 10 HzObr. 3.25: Graf závislosti E'' na velikosti zákrutového koeficientu, porovnání frekvencí měření 1 a 10 Hz

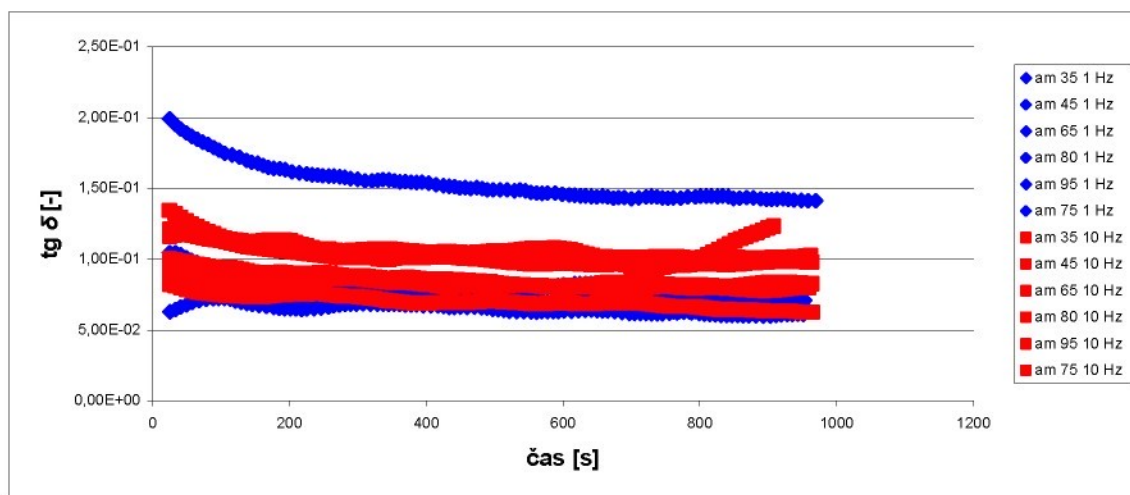
Na obrázcích 3.23 až 3.25 jsou zobrazeny průběhy imaginární složky modulu. Při obou měřených frekvencích byl průběh podobný, tedy parabolický průběh s minimem při zákrutovém koeficientu $65 \text{ ktex}^{2/3} \text{ m}^{-1}$.



Obr. 3.26: Graf závislosti $\text{tg } \delta$ na čase , frekvence měření 1 Hz

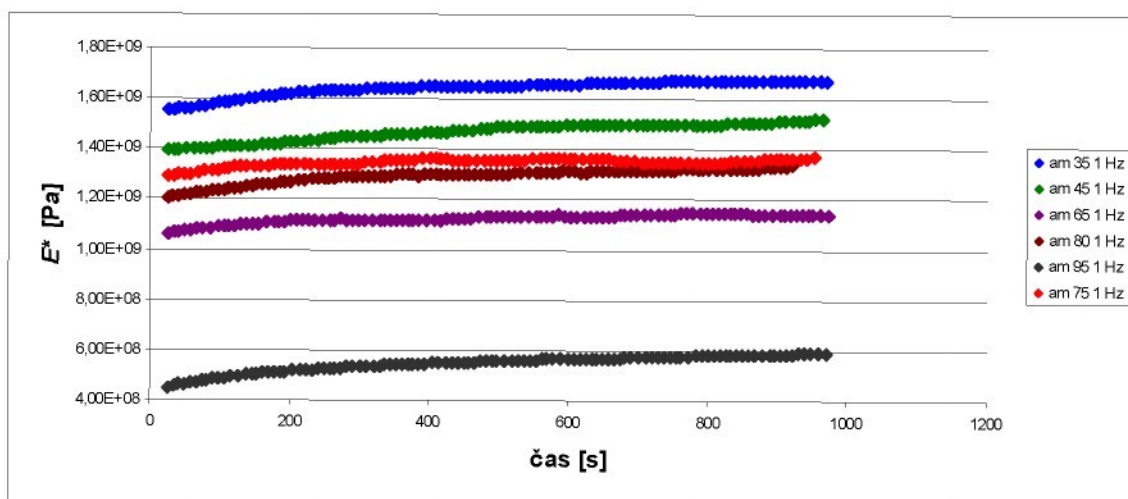
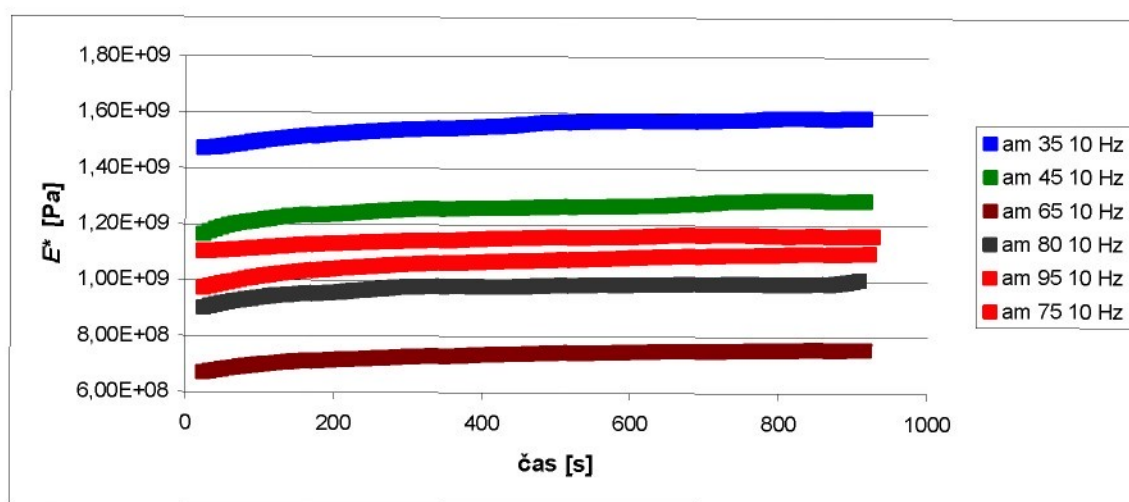
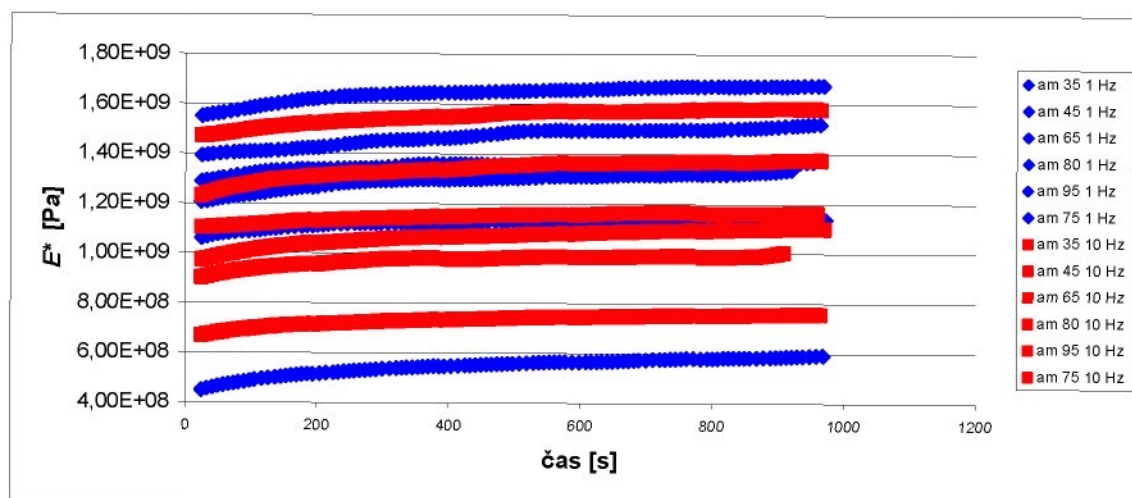


Obr. 3.27: Graf závislosti $\text{tg } \delta$ na čase , frekvence měření 10 Hz

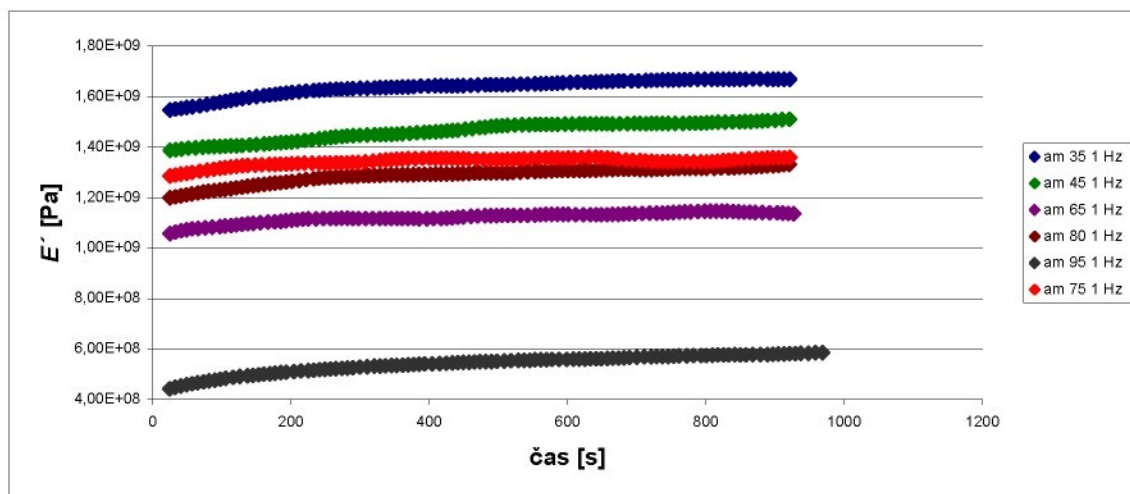


Obr. 3.28: Graf závislosti $\text{tg } \delta$ na čase, porovnání frekvencí měření 1 a 10 Hz

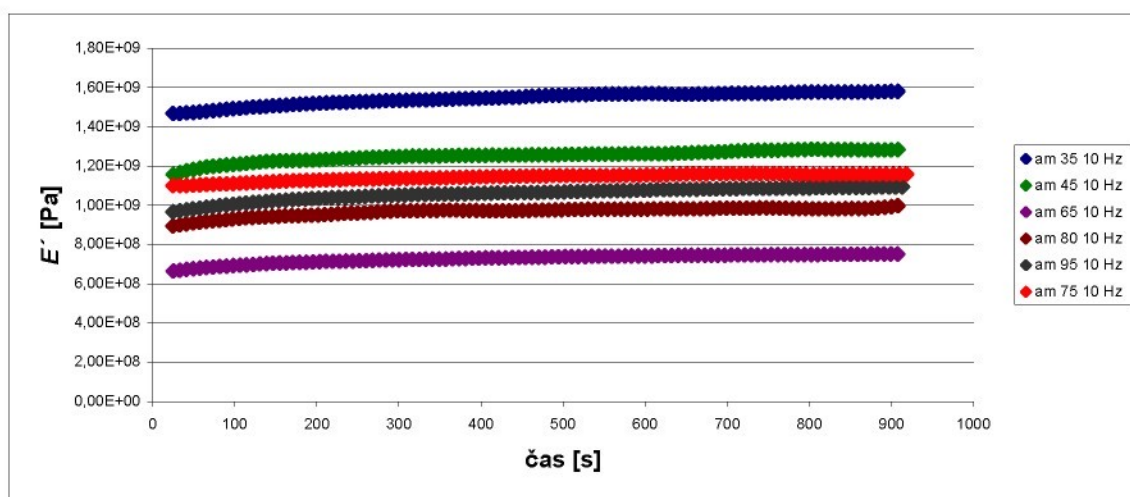
Z časových závislostí průběhu $\text{tg } \delta$ je klesající. Měření při frekvenci 1 Hz má větší rozsah naměřených hodnot, než měření při frekvenci 10 Hz.

Obr. 3.29: Graf závislosti E na čase, frekvence měření 1 HzObr. 3.30: Graf závislosti E na čase, frekvence měření 10 HzObr. 3.31: Graf závislosti E na čase, porovnání frekvencí měření 1 a 10 Hz

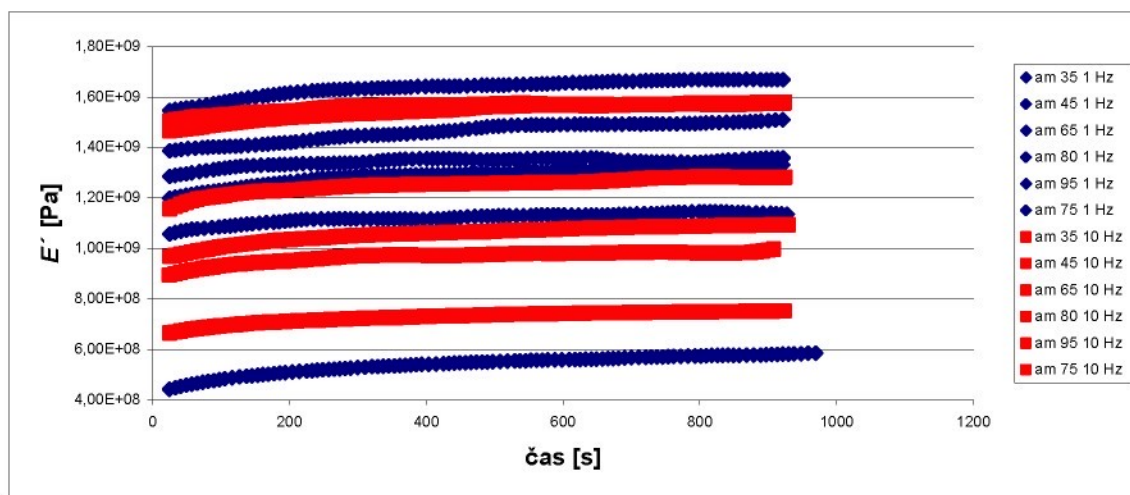
Průběh komplexního modulu pružnosti v závislosti na čase (obr. 3.29 - 3.31) má rostoucí charakter. Opět větší šíři naměřených hodnot má frekvence měření při 1 Hz než měření při frekvenci 10 Hz.



