



MECHANICKÉ A TEPELNÉ VLASTNOSTI MONOFILU PRO VÝVOJ MEMBRÁN

Disertační práce

Studijní program: P3106 – Textilní inženýrství
Studijní obor: 3106V007 – Textilní materiálové inženýrství

Autor práce: **Ing. Martina Košátková Hušková**
Vedoucí práce: doc. Dr. Ing. Dana Křemenáková



MECHANICAL AND THERMAL PROPERTIES OF MONOFILAMENT FOR DEVELOPMENT OF MEMBRANE

Dissertation

Study programme: P3106 – Textile Engineering
Study branch: 3106V007 – Textile and materil engineering

Author: **Ing. Martina Košátková Hušková**
Supervisor: doc. Dr. Ing. Dana Křemenáková



Prohlášení

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

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé disertační práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li disertační práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědoma povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Disertační práci jsem vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé disertační práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum:

Podpis:

Poděkování

Touto cestou bych chtěla poděkovat doc. Dr. Ing. Daně Křemenákové a prof. Ing. Jiřímu Militkému CSc, za pomoc a podporu při studiu, za mnoho cenných rad, připomínek, za ochotu, nekonečnou trpělivost a velkou míru pochopení. Studovat a zároveň pečovat o početnou rodinu, při práci na plný úvazek, bych bez Vás opravdu nezvládla. Děkuji mým kolegům z KTT a KMI za pomoc při experimentu, Ing. Miloslavu Olšánovi, SILK & PROGRESS s.r.o., a Ing. Aleši Černínovi, Ph.D., MemBrain s.r.o., za poskytnutí experimentálních vzorků.

Dále děkuji svým přátelům, kolegům a rodině za poskytnutí velikého zázemí při dokončení práce, za pochopení a podporu během celého mého studia, bez nichž by tato práce také nevznikla.

Děkuji za vedení a rozvoj nejen v oblasti studia, zkoušek a disertační práce, ale i za postupné získání většího nadhledu, za rozvoj schopností a znalostí v oblasti (kritického) myšlení a hledání praktických, efektivních a rychlých řešení, za schopnost najít a zhodnotit informace získané z různých zdrojů. Přestože již delší dobu nepracuji v textilním oboru, kritický pohled a možnosti hodnocení výsledků, které mi byly vštěpovány po celou dobu studia, nyní hojně a s úspěchem využívám v praxi.

Děkuji

Anotace

Výzkum a výroba ionexových heterogenních membrán je dynamicky se rozvíjející obor, který umožňuje filtraci již průmyslově použité vody a látek v ní rozpuštěných např. v papírenském průmyslu či při výrobě průmyslových hnojiv, znovu je oddělit a následně opakovaně využít. Výroba heterogenních membrán (tj. vysoce plněných polymerních kompozitů z jemně mletých polymerních částic) spočívá v zalaminování dvou armovacích textilií do roztavené plnicí směsi. Iontoměničové membrány jsou využívány k filtraci ve vodném roztoku, kde polymer zbotná a změní své chemické a mechanické vlastnosti – z tuhé látky se stane plastickou, schopnou filtrace aniontů či kationtů pomocí difúzního mechanismu nebo působením elektrického pole. Armovací tkaniny plní funkci udržení tvaru membrány, zajišťují rozměrovou stálost heterogenní membrány ve směru její délky a šířky a dále zajišťují její mechanické vlastnosti v suchém stavu, i po zbotnání mletých polymerních částic ionexové směsi ve filtrované tekutině. Armovací tkaniny zajišťují tedy soudržnost celé membrány po zbotnání a umožňují tak manipulaci s celým filtračním systémem vyrobeným z jednotlivých „plátů“ heterogenních membrán. Zalaminování dvou vrstev tkaniny do vysoce viskózní membránové směsi se provádí při teplotě do 150°C. K tomu je třeba mít armovací tkaniny vyrobené z dostatečně tepelně a mechanicky odolných vláken.

Tato práce se zabývá možnostmi testování geometrických, mechanických a tepelných vlastností polyesterového a polypropylénového monofilu. Byla vyvinuta a v interní normě zakotvena metodika ke standardizaci a zpracování výsledků měření tepelné sráživosti a srážecí síly vláken maximální, efektivní i zbytkové, dále stanovení tepelné citlivosti vláken. Výsledky práce ukazují na souvislost mezi mechanickými a tepelnými vlastnostmi úzce spojenými s vnitřní strukturou vláken a orientací.

Klíčová slova: Polyesterový monofil, tepelná sráživost, tepelná srážecí síla, mechanické vlastnosti, orientace vláken, počáteční modul

Annotation

The research and production of ion exchange heterogeneous membranes is a dynamically developing field that enables separation and subsequent reuse of industrially used water and substances dissolved in it by filtration. This technology is used, for example, in the paper industry or in the production of fertilizers. Heterogeneous membranes are highly filled polymer composites of finely divided polymer particles, and their production consists of laminating two reinforcing fabrics into the molten filling mixture. Ion exchange membranes are used to filter in aqueous solution in which the polymer swells and changes its chemical and mechanical properties - it becomes plastic from the solid, capable of filtering anions or cations through a diffusion mechanism or by an electric field. The heterogeneous membranes in the filtered fluid change significantly their mechanical and dimensional properties. The reinforcing fabrics provide them with dimensional stability in all directions, ensuring its mechanical properties in the dry state, and also in the filtered fluid. Thus, the reinforcing fabrics ensure the cohesion of the entire membrane, allowing the manipulation with the whole filtration system, which is made of individual "sheets" of the heterogeneous membranes. Reinforcing fabrics have to be made of sufficiently thermally and mechanically resistant fibers because the laminating of two layers of the fabric into a highly viscous membrane mixture is performed at a temperature up to 150°C.

This thesis deals with testing of geometrical, mechanical and thermal properties of polyester and polypropylene monofilaments. A methodology how to standardize and process the results of thermal shrinkage and maximum, effective and residual fiber shrinkage strength with further assesment of thermal sensitivity of the fiber was developed and enshrined as an internal standard. The results indicate a correlation between mechanical and thermal properties which are closely related to the internal structure of the fiber orientation.

Key words: Polyester monofilament, thermal shrinkage, thermal shrinkage force, mechanical properties, fiber orientation, initial modulus

Аннотация

Исследование и производство ионообменных гетерогенных мембран является динамично развивающейся областью, которая позволяет фильтровать уже использованную воду и растворенные в ней вещества, например, в бумажной промышленности или при производстве химических удобрений, снова их отделять и затем повторно использовать. Производство гетерогенных мембран (то есть высоконаполненных полимерных композитов из тонкоизмельченных полимерных частиц) заключается в ламинировании двух армированных тканей в смесь расплавленного наполнителя. Ионообменные мембраны используются для фильтрации в водном растворе, где полимер набухает и изменяет свои химические и механические свойства - из твердого вещества он становится пластичным, способным фильтровать анионы или катионы через механизм диффузии или воздействием электрического поля. Армированные ткани выполняют функцию поддержания формы мембраны, обеспечивают стабильность размеров гетерогенной мембраны в направлении ее длины и ширины и, кроме того, обеспечивают ее механические свойства в сухом состоянии даже после того, как измельченные полимерные частицы ионообменной смеси набухли в отфильтрованной жидкости. Армированные ткани гарантируют плотность мембраны после того, как они набухнут, и позволяют манипуляцию со всей системой фильтрации произведенной из отдельных «листов» гетерогенных мембран. Ламинирование двух слоев ткани в смесь высоковязких мембран происходит при температуре до + 150 ° С. Для этого вам необходимо иметь армированные ткани, изготовленные из достаточно термически и механически устойчивых волокон. Эта работа посвящена проверке геометрических, механических и термических свойств полиэфирных и полипропиленовых мононитей. Была разработана и в методологии внутреннего стандарта закреплена методика для стандартизации и обработки результатов термической усадки и максимальной, эффективной и остаточной усадочной силы волокна, с дальнейшей оценкой его термической чувствительности. Результаты показывают, что механические и термические свойства тесно связаны с внутренней структурой ориентации волокон.

Ключевые слова: Полиэфирные моноволокна, термоусадка, термоусадочная сила, механические свойства, ориентация волокон, начальный модуль

Seznam použitých zkratk

PET	polyetylentereftalát / polyester
PP	polypropylén
PAD	polyamid
p	tlak
T	teplota
t	čas
T_g	teplota zesklnění
v	rychlost
λ	dloužící poměr
T_m	teplota tání
E	deformace
ε_T	podélné prodloužení
S	příčný průřez
S_0	počáteční příčný průřez
E	modul pružnosti v tahu
G	smykový modul
K	kompresivní modul
σ	napětí
F_e	ohebnost vlákna
ν	poissonův poměr
v_p	rychlost posuvu čelisti
l	délka vzorku
l_0	upínací délka
V_M	celkový objem
V_O	objem řetězců
V_f	volný objem
W	hmotnostní podíl
A_0	plocha toku vodivosti
X	tloušťka desky
T_1	teplota na vstupu
T_2	teplota na výstupu

Q	teplo
C_v	objem
v_z	rychlost šíření zvuku v polymeru
ρ	hustota
ρ_c	hustota krystalické fáze
ρ_a	hustota amorfni fáze
C	rychlost zvuku (obecně nebo v orientovaném vlákne)
C_a	rychlost zvuku v neorientovaném vlákne
C_n	rychlost zvuku v testovaném vlákne
Θ	orientovaný úhel anizotropních jednotek
f	Hermansův orientační faktor
f_a	průměrná orientace amorfni fáze vláken
f_c	průměrná orientace krystalické fáze vláken
β	krystalinita
t_v	jemnost vlákna
m_v	hmotnost vlákna
l_v	délka vlákna
s	plocha příčného řezu vlákna
d	průměr vlákna
μ	zaplnění
d_e	ekvivalentní průměr p vlákna
w_i	váhy jednotlivých bodů závislé na jejich "přesnosti" vyjádřené rozptyly
FA	vlákna fixovaná bez napětí
TA	vlákna fixovaná za napětí
Δn_c^0	dvojlom krystalické fáze
Δn_a^0	dvojlom amorfni fáze
α	izotermní stupeň přeměny
ϕ	rychlost ohřevu
Λ	součinitel přestupu tepla,
C_p	tepelná kapacita a
Δ	diference

Obsah	
Úvod	12
1 REŠERŠNÍ ČÁST	14
1.1 Vnitřní uspořádání vláken	15
1.2 Mechanické vlastnosti vláken	21
1.3 Tepelné vlastnosti vláken	25
1.4 Šíření mechanického vlnění ve vláknech	28
1.5 Diferenciální skenovací termická analýza	31
1.6 Použité statistické metody	33
2 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	37
2.1 Experimentální materiály	37
2.2 Návrh metodiky měření sráživosti monofilů	45
2.2.1 Vliv doby tepelné expozice	54
2.3 Návrh metodiky měření akustického dynamického modulu a orientace	65
2.4 Variabilita dodávek monofilu	69
2.4.1 Variabilita monofilu mezi šaržemi	69
2.4.2 Variabilita vlastností PP monofilu	75
2.5 Vliv tkaní a tepelné fixace	86
2.6 Vliv tepelné expozice na vlákna	91
2.6.1 Vliv tepelného namáhání na mechanické vlastnosti vláken a jejich vnitřní strukturu ve volném stavu s minimálním předpětím a v pevném stavu	91
2.6.2 Vliv tepelné expozice na mechanické vlastnosti vláken a jejich vnitřní strukturu při různém předpětí	102
3. ZÁVĚR	107
4. PRÁCE AUTORA SE VZTAHEM KE STUDOVANÉ PROBLEMATICE	111
Výzkumné zprávy	113
LITERATURA	114

PŘÍLOHA A – TABULKY	117
PŘÍLOHA B – KŘIVKY DSC	145
PŘÍLOHA C	149
PŘÍLOHA D	157

Úvod

V současné době dochází k prudkému nárůstu využívání textilií nejen k jejich přímému použití, nýbrž jako součást např. kompozitů sloužících k nejrůznějším účelům. Mezi nesporné výhody textilních, zejména chemických materiálů, patří rychlá a poměrně levná výroba, možnosti přizpůsobení jejich finálních vlastností, jako jsou mechanické či tepelné vlastnosti, nebo jejich chemická odolnost. Všechny tyto vlastnosti lze ovlivnit během samotné výroby, počínaje výběrem vlákna, jeho jemností, průřezem, rychlostí dloužení a tunutí vlákna, tedy ovlivněním jeho vnitřní struktury. V dnešní době, kdy je většina materiálů dovážena, ať již z důvodu nízké ceny či chybějícího výrobce na evropském trhu, je velmi obtížné docílit požadavku na vysokou a nekolísající kvalitu v rámci dodávky a v návaznosti i jednotlivých šarží. Z toho plynou i další problémy s následným zpracováním jak vláken (monofilů) samotných, tak i zajištění požadovaných vlastností z nich vyrobených plošných textilií, nezávisle na jejich dalším použití či úpravách. Tato práce se zabývá materiály nejčastěji používanými pro výrobu armovacích textilií – tkanin, zajišťujících zpevnění ionexových směsí heterogenních membrán.

Iontoměničové membrány jsou vysoceplněné polymerní kompozity, využívané k filtraci ve vodném roztoku, kde polymer zbotná a změní své chemické a mechanické vlastnosti – z tuhé látky se stane plastickou nesoudržnou hmotou. Armovací tkaniny plní funkci udržení tvaru membrány, zajišťují rozměrovou stálost heterogenní membrány ve směru její délky a šířky a dále zajišťují její mechanické vlastnosti v suchém stavu, i po zbotnání.

Armovací tkaniny jsou pro tyto účely nejběžněji vyrobené z monofilových vláken, v plátnové vazbě s nízkou dostavou. Z důvodu zajištění jejich neměnných mechanicko-teplených vlastností jsou tepelně fixovány za napětí a poté zalaminovány do polymerní směsi. Laminace probíhá za teplot v rozmezí 120 – 140 °C, při vysokém tlaku, který je dán nutností vpravit vysoce viskózní laminační polymerní směs mezi dvě vrstvy armovací tkaniny. Za ideálních podmínek by armovací textilie, utkaná z monofilového hedvábí, nezměnila během laminace svůj tvar a odolala by mechanickému působení za zvýšené teploty. V reálném případě, kdy je nemožné zajistit u výrobce monofilů jejich stejnoměrnou kvalitu, je třeba armovací textilií podrobit ještě tepelné fixaci, aby byla zajištěna její minimální rozměrová změna během mechanického a současně

tepelného působení při laminaci. Zvláště pro kontinuální výrobu je nezbytné, aby do linky vcházela pouze kvalitní armovací textilie, která má požadované vlastnosti (mechanickou a tepelnou odolnost) v celé své šířce i délce. Během kontinuální výroby může dojít ke znehodnocení finálního výrobku vlivem zvlnění jedné nebo obou armovacích tkanin, k vytvoření skladů, záhybů, a tím znemožnění jejího plného zalaminování do ionexové směsi tak, aby byla zcela zakryta.

Cílem této práce bylo vyvinout metodu, která by umožňovala jednoduchým postupem a v krátkém časovém intervalu zjistit míru mechanicko tepelné odolnosti tkaniny, Cílem bylo vytvořit metodiku, s jejíž pomocí bude možné ověřit, zda mají armovací textilie požadované vlastnosti a budou dostatečně odolné za dané teploty a napětí. Bylo třeba zajistit, aby obě tkaniny měly totožnou odezvu na namáhání v celé své šířce, aby nedocházelo ke znehodnocení finálního výrobku v průběhu laminace nebo vlivem kroucení po zbotnění ionexové směsi ve vodném roztoku. Definováním rychlosti srážení materiálu v závislosti na teplotě lze stanovit její tepelnou citlivost, tedy zejména její sráživost při tepelném a mechanickém namáhání.

K tomuto účelu byla vyvinuta a experimentálně ověřena nová metoda pro stanovení tepelné citlivosti vláken. Pomocí přístroje Thermal Shrinkage Tester 2 byly nejprve stanoveny efektivní sráživost a efektivní srážecí síla vláken, zbytková sráživost a zbytková srážecí síla vláken a maximální sráživost a maximální srážecí síla vláken. Zpracování výsledků měření tepelné sráživosti a tepelné srážecí síly a stanovení tepelné citlivosti vláken ze zaznamenaných průběhů křivek tepelné sráživosti a tepelné srážecí síly bylo zakotveno v nově vyvinuté interní normě.

Byla rovněž stanovena minimální doba tepelného působení na vlákno, po jejímž uplynutí již nedochází k jeho rozměrovým změnám. Za účelem stanovení vnitřního uspořádání vláken, tedy míru jejich vnitřní orientace, tj. poměru krystalických a amorfních částí a jejich uspořádání ve směru osy vláken, byla použita metoda stanovení akustického dynamického modulu. Na základě hustoty materiálu byla studována odezva testovaného materiálu na rychlost zvuku procházejícího vláknem, v případě této práce monofilovým hedvábím. V práci byly proměřeny vzorky PET a PP monofilových vláken různých jemností. Výsledky práce ukazují na souvislost mezi mechanickými a tepelnými vlastnostmi úzce spojenými s vnitřní strukturou vláken a jejich vnitřní orientací.

1 Rešeršní část

Pro výrobu armovacích textilií, používaných na zpevnění ionexových membrán [1], se velmi často používá polyesterových, polyamidových a polypropylénových vláken. Důvodem je nejen jejich nižší cena, ale také široké možnosti modifikace vláken v případě polyesterových (PET) a vyšší chemická odolnost polypropylénových (PP) vláken. PET vlákna jsou na výrobu armovacích textilií využívána hlavně z důvodu jejich dobrých mechanických vlastností – vysoké pevnosti a současně vysoké tepelné odolnosti při porovnání s ostatními standardními textilními vlákny. Jejich nevýhodou je citlivost na alkalické prostředí. V takových případech jsou využívána PP vlákna. Další nespornou výhodou obou materiálů je nízká absorpce vody. Svým vnitřním uspořádáním se PP vlákna řadí do skupiny vláken s hlavním uhlíkovým řetězcem, PET patří do skupiny bezdušičatých vláken s heterogenním hlavním řetězcem.

PET vlákna jsou definována jako vlákna s obsahem 85 a více hmotnostních procent esterů aromatických kyselin, nejčastěji kyseliny tereftálové. Existují v několika generických typech, dají se snadno modifikovat, tedy měnit cíleně jejich vlastnosti, jako jsou elasticita, sráživost, žmolkovitost. Nejčastějšími modifikačními složkami jsou kyselina izoftalová, kyselina 5 sulfoizoftalová, polyetylenglykol a kyselina adipová. Obsah a typ komonomeru ovlivňuje teplotu tání a teplotu zesklenní vláken [2].

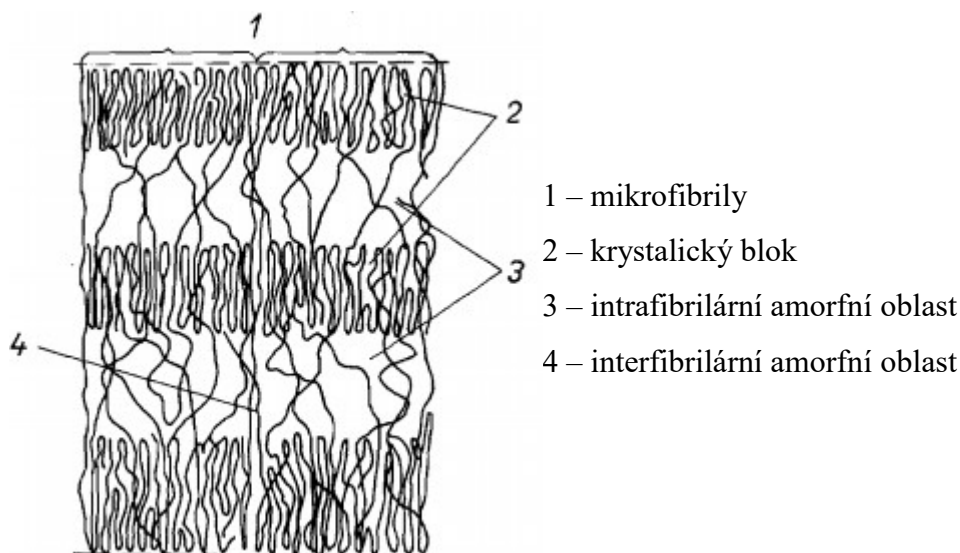
PP vlákna jsou na bázi propylenu (olefinického uhlovodíku) obsaženého v krakovacích plynech. PP granulát se připravuje koordinační stereospecifickou polymerací propylénu za přítomnosti Ziegler-Nattových katalyzátorů – $TiCl_3$, $Al(C_2H_5)_3$ při $100^\circ C$ a tlaku 3 MPa. V tab. 1 jsou uvedeny některé vlastnosti PET, PP, a PAD 6 vláken.

Tab. 1 – Vybrané vlastnosti vláken

Vlákno	Hustota (kg/m ³)	Obsah vlhkosti(%)	Tažnost (%)	Pevnost (cN/dtex)	Počáteční Modul (cN/dtex)	Tepelná sráživost (°C)	Bod tání (°C)
PAD 6	1140	2.8 až 5.0	17 až 45	3.5 až 6.4	40	N/A	220
Polyester (PET)	1380	0.4	15 až 35	6 až 8	99.8	Při 177°C až 11%	256
Polypropylén (PP) izotaktický / ataktický	800 / 900	0.005	15 až 60	až 7		Při 130°C až 40%	165 / 80

1.1 Vnitřní uspořádání vláken

Vnitřní struktura polymerních látek je obecně velmi složitá, zpravidla složená z amorfních (neuspořádaných) a krystalických částí. Vnitřní strukturu polymerních látek je možné popsat pomocí dvoufázového (zahrnuje krystalickou a amorfni část) či trojfázového (zahrnuje i fázi vazných řetězců) modelu. Každá z uvažovaných struktur je charakterizována svým objemovým podílem ve vlákne, svou orientací, hustotou, mechanickými vlastnostmi (modulem pružnosti). Jejich vzájemné zastoupení a uspořádání ve vláknech lze ovlivnit během výroby a následnými nezbytnými operacemi. Krystalizují pouze struktury, které jsou tvořeny regulárními (lineárními) řetězci bez bočních skupin. Třífázový strukturální model popsal Prevorsek (obr. 1.1.1), [3].



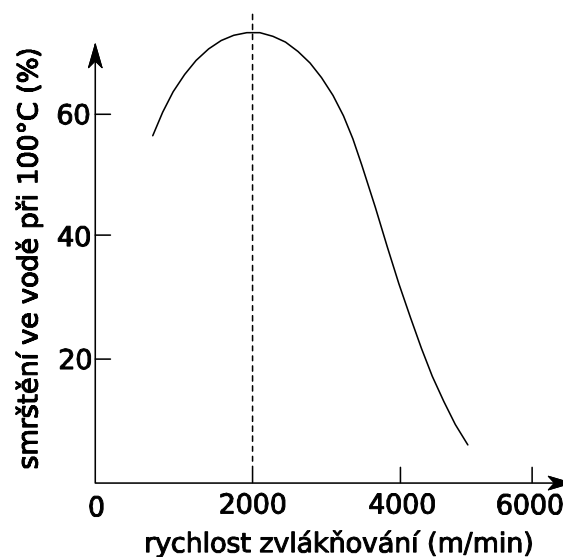
Obr. 1.1.1 Prevorsekův strukturální model semikrystalických vláken

Pohyblivé segmenty amorfni částí v PET se vyskytují v gauche-konfirmaci. Krystalická fáze se vyskytuje pouze v trans-konfirmaci [4].

Polyesterová i polypropylénová vlákna jsou vyráběna z polymerní taveniny, která je nejprve protlačena otvory zvláknovací trysky a poté odváděna za současného tuhnutí zvláknovací šachtou. S rostoucí rychlostí zvláknování dochází i zvýšení předorientace molekulárních řetězců ve vláknech. Je-li teplota nad teplotou zesklennění T_g , dochází ke změnám v orientaci amorfni částí a tím ke srážení, jehož hodnota vzrůstá společně s velikostí amorfni částí vlákna. Srážení vláken S v závislosti na teplotě T lze vyjádřit pomocí vztahu 1.1.1, kde A a B jsou konstanty [3].

$$S = \frac{T}{A + B T} \quad \text{i.e.} \quad \frac{1}{S} = \frac{A}{T} + B \quad (1.1.1)$$

Vzroste-li rychlost zvlákňování na 2000 – 3000 m/min za napětí, tvoří se ve vláknech krystalické části. S rostoucím zastoupením těchto krystalitů dochází ke zvýšení hodnoty molekulární reorientace amorfních fází, dokonce i za teplot nad T_g , což vede ke snížení sráživosti vláken. Ve vodě o teplotě 100°C pak dochází k max. 60% srážení. Se zvýšením zvlákňovací rychlosti až na 6000 m/min dojde k poklesu sráživosti vláken na 2-3% (obr. 1.1.2) [5].



Obr. 1.1.2 Vliv rychlosti zvlákňování PET vláken na jejich sráživost ve vroucí vodě

Zpomalením rychlosti chlazení PET vláken zařazením horké lázně za spřádací trysky dochází ke zvýšení stejnoměrnosti vnitřní struktury v amorfních částech vlákna, ke snížení krystalinity ve vláknech, doprovázené zvětšením krystalitů a zvýšením deformačních schopností. Sráživost těchto vláken také vzrůstá, proto je nezbytné dalšího protahování vláken za současného působení tepla [6].

V případě PP vláken je používána chladicí šachta, což je dáno jejich nízkou tepelnou vodivostí. Fázová přeměna taveniny ve vlákno probíhá ochlazením na teplotu nižší, než je teplota tuhnutí vlákna. U PP vláken vzniká při rychlém chlazení nestabilní smektická struktura. Jsou-li PP vlákna chlazená pomalu, nebo vlákna s již vytvořenou nestabilní mřížkou zahřáta na 80°C, dojde k přeskupení molekul a k tvorbě stabilní monoklinické struktury.

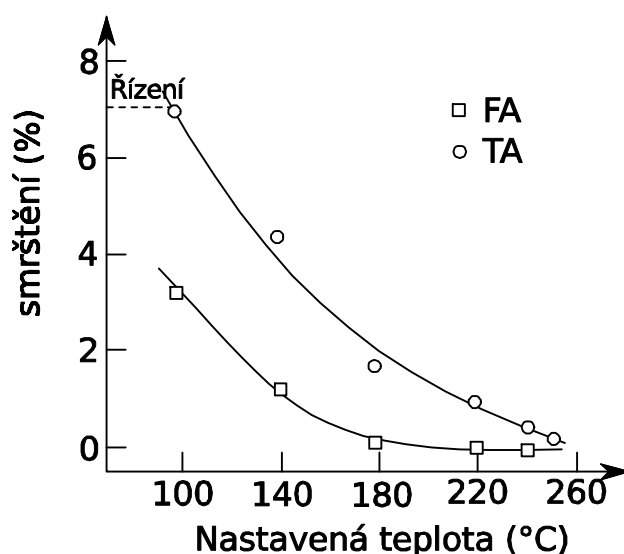
Výsledkem zvlákňování v případě PET je amorfní nedloužené vlákno s velmi nízkou orientací řetězců (přibližně 33%), které v čase velmi rychle křehne, v případě PP vláken je vlákno z 60% krystalické struktury.

Dloužením (podélnou deformací vlákna tahem o 20 – 2000% jeho původní délky) se zajišťuje orientace makromolekulárních řetězců a polymerních segmentů ve směru osy vlákna a jeho případná krystalizace [7]. Dloužicí poměr, definovaný jako poměr mezi délkou dlouženého a nedlouženého úseku vlákna, obvykle bývá v rozmezí $\lambda = 3-5$. V závislosti na typu vlákna dochází k dvěma mechanismům dloužení. U amorfních PET vláken dochází ke vzniku krystalické (fibrilární) struktury za současné orientace molekulárních řetězců uvnitř vlákna. Výsledným produktem je dloužené orientované vlákno s fibrilární strukturou, s vyšší pevností a nižší tažností, jehož vnitřní orientace bývá přibližně 80-90% [8]. Naopak u krystalických nedloužených PP vláken se přetransformují lamelární a sférolitické krystalické struktury na fibrilární a současně dojde k orientaci molekulárních řetězců amorfních oblastí vláken. K jejich sekundární krystalizaci dojde za pokojové teploty přibližně z 30%. S ohledem na typ vlákna se také operace dloužení provádí buď homogenně nebo heterogenně (adiabaticky), které je pro PET vlákna z důvodu jeho silné teplotní závislosti nevhodné. U vysoce orientovaných PET vláken dochází při adiabatickém dloužení ke vzniku krčku – tj. místu, kde dochází k disipaci mechanické energie na teplo. Tím dojde v daném místě ke snížení viskozity [9], tání krystalitů a k nárůstu orientace vlákna. Současně tak v PET vláknech vznikají mikrotrhliny a další poruchy v jeho vnitřní struktuře.

Běžná PP vlákna jsou dloužena za dloužicího poměru 3,5 s krčkem, za vzniku fibrilární struktury, krystalinita se pohybuje v rozmezí 70 – 80%. Teplota dloužení ovlivňuje vznik mikro dutin ve vláknech. Za použití rychlosti zvlákňování PP vláken vyšší než 1000 m min^{-1} dochází k předorientaci vnitřní struktury vláken. Homogenní dloužení vláken vyžaduje s nárůstem teploty zvýšení odváděcí rychlosti, tedy vyššího tahového napětí. Tím dojde ve vláknech ke krystalizaci a orientaci, vzájemným prokluzům molekulárních řetězců a následnému vzniku fibrilární struktury. Celý proces je ovlivněn molekulární hmotností vláken, vnitřním koeficientem tření a tedy i množstvím prokluzů řetězců ve vláknech. Na molekulární úrovni dochází při protahování k přechodu glykolových částí molekuly z gauche-konformace na prodloužené trans-konformace [10]. Experiment se snahou vytvořit PET vlákna s nejvyšší možnou hodnotou molekulární orientace provedli Bechtel, Vohra a Jacob, kdy PET vlákna orientovali na několika protahovacích zónách, kdy každá měla vyšší odtahovou rychlost současně s vyšší

použitou teplotou, než zóna předcházející [11]. Byl rovněž proveden experiment s dlužením vláken za využití CO₂ laseru, umožňujícím bezkontaktní tepelné působení pouze v určitém místě vlákna [12].

Po operaci dlužení je třeba zajistit relaxaci vnitřních napětí ve vlákne – vlákno ustálit, tzv. fixovat. Tato operace se provádí ohřevem vlákna buď za konstantní délky (s napětím), nebo beznapětově (ve volném stavu) (obr.1.1.3). Při fixaci vlákna za konstantní délky dochází ke vzájemným prokluzům orientovaných makromolekulárních řetězců. U amorfních polymerů dochází při nižších teplotách (bez krystalizace) k „entropickému“ srážení vyvolanému „relaxací“ fyzikální sítě zapletenin řetězců lineárního polymerů [2, 7].



Obr.1.1.3 Vliv teploty fixace na sráživost PET vláken ve vodě při teplotě 100° C, FA- vlákna fixovaná bez napětí, TA - vlákna fixovaná za napětí. [8]

PET vlákna tepelně fixovaná při teplotě v rozmezí 180 - 220° C vykazují sráživost nižší než 2% jejich původní délky. Prokazatelně nižší sráživost mají vlákna fixovaná bez napětí v porovnání s vlákny fixovanými za napětí [8]. Tepelné namáhání za konstantní délky zvyšuje krystalinitu bez změny molekulární orientace. Podmínky celého procesu výroby, dlužení i tepelné fixace vláken ovlivňují uspořádání jejich vnitřní struktury. Vliv dlužicího poměru PET vláken byl studován v práci [13], byla prokázána závislost mezi dlužícím poměrem, strukturálními parametry a mechanickými vlastnosti. S vyšším dlužícím poměrem došlo k nárůstu hodnot dvojlomu, ke zvýšení stupně krystalinity, rovněž ke zvýšení pevnosti a snížení tažnosti zkoumaných materiálů. Vliv zvýšení

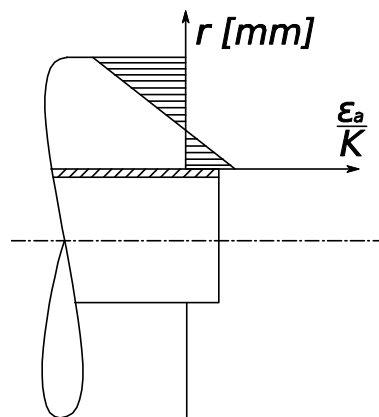
odtahové rychlosti vláken při zvlákňování v rozmezí 2000 – 7000 m min⁻¹ ukázal významný pokles sráživosti PTT a PET vláken ve vodě při 100°C. Při rychlosti zvlákňování 3000 – 4000 m min⁻¹ došlo ke skokovému poklesu sráživosti, zároveň byl při dané rychlosti zvlákňování prokázán nárůst krystalinity [14]. U semikrystalických vláken je průvodním jevem fixace rekrytalizace, spojená s tvorbou perfektnějších, tepelně stabilnějších krystalitů. V závislosti na podmínkách fixace (použitá teplota, doba fixace, působící předpětí) dochází k retrakci řetězců v amorfních oblastech, což se projeví snížením orientace a makroskopickým srážením. Velikost smrštění (ireversibilní redukce délky vlákna) závisí na celkové orientaci molekul [15].