Obr. 3.32: Graf závislosti E' na čase , frekvence měření 1 Hz

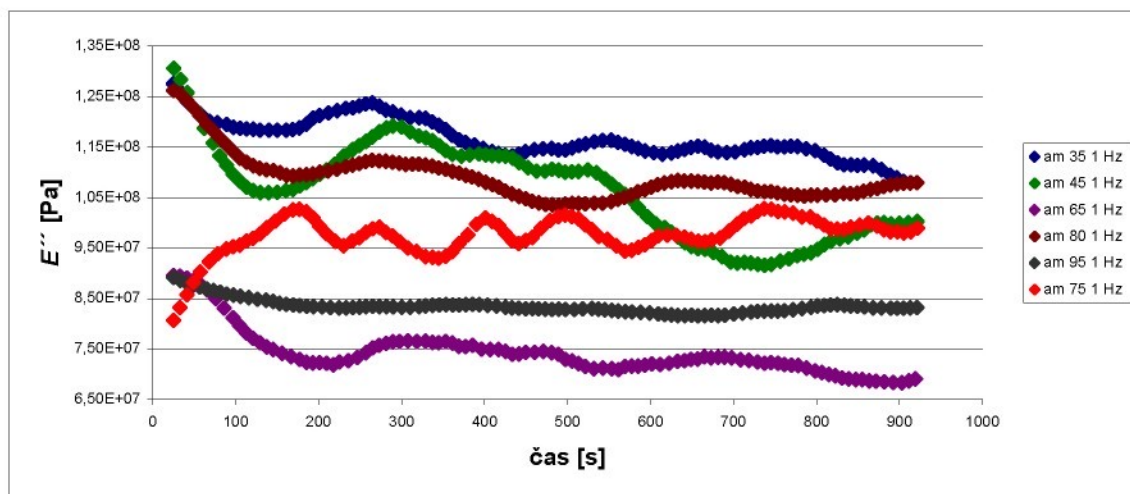


Obr. 3.33: Graf závislosti E' na čase , frekvence měření 10 Hz

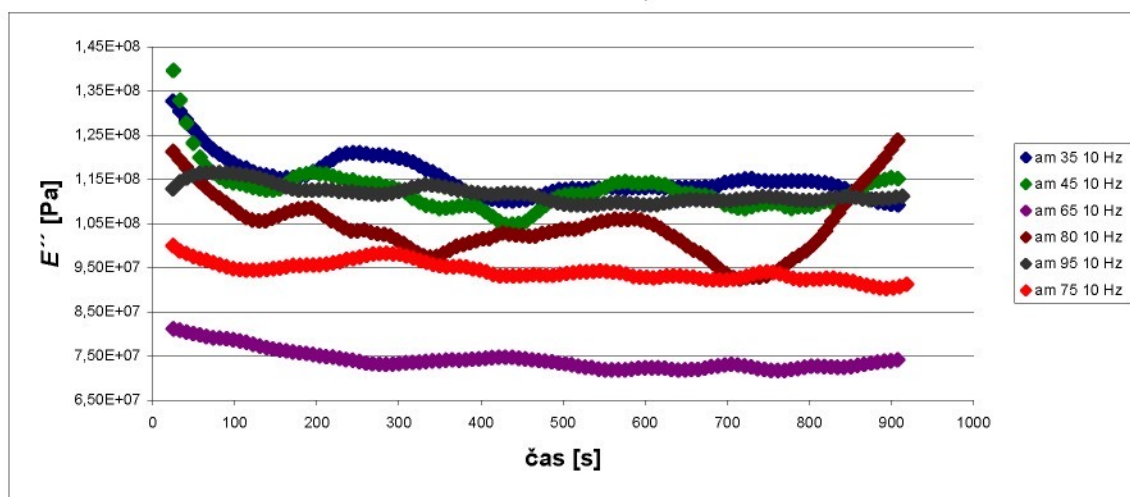


Obr. 3.34: Graf závislosti E' na čase, porovnání frekvencí měření 1 a 10 Hz

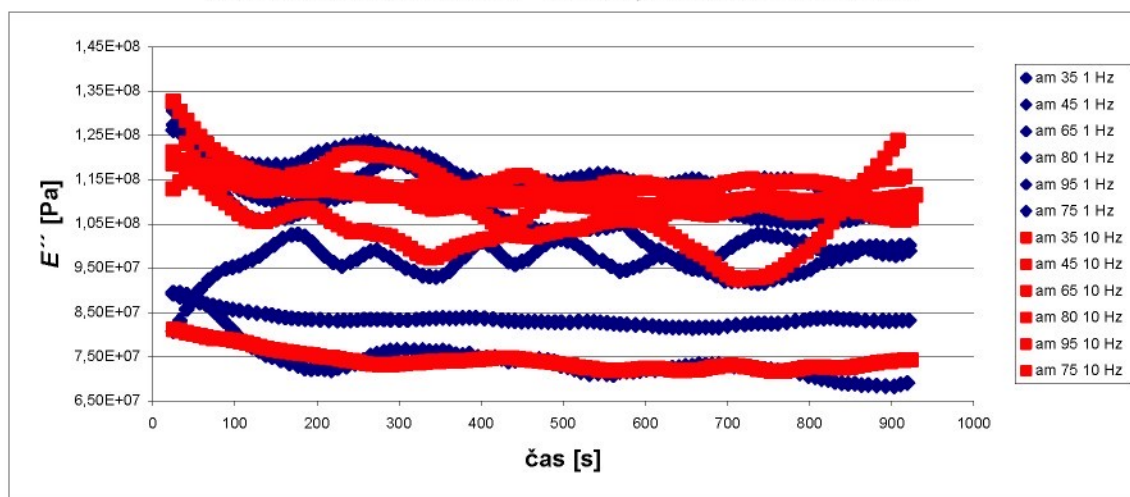
Průběhy reálné složky modulu pružnosti (obr. 3.32 – 3.34) jsou srovnatelné s průběhy komplexního modulu pružnosti.



Obr. 3.35: Graf závislosti E'' na čase , frekvence měření 1 Hz



Obr. 3.36: Graf závislosti E'' na čase , frekvence měření 10 Hz



Obr. 3.37: Graf závislosti E'' na čase, porovnání frekvencí měření 1 a 10 Hz

Na obr. 3.35 – 3.37 zobrazuje průběh imaginární složky modulu pružnosti (tedy plastických deformací měřené příze) v časové závislosti je značně kolísavý, toto může být způsobeno rozdíly v průřezu příze a její nestejnoměrností.

4. ZÁVĚR

Zpracování a použití syntetických vláken závisí na jejich vlastnostech. Tyto vlastnosti jsou ovlivněny strukturou a způsobem výroby. Při úpravě syntetických vláken dochází k jejich namáhání. Cílem této práce bylo prozkoumat změny dynamických modulů u PP struktur za působení frekvenčního napětí. V teoretické části jsou proto podrobně popsány mechanické vlastnosti PP struktur. K experimentu byla použita 100% polypropylenová kompaktní česaná příze o jemnosti 25 tex obsahující vlákna-dloužená, nefixovaná ve formě staplu o délce 50 mm a jemnosti 2,2 dtex.

Sledované příze byly testovány na trhačím přístroji INSTRON 4411, kde byla zjištěna pevnost a modul pružnosti v tahu. Následně pomocí přístroje Vibroskop 400 byla změřena jemnost PP vláken a na přístroji Vibrodyn 400 byla změřena pevnost a tažnost. Naměřené hodnoty pevnosti a modulu pružnosti jsou nutné k nastavení přístroje DMA DX04T. Na kterém byly sledovány změny dynamických modulů a ztrátový činitel u PP struktur. Dynamické moduly a ztrátový činitel byly měřeny u přízi s vybranými zákrutovými koeficienty, při frekvencích zatěžování 1 a 10 Hz a při napětí 50-100 mN, které bylo stanoveno z naměřených dat trhačího přístroje INSTRON 4411. Při těchto podmínkách byla měřena také jednotlivá vlákna a svazky vláken bez zákrutu. Tato měření však nebylo možné vyhodnotit, neboť v rozsahu použitého měřicího napětí vykazovala chybu měření. Důvodem bylo měřicí napětí v rozsahu, které vlákno nebo svazek vláken, nevydržely a nebo došlo k dodloužení vláken a deformace byla mimo deformační limit přístroje, kdy dochází k automatickému ukončení měření.

Po shrnutí získaných výsledků lze konstatovat několik závěrů:

- s růstem času měření dochází k poklesu ztrátového činitele $\text{tg} \delta$ a růstu komplexního modulu pružnosti E^*
- zákrut ovlivní ztrátový činitel $\text{tg} \delta$, komplexní modul pružnosti E^*
- díky mezivlákněmu tření závisí ztrátový činitel $\text{tg} \delta$ na frekvenci
- úroveň zatížení použita během testu je rozhodující pro mezivlákně tření z důvodu různé konfigurace vláken

Pro další zkoumání by se jako zajímavá oblast mohlo jevit zkoumání dynamických modulů a ztrátových činitelů při více frekvencích při vybraném zákrutovém koeficientu a měření vláken a svazku vláken při vyhovujícím napětí. Další zajímavou možností by bylo porovnání výsledků dynamicko-mechanické analýzy se zaplněním příze při daném zákrutovém koeficientu.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Militký, J. *Textilní vlákna*. 1. vyd. Liberec 2002. ISBN 80-7083-644-X.
- [2] Neckář, B. *Příze: Tvorba, struktura, vlastnosti*. 1. vyd. SNTL Praha 1990. SBN 80-03-00213-3.
- [3] Křemenáková, D. *Modelování, geometrie a pevnosti bavlněných přízí*. Habilitační práce, Technická univerzita v Liberci. Liberec 2005.
- [4] Košková, B.: *Struktura a vlastnosti vláken*. TUL, V Liberci 1989
- [5] Piller, B., Levinský, O. *Malá encyklopedie textilních materiálů*. 2. vyd. Praha 1982.
- [6] Pajgrt, O., Reichstädter, B., Ševčík, F. a kolektiv. *Polypropylenová vlákna*. 1. vyd. SNTL Praha 1977. 04-826-77.
- [7] Blažej, A., Šutá, Š.: *Vlastnosti textilních vláken*. ALFA, Bratislava 1982
- [8] Lepil, O.: *Malý lexikon Fyziky*. Prometheus s.r.o., Praha 1995
- [9] www.fch.vutbr.cz/home/prikryl/praktikaeto/uloha6.doc
- [9] Makatura, M. *Pevnost bavlněných přízí*. Diplomová práce. Technická univerzita v Liberci. Liberec 2006.
- [10] Ursiny, P. *Předení I*. 1. vyd. Liberec 2001. ISBN 80-7083-481-1
- [11] www.ft.vslib.cz/depart/ktm/files/20060106/VlastnostiVlaken-prednaska11.pdf
- [12] www.ft.tul.cz/depart/ktt/index.htm
- [13] www.lenzing-instrument.com/support/pobraly/vn400.pdf
- [14] www.ft.vslib.cz/depart/ktm/files/20060106/prednaska7.pdf
- [15] Norma ČSN EN ISO 2062 (80 0700) *Zjišťování pevnosti v tahu a tažnosti jednotlivých nití*.
- [16] Norma normy ČSN EN ISO 5079: *Textilie. Vlákna Zjišťování pevnosti a tažnosti jednotlivých vláken při přetrhu*.
- [17] *Manuál přístroje DMA DX04T*

SEZNAM PŘÍLOH

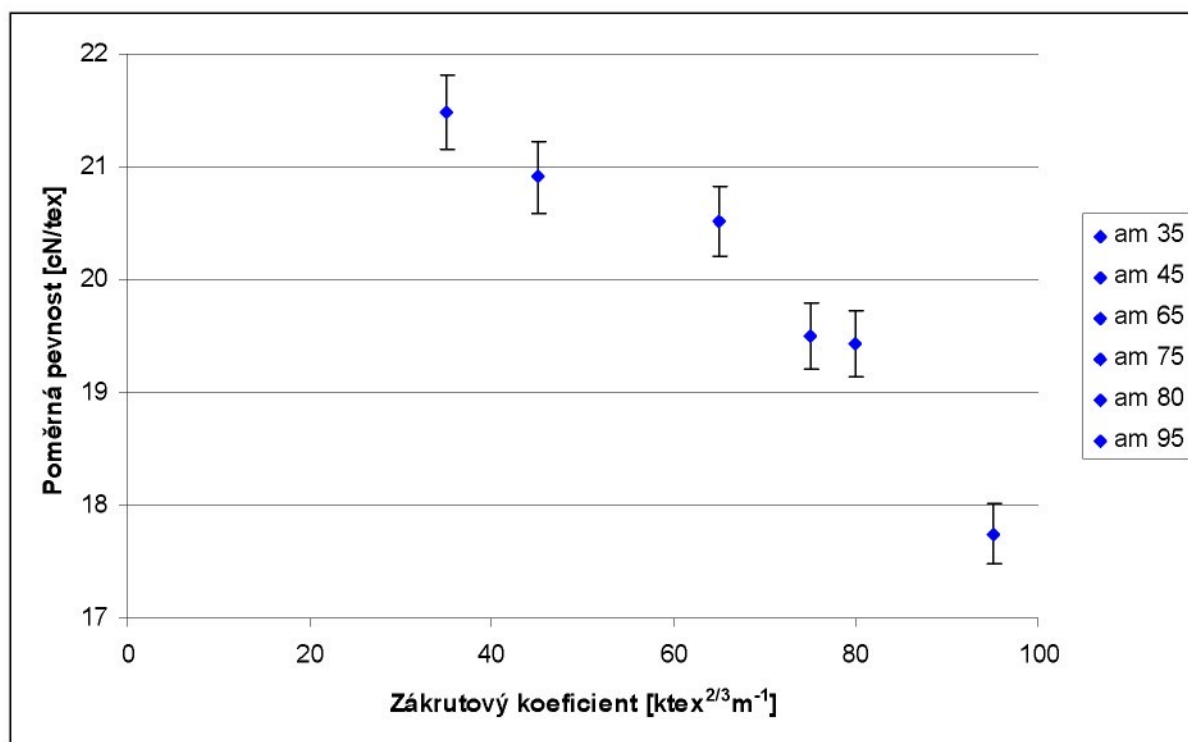
Příloha č. 1 – vyhodnocené hodnoty PP přízi na trhačím přístroji INSTRON 4411

Příloha.č. 2 – vyhodnocené hodnoty PP vláken na Vibrodynu, Vibroskopu a jejich
tahové křivky

Příloha č. 3 – Technické parametry DMA DX04T

Příloha č. 4 – ukázky křivek modulů jednotlivých měření na DMA DX04T

Příloha č. 1 vyhodnocené hodnoty PP přízí na trhacím přístroji INSTRON 4411 pro příze s určitými zákrutovými koeficienty



Obr.1: Graf závislosti poměrné pevnosti na zákrutovém koeficientu

Na obrázku 1 je zřetelné, že se zvyšujícím se zákrutem poměrná pevnost příze klesá.