Efektivita tepelného působení na vlákna závisí na jejich vnitřní krystalinitě. Krystalinitu částečně ovlivňují příčná propojení semikrystalických struktur ve vláknech. To způsobuje na počátku tepelného působení na vlákno zpoždění počátku „plovoucího režimu“ a s rostoucím časem konstantní relaxaci za dané teploty. Zvýšením teploty fixace vláken dochází ke zvýšení jejich hustoty a tím i ovlivnění jejich vnitřního uspořádání, dochází ke zvýšení jejich vnitřní krystalizace. U materiálu PA6 byl potvrzen vliv doby tepelného působení na stupeň krystalizace. Hodnota krystalinity se zvýšila prodloužením doby tepelného působení na vlákno. Při 200° C krystalinita je po 2 min tepelného působení přibližně 0,38, po 30min její hodnota vzrostla na 0,47 [16].

Další možností ustálení vnitřního uspořádání vláken je závěrečná tepelná stabilizace (fixace) finálního výrobku, kdy je nezbytné předem počítat s rozměrovou změnou během fixace. Tepelná stabilizace vláken je doprovázena relaxací jejich vnitřního napětí a stabilizací struktury vlivem refrakce řetězců. Tím se zamezí i pozdějším rozměrovým změnám – dojde k ustálení sráživosti vláken. Při izometrické fixaci (za konstantní délky) nedochází k rozměrovým změnám vláken, ale k relaxaci napětí spojeného s prokluzem řetězců a krystalizací za napětí. Současně tak dochází ke změnám orientace a zvýšení pevnosti vláken. Při izotonické fixaci (ve volném stavu) dochází vlivem kontrakcí řetězců a relaxací napětí ke srážení vláken. Tento jev je provázen rekrytalizací, která tento stav fixuje. Při rekrytalizaci dochází k uspořádání vnitřní struktury - malé krystalky tají a tvoří větší, dokonalejší krystaly. Klesá pevnost a roste tažnost vlákna. Výrobci z pravidla provádějí beznapětovou fixaci při 130- 180°C, kdy

dochází ke srážení a relaxaci napětí. U spotřebitele se provádí fixace pro stabilizaci struktury při 180-210°C, za napětí, kdy probíhá rekystalizace.

Mnohdy dochází k rozměrovým změnám vlivem mechanického působení na vlákno během procesu jeho zpracování, např. během přesoukávání, navádění, tkaní atd. [17].



Obr. 1.1.4 Průběh míry axiální deformace návinnu [17]

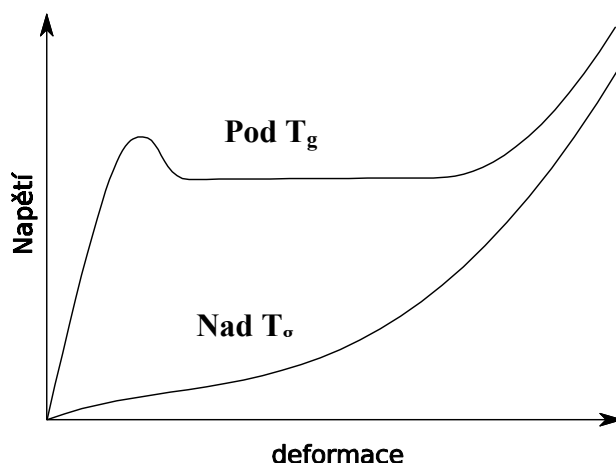
V průběhu předení dochází vlivem napětí působícího na vlákno k nárůstu plochy vlákna na jednotku objemu. Poměrné prodloužení vlákna v axiálním směru $\epsilon_a(r)$ v závislosti na průměru cívky je dáno vztahem (1.1.2):

$$\epsilon_a(r) = \frac{1}{E} \{ \sigma_a(r) - \mu[\sigma_t(r) + \sigma_r(r)] \} \quad (1.1.2)$$

Na obr. 1.1.4 je znázorněn průběh míry axiální deformace návinnu. Zároveň napětí v průběhu předení, tkaní, či dalších výrobních operací, vede ke zvýšení molekulární orientace vlákna a tudíž během působení napětí dochází ke zvýšení krystalizace [18]. Byl rovněž prokázán vliv struktury příze a použité technologie výroby příze (použitou technologií daný způsob namáhání vláken v průběhu jejich zpracování) na tepelné a mechanické vlastnosti [19].

1.2 Mechanické vlastnosti vláken

Mechanické vlastnosti nedloužených PET vláken jsou silně závislé na teplotě. (obr. 1.2.1). Je-li vlákno deformováno za teploty vyšší než $T_g \approx 68^\circ\text{C}$, dochází k velmi pozvolnému nárůstu pevnosti za výrazných projevů tažnosti vlákna. Při mechanickém namáhání PET vláken při teplotě nižší než T_g , naopak dochází v první fázi k nárůstu pevnosti za nízké tažnosti vlákna, tuto první část tahové křivky (po výraznou mez pružnosti) lze popsat Hookovým zákonem. Po této fázi se na vlákně vytvoří tzv. krček, který „putuje“ po celé délce namáhaného vlákna. Na tahové křivce se tento jev projeví jako nárůst tažnosti za konstantní hodnoty pevnosti. V závěru dojde k nárůstu pevnosti i tažnosti [20].



Obr. 1.2.1 Průběh deformačních křivek nedloužených PET vláken

S rostoucí odtahovou rychlostí při zvlákňování dochází k nárůstu počátečního modulu vláken a současně ke snížení jejich tažnosti [14]. Byla prokázána velmi dobrá korelace mezi krystalinitou a napětím v přetrhu. Orientace semikrystalických polymerů je dána převážně krystalickou strukturou a transformačním mechanismem, vedoucím k fibrilární struktuře [16]. V některých případech může vést zahřívání vláken ke ztrátě jejich mechanických vlastností, zejména u polymerů s nižší krystalinitou. Záleží přitom na hustotě vodíkových můstků v poměru k hustotě Van der Waalových sil ve struktuře vlákna. Poměr těchto sil má za následek pokles či naopak zvýšení teploty tání polymeru a absorpci vody, které jsou pak nižší pro polymer s nižší hustotou vodíkových můstků v molekule. U krystalických plastů s vyšším stupněm krystalinity klesá v oblasti mezi

T_g a T_m jejich roztažnost. Nižší teplotní roztažnost taktéž vykazují polymery s vyšším modulem pružnosti [21]. Napětí v přetrhu vykazuje vyšší hodnoty u vzorků zahřívaných ve volném stavu oproti vzorkům tepelně fixovaných za konstantní délky. Samuels [22] tento pokus provedl se stejným výsledkem pro isotaktická polypropylénová vlákna. Napětí při přetrhu závisí na krystalinitě stejně jako na molekulární orientaci, pro semikrystalická vlákna byla stanovena rostoucí lineární závislost modulu na stupni krystalinity a orientaci řetězců [23].

Důležitou charakteristikou popisující deformační chování vláken je tzv. Poissonův poměr ν , který je definovaný jako příčné zkrácení vláken ε_T ku jejich podélnému prodloužení ε (1.2.1).

$$\nu = -\frac{\varepsilon_T}{\varepsilon} \quad \text{kde} \quad \varepsilon_T = \frac{S - S_0}{S_0} \quad (1.2.1)$$

Počáteční modul v tahu E u isotropních materiálů (1.2.2) souvisí se smykovým modulem G (vztah 1.2.3) a kompresivním modulem K (1.2.4). Je definován jako derivace pracovního diagramu v počátku, tzn. Jako směrnice tečny v počátku tahové křivky vlákna. V případě pružné deformace platí Hookův zákon, kde E je konstanta úměrnosti (tzv. Youngův modul pružnosti) mezi napětím σ a deformací ε .

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (1.2.2)$$

$$G = \frac{E}{2(1 + 2\nu)} \quad (1.2.3)$$

$$K = \frac{E}{3(1 - 2\nu)} \quad (1.2.4)$$

U vláken se vyskytuje silná anisotropie. Počáteční modul - tedy modul v orientovaném směru vlákna, bývá řádově vyšší, než je tomu u modulů ve směru kolmém na osu vlákna. Počáteční modul vláken je ovlivněn nejen chemickým složením a vnitřním uspořádáním vláken, ale i jejich geometrií (jemností vláken, tvarem příčného řezu,

hustotou vláken a plochou příčného řezu) Ovlivňuje ohebnost vlákna Fe , (rovnice 1.2.5) a tím i jeho zpracovatelnost a možnosti vhodného použití v textilní či technické praxi.

$$Fe = \frac{64}{E\pi d^4} \quad (1.2.5)$$

Průměr vlákna je nepřímo úměrný čtvrté mocnině modulu. Ultimatívni charakteristiky a moduly jsou silně závislé na teplotě. [2].

Na zkoušení tahových mechanických vlastností má rovněž vliv rychlost deformace vláken v_ε [min^{-1}], která vyjadřuje přírůstek deformace ε za jednotku času t se stanoví dle rovnice 1.2.6, kde Δl značí změnu délky vláken ku jejich původní délce l_0 .

$$v_\varepsilon = \frac{d\varepsilon}{dt} = \frac{d\left(\frac{\Delta l}{l_0}\right)}{dt} = \frac{d\Delta l}{l_0 dt} = \frac{v_p}{l_0} \quad (1.2.6)$$

Rychlost posuvu čelisti v_p [mm min^{-1}] je dána vztahem 1.2.7.

$$v_p = \frac{d\Delta l}{dt} \quad (1.2.7)$$

Působící vnější síla, která vyvolá ve vláknech napětí σ , které vede k odpovídající deformaci vlákna ε (prodloužení vlákna ve směru osy namáhání za současného zúžení).

$$\varepsilon = \frac{F}{\sigma} \quad (1.2.8)$$

Pevnost je definovaná jako největší napětí, které způsobí rozdělení materiálu. Tažnost je definovaná jako nejvyšší protažení materiálu při přetrhu vzorku.

Mez pevnosti v tahu (pevnost v tahu) se definuje jako napětí potřebné k přetržení zkušebního tělesa vztažené na původní průřez, tedy smluvní napětí potřebné k přetržení. K výpočtu se používá maximální hodnota síly, i když k vlastnímu přetržení dochází při nižším napětí. V textilní praxi se pevnost často vyjadřuje v jednotkách Newton, nebo vztažené k jemnosti [37].

$$A = \frac{F}{T} \quad (1.2.9)$$

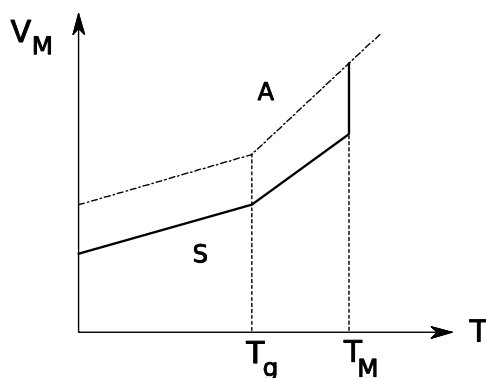
Tažnost vyjadřuje přírůstek délky (celkové poměrné prodloužení) při daném způsobu namáhání v [%] původní délky vlákna při přetržení [19, 20]. Tažnost lze stanovit dle vztahu:

$$\varepsilon_p = \frac{L_p - L_o}{L_o} \cdot 100 \quad (1.2.10)$$

Významný může být i vliv upínací délky vlákna, kdy za uvažování teorie nejslabšího článku větší délka testovaného úseku znamená vyšší pravděpodobnost výskytu většího počtu slabých míst. S kratší upínací délkou naopak roste tažnost ve vlákně a je zapotřebí působení větší síly k dosažení přetrhu vlákna [24, 25, 26].

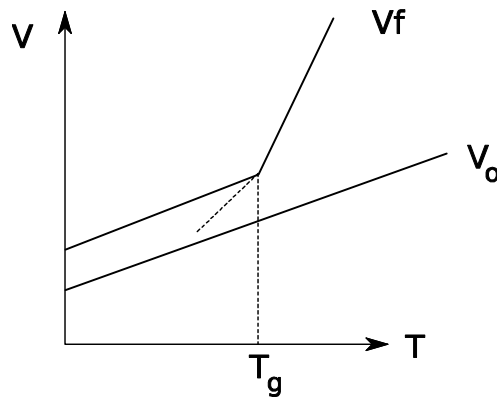
1.3 Tepelné vlastnosti vláken

Teplota tání T_M a zesklnění je charakteristickou hodnotou pro každé chemické vlákno. Je dána jejich chemickým složením a uspořádáním nadmolekulární struktury (pohyblivostí makromolekulárních řetězců v závislosti na teplotě). U polymerních látek závisí průběh fázových změn na stupni krystalinity. Se zvyšující se teplotou dochází u amorfních látek k přechodu ze skelného do kaučukovitého stavu. Tato přeměna se děje v určitém teplotním intervalu, který je nazývá skelný přechod. Střední teplota tohoto přechodu se nazývá teplota zesklnění T_g . T_M není možné jednoznačně identifikovat. U semikrystalických polymerů (mají krystalickou i amorfni část) je možné T_g , T_M indikovat. Na obr. 1.3.1 je typická závislost měrného objemu (objem na jednotku hmotnosti) na teplotě pro amorfni a semikrystalické polymery.



Obr. 1.3.1 Teplotní závislost měrného objemu A-amorfni polymer, S-semikrystalický polymer

Při teplotě T_g se mění mnoho fyzikálních charakteristik (viskozita, tepelná kapacita, modul pružnosti...) V řadě případů je hlavní příčinou změna volného objemu v polymerech. Pro amorfni polymery je celkový objem V_M složen z objemu řetězců V_O a volného objemu V_f . Až do teploty T_g mohou částice makromolekul vykonávat pouze vibrační pohyb kolem určitých rovnovážných poloh. Proto roste V_f i V_O stejnou rychlostí (obr. 1.3.2). Při T_g energie dodaná částicím právě postačuje k překonání bariéry pro vnitřní rotaci molekul kolem jednoduchých kovalentních vazeb – rotace se označuje jako segmentální pohyb.



Obr. 1.3.2 Závislost obsazeného a volného objemu amorfních polymerů na teplotě

Nad T_g dojde vlivem segmentální pohyblivosti k výrazně rychlejšímu růstu V_f , jehož důsledkem je vznik velkého množství pórů v polymeru, které ovlivňují jeho vlastnosti. Teplota zesklnění závisí obecně na molekulové hmotnosti polymeru M_n podle vztahu 1.3.1, kde T_{gz} je rovnovážná teplota zesklnění a K je konstanta.

$$T_g = T_{gz} - \frac{K}{M_n} \quad (1.3.1)$$

U úplně krystalických látek skelný přechod neexistuje. U semikrystalických polymerů souvisí teplota zesklnění na stupni krystalinity a tedy i teplotě tání. Pro polymery se symetrickými řetězci je $T_g \approx 0,5 \cdot T_M$ a pro polymery s asymetrickými řetězci je $T_g \approx 0,66 \cdot T_M$. Teplota zesklnění kopolymerů se dá určit ze vztahu 1.3.2

$$\frac{1}{T_g} = \frac{W_1}{T_{g1}} + \frac{1-W_1}{T_{g2}} \quad (1.3.2)$$

Zde T_{g1} je teplota zesklnění homopolymeru s hmotnostním podílem W_1 a T_{g2} je teplota zesklnění druhého homopolymeru s hmotnostním podílem $W_2=1-W_1$.

Teplota zesklnění má projevy charakteristické pro fázový přechod II. druhu, ale fázovým přechodem II. druhu není. U fázových přechodů druhého druhu se spojitě mění první derivace volné entalpie (tzv. Gibbsova potenciálu), ale za existence konečného skoku v jejich druhé derivaci. Závisí na teplotě ohřevu či chlazení a má tedy kinetický charakter. Při vyšších rychlostech ohřevu či chlazení se dosáhne vyšší hodnoty T_g . Vysoké T_g zajišťují také tuhé a neohebné řetězce a silné mezimolekulární vazby.

Rychlost přestupu tepla v materiálu charakterizuje tepelná vodivost. Má vliv na tepelně-izolační procesy, ohřev i chlazení. Tepelnou vodivost vyjadřuje součinitel tepelné vodivosti λ [$Wm^{-1}K^{-1}$], což je konstanta úměrnosti ve vztahu pro ustálený tepelný tok přes plochu A_0 . Rychlost toku tepla je úměrná také rozdílu teplot na vstupu T_1 a výstupu T_2 z desky o tloušťce X . Je dána vztahem 1.3.3:

$$\frac{Q}{t} = -\lambda A_0 \frac{(T_1 - T_2)}{X} \quad (1.3.3)$$

kde Q je množství tepla prošlého deskou za čas t . Tepelná vodivost souvisí se specifickým měrným teplem při stálém objemu C_v , průměrnou hustotou polymeru a rychlostí šíření zvuku v polymeru v_z podle vztahu 1.3:4

$$\lambda \approx K \rho C_v v_z \quad (1.3.4)$$

kde K je konstanta typická pro každý polymer. Vychází se z představy „fotonového“ modelu. Tepelná energie se šíří v kvantech rychlostí zvuku po jednotlivých vrstvách polymeru. U semikrystalických polymerů souvisí tepelná vodivost s měrnými hmotnostmi amorfni a krystalické fáze a lze ji vyjádřit vztahem 1.3:5.

$$\lambda_c = \lambda_a \left[1 + 5,8 \left(\frac{\rho_k}{\rho_a} \right) - 1 \right] \quad (1.3.5)$$

Při běžné teplotě je vodivost krystalické fáze zhruba 6x vyšší než tepelná vodivost amorfni fáze [2, 7].

1.4 Šíření mechanického vlnění ve vláknech

Akustická metoda, vycházející z teorie vnitřního uspořádání pevných látek a tekutin, kde jsou částice mezi sebou vázány nebo na sebe působí při vzájemných srážkách, byla vyvinuta Blythem a Postlem [27]. Vazby vnitřní struktury pevných látek a tekutin způsobují přenos pohybu (kmitání) částic v kontinuu a tím šíření mechanického vlnění doprovázeného vznikem elastických vln, jejichž rychlost je dána rovnicí 1.4.1:

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (1.2.2)$$

Kde c je rychlost šíření podélného vlnění (zvuku) v tenké tyči (vlákně) s modulem pružnosti E a hustotou ρ (použitelné pro ortotropní směry šíření zvuku).

Akustický nebo dynamický modul pružnosti E je poté stanoven dle rovnice (1.2.2a) jako

$$E = \rho c^2 \quad (1.2.2a)$$

Kde c je rychlost zvuku a ρ je měrná hmotnost vláken. Výsledky pokusů porovnání dynamického modulu plstěných materiálů, vlněných tkanin a osnovních a útkových pletenin ve dvou vzájemně kolmých soustavách (směr osnovy a útku), ve stavu suché a mokré relaxace plošné textilie, ukazují závislost parametrů plošných textilií (zvlnění, průměr vláken, hustota plošné textilie) na hlavních dynamických modulech ve směru osnovy a útku E_1 a E_2 a dynamickém modulu smyku G' [37].

K popsání odezvy materiálu je třeba stanovit jeho vlnovou délku a amplitudu. Za předpokladu, že textilie jsou považovány za visko-elastické médium, bylo zařízení rozšířeno pomocí měděných destiček za účelem umožnění měření plošného materiálu (tkaniny a papír), kde bylo aplikováno pozorování kolmosti nití (vnitřní struktury) a vzájemného uspořádání [15].

Ve zcela orientovaných vláknech jsou makromolekuly uloženy v podélném směru vlákna, jsou orientovány rovnoběžně s osou vlákna a svírají tak úhel 180°. Opačným případem je pak uložení makromolekul ve směru kolmém na osu vlákna, tedy pod úhlem 90°. Ve většině případech jsou vlákna neorientovaná, pro která je stanovený $\overline{\cos^2 \Theta} = 1/3$. Rychlost šíření elastických vln vláknem roste se zvyšující se vnitřní orientací vláken [15].

Měřením rychlosti šíření zvuku v orientovaném (C) a v neorientovaném (Ca) polymeru lze získat průměrný orientační faktor \bar{f} . Dle zjednodušeného odvození 1.4:2 platí, že

$$\overline{\cos^2 \theta} = 1 - \frac{2}{3} \frac{C_a^2}{C^2} \quad (1.4.2)$$




kde $\overline{\cos^2 \theta}$ je střední hodnota druhé mocniny kosinů orientovaných úhlů anizotropních jednotek [19]. Stupeň orientace f , modelová představa je znázorněna na obr. 1.4.1, je odvozený dle Hermansova orientačního faktoru (1.4.3)

$$\bar{f} = 1,5 \cdot \overline{\cos^2 \theta} + 0,5 \quad (1.4.3)$$

Hodnota průměrné orientace vláken se stanoví dle rovnice 1.4.4

$$f_\alpha = 1 - \frac{C_n^2}{C^2} \quad (1.4.4)$$

kde C_n je rychlost zvuku testovaného vlákna a C je rychlost přenosu zvuku úplně orientovaným vláknem [28].

	↑			
cos Θ	1	<-1,+1>	0	
cos²Θ	1	1/3	0	
f	1	0	-1/2	

Obr. 1.4.1 Jednoosá a náhodná orientace vláken

Využitím vztahů 1.2.2a a 1.4.4 lze stanovit molekulovou orientaci jako:

$$f_\alpha = 1 - \frac{E_n}{E} \quad (1.4.5)$$

Měření rychlosti zvuku procházejícího vzorkem ukazuje na celkovou průměrnou orientaci ve vlákne. Pro PET vlákna se rychlost zvuku procházejícího vzorkem zdá být výsledným efektem vnitřní orientace vlákna a jeho hustoty [29]. Významný vliv na rychlost procházejícího zvuku vláknem má jeho krystalinita [14].

Za použití dvou fázového modelu lze pomocí stanovení dvojlomu vláken (míry anizotropie, resp. celkové orientace polymerního systému) určit následnou orientaci amorfni a krystalické fáze vlákna dle vztahu 1.4.6:

$$\Delta n = f_c \beta \Delta n_c^0 + f_a (1 - \beta) \Delta n_a^0 \quad (1.4.6)$$

β je krystalinita krystalické oblasti $\approx 0,98$, Δn_c^0 , resp Δn_a^0 je dvojlom krystalické, resp. amorfni fáze, dle Dumbletona je $\Delta n_c^0 = 0,22$ a $\Delta n_a^0 = 0,253$. f_c, f_a je orientace krystalické, resp. amorfni fáze. Dvojlom je definován rozdílným indexem lomu světla naměřeného v rovnoběžném a kolmém směru na osu vlákna [3].

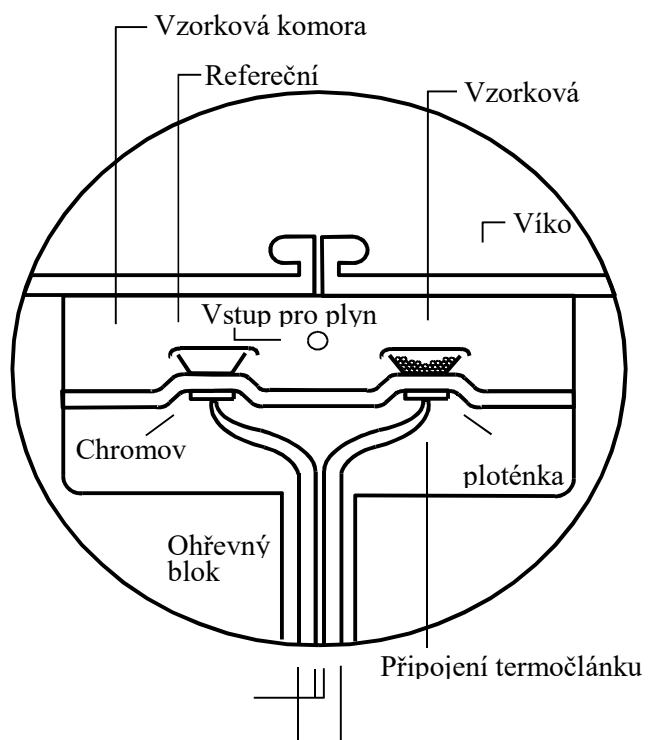
1.5 Diferenciální skenovací termická analýza

Krystalinitu vláken je možné stanovit i pomocí diferenciální snímací (skenovací) termická analýza (DSC). Tato metoda umožňuje sledovat a hodnotit termické procesy ve vzorcích materiálu. Vzorek se podrobuje lineárnímu ohřevu a měří se plynule tepelný tok, který je úměrný okamžitému měrnému teplu. Uvnitř pláště, kde je udržována pokojová teplota, jsou umístěny dva symetrické nosiče (pánvičky). Odporový teploměr a topný člen zabudovaný v nosiči vzorku slouží jako primární teplotní kontrola systému. Sekundární teplotní kontrolní systém měří teplotní diferencii mezi oběma nosiči a tento rozdíl upravuje na nulový kontrolou měřeného tepelného proudu. Teplota sekundárního referenčního bloku je tedy udržována shodná s teplotou sledovaného materiálu. Množství, potřebné k udržení těchto podmínek, je zaznamenáváno v závislosti na čase nebo teplotě. Měří se elektrický příkon potřebný k udržení izotermních podmínek. Signál rozdílu dodaných tepelných energií je přímo úměrný tepelné energii pohlcené nebo uvolněné při sledovaném ději.

Malá tepelná kapacita celého systému dovoluje použít velké rychlosti ohřevu (desítky K/min) a zajišťuje velkou rozlišovací schopnost. Množství uvolněného tepla je úměrné množství elektrické energie spotřebovaného na zahřátí vzorku (standardu). Pro DSC platí

$$\dot{\Delta Q} = \Delta H \dot{\alpha} - (C_{P_s} - C_{P_r}) \phi + \Delta \Lambda (T - T_J) \quad (1.4.6)$$

kde α je izotermní stupeň přeměny, ϕ je rychlost ohřevu, Λ součinitel přestupu tepla, C_p je tepelná kapacita a Δ je obecně diference. Schema přístroje je uvedeno na obr. 1.4.2.



Obr. 1.4.2 Schema měřicí jednotky DSC

Pokud může polymerní materiál podléhat již v normální vzdušné atmosféře oxidativní degradaci provádí se měření v inertní atmosféře (nejčastěji dusíkové). Proudění dusíku kolem měřicí pánvičky zajišťuje také odvod plyných produktů, které při zahřívání vznikají. Jedná se např. o odvádění vlhkosti. Při vyšších teplotách může docházet i k odvodu degradačních produktů (termické nebo oxidativní degradace). Tyto produkty pak dále neovlivňují průběh měření.

1.6 Použité statistické metody

Pro zpracování experimentálních dat stanovení jemnosti, průměru, pevnosti a tažnosti monofilů bylo využito základního statistického aparátu uvedeného v [35], s využitím statistického programu QC Expert [38].

Zpracování experimentálních jednorozměrných dat bylo provedeno za předpokladu jejich Gaussova (normálního) rozdělení $N(\mu, \sigma^2)$, nezávislosti a homogenity.

Funkce hustoty $f(x)$ spojité náhodné veličiny X popsané Gaussovým rozdělení $N(\mu, \sigma^2)$ je dána předpisem 1.6.1:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad \text{pro } x \in R \quad (1.6.1)$$

Distribuční funkce normálního rozdělení je definována rovnicí 1.6.2:

$$F(x) = \int_{-\infty}^x f(t) dt = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}} dt \quad (1.6.2)$$

Základní postup práce s naměřenými hodnotami byl následující:

- 1.) ověření normálního rozdělení dat,
- 2.) ověření jejich nezávislosti,
- 3.) ověření homogenity datového souboru,
- 4.) vyřazení odlehlých měření ze souboru naměřených dat,
- 5.) stanovení popisných statistických údajů – průměrného hodnoty, rozptylu, směrodatné odchylky a variačního koeficientu.

Odlehlá měření byla stanovena pomocí Q-Q grafu nebo krabicového grafu.

Krabicový graf představuje rozdělení dat do kvantilů, 50% dat představuje vlastní tělo „krabici“ grafu, spodní okraj představuje 25% kvantil a horní okraj 75% kvantil. Střed v 50% kvantilu odpovídá mediánu, jeho okraje (šířka) odpovídá intervalu spolehlivosti mediánu. Černými úsečkami je ohraničen výběr dat souboru. Data mimo tato ohraničení jsou považována za odlehlé hodnoty.

Q-Q graf porovnává data ze souboru s daty s teoreticky zvoleným typem rozdělení. Q-Q graf vhodný pro stanovení normality dat a dále pro stanovení odlehlých měření v souboru dat. Pro normální data bez odlehlých měření má tvar přímky; odlehlá měření představují koncové body ležící mimo tuto přímku. Q-Q graf umožňuje vizuálně posoudit, zda data souboru jsou nelineární, nebo zda je nelinearita dána pouze ojedinělými body v souboru dat.

Pro popis jednorozměrných dat s normálním rozdělením byla stanovena momentová míra polohy, odhad střední hodnoty $E(x)$ normálního rozdělení – aritmetický průměr. Z n prvků výběru x_1, x_2, \dots, x_n byla vypočtena průměrná hodnota dle vzorce 1.6.3:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (1.6.3)$$

Míra jejich variability, tedy rozptýlení všech prvků kolem střední hodnoty, je dána druhým centrálním momentem statistiky, rozptylem, stanoveným 1.6.4:

$$\delta^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2 \quad (1.6.4)$$

Parametr střední hodnoty, který není v reálném souboru dat stanoven, se nahrazuje hodnotou aritmetického průměru. Rozptyl je tedy stanoven 1.6.5:

$$\delta^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (1.6.5)$$

Pro praktický popis reálný dat je rozptyl, uváděný ve čtvercích, poněkud nevýhodným. Míra rozptýlení dat je proto popisována pomocí směrodatné odchylky s (1.6.6), která je stanovena ve stejných jednotkách, jako soubor měřených dat.

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \delta^2} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (1.6.6)$$

Variační koeficient představuje míru relativního rozptýlení dat, a je stanoven jako podíl relativní směrodatné odchylky a jejího rozptylu a je dán vztahem 1.6.7:

$$\sigma = \frac{s}{\bar{x}} \quad (1.6.7)$$

Pro reálné soubory dat je odhad variačního koeficientu stanoven jako podíl směrodatné odchylky a průměrné hodnoty dle vzorce 1.6.8:

$$v = \frac{s}{\bar{x}} \quad (1.6.8)$$

Obvykle je hodnota variačního koeficientu uváděna v procentech.

Interpolace

Úskalí interpolačních metod tkví v množství inflexních bodů, které představují změnu v chování reálných dat (z konvexního průběhu se mění do konkávního atd.), avšak nemusejí odpovídat reálnému průběhu měřené veličiny. Správné určení inflexních bodů určuje vyšší přesnost proložení reálných dat matematickou funkcí (modelem). Vhodné interpolační funkce jsou složeny z polynomických úseků, které jsou v daném úseku spojité, mají tedy jeden a více řádů derivací. V případě, že by derivace byla nulová, značí to, že funkce na daném úseku není spojitá. Z těchto úvah plyne, že pro účely

interpolace, ale i aproximace, bude výhodnější volit lokálně definované funkce, které budou v místech vzájemného styku, tj. v uzlech, spojitě ve funkčních hodnotách zadaných derivací [35].

Vyhlazení metodou spline

Metody spline vyhlazení bylo využito pro zpracování naměřených hodnot efektivní, zbytkové i celkové tepelné sráživosti vláken, i pro zpracování naměřených hodnot efektivní, zbytkové i celkové srážecí síly.

Cílem této interpolační metody je nalézt vyhlazující funkci $g(x)$ popisující (prokládající) reálná naměřená data v souladu se zvolenou L_p normou na reálné časové ose měřených dat, avšak po jednotlivých úsecích, proložením elementárními funkcemi. Požadavkem je, aby byla spojitá ve zvoleném počtu derivací. S vyšším počtem jejích existujících derivací se zvyšuje její hladkost.