Tab. 6 Naměřené hodnoty na trhacím přístroji INSTRON 4411

Zákrutový koeficient [ktex ^{2/3} m ⁻¹]	α [m ⁻¹]	Maximální síla [N]	Poměrná pevnost [cN/tex]	Maximální protažení [mm]	Modul pružnosti [N/tex]
35	409	5,378	21,485	114,358	1,399
45	526	5,125	20,907	118,683	1,335
65	760	5,031	20,523	130,341	1,192
75	877	4,876	19,504	133,297	1,089
80	936	4,859	19,438	141,719	1,018
95	1111	4,436	17,743	155,392	0,824

Příloha č. 2 vyhodnocené hodnoty polyesterových vláken na Vibroskopu a Vibrodynu a jejich tahové křivky

Vibroskop / Vibrodyn

Serial number : 1460 / 1455

Measurenumber : 552



18.3.2009 09:55:15

Sample ID : POP vvlákno

Operator : Bobek

Ballen ID :

Nominal Titer : 1,7 dtex

Product : PP vlákno

Stapel length : 20 mm

Type :

Gauge length : 10 mm

Articel :

Test speed : 10 mm/min

Material :

Tension weight : 150 mg

Comment :

No.	Titer dtex	Force cN	Elong. %	Ten. cN/tex	Ten/ 10% cN/tex	YM 1% cN/tex	YM 1% cN/dtex	YM 1% g/den
1	2,51	7,93	108,20	31,59	12,65	193,01	19,30	21,86
2	1,86	5,68	106,70	30,54	15,32	277,78	27,78	31,46
3	2,63	6,81	54,30	25,89	9,83	170,15	17,02	19,27
4	2,07	6,27	112,20	30,29	15,46	206,52	20,65	23,39
5	1,82	6,00	52,20	32,97	17,31	257,14	25,71	29,12
6	1,79	5,19	32,50	28,99	18,47	270,95	27,09	30,69
7	2,61	7,56	82,60	28,97	16,65	200,77	20,08	22,74
8	2,40	7,41	116,60	30,87	15,87	241,67	24,17	27,37
9	2,41	6,58	115,40	27,30	13,92	244,81	24,48	27,73
10	1,80	5,41	50,20	30,06	16,75	276,39	27,64	31,30
11	1,87	5,65	96,90	30,21	14,65	300,53	30,05	34,04
12	2,23	6,47	95,30	29,01	15,07	224,22	22,42	25,40
13	2,31	7,01	106,70	30,35	16,08	262,52	26,25	29,73
14	1,92	5,17	58,00	26,93	15,05	260,42	26,04	29,50
15	2,49	7,24	44,50	29,08	14,86	223,56	22,36	25,32
16	3,10	9,32	55,70	30,06	15,55	188,71	18,87	21,37
17	2,35	6,59	124,60	28,04	14,66	220,43	22,04	24,97
18	1,76	5,23	83,10	29,72	16,11	297,35	29,73	33,68
19	2,12	6,56	79,10	30,94	15,57	227,99	22,80	25,82
20	2,04	6,44	50,80	31,57	11,13	196,52	19,65	22,26
21	2,53	7,45	41,20	29,45	15,69	260,08	26,01	29,46
22	2,07	5,78	94,60	27,92	14,47	246,38	24,64	27,91
23	2,11	6,85	56,50	32,46	16,45	290,05	29,00	32,85
24	2,41	7,26	119,70	30,12	16,10	252,28	25,23	28,57
25	1,66	4,85	34,20	29,22	17,08	287,15	28,71	32,52
26	3,27	8,66	122,70	26,48	13,69	195,72	19,57	22,17
27	2,33	6,89	91,90	28,57	13,05	248,93	24,89	28,19
28	2,23	6,27	64,00	28,12	13,37	231,39	23,14	26,21
29	2,45	7,24	41,70	29,55	15,67	229,39	22,94	25,98
30	1,91	5,18	72,00	27,12	14,58	268,06	26,81	30,36
31	1,31	4,11	48,20	31,37	17,60	348,09	34,81	39,43
32	2,01	5,88	48,50	29,25	13,31	218,91	21,89	24,79
33	2,86	7,63	37,00	26,68	14,98	218,88	21,89	24,79
34	2,39	6,55	93,30	27,41	13,47	211,72	21,17	23,98
35	2,59	6,95	68,00	26,83	13,32	192,66	19,27	21,82
36	1,46	4,21	33,00	28,84	18,56	260,27	26,03	29,48
37	2,93	8,32	56,70	28,40	14,08	188,40	18,84	21,34

Vibroskop / Vibrodyn

Serial number : 1460 / 1455

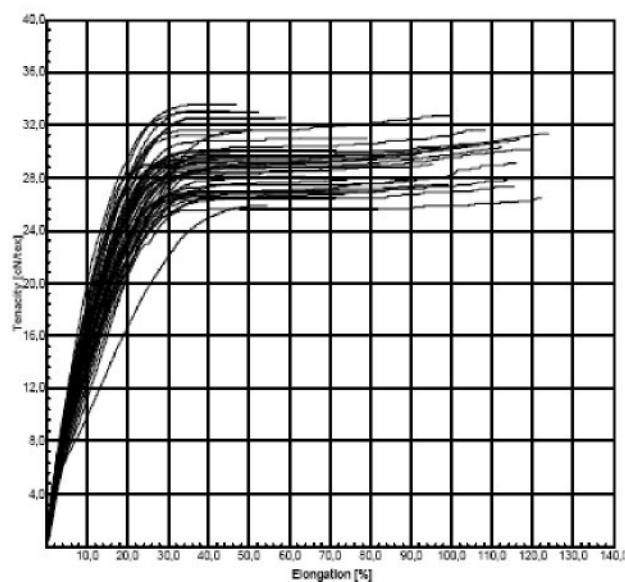
Measurenumber: :552



18.3.2009 09:55:15

No.	Titer dtex	Force cN	Elong. %	Ten. cN/tex	Ten/ 10% cN/tex	YM 1% cN/tex	YM 1% cN/dtex	YM 1% g/den
38	1,81	5,35	48,80	29,56	16,44	277,35	27,73	31,41
39	1,97	5,78	63,70	29,24	13,17	218,27	21,83	24,72
40	2,30	7,60	45,20	33,04	19,93	266,96	26,70	30,24
41	2,21	6,44	115,90	29,14	14,48	215,69	21,57	24,43
42	1,81	6,07	46,80	33,54	18,09	268,40	26,84	32,66
43	1,65	5,36	59,00	32,48	16,52	271,00	27,10	30,69
44	2,51	6,99	74,10	27,85	12,41	189,64	18,96	21,48
45	3,64	9,78	76,80	26,87	11,85	134,62	13,46	15,25
46	1,94	6,35	100,10	32,73	18,30	300,52	30,05	34,04
47	1,92	5,78	25,20	30,10	17,16	276,04	27,60	31,27
48	2,38	6,55	99,30	27,52	13,95	214,29	21,43	24,27
49	2,68	8,40	124,00	31,34	18,51	250,00	25,00	28,32
50	1,89	5,37	25,00	28,41	16,56	292,18	29,22	33,09
Average :	2,23	6,53	73,05	29,48	15,28	241,70	24,17	27,37
Std.dev. :	0,45	1,19	30,11	1,89	2,06	41,08	4,11	4,65
CV% :	20,39	18,30	41,21	6,42	13,47	17,00	16,99	17,00
Maximum :	3,64	9,78	124,60	33,54	19,93	348,09	34,81	39,43
Minimum :	1,31	4,11	25,00	25,89	9,83	134,62	13,46	15,25
Span width :	2,33	5,67	99,60	7,65	10,10	213,47	21,35	24,18
Confid- :	2,10	6,18	64,37	28,93	14,68	229,84	22,98	26,03
Intervall :	2,36	6,87	81,74	30,03	15,87	253,55	25,35	28,72

T / E Line



Vibroskop / Vibrodyn

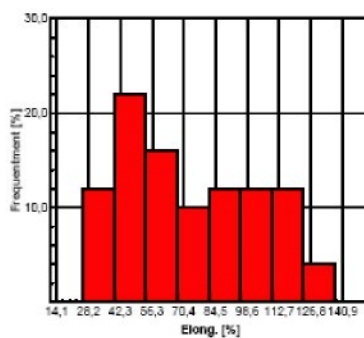
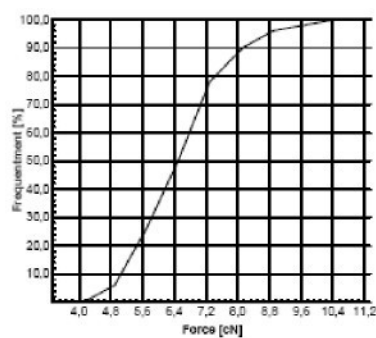
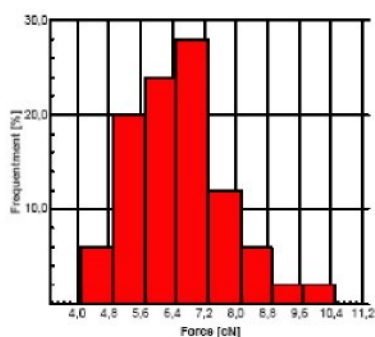
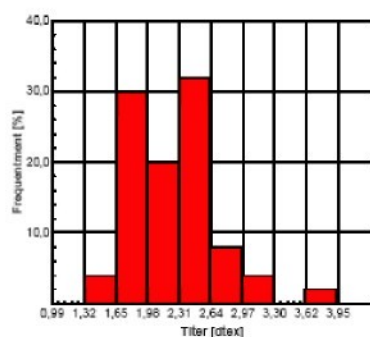
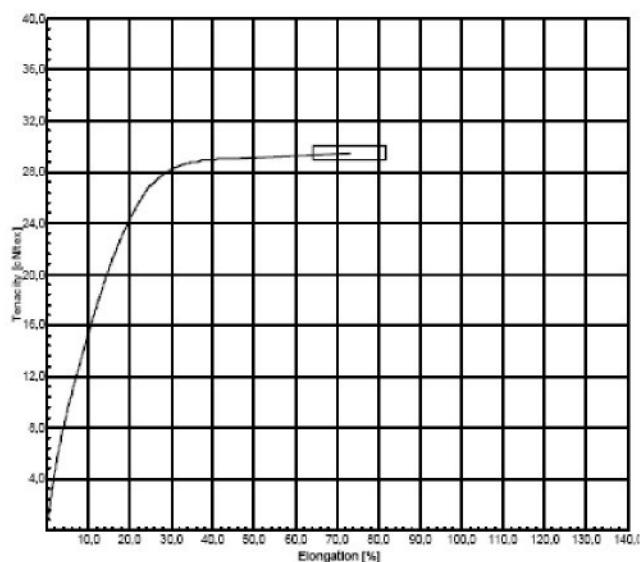
Serial number : 1460 / 1455

Measurenumber: :552



18.3.2009 09:55:15

Mean T / E Line



Příloha č. 3 Technické parametry DMA DX04T

Měřicí módy :

- předběžná zkouška (jedna frekvence, jedna amplituda síly, bez teplotního programu)
- teplotní snímání (jedna frekvence, jedna amplituda síly, teplotní program)
- frekvenční snímání (více frekvencí, jedna amplituda síly, teplotní program)
- deformační snímání (jedna frekvence, více amplitud síly, teplotní program)

Deformační módy :

- tlak, tah, třibodový ohyb, jednoduše vetknutý nosník, dvojité vetknutý nosník, smyk

Způsoby vkládání síly na vzorek :

- měření s konstantní silou a nastavitelným limitem pro deformaci
- měření s konstantní deformací a nastavitelným limitem pro sílu

Generátor síly ve vzorku :

- digitální generátor s 16 bitovým rozlišením (65536 x 65536 bodů)
- průběhy síly: sinus, trojúhelník, obdélník, rostoucí pila, klesající pila, MultiSineWave
- frekvenční rozsah : 0.0001, 0.0002, 0.0005, 0.001, 0.002, 0.005, 0.01, 0.02, 0.05, 0.1, 0.2, 0.5, 1, 2, 5, 10, 20, 50, 100 Hz
- celková nepřesnost frekvence < 0.01%
- celkové harmonické zkreslení sinusového průběhu < 0.01%

Měření síly :

- skutečné měření síly s použitím speciálního velmi citlivého tenzometru
- celkový rozsah od -10 N do +10 N
- rozlišení 0.0004 N (samostatný rychlý vzorkovací obvod)
- nepřesnost měření síly < 0.25%
- časové rozlišení volitelné od 1024 do 8192 bodů pro jednu periodu síly

Měření deformace :

- senzor HLDS s vynikající přesností, linearitou a stabilitou (harmonické zkreslení <0.1%)
- celkový rozsah deformace od -2 do +2 mm
- rozlišení 0.00007 mm (samostatný rychlý vzorkovací obvod)
- nepřesnost měření deformace <0.1%
- časové rozlišení volitelné od 1024 do 8192 bodů pro jednu periodu deformace