Za předpokladu nezávislého rozdělení chyb ε_i a nezávislé náhodné veličiny s konstantním rozptylem, je vhodné stanovit L_p normu při zvolení $p = 2$, metodu nejmenších čtverců.

$$U(g) = \sum_{i=1}^n w_i [y_i - g(x_i)]^2 \quad (1.6.9)$$

w_i jsou váhy jednotlivých bodů, závislé na jejich "přesnosti" vyjádřené např. pomocí jejich rozptylů. Pro dvakrát diferencovatelnou funkci $g(x)$ je míra její hladkosti a křivosti dána kritériem její hladkosti, vyjádřeným pomocí integrálu $I(g)$ rovnicí

$$I(g) = \int_a^b [g^{(2)}(x)]^2 dx \quad (1.6.10)$$

kde $g^{(2)}(x)$ je druhá derivace vyhlazující funkce.

Účelem je nalézt takovou funkci $g(x)$, která by měla dostatečně malou hodnotu $U(g)$, tj. byla v blízkosti experimentálních dat a současně měla co nejnižší hodnotu $I(g)$, tj. byla dostatečně hladká a co nejméně zvlňená. Stanovení optimální vyhlazující funkce $g(x)$ lze provést minimalizací modifikovaného součtu čtverců odchylek dle rovnice 1.6.11:

$$K_I = U(g) + \alpha I(g) \quad (1.6.11)$$

Korelační koeficient

Dalším statistickým nástrojem pro porovnání měření a stanovení síly (intenzity) jejich lineární závislosti bylo stanovení jejich korelačního koeficientu dvou proměnných r_{xy} , stanoveného dle 1.6.12 až 1.6.15 jako poměru kovariance a součinu směrodatných odchylek proměnných veličin, nabývá hodnot $r_{xy} < -1 ; 1 >$.

$$r_{xy} = \frac{s_{xy}}{s_x * s_y} \quad (1.6.12)$$

$$r_{xy} = \frac{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) * (y_i - \bar{y})}{n}}{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}} * \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n}}} \quad (1.6.13)$$

$$r_{xy} = \frac{\frac{\sum_{i=1}^n x_i * y_i}{n} - \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} * \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n}}{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n x_i^2}{n} - \left(\frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}\right)^2} * \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n y_i^2}{n} - \left(\frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n}\right)^2}} \quad (1.6.14)$$

$$r_{xy} = \frac{\overline{xy} - \bar{x} \bar{y}}{\sqrt{(\overline{x^2} - \bar{x}^2) * (\overline{y^2} - \bar{y}^2)}} \quad (1.6.15)$$

Hodnoty funkcí x a y jsou lineárně závislé pro $r_{xy} = |1|$. Čím více se funkce lineární závislosti liší, tím se r_{xy} blíží k hodnotě 0. Proměnné x a y jsou potom nekorelované. V Případě, že se r_{xy} blíží hodnotě -1, hodnoty jsou silně nezávislé.

2 Experimentální část

2.1 Experimentální materiály

Experimenty s cílem stanovit tepelnou citlivost, byly provedeny na polyesterovém monofilu o průměru 0,055 mm, 0,08 mm a 1 mm a polypropylénovém monofilu o průměru 0,065 mm a 0,08 mm. Jedná se o vzorky materiálů, které působí dodávku od dodávky problémy se zpracováním, způsobené jejich nestálou kvalitou. Jedná se o problém s dodávkami materiálu z asijských zemí, zejména z Číny. Materiál bývá běžně označen pouze jeho materiálovým složením a průměrem. V průběhu testování jednotlivých dodávek a šarží bylo zjištěno, že je dodaný materiál statisticky významně odlišných hodnot vlastností, než tomu bylo u předchozích dodávek.

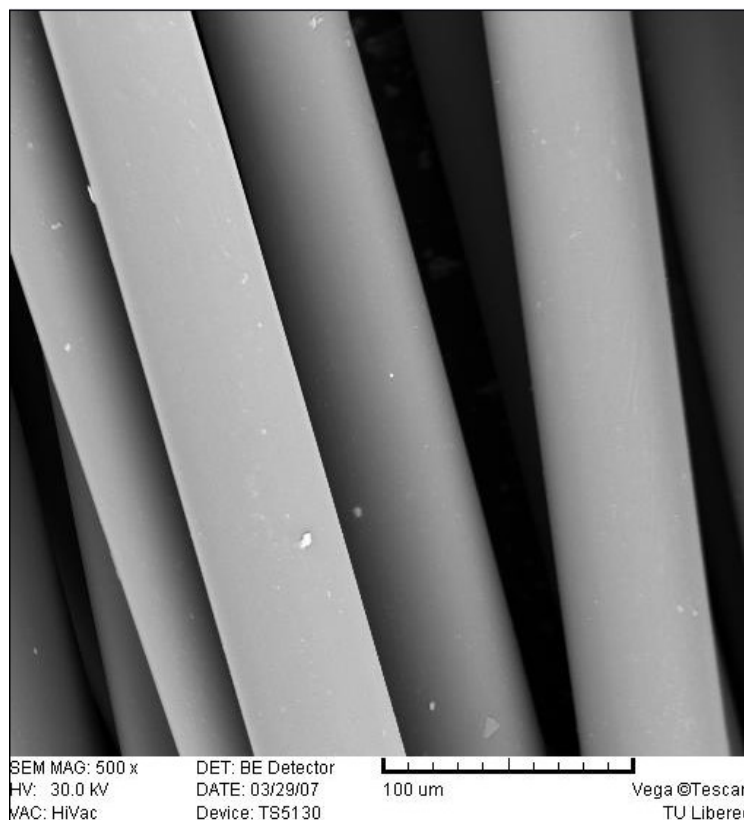
Značení testovaných vzorků materiálů je delší, ale usnadňuje orientaci v historii vzorku – od čísla šarže, typ tkaniny, k jejíž výrobě je používán, tak i jeho případné další fáze zpracování (tkaní, tepelná fixace). Název každého testovaného vzorku je složen postupně z těchto údajů:

- Pořadí dodaného vzorku materiálu
- Typ tkaniny, pro jejíž výrobu je daný monofil používán
- Typ materiálu, a fáze jeho zpracování
- V případě zatkaného materiálu je přidáno označení směru (osnovy nebo útku)
- Další značení (číslo cívky, místo odběru v těle cívky, nestandardní předpětí apod.)

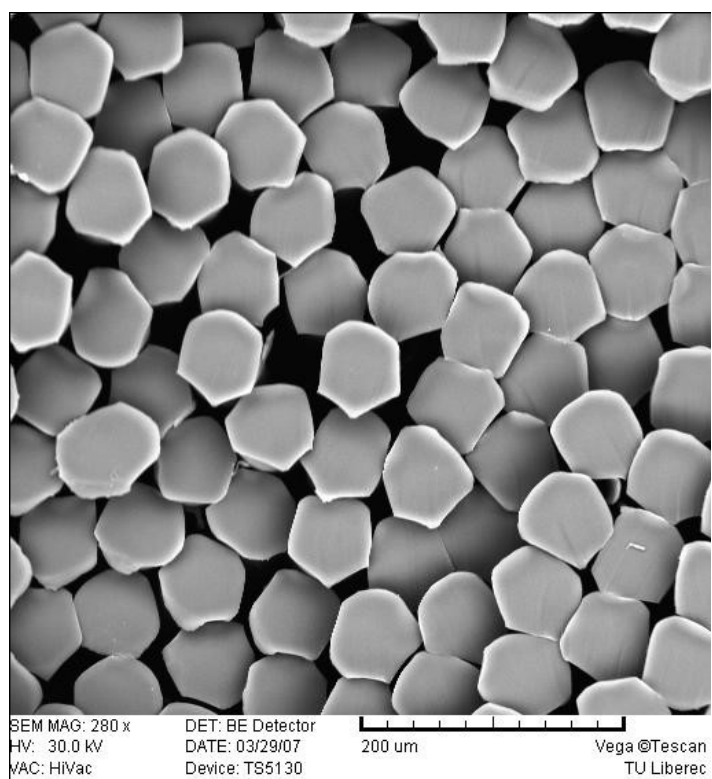
V tabulce 2.1.1 jsou uvedeny vybrané testované surové monofily, jejich značení a průměry. Chybějící údaje nebylo možné od výrobce získat.

Tab. 2.1.1 Přehled vzorků testovaných monofilů

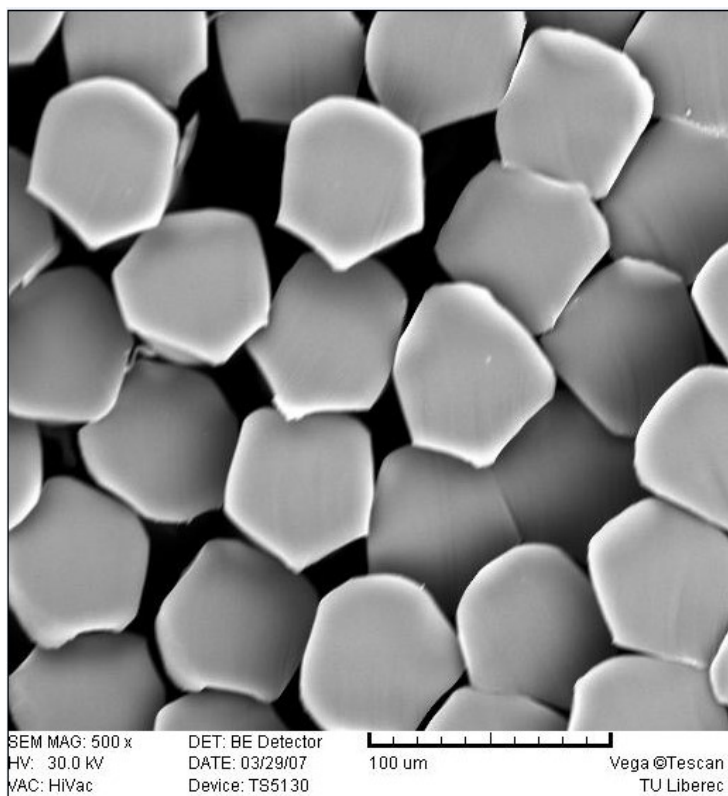
materiál	průměr monofilu	monofily	Jemnost stanovená výrobcem [dtex]				
		značení		průměr	DM	HM	
PET	0,055 mm	01-32S-MONO-NEFIX		33,3	32,51	34,09	
		02-32S-MONO-NEFIX	cívka 1		33	32,08	33,92
			cívka 2		32,7	32,23	33,17
			cívka 3	hodnoty uvedené u cívky č.1 jsou pro osnovu, u cívky č.2 pro útek, ale vzorky cívek označeny výrobcem již nebyly			
			cívka 4				
			cívka 5				
		03-32S-MONO-NEFIX	cívka 1		33,20	33,48	32,92
			cívka 2				
			cívka 3				
			cívka 4				
			cívka 5				
	0,08 mm						
	0,1 mm						
	PP	0,065 mm	101-PP-MONO-NEFIX				
		0,08 mm					



Obr. 2.1.1 Ukázka PET monofilu průměru 0,055mm – podélný pohled



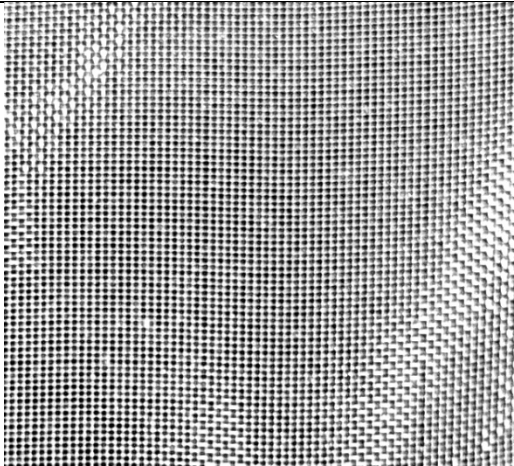
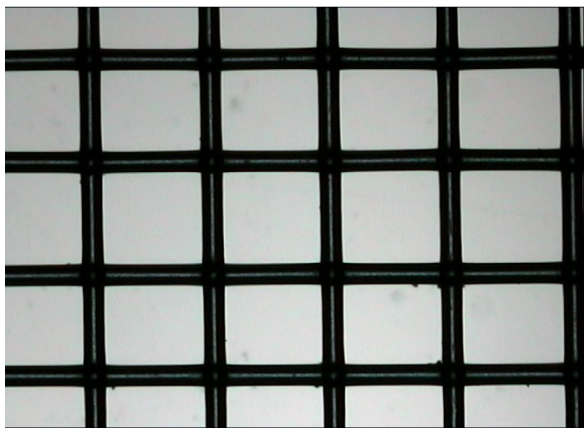
Obr. 2.1.2 Ukázka PET monofilu průměru 0,055 mm – příčný pohled

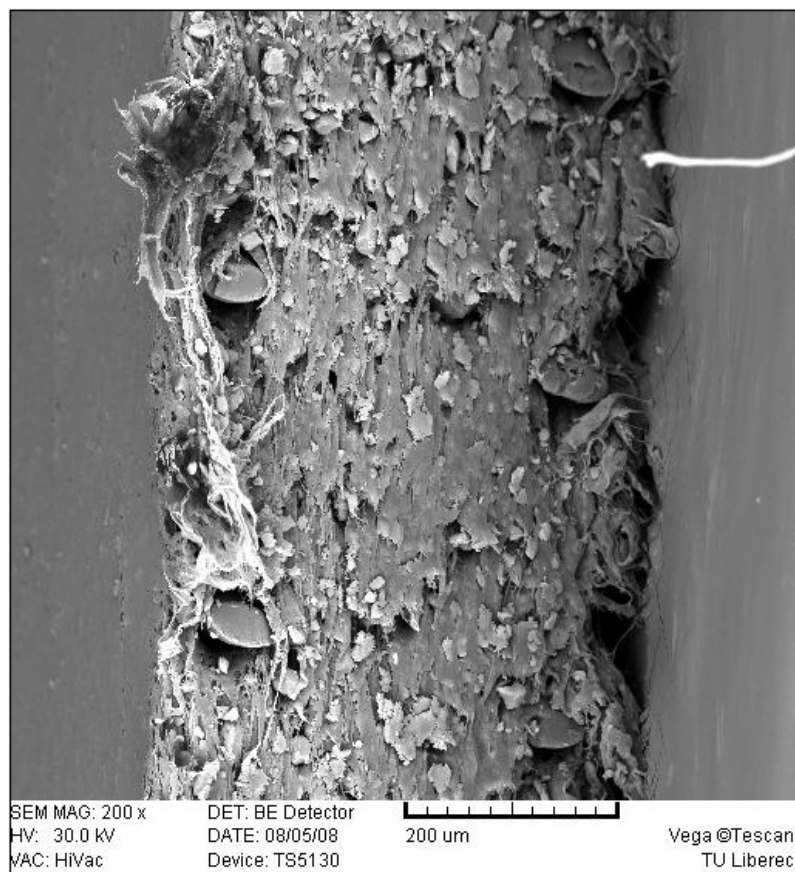


Obr. 2.1.2a) Ukázka PET monofilu průměru 0,055 mm – příčný pohled (detail)

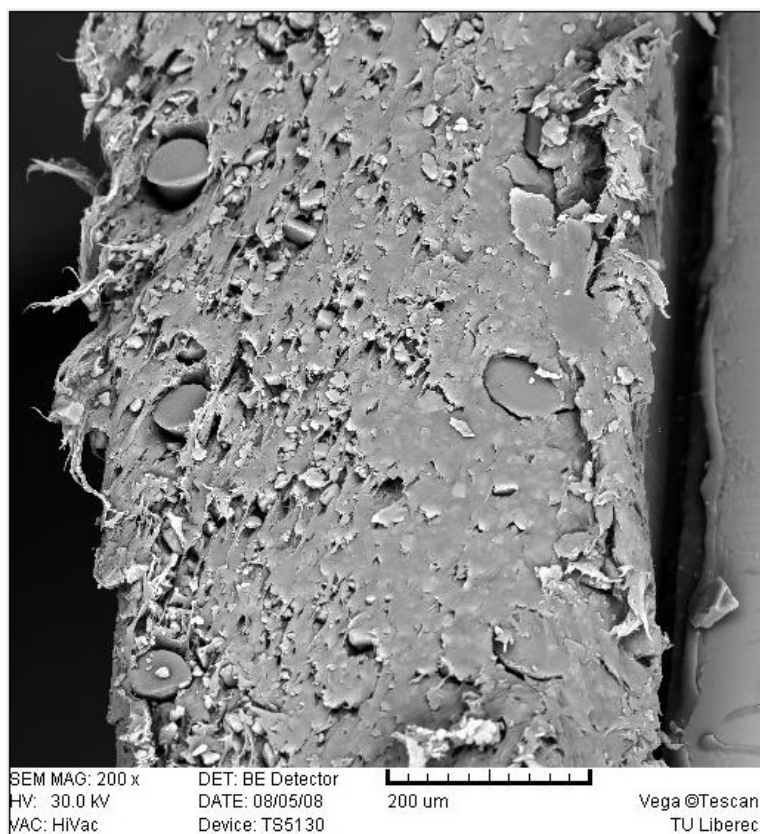
Z materiálu pod označením 01-32S-MONO-NEFIX byla zkoumána vytkaná tkanina plátňové vazby pod označením 11-32S-TKAN-NEFIX – REŽNÁ, která byla následně tepelně fixovaná při teplotě 220 °C za předpětí. Tento vzorek, vyrobený z PET monofilu 01-32S-MONO-NEFIX, je označen 24-32S-TKAN-FIX. U tkanin je požadována tepelná a mechanická odolnost, jelikož následně je tepelně fixovaná tkanina ve dvou vrstvách zalaminována při teplotách do 140 °C do vysoce viskózní ionexové směsi.

Monofily obou tkanin mají být zcela zakryty membránovou směsí, je požadováno, aby nedocházelo k přímému kontaktu tkaniny s filtrovanou látkou. Na obr. 2.1.4, obr. 2.1.4.a) je ukázka podélného , resp. příčného řezu membránou. Po okrajích ionexové membrány jsou patrné jednotlivé monofily zalaminovaných dvou vrstev armovací tkaniny.

	
<p>Obr. 2.1.3 Ukázka PET armovací tkaniny vyrobené z monofilu 0,055 mm, vazba plátňová, vzorek 24-32S-TKAN-FIX</p>	<p>Obr. 2.1.3a) Detail PET armovací tkaniny vyrobené z monofilu 0,055 mm, vazba plátňová, vzorek 24-32S-TKAN-FIX</p>



Obr. 2.1.4 Podélný řez membránou CM – membrána s dvěma vrstvami armovací tkaniny 24-32S-TKAN-FIX

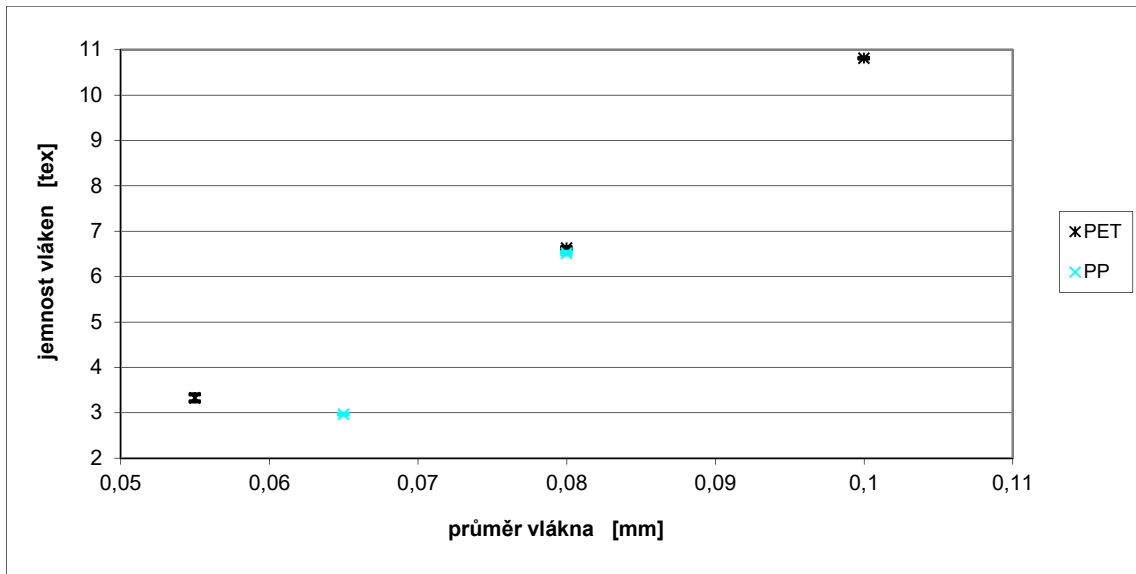


Obr. 2.1.4a) Příčný řez membránou CM – membrána s dvěma vrstvami armovací tkaniny 24-32S-TKAN-FIX

Jemnost materiálů používaných k výrobě armovacích tkanin byla stanovena pomocí gravimetrické metody, ČSN EN ISO 1973. Odebráno bylo 10 x po 100 m a dle vztahu 2.1.1 byla stanovena jemnost vláken t_v (jako hmotnost vlákna m_v ku jeho délce l_v). Plocha příčného řezu vlákna je značena s .

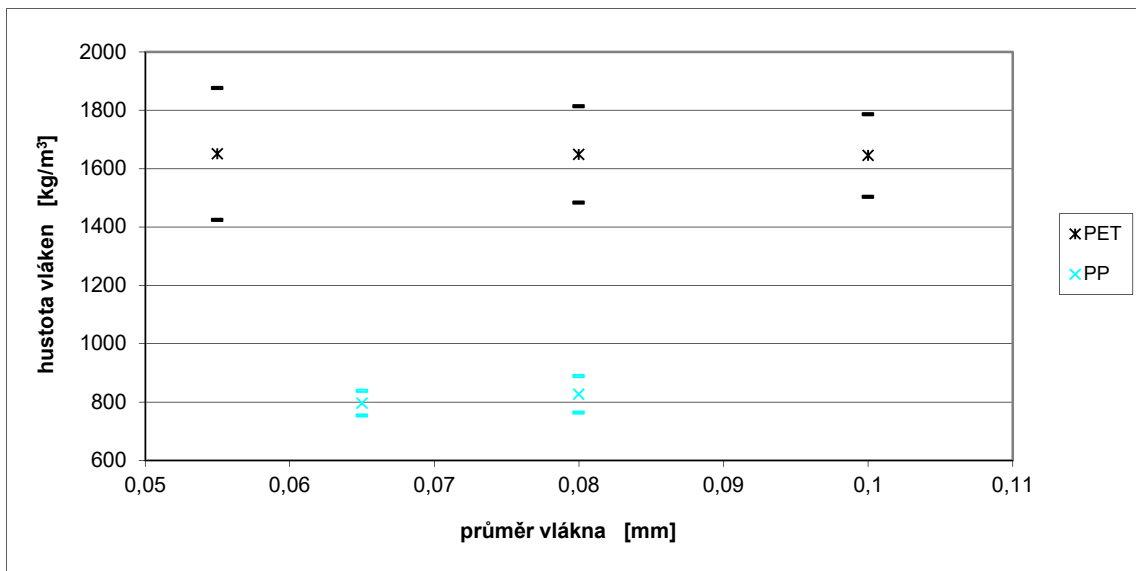
$$t_v = m_v / l_v = s\rho = \pi d^2 \rho / 4 \quad (2.1.1)$$

Výsledky stanovené jemnosti vzorků jsou znázorněny na obr. 2.1.5 a sumarizovány v příloze A, tab.1. Na obr. 2.1.5 jsou znázorněny 95% intervaly středních hodnot jemnosti.



Obr. 2.1.5 Jemnost testovaných materiálů

Využitím pyknometrické metody byla stanovena hustota vzorků vláken odebraných z cívky pomocí vijáku, používaného při gravimetrické metodě. Na vzorcích délky 200 m byla stanovena jejich hmotnost a porovnána s hmotností destilované vody objemu vláken. Při vyhodnocování tohoto experimentu byl brán zřetel na vliv teploty na měrnou hmotnost destilované vody. Výsledky jsou znázorněny na obr. 2.1.6 a sumarizovány v tab. 2.1.2.



Obr. 2.1.6 Hustota vláken stanovená pomocí pyknometrické metody

Tab. 2.1.2 Hustota vláken stanovená pomocí pyknometrické metody

materiál	průměr monofilu	hustota vláken [kgm ⁻³]		
		průměr	HM	DM
PET	0,055 mm	1650	1876	1424
	0,08 mm	1649	1814	1484
	0,1 mm	1645	1787	1504
PP	0,065 mm	796	838	754
	0,08 mm	826	889	764

Na přístroji DSC 6 fa Perkin-Elmer bylo provedeno měření metodou diferenciální snímání (skenovací) termické analýzy (DSC). Z DSC křivek ve fázi ohřevu byla stanovena teplota zesklnění T_g [°C] a teplota tání T_m [°C]. Z fáze chlazení byla určena teplota krystalizace T_{cc} [°C]. K těmto teplotám byla z křivek DSC odečtena i odpovídající změna entalpie vzorku (odpovídá ploše pod píkem). Výsledné křivky jsou uvedeny v příloze B, obr. B.1 až B.7 a sumarizovány v tab.2.1.3.

Tab.2.1.3 Výsledky měření DSC

materiál	průměr monofilu	T_g [°C] teplota zesklnění	T_m [°C] teplota tání	T_c [°C] teplota krystalizace	ΔH_m [J/g] entalpie	β [%] krystalinita
PET	0,055mm	81,65	255,47	212,18	43,84	34
	0,08mm	79,84	255,48	214,19	56,62	44
	0,1mm	85,00	255,12	210,02	68,49	53
PP	0,065mm	157,99	168,79	117,76	124,95	62
	0,08mm	162,49	170,97	115,44	128,11	64

Krystalinita vzorků, uvedená v tab. 2.1.3, byla stanovena porovnáním výsledné entalpie ΔH_m s teoretickou entalpií ΔH_m^* , stanovenou pro plně krystalický vzorek. Hodnota teoretické entalpie dle [3] plně krystalického vzorku je pro PP: $\Delta H_m^* = 200$ J/g, pro PET: $\Delta H_m^* = 130$ J/g.

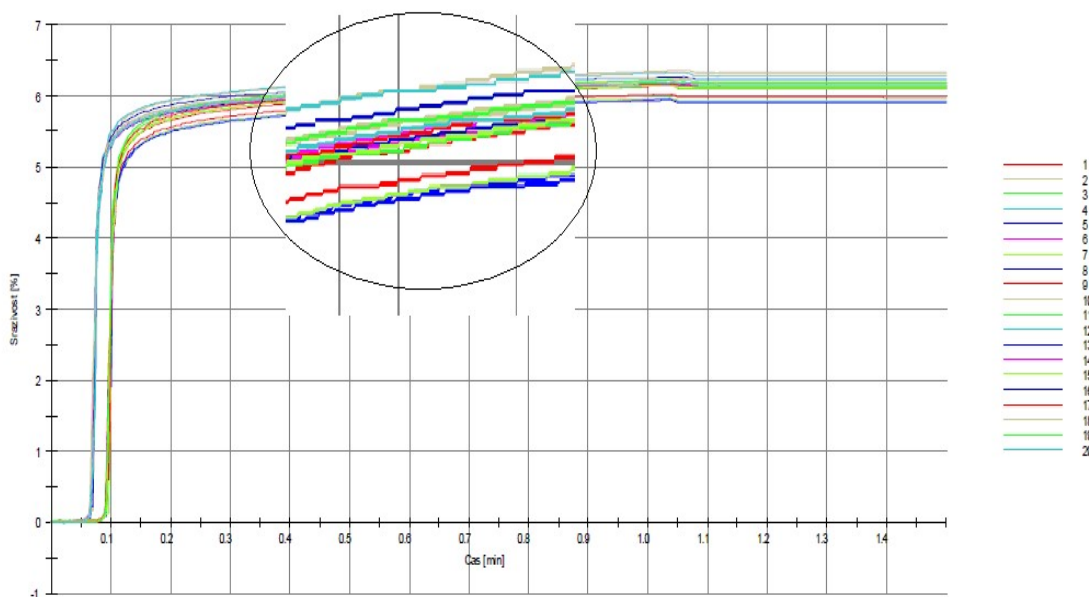
2.2 Návrh metodiky měření sráživosti monofilů

Přístroj TST 2 umožňuje stanovit následující charakteristiky vlákna: tepelnou sráživost a tepelnou srážecí sílu během tepelného namáhání vzorku, zbytkovou tepelnou sráživost nebo zbytkovou tepelnou srážecí sílu a jejich maximální hodnoty zaznamenané z průběhu celé zkoušky. Pokud se měří tepelná sráživost, vzorek je upevněn na jednom konci a na druhý konec vlákna se umístí malé předpětí zvolené dle tab. 2.2.1. Předpětí je stanovené v závislosti na jemnosti vlákna nebo měřeného vlákenného svazku. Vzorek je pak vsunut do měřicí komory, ve které je nastavena (a trvale regulována) požadovaná teplota.

Tab. 2.2.1 Stanovení předpětí pro měření teplotní sráživosti a srážecí síly

Materiál	Teplota	Předpětí
	[°C]	[g/dtex]
PA66	180	0,02
PA61	150	0,02
PA11	140	0,02
PA12	140	0,02
PA6/10	150	0,02
PA6/12	150	0,02
PET	180	0,02
PP	140	0,04
PPS	200	0,02
PEEK	200	0,02

Změny délky vzorku v závislosti na čase se registrují pomocí počítače. Efektivní tepelná sráživost představuje relativní zkrácení (srážení) či naopak relativní prodloužení délky vzorku v průběhu tepelného působení, zbytková tepelná sráživost stanovuje hodnoty po ukončení teplotního režimu a zaznamenává změny chování vzorku během jeho samovolného chladnutí v klimatizované místnosti. Na závěr je odečtena maximální hodnota z průběhu celé zkoušky [32] Výsledkem každé zkoušky měření tepelné sráživosti je **kinetická srážecí křivka** v závislosti na čase při dané teplotě (obr. 2.2.1).



Obr. 2.2.1 Kinetické křivky srážení z přístroje TST 2 při 100° C surového monofilu 01-32S-MONO-NEFIX

Efektivní tepelná sráživost je relativní zkrácení (sražení) délky vláknenného útvaru vlivem působení definované teploty a délky jejího působení za konstantního napětí délkového vláknenného útvaru. Doporučená doba měření efektivní tepelné sráživosti je 1 minuta. Stanovené hodnoty efektivní tepelné sráživosti monofilu PP 0,065 mm při teplotách v rozmezí 50 – 140 °C jsou uvedeny v tab. 2.2.2.

Tab. 2.2.2 Efektivní sráživost

Teplota [°C]	50	70	90	100	120	140
Střední hodnota	0,270	1,288	2,284	2,775	4,246	8,881
Spodní mez (5%)	0,249	1,262	2,244	2,717	4,143	8,695
Horní mez (95%)	0,290	1,313	2,324	2,832	4,348	9,067

Zbytková tepelná sráživost je relativní zkrácení (sražení) délky délkového vláknenného útvaru po ukončení působení definované teploty na délkový textilní útvar za konstantního napětí. Doporučená doba měření zbytkové tepelné sráživosti je 0,5 minuty. Stanovené hodnoty zbytkové tepelné sráživosti monofilu PP 0,065 mm při teplotách v rozmezí 50 – 140 °C jsou uvedeny v tab. 2.2.3.