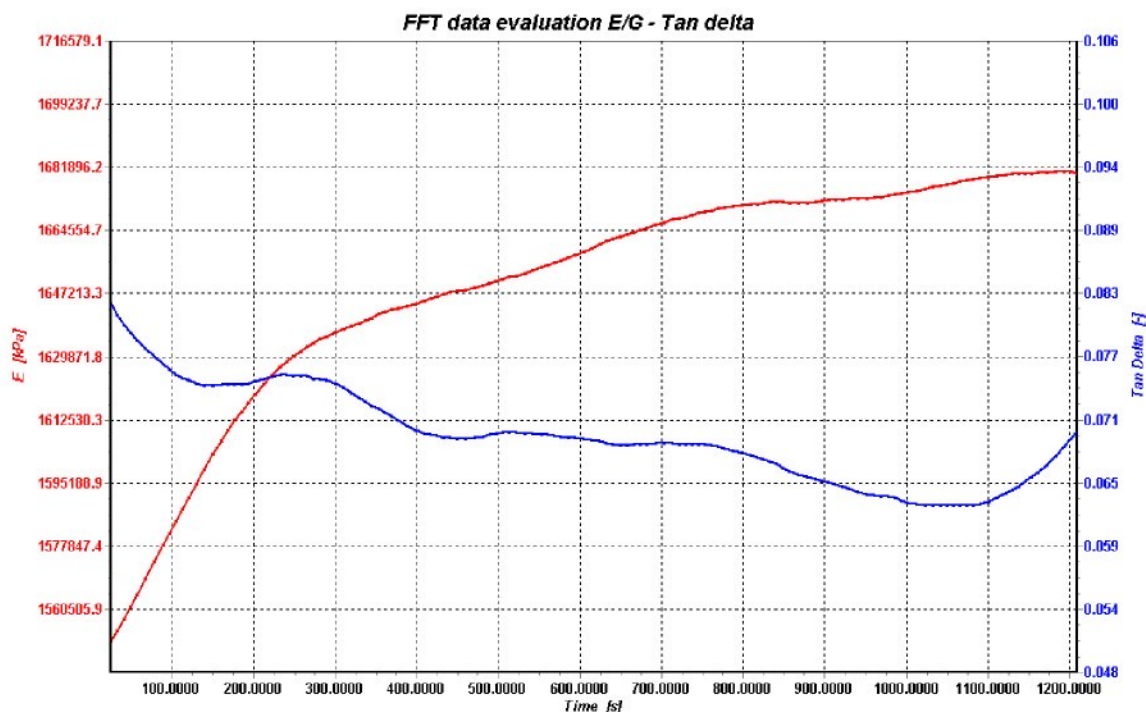
Modul a ztrátový úhel:

- digitalizace celé hysterezní křivky s následným výpočtem
- ztrátového úhlu (δ) a činitele ztrát ($\text{tg}(\delta)$) přímo z průběhu síly a deformace
- modulu (E nebo G) přímo z průběhu síly a deformace
- reálné složky modulu (E' nebo G') přímo z průběhu síly a deformace
- imaginární složky modulu (E'' nebo G'') přímo z průběhu síly a deformace
- FFT spektrální analýzy pro 25 harmonických
- ztrátového úhlu (δ) a činitele ztrát ($\text{tg}(\delta)$) pomocí FFT pro 25 harmonických
- modulu (E nebo G) pomocí FFT pro 25 harmonických
- reálné složky modulu (E' nebo G') pomocí FFT pro 25 harmonických
- imaginární složky modulu (E'' nebo G'') pomocí FFT pro 25 harmonických
- rozsah modulu od 100 Pa do 1000 GPa (dle deformačního modu)
- rozlišení činitele ztrát ($\text{tg}(\delta)$) : 0.0001
- rozsah činitele ztrát ($\text{tg}(\delta)$) : od 0.001 do 1000

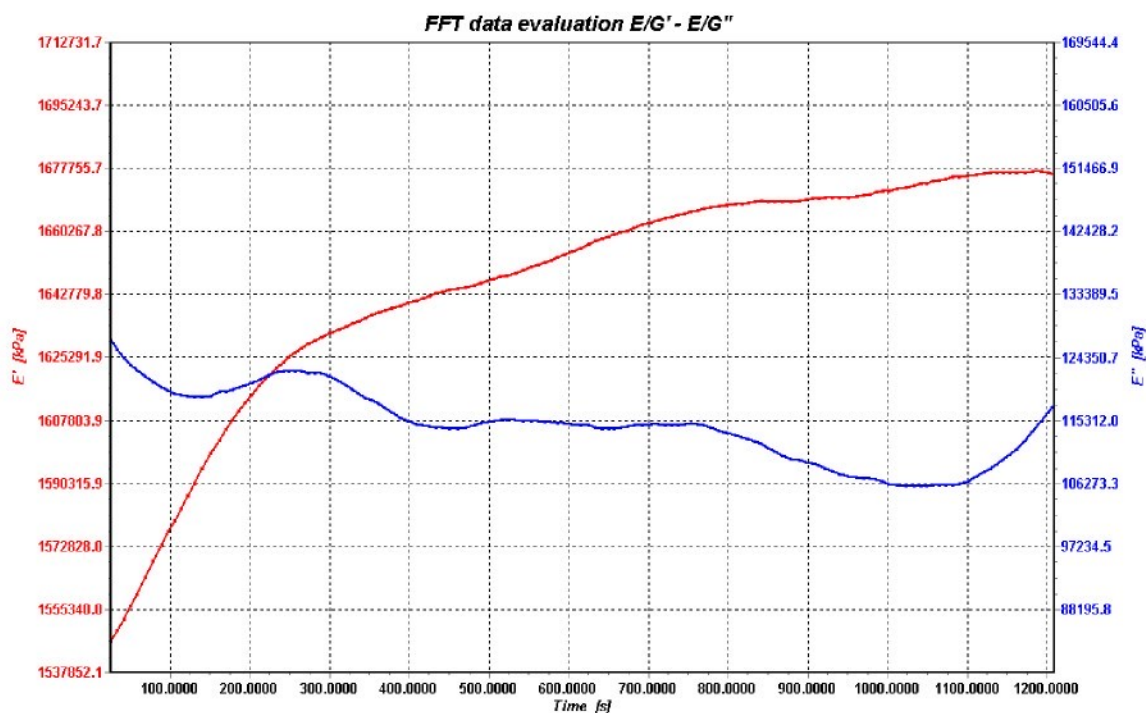
Řízení teploty :

- teplotní rozsah od -120°C do +500°C
- rychlost ohřevu od 0.1 do 25 °C/min (překmit maximálně 2.5 °C pro 25 °C/min)
- rychlost chlazení od 0.1 až do 10 °C/min
- délka izotermie od 0 do 525 600 min (365 dní)
- nepřesnost měření teploty <0.5 °C
- nepřesnost regulace teploty <0.2 °C
- stabilita regulace teploty <0.2 °C
- neomezený počet programových segmentů
- funkce Auto Fill k automatickému generování měření v teplotních schodech
- jeden segment sdružuje lineární ohřev (nebo chlazení) a izotermu
- v každém segmentu samostatně volitelné ukládání dat při ohřevu (chlazení) a izotermě
- modifikace teplotního programu během experimentu
- horkovzdušná pec s dynamickou atmosférou (ventilátor v peci zajišťuje proudění plynu)
- automatické chladicí příslušenství (vypařování kapalného dusíku)
- tři termočlánky pro měření rozložení teploty podél vzorku

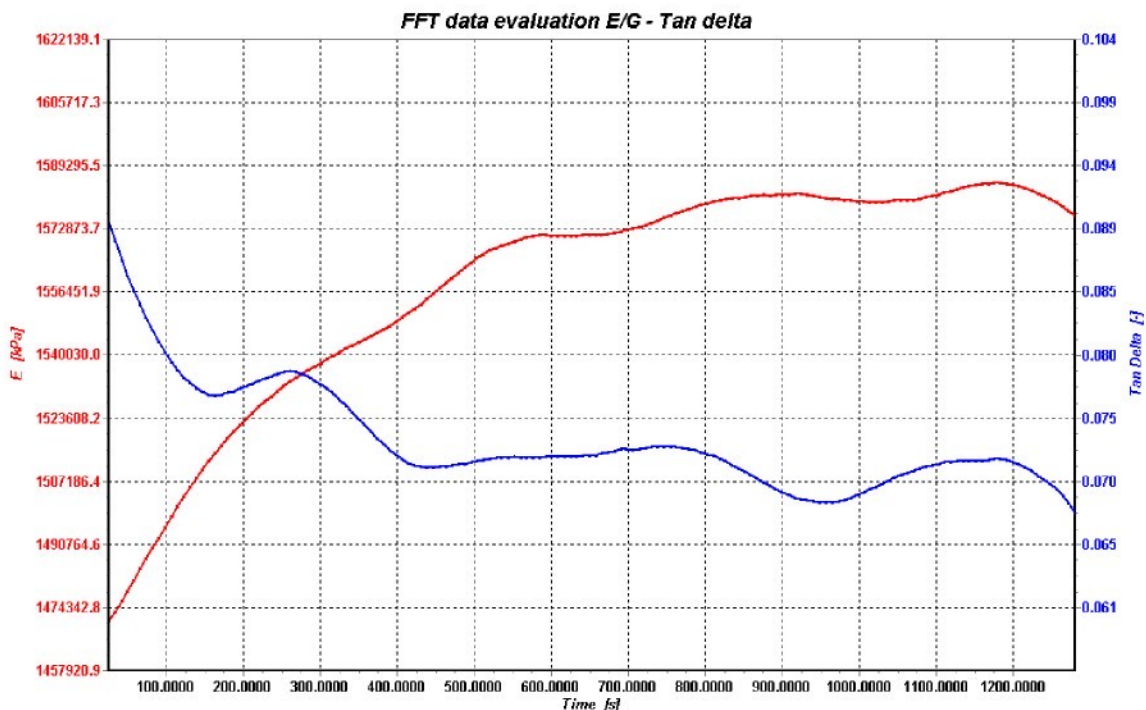
Příloha č. 4 ukázky křivek modulů jednotlivých měření na DMA DX04T



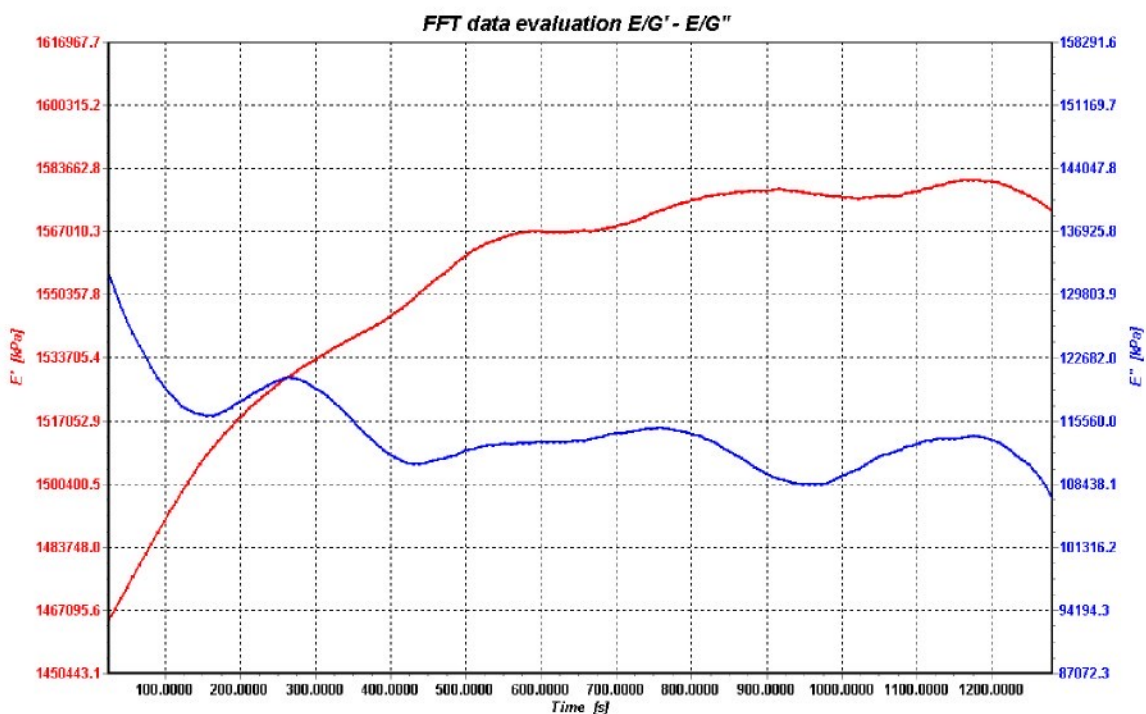
Obr.2 Graf vlivu frekvence na komplexní modul pružnosti E^* a ztrátový činitel $\tan \delta$ pro am 35_25 tex_100 %PP 50-100 mN 1 Hz