Tab. 2.2.3 Zbytková sráživost

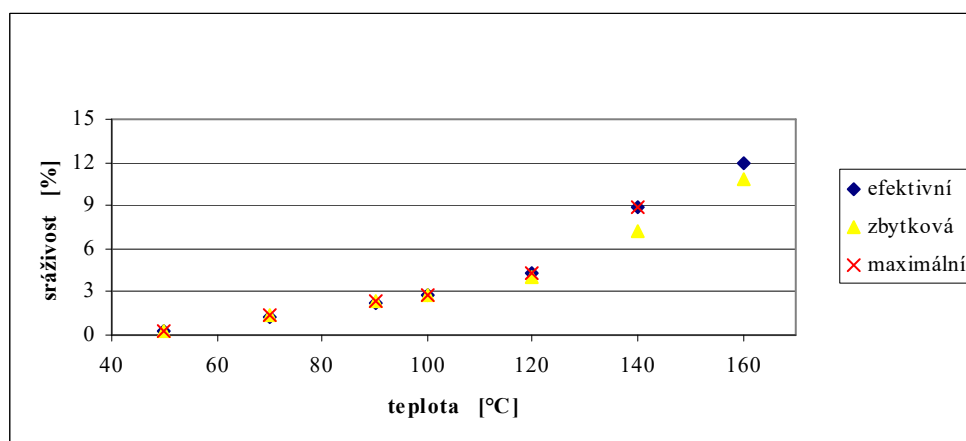
Teplota [°C]	50	70	90	100	120	140
Střední hodnota	0,298	1,343	2,329	2,781	4,018	7,197
Spodní mez (5%)	0,278	1,318	2,289	2,724	3,932	7,070
Horní mez (95%)	0,317	1,369	2,369	2,837	4,103	7,324

Maximální tepelná sráživost je maximální hodnotou relativního zkrácení (sražení) délky délkového textilního útvaru odečtená z průběhu celé zkoušky při konstantním napětí. Konstantní napětí je zajištěno pomocí předpětových závaží. Výsledné hodnoty maximální tepelné sráživosti monofilu PP 0,065 mm při teplotách v rozmezí 50 – 140 °C jsou uvedeny v tab. 2.2.4.

Tab. 2.2.4 Maximální sráživost

Teplota [°C]	50	70	90	100	120	140
Střední hodnota	0,298	1,343	2,329	2,787	4,258	8,928
Spodní mez (5%)	0,278	1,318	2,289	2,729	4,150	8,757
Horní mez (95%)	0,317	1,369	2,369	2,845	4,365	9,099

Efektivní, zbytková a maximální sráživost je uvedena v grafu 2.2.2.



Obr.2.2.2 Maximální, efektivní a zbytková tepelná sráživost PP monofilu průměru 0,065 mm

Kinetická křivka (obr. 2.2.3) (stanovená jako průměrná kinetická křivka obvykle z 20 měření) je následně vyhlazena pomocí metody spline $g(t)$, [29, 34]. Funkce je v daném

případě dvakrát diferencovatelná, čímž je zajištěna její spojitost ve druhé derivaci a tím je dáno její dostatečné vyhlazení. Míra hladkosti v křivosti kinetické křivky srážení vláken je tedy vyjádřena vztahem (2.2.1):

$$I(g) = \int_a^b [g''(t)]^2 dx \quad (2.2.1)$$

Stanovením funkce $g(t)$, která se co nejvíce blíží experimentálním datům, vede ke stanovení co nejmenší možné hodnoty $U(g)$. Dle kritéria metody nejmenších čtverců vzorce (2.2.2):

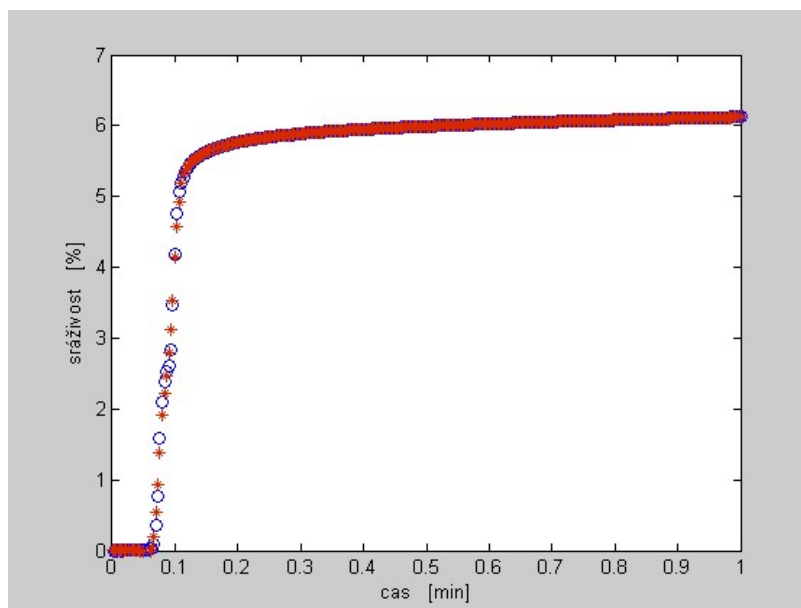
$$U(g) = \sum_{i=1}^n w_i [y_i - g(t_i)]^2 \quad (2.2.2)$$

Hodnoty w_i představují váhy jednotlivých bodů závislá na jejich přesnosti či jejich rozptylu.

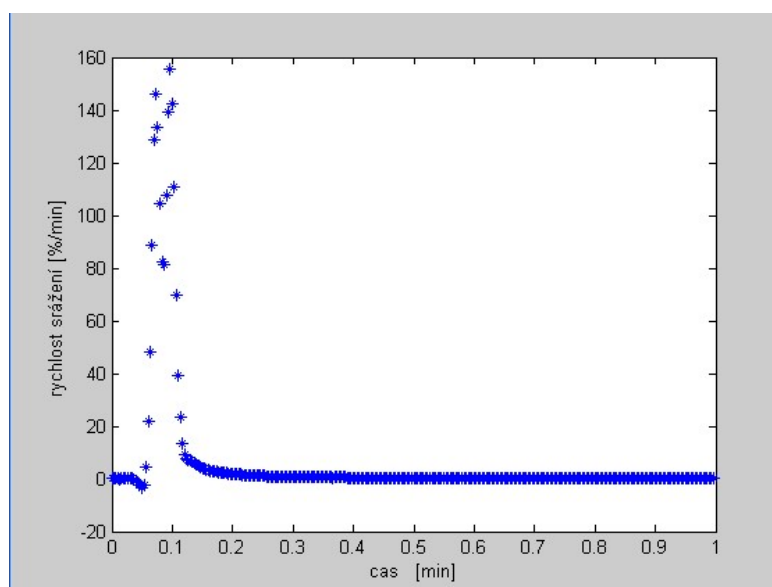
Stanovením funkce $g(t)$ umožní následně stanovit minimální modifikovaný součet čtverců odchylek (2.2.3), kde α je parametr vyhlazení funkce, který určuje poměr mezi hladkostí funkce $g(t)$ a jejím přiblížením se k experimentálním hodnotám.

$$K_1 = U(g) + \alpha I(g) \quad (2.2.3)$$

Na obr. 2.2.3 jsou experimentálně naměřené body značené modrými kruhy, vyhlazené hodnoty jsou zobrazeny červenými hvězdičkami.



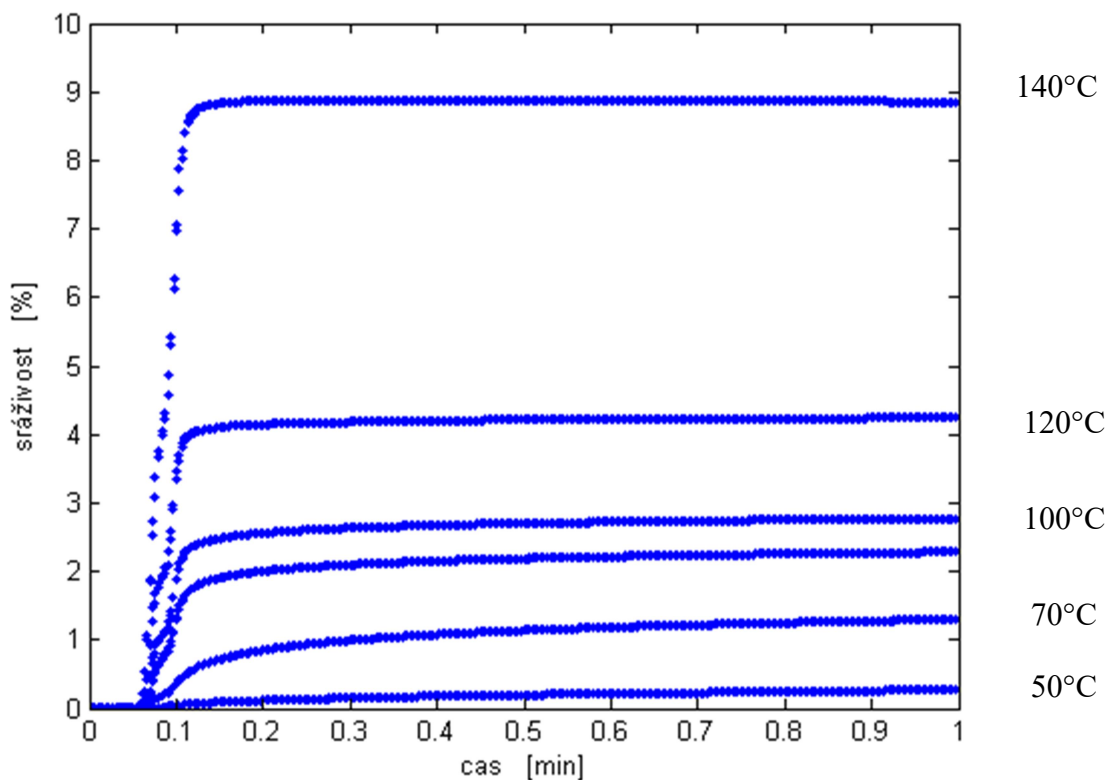
Obr. 2.2.3 Kinetická křivka srážení při 100° C surového monofilu 01-32S-MONO-NEFIX (experimentálně naměřené body značené modrými kruhy, vyhlazené hodnoty jsou zobrazeny červenými hvězdičkami)



Obr. 2.2.4 Závislost rychlosti srážení na čase při 100 °C původního monofilu 01-32S-MONO-NEFIX

Rychlost srážení je stanovena jako derivace vyhlazené kinetické křivky srážení v závislosti na teplotě (obr. 2.2.4).

Na obr. 2.2.5 jsou uvedeny kinetické srážecí křivky PP monofilu průměru 0,065 mm při teplotách v rozmezí 50 až 140 °C.



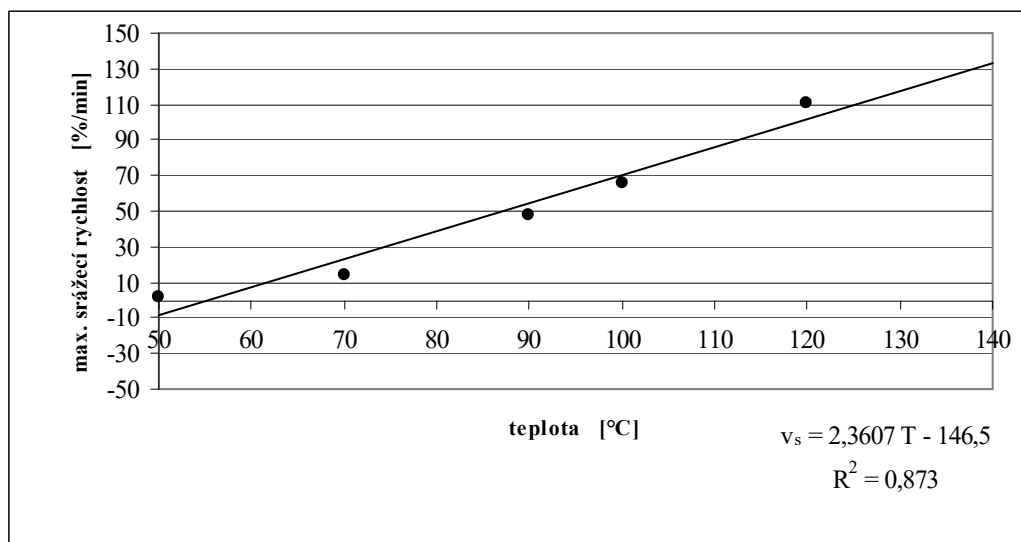
Obr. 2.2.5 Kinetické křivky srážení PP monofilu průměru 0,065 mm

Maximální srážecí rychlost je pak definována jako maximální hodnota derivace kinetické křivky srážení. V tab. 2.2.5 jsou uvedeny hodnoty maximální srážecí rychlosti pro materiál PP 0,065 mm při teplotách v rozmezí 50 – 140°C.

Tab. 2.2.5 Maximální srážecí rychlost

Teplota [°C]	50	70	90	100	120	140
Maximální srážecí rychlost	1,80	14,10	47,70	65,27	111,12	226,61

Hodnoty maximálních srážecích rychlostí pro jednotlivé teploty jsou vyneseny do grafu v závislosti na teplotě, obr. 2.2.6.



Obr. 2.2.6 Maximální srážecí rychlost PP monofilu průměru 0,065 mm

Následně je možné stanovit **citlivost maximální rychlosti srážení na teplotě** dle vztahu 2.2.4. Za předpokladu lineární závislosti maximální rychlosti tepelného srážení v_s [%min⁻¹] na teplotě T [°C] v oblasti od teploty skelného přechodu do teploty tání je definována jako směrnice regresní přímky k [%min⁻¹°C⁻¹]

$$v_s = kT + q \quad (2.2.4)$$

kde v_s je maximální rychlost srážení, q je úsek regresní přímky v [%min⁻¹] a k představuje citlivost maximální rychlosti srážení na teplotě a T je teplota měření. Strmější směrnice přímky maximální rychlosti srážení poukazuje na vyšší citlivost měřeného vzorku na zvýšení teploty a současně tak na vyšší tepelnou sráživost vzorku. Pro materiál PP monofil průměru 0,065 mm citlivost maximální rychlosti srážení na teplotě činí přibližně 2,4 %min⁻¹°C⁻¹, jak je zřejmé z obr. 2.2.6.

Při měření tepelné srážecí síly se postupuje v první fázi obdobně. Jeden konec vlákna je uchycen a na druhý konec se umístí předpětí. Po té se upevní i druhý konec do pevné svorky přístroje. Po vsunutí vzorku do měřicí komory se na počítači registruje změna napětí v čase (při konstantní délce měřeného vzorku. Opět je zaznamenáváno chování vzorku během tepelného působení (efektivní tepelná srážecí síla) i po skončení tepelného působení na vzorek (zbytková tepelná srážecí síla), tedy průběh samovolného ochlazování vzorku v klimatizované místnosti. Na závěr je odečtena maximální hodnota tepelné srážecí síly.

Maximální tepelná srážecí síla je maximální naměřená srážecí síla na délkovém textilním útvaru při konstantním napětí odečtená z celého průběhu zkoušky. Délka vzorku je konstantní. Hodnoty maximální tepelné srážecí síly monofilu PP 0,065 mm jsou sumarizovány v tabulce 2.2.6 a vyneseny do grafu 2.2.7 v závislosti na teplotě.

Tab. 2.2.6 Maximální tepelná srážecí síla

Teplota [°C]	50	70	90	100	120	140
Střední hodnota	0,625	1,400	1,741	1,546	1,962	2,045
Spodní mez (5%)	0,543	1,264	1,594	1,361	1,773	1,722
Horní mez (95%)	0,707	1,535	1,887	1,730	2,151	2,367

Efektivní tepelná srážecí síla je hodnota zjišťovaná za tepelného působení přístroje na textilní délkový vláknový útvar. Délka vzorku je konstantní. Doporučená doba měření efektivní tepelné srážecí síly je 1 min. Hodnoty jsou sumarizovány v tabulce 2.2.7 a vyneseny do grafu 2.2.7 v závislosti na teplotě.

Tab. 2.2.7 Efektivní tepelná srážecí síla

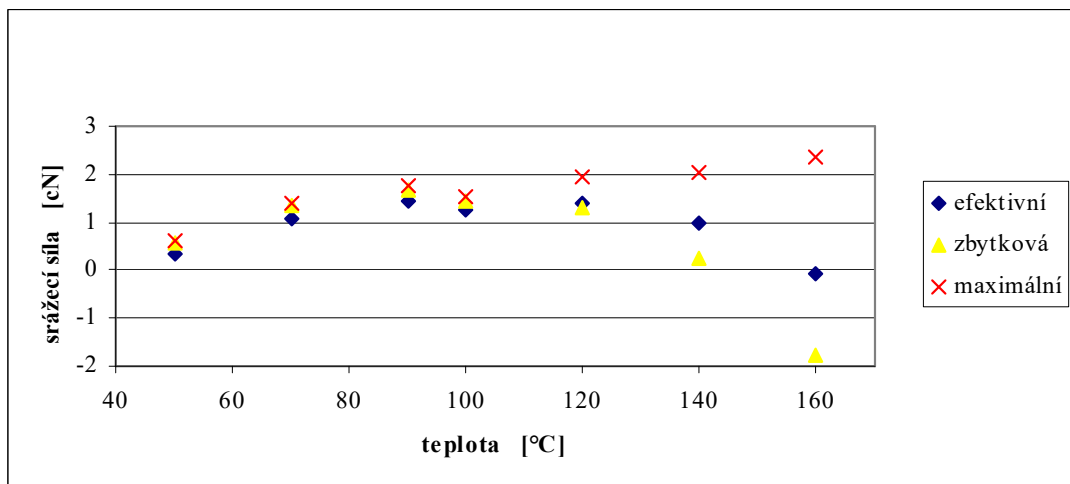
Teplota [°C]	50	70	90	100	120	140
Střední hodnota	0,347	1,067	1,455	1,257	1,385	1,005
Spodní mez (5%)	0,268	0,920	1,321	1,081	1,191	0,715
Horní mez (95%)	0,426	1,214	1,588	1,432	1,578	1,294

Zbytková tepelná srážecí síla je hodnota zjišťovaná po ukončení tepelného působení přístroje (volné chladnutí vzorku na teplotu klimatizované laboratoře) na textilní délkový vláknový útvar. Délka vzorku je konstantní. Doporučená doba měření zbytkové tepelné srážecí síly je 0,5 min. Hodnoty jsou sumarizovány v tabulce 2.2.8 a vyneseny do grafu 2.2.7 v závislosti na teplotě.