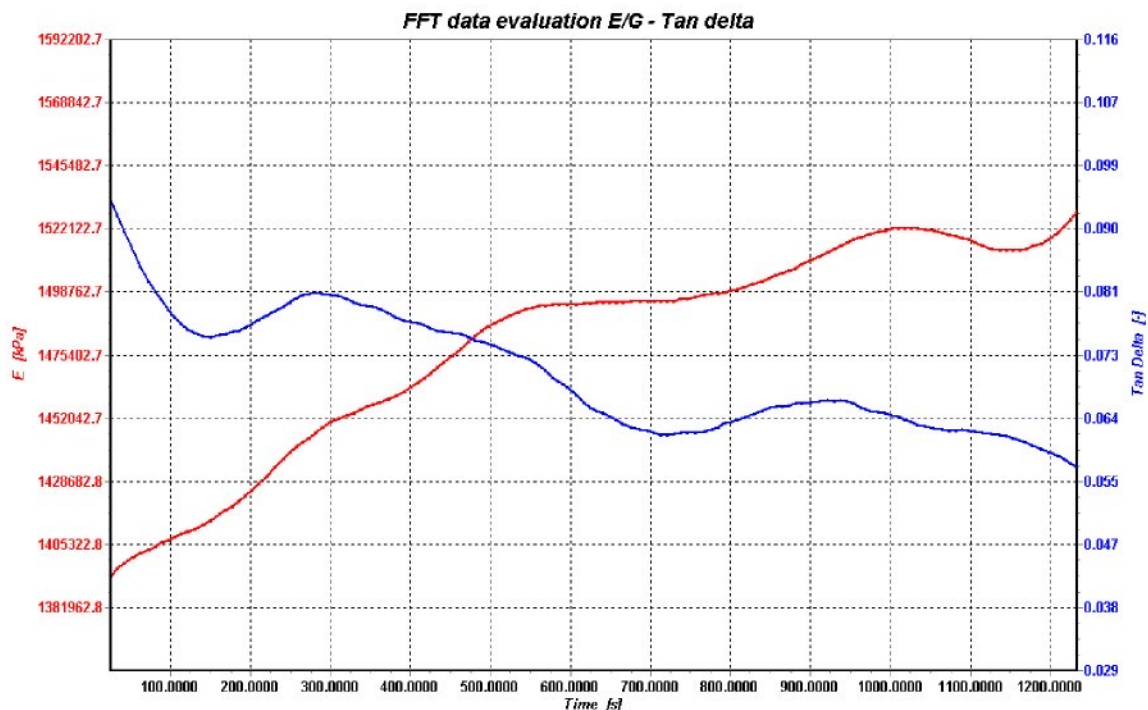
Obr.3 Graf vlivu frekvence na reálnou E' a imaginární E'' složku modulu pružnosti pro am 35_25 tex_100 %PP 50-100 mN 1 Hz



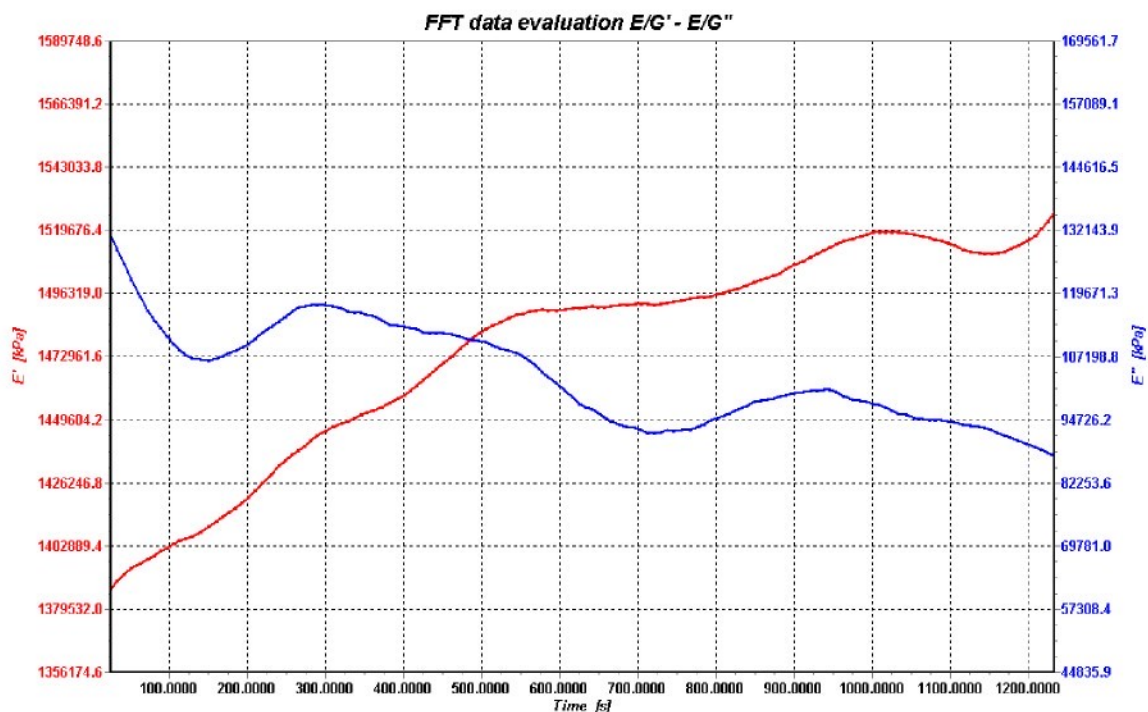
Obr.4 Graf vlivu frekvence na komplexní modul pružnosti E^* a ztrátový činitel $\tan \delta$ pro
am 35_25 tex_100 %PP 50-100 mN 10 Hz



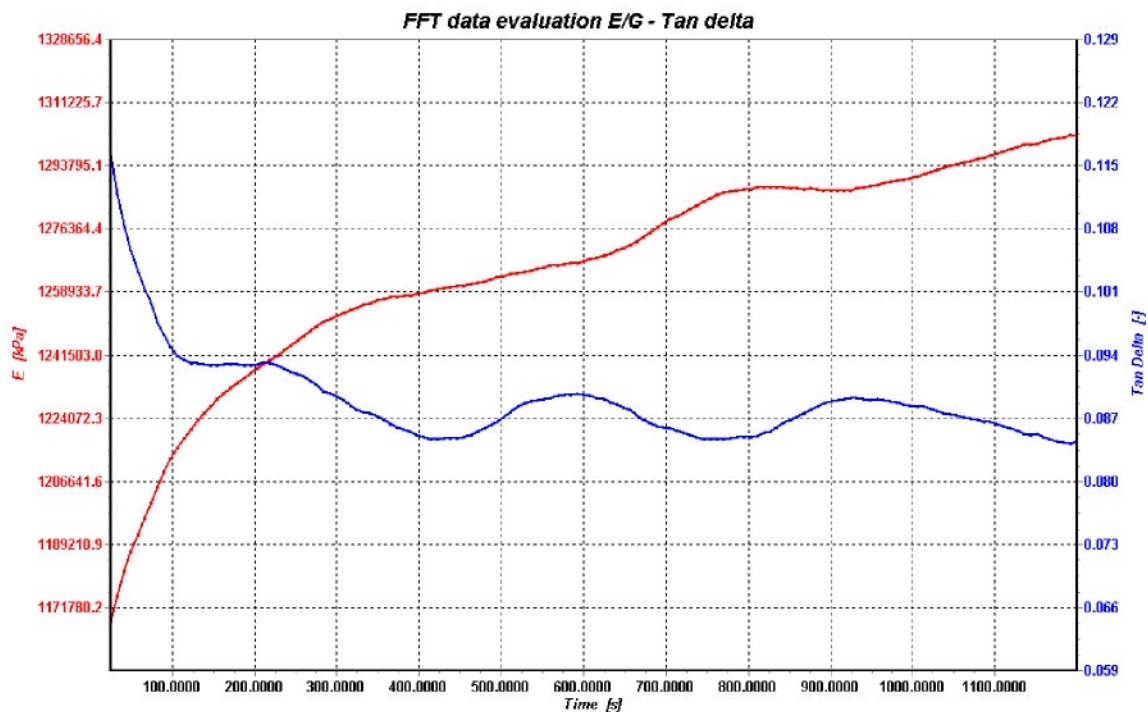
Obr.5 Graf vlivu frekvence na reálnou E' a imaginární E'' složku modulu pružnosti pro
am 35_25 tex_100 %PP 50-100 mN 10 Hz



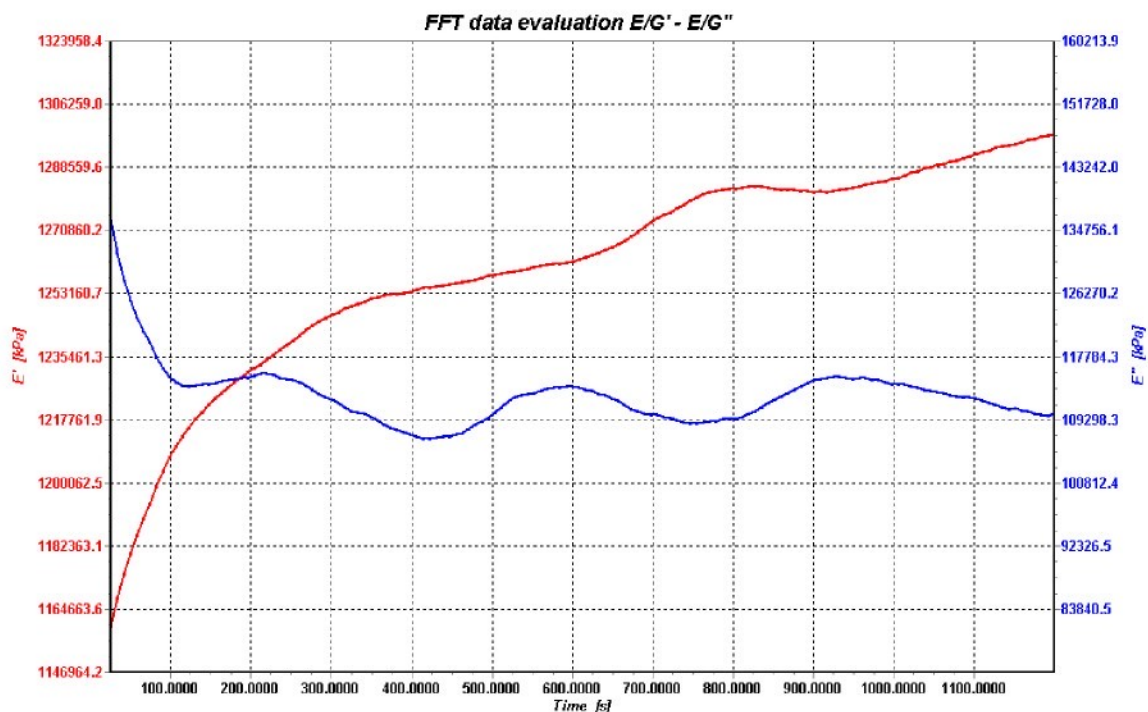
Obr.6 Graf vlivu frekvence na komplexní modul pružnosti E a ztrátový činitel $\tan \delta$ pro am 45_25 tex_100 %PP 50-100 mN 1 Hz



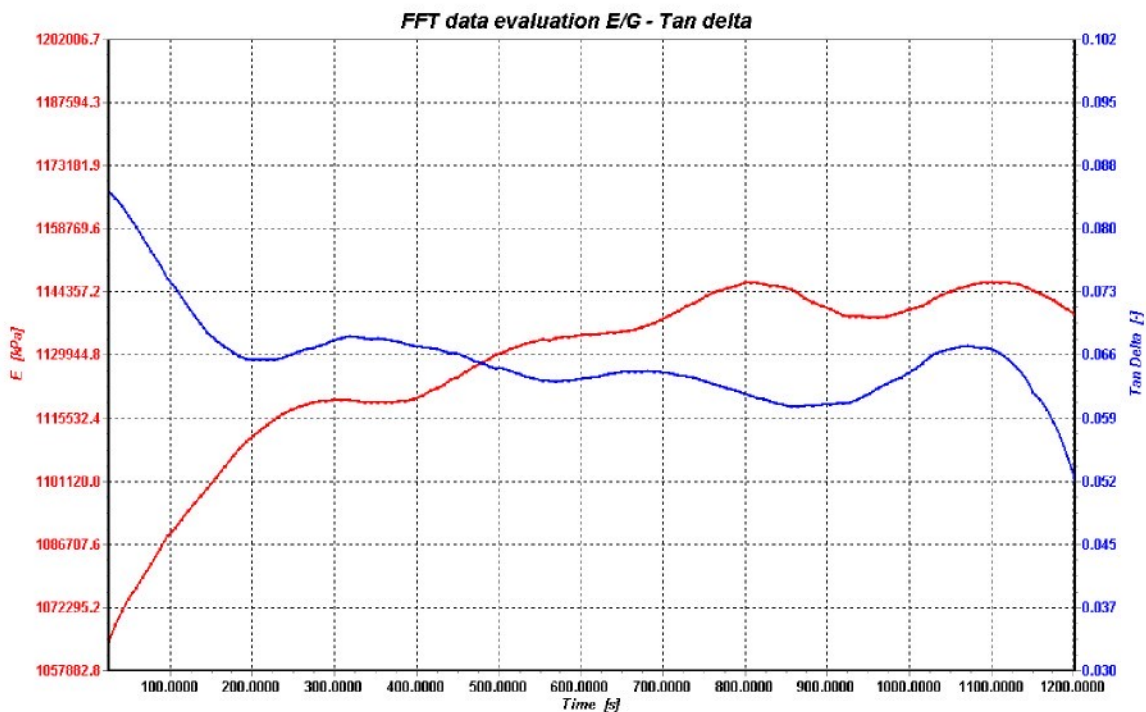
Obr.7 Graf vlivu frekvence na reálnou E' a imaginární E'' složku modulu pružnosti pro am 45_25 tex_100 %PP 50-100 mN 1 Hz



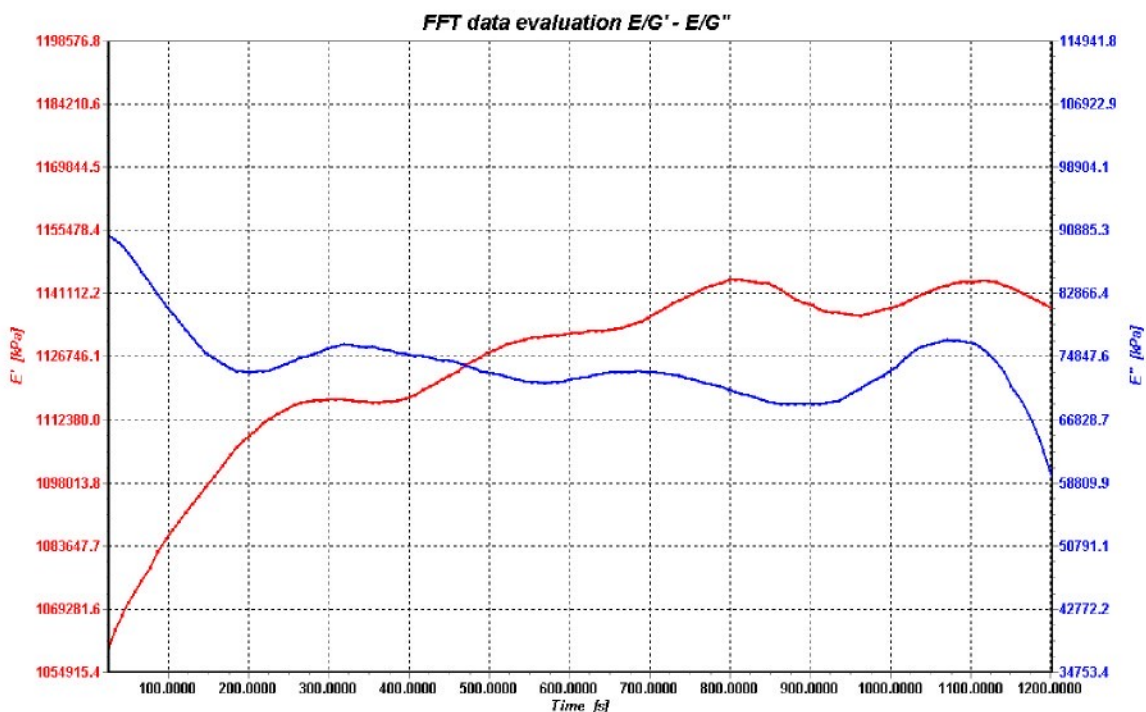
Obr.8 Graf vlivu frekvence na komplexní modul pružnosti E^* a ztrátový činitel $\tan \delta$ pro am 45_25 tex_100 %PP 50-100 mN 10 Hz



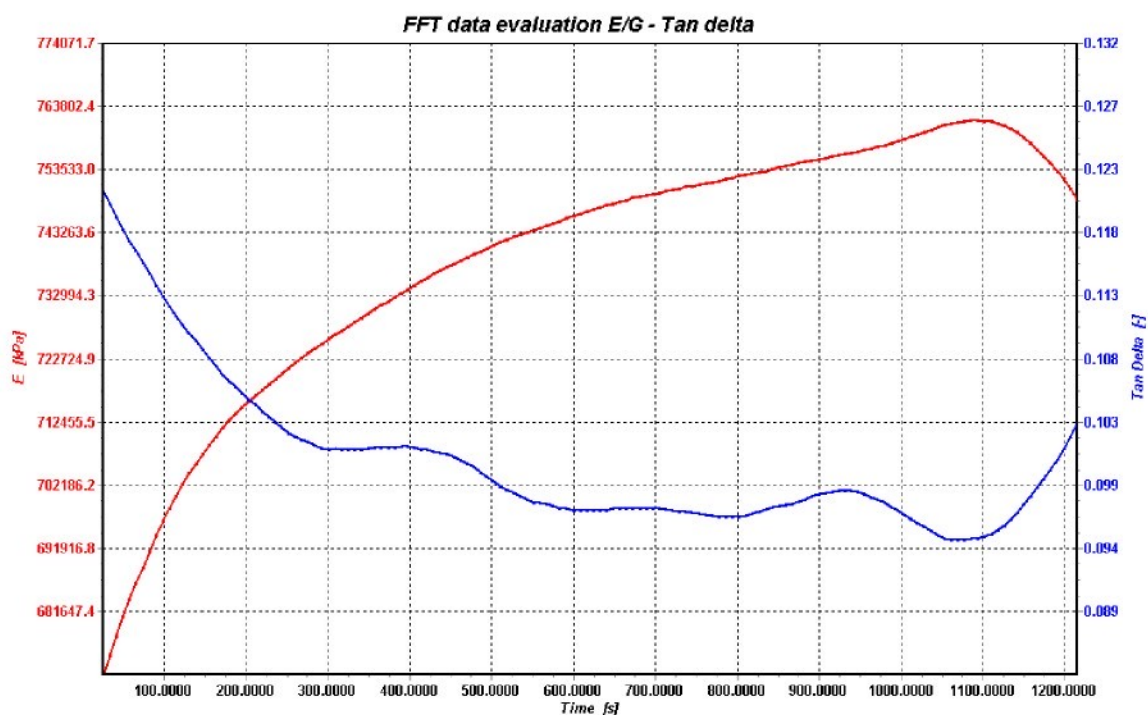
Obr.9 Graf vlivu frekvence na reálnou E' a imaginární E'' složku modulu pružnosti pro am 45_25 tex_100 %PP 50-100 mN 10 Hz



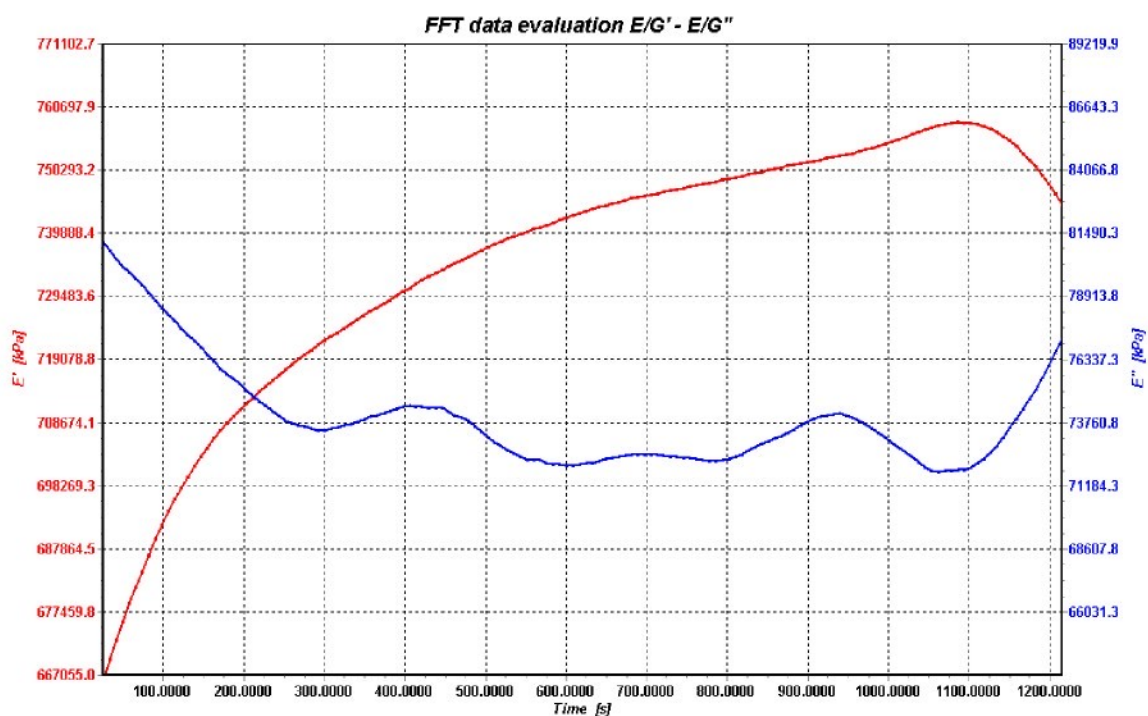
Obr.10 Graf vlivu frekvence na komplexní modul pružnosti E^* a ztrátový činitel $\tan \delta$ pro am 65_25 tex_100 %PP 50-100 mN 1 Hz



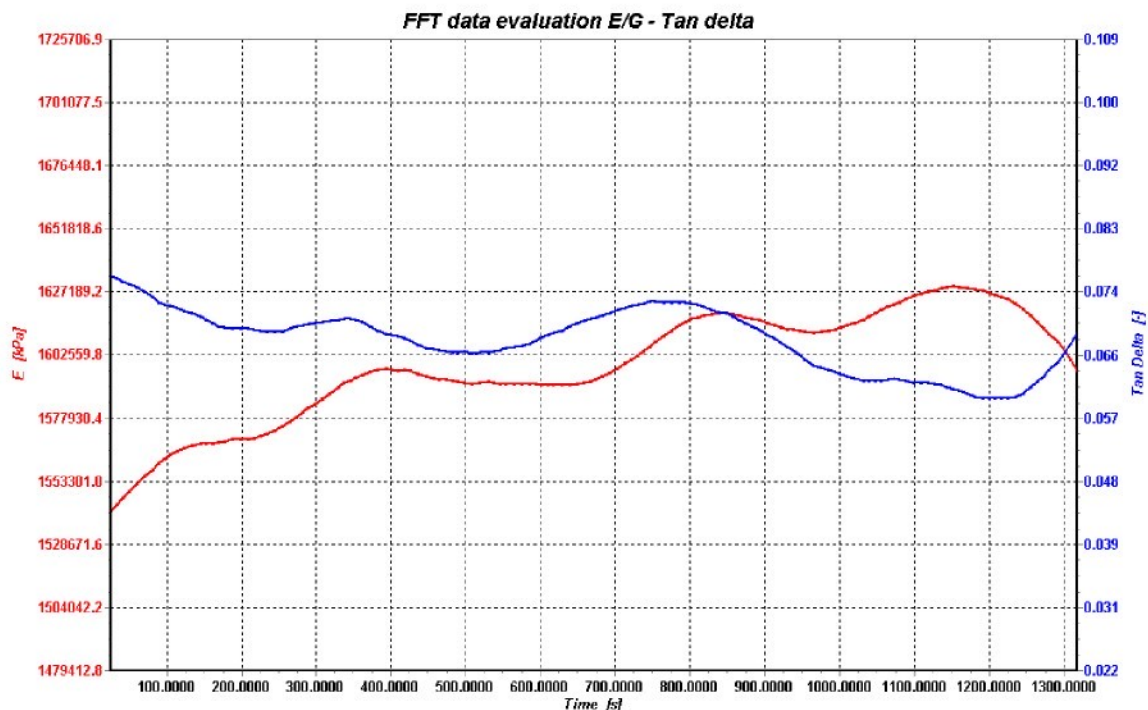
Obr.11 Graf vlivu frekvence na reálnou E' a imaginární E'' složku modulu pružnosti pro am 65_25 tex_100 %PP 50-100 mN 1 Hz



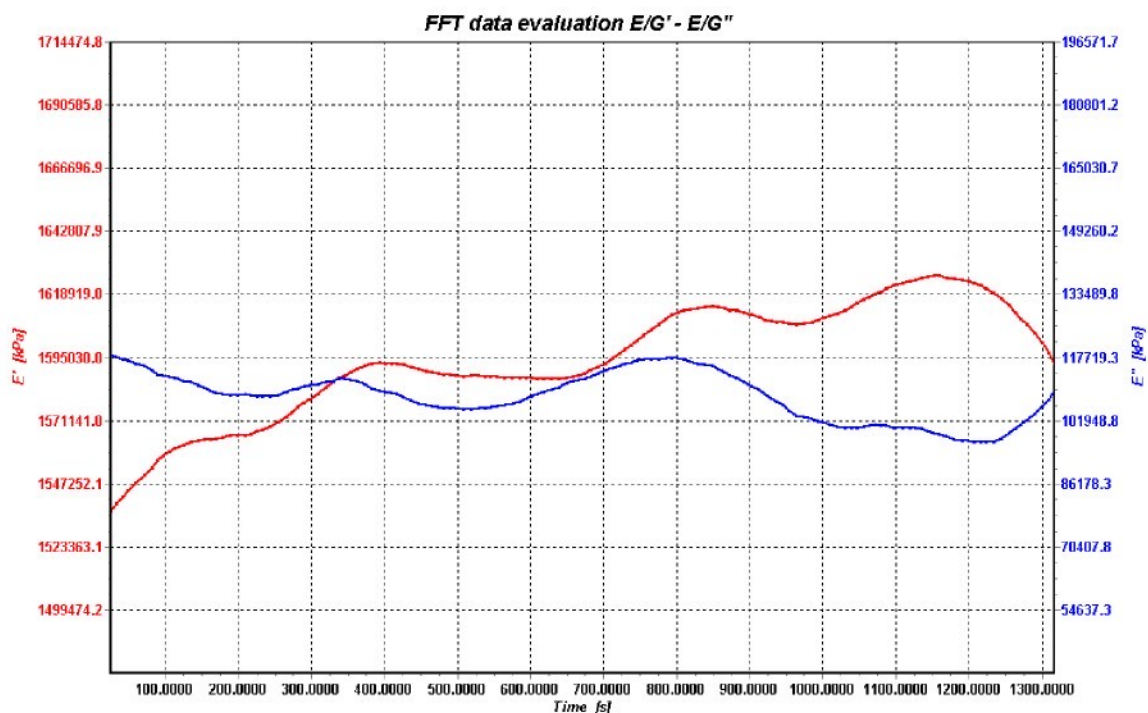
Obr.12 Graf vlivu frekvence na komplexní modul pružnosti E^* a ztrátový činitel $\tan \delta$ pro am 65_25 tex_100 %PP 50-100 mN 10 Hz



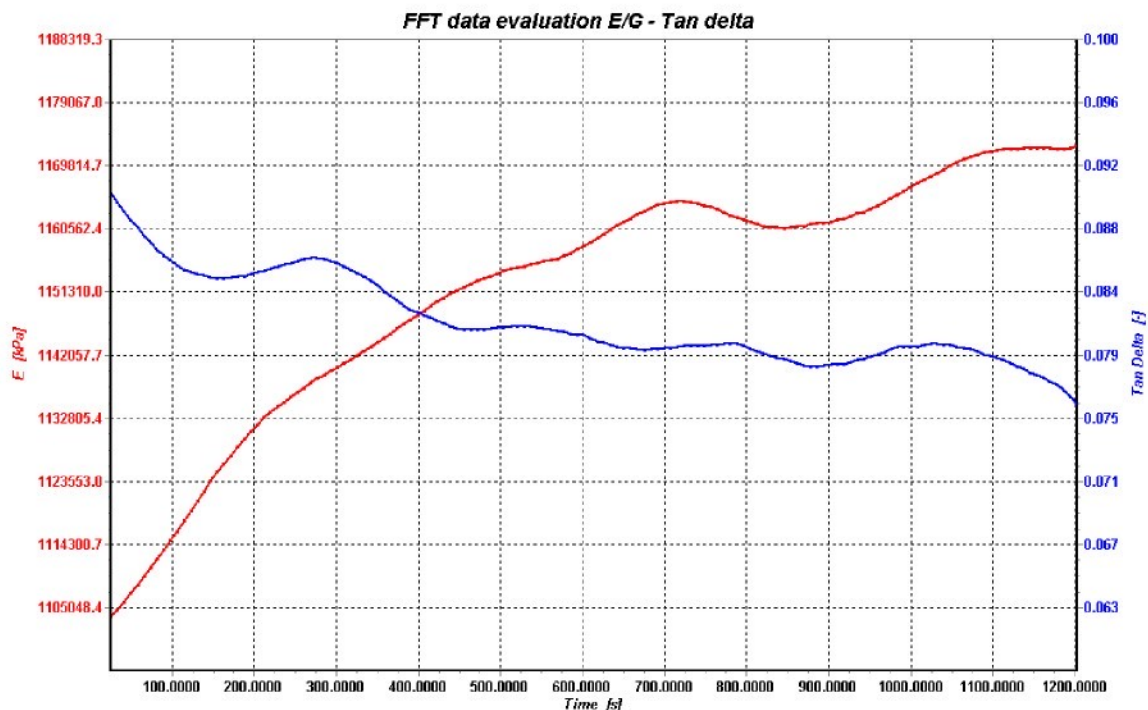
Obr.13 Graf vlivu frekvence na reálnou E' a imaginární E'' složku modulu pružnosti pro am 65_25 tex_100 %PP 50-100 mN 10 Hz



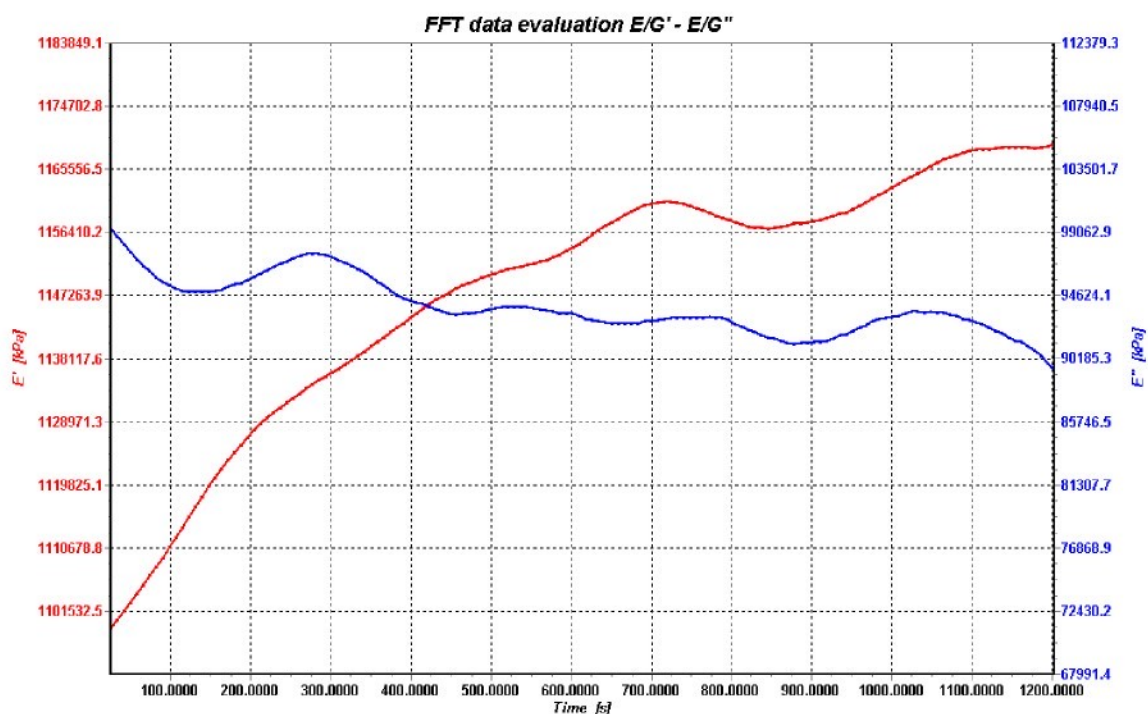
Obr.14 Graf vlivu frekvence na komplexní modul pružnosti E^* a ztrátový činitel $\tan \delta$ pro am 75_25 tex_100 %PP 50-100 mN 1 Hz



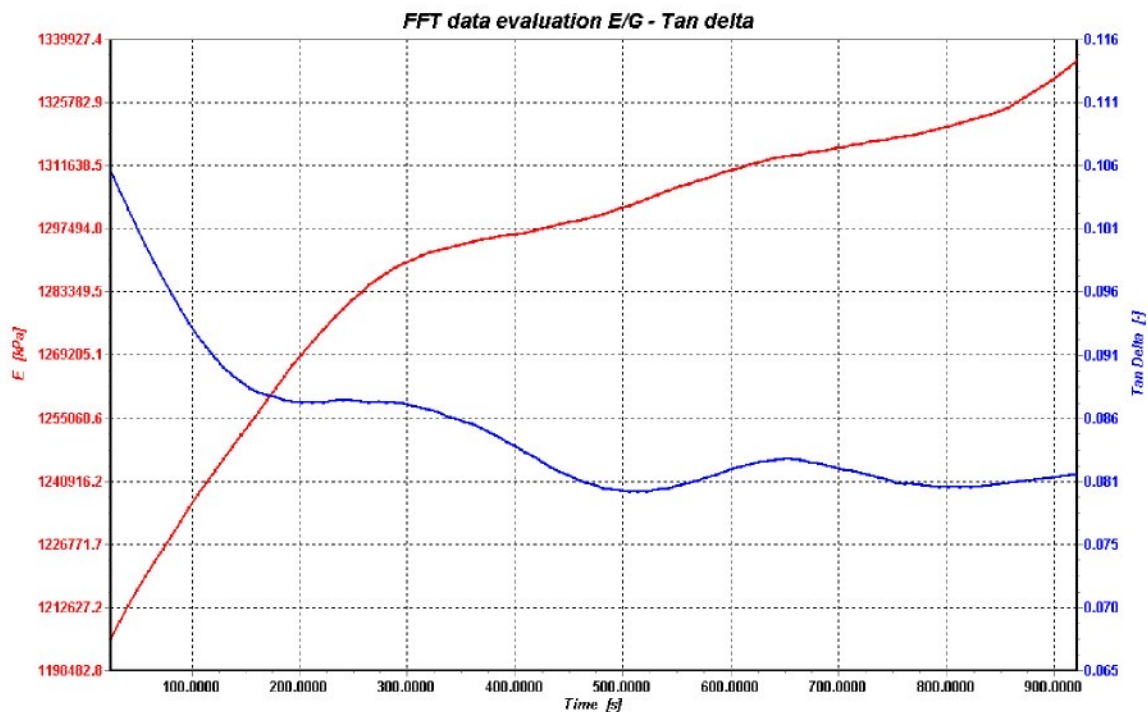
Obr.15 Graf vlivu frekvence na reálnou E' a imaginární E'' složku modulu pružnosti pro am 75_25 tex_100 %PP 50-100 mN 1 Hz



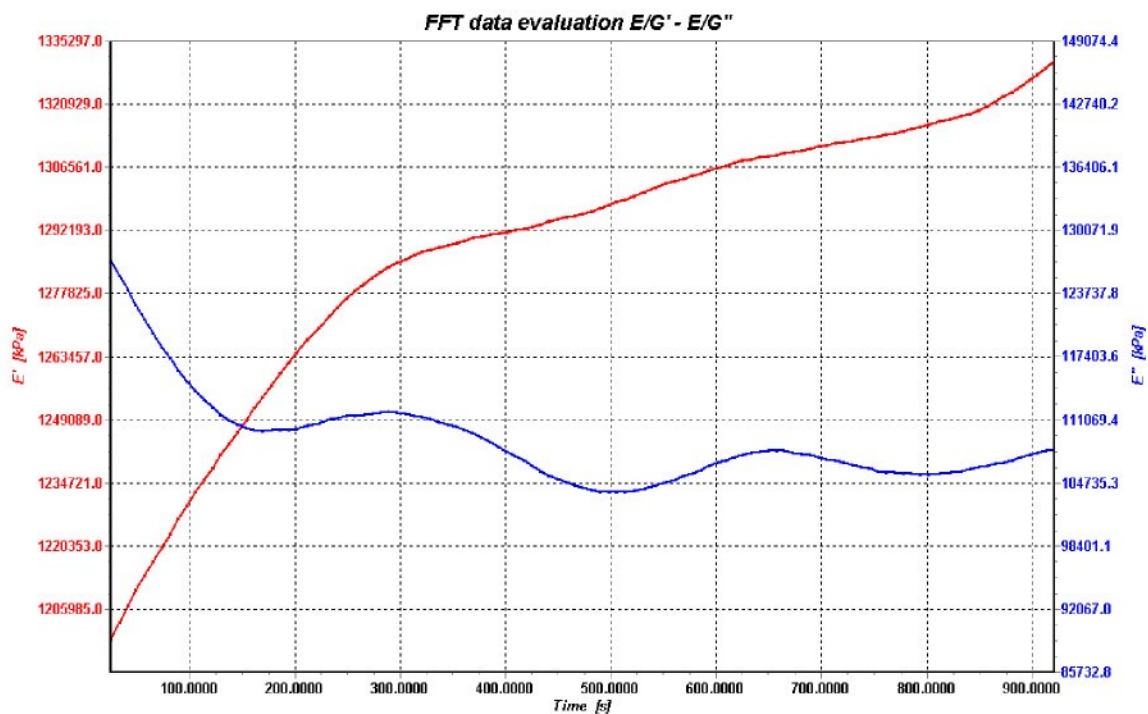
Obr.16 Graf vlivu frekvence na komplexní modul pružnosti E a ztrátový činitel $\tan \delta$ pro am 75_25 tex_100 %PP 50-100 mN 10 Hz



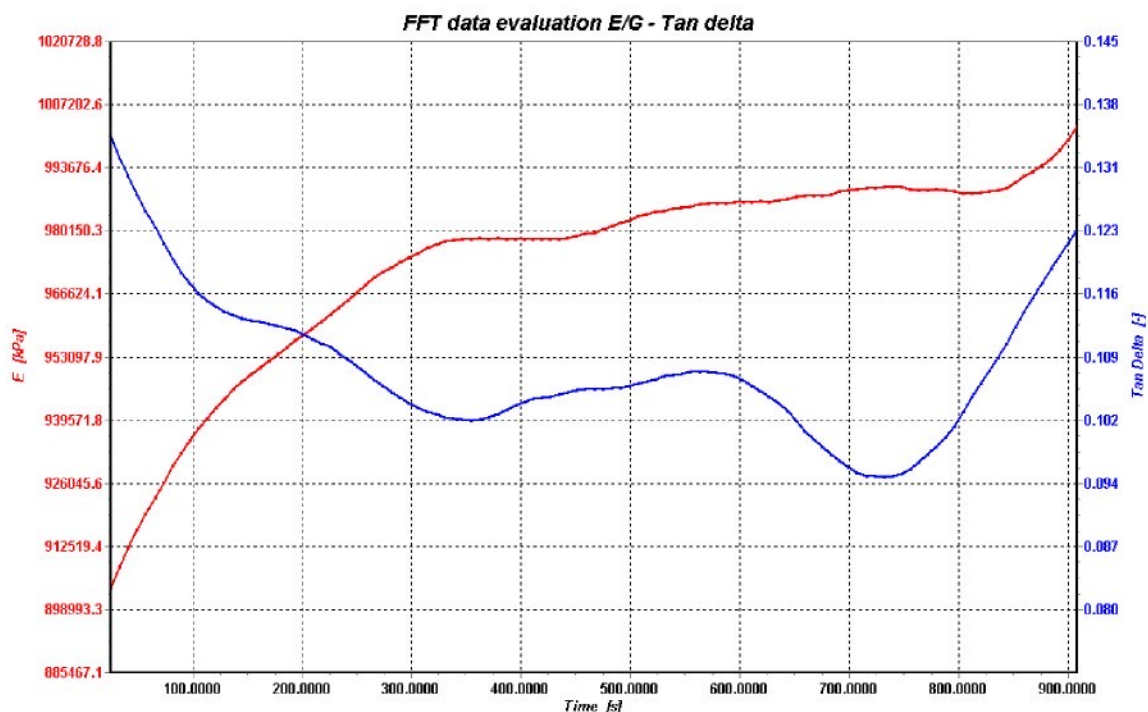
Obr.17 Graf vlivu frekvence na reálnou E' a imaginární E'' složku modulu pružnosti pro am 75_25 tex_100 %PP 50-100 mN 10 Hz



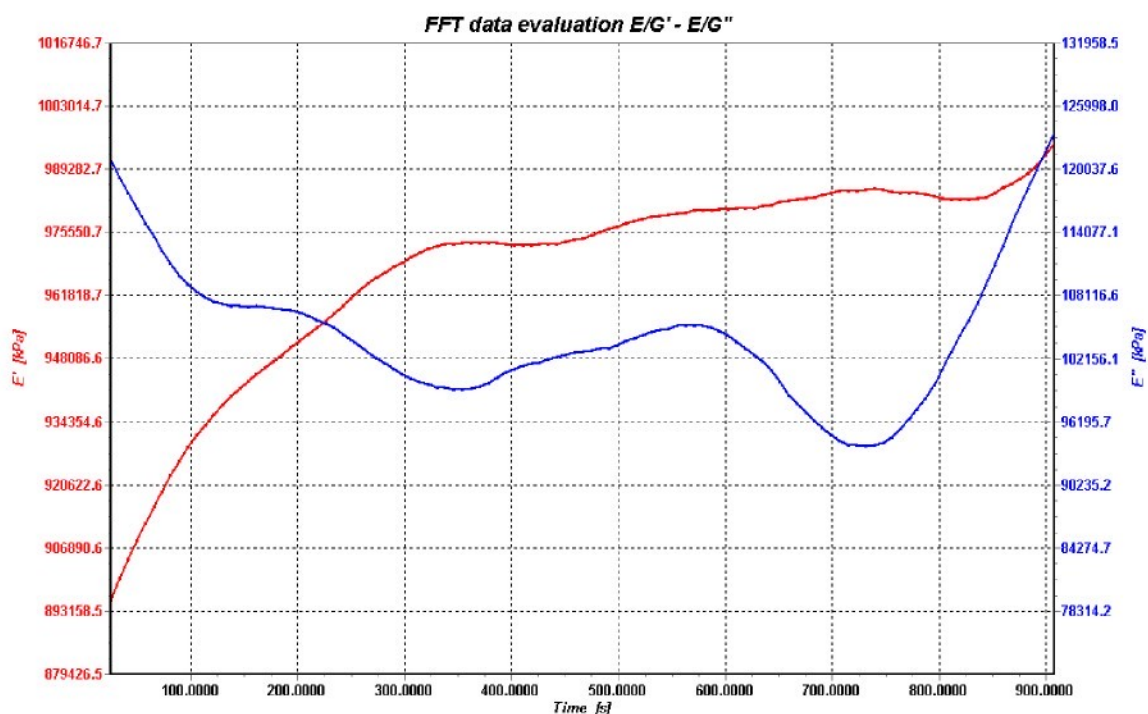
Obr.18 Graf vlivu frekvence na komplexní modul pružnosti E^* a ztrátový činitel $\tan \delta$ pro am 80_25 tex_100 %PP 50-100 mN 1 Hz



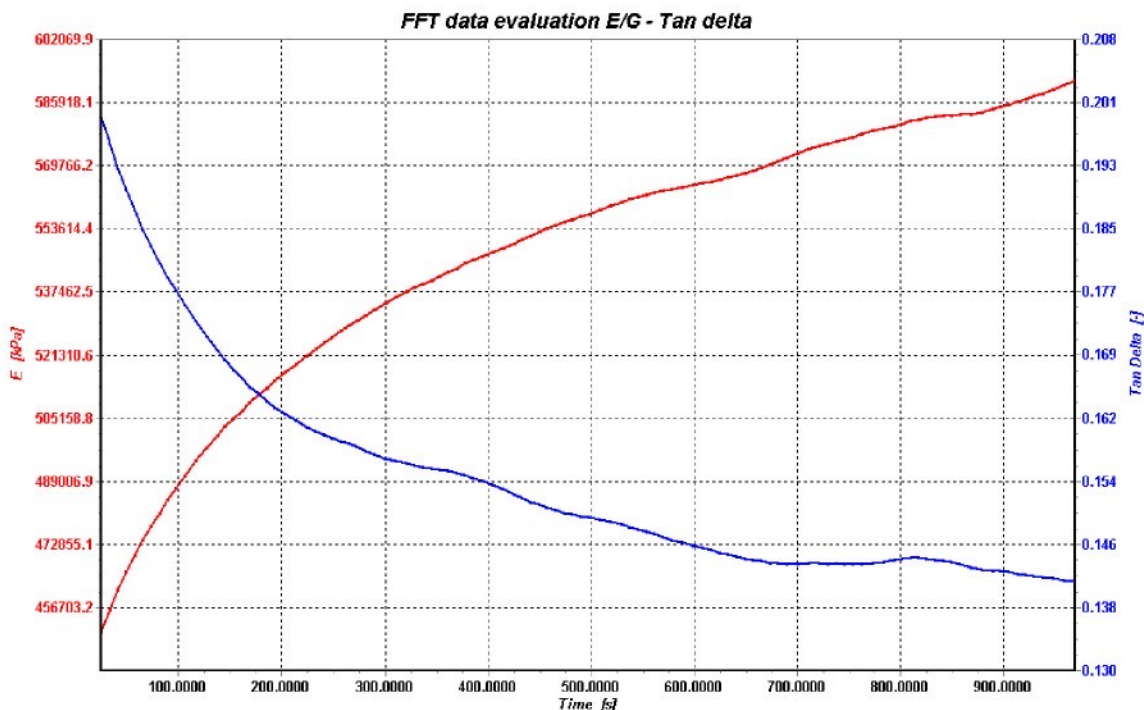
Obr.19 Graf vlivu frekvence na reálnou E' a imaginární E'' složku modulu pružnosti pro am 80_25 tex_100 %PP 50-100 mN 1 Hz



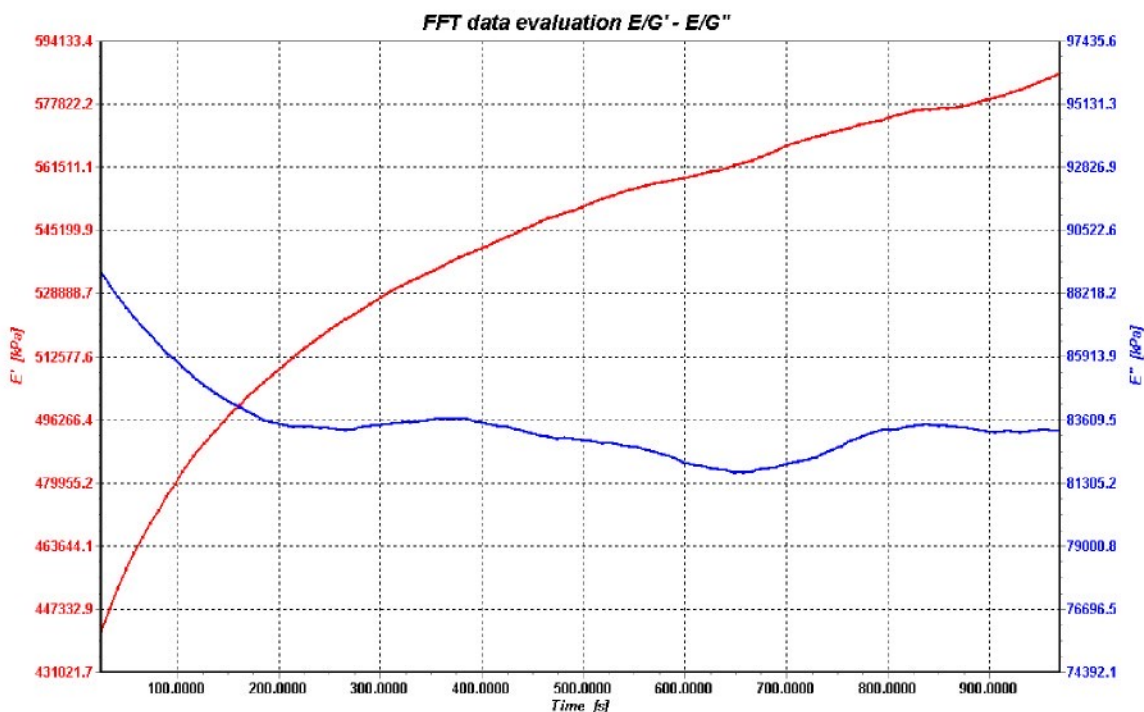
Obr.20 Graf vlivu frekvence na komplexní modul pružnosti E^* a ztrátový činitel $\tan \delta$ pro am 80_25 tex_100 %PP 50-100 mN 10 Hz



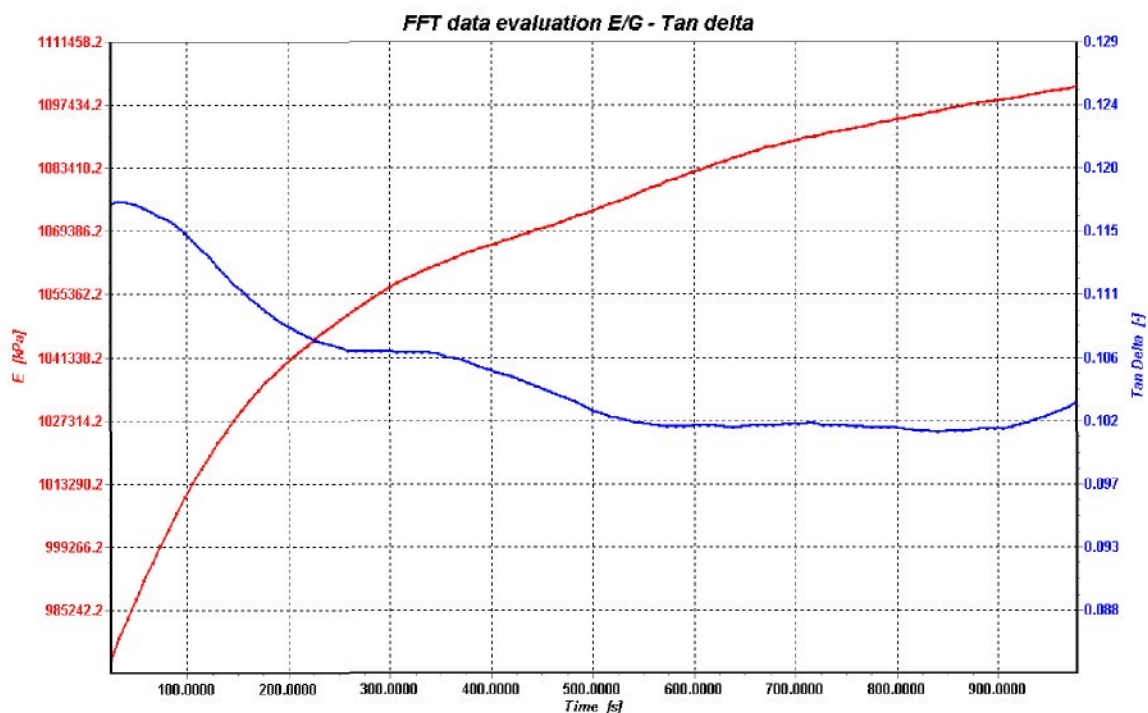
Obr.21 Graf vlivu frekvence na reálnou E' a imaginární E'' složku modulu pružnosti pro am 80_25 tex_100 %PP 50-100 mN 10 Hz



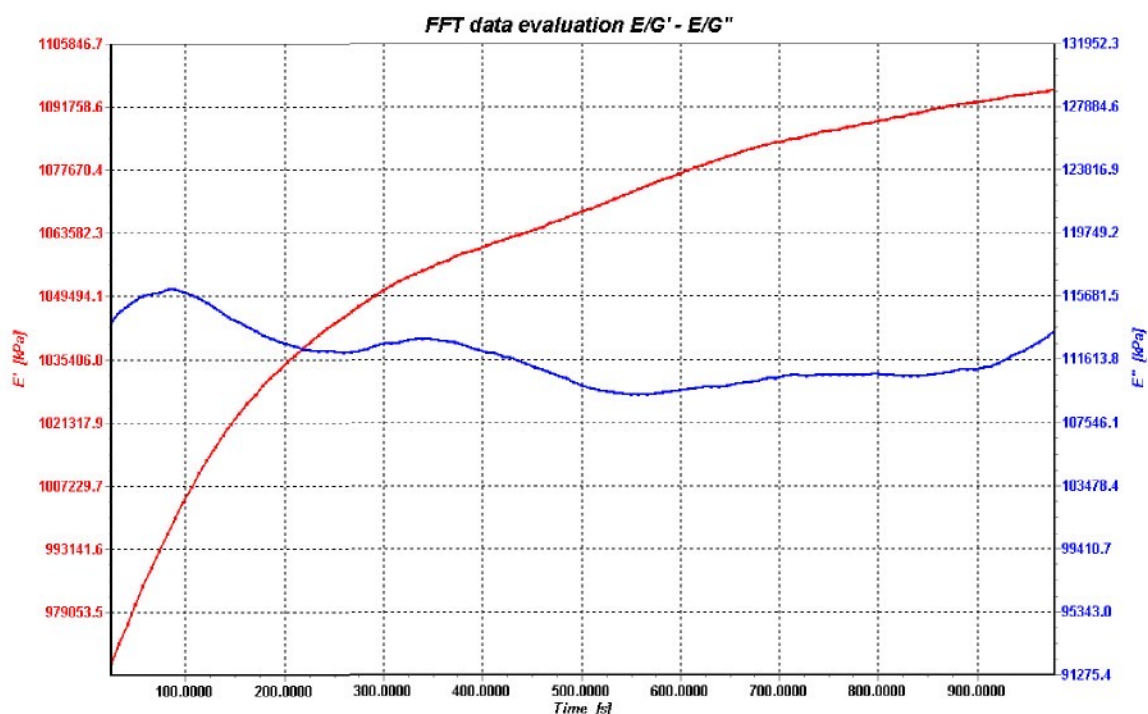
Obr.22 Graf vlivu frekvence na komplexní modul pružnosti E^* a ztrátový činitel $tg\delta$ pro am 95_25 tex_100 %PP 50-100 mN 1 Hz



Obr.23 Graf vlivu frekvence na reálnou E' a imaginární E'' složku modulu pružnosti pro am 95_25 tex_100 %PP 50-100 mN 1 Hz



Obr.24 Graf vlivu frekvence na modul pružnosti E^* a ztrátový činitel $\tan \delta$ pro am 95_25 tex_100 %PP 50-100 mN 10 Hz



Obr.25 Graf vlivu frekvence na reálnou E' a imaginární E'' složku modulu pružnosti pro am 95_25 tex_100 %PP 50-100 mN 10 Hz

OBSAH

1. ÚVOD	9
2. LITERÁRNÍ PRŮZKUM	10
2.1. POLYPROPYLEN (PP)	10
2.2. VLASTNOSTI POLYPROPYLENOVÝCH VLÁKEN	11
2.3. VLASTNOSTI OVLIŇUJÍCÍ PEVNOST PŘÍZE	12
2.3.1. KRITICKÝ KOEFICIENT ZÁKRUTU	12
2.3.2. VLIV SKLONU VLÁKEN	13
2.4. MECHANICKÉ VLASTNOSTI	13
2.5. DEFORMAČNÍ PROCESY	15
2.6. PEVNOST A TAŽNOST	18
2.7. DYNAMICKO-MECHANICKÉ VLASTNOSTI	20
3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST A DISKUZE VÝSLEDKŮ	22
3.1. EXPERIMENT NA PŘÍSTROJI INSTRON 4411	22
3.2. EXPERIMENT NA PŘÍSTROJI VIBROSKOP 400 A VIBRODYN 400	26
3.3. EXPERIMENT NA PŘÍSTROJI DMA DX04T	29
4. ZÁVĚR	44
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	45
SEZNAM PŘÍLOH	46