Tab. 2.2.8 Zbytková tepelná srážecí síla

Teplota [°C]	50	70	90	100	120	140
Střední hodnota	0,559	1,335	1,681	1,420	1,305	0,248
Spodní mez (5%)	0,480	1,181	1,538	1,247	1,099	-0,028
Horní mez (95%)	0,639	1,488	1,823	1,593	1,510	0,524

Naměřené hodnoty jsou poté vyneseny do grafu v závislosti na teplotě, obr. 2.2.7.

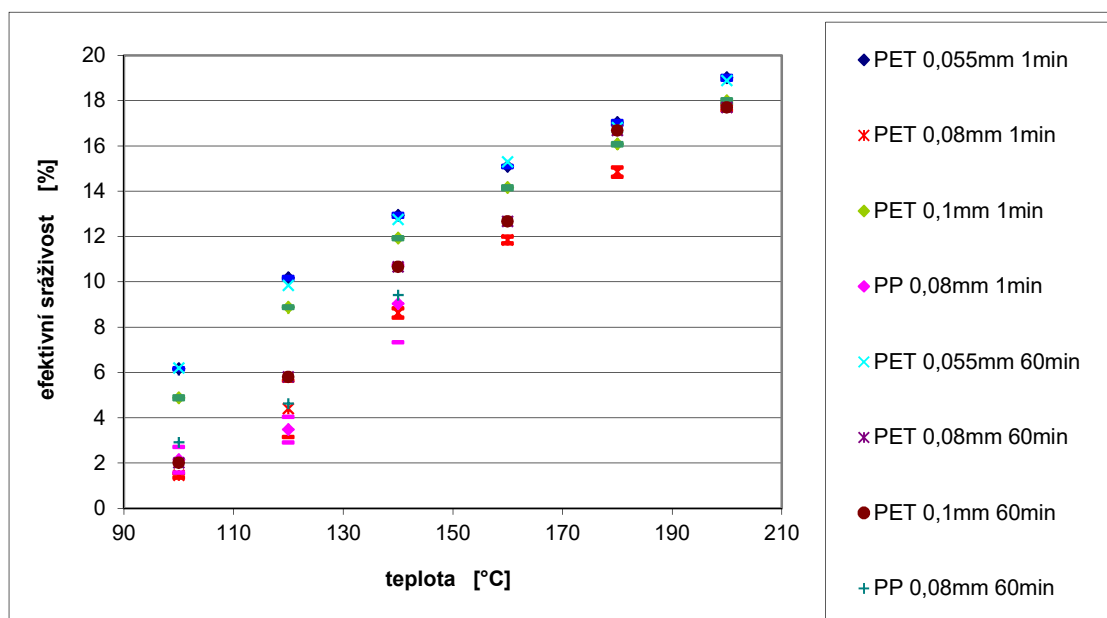


Obr.2.2.7 Maximální, efektivní a zbytková srážecí síla PP monofilu průměru 0,065 mm

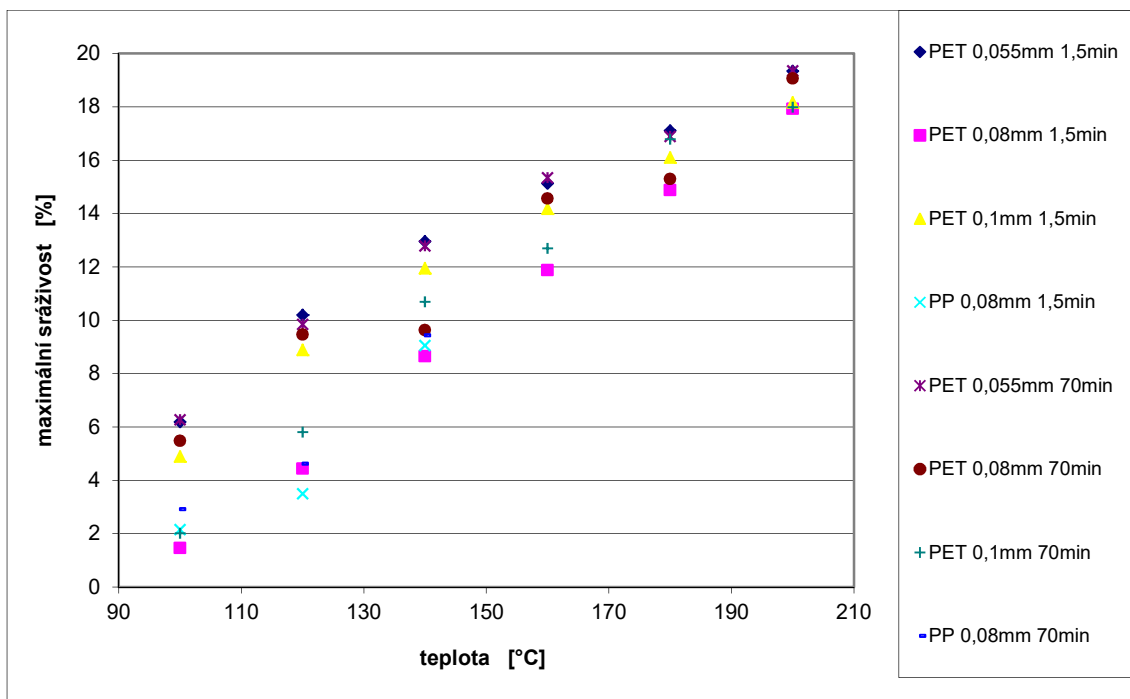
Tepelné sráživosti i srážecí síly zkoumaného vzorku polypropylénového monofilu průměru 0,065 mm odpovídají nedlouženému a tepelně nefixovanému polypropylénovému vláknu. Maximální srážecí rychlost se mezi body teplotami skelného přechodu a rekrystalizace chová téměř lineárně, přičemž citlivost maximální rychlosti srážení na teplotě činí přibližně $2,4 \% \text{ min}^{-1} \text{ C}^{-1}$.

2.2.1 Vliv doby tepelné expozice

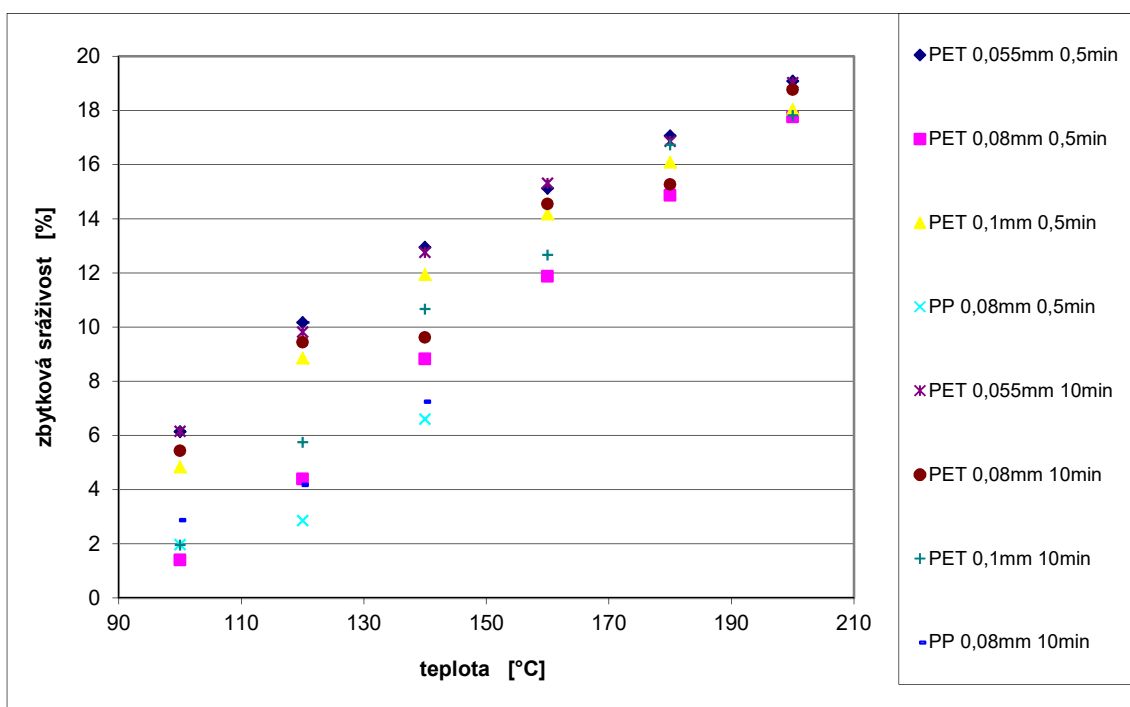
Tepelná vodivost vlákna může mít vliv na výsledné hodnoty stanovení efektivní tepelné sráživosti a efektivní tepelné srážecí síly a maximálních hodnot tepelné sráživosti a tepelné srážecí síly a zároveň ovlivnit maximální srážecí rychlost. Následkem toho by se tepelná citlivost vlákna mohla lišit v závislosti na době trvání měření efektivní tepelné sráživosti. V rámci stanovení vlivu doby tepelného působení na vlákno byly vzorky PET monofilu o průměru 0,055 mm, 0,08 mm, 0,1 mm a PP monofilu o průměru 0,08 mm tepelně namáhány pomocí přístroje TST 2. Zkoušky probíhaly za standardního předpětí stanoveného dle jemnosti vláken. Podle tab. 2.2.1 byla stanovena následná předpětí: 1300 mg pro PET 0,08 mm, 2200 mg pro PET 0,1 mm a 2600 mg pro PP 0,08 mm. Byly porovnávány výsledky tepelného namáhání efektivní, reziduální a maximální sráživosti za doby trvání: efektivní sráživosti – 1 min a 60 min, zbytkové sráživosti 0,5 min a 10 min a maximální sráživosti z celého průběhu zkoušky. Výsledky efektivní, zbytkové a maximální sráživosti vzorků PET monofilů o průměru 0,055 mm, 0,08 mm a 0,1 mm a PP o průměru 0,8 mm jsou znázorněny na obr 2.2.1.1 až 2.2.1.3 a sumarizovány v tab. 2 a 3 přílohy A. Na obr. 2.2.1.1 jsou znázorněny 95% intervaly středních hodnot efektivní tepelné sráživosti měřené po dobu 1 min.



Obr. 2.2.1.1 Efektivní tepelná sráživost vzorků PET monofilů o průměru 0,055 mm, 0,08 mm, 0,1 mm a PP o průměru 0,8 mm měřená po dobu 1 min a 60 min

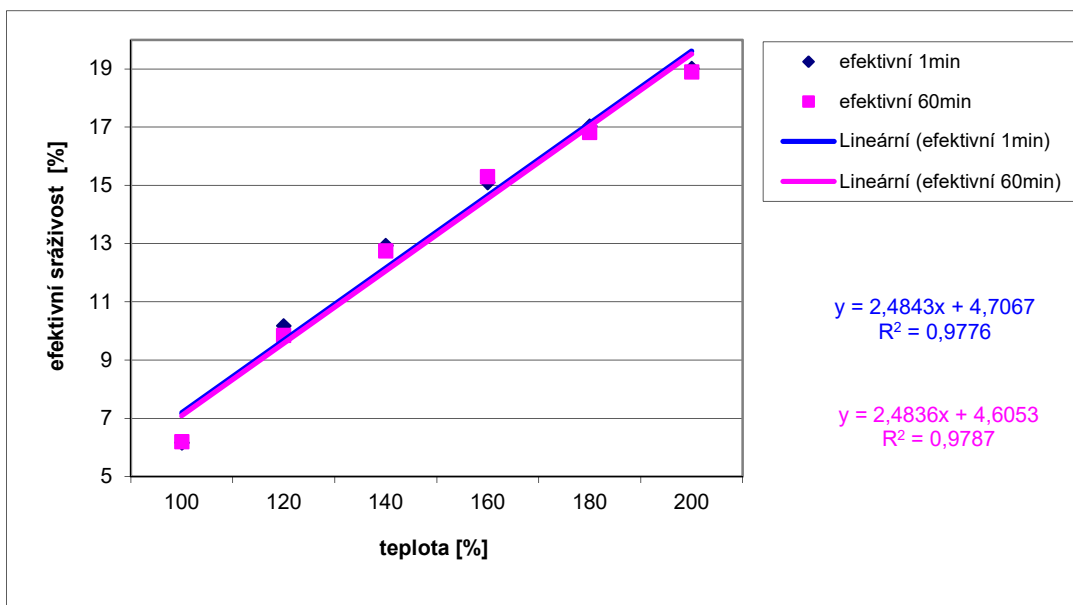


Obr. 2.2.1.2 Maximální tepelná sráživost vzorků PET monofilů o průměru 0,055 mm, 0,08 mm, 0,1 mm a PP o průměru 0,8 mm měřená po dobu 1,5 min a 70 min

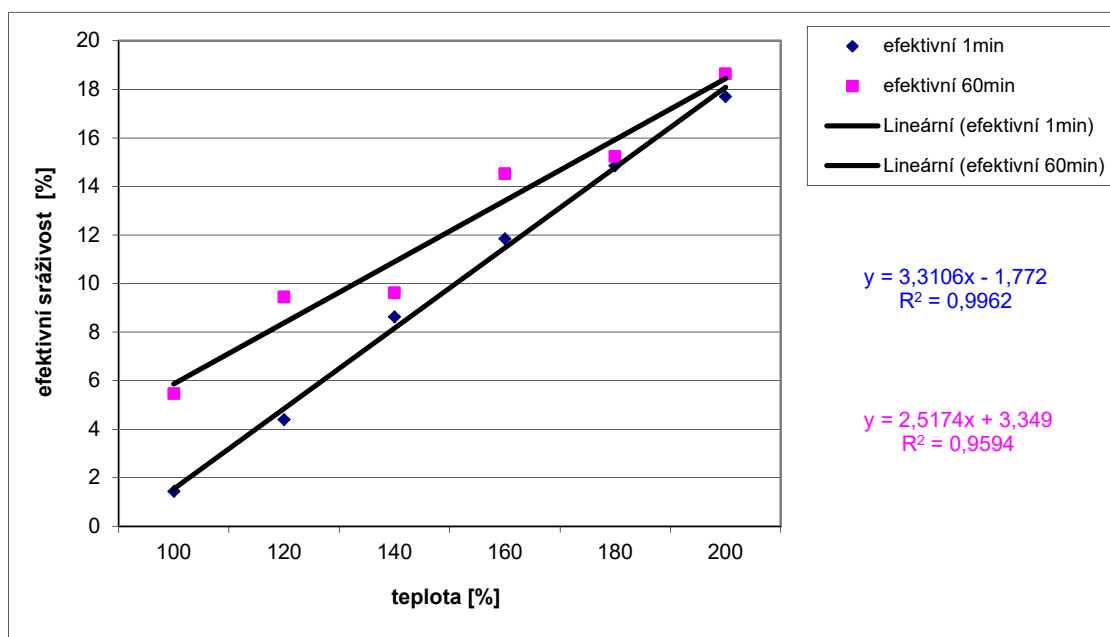


Obr. 2.2.1.3 Zbytková tepelná sráživost vzorků PET monofilů o průměru 0,055 mm, 0,08 mm, 0,1 mm a PP o průměru 0,8 mm měřená po dobu 0,5 min a 10 min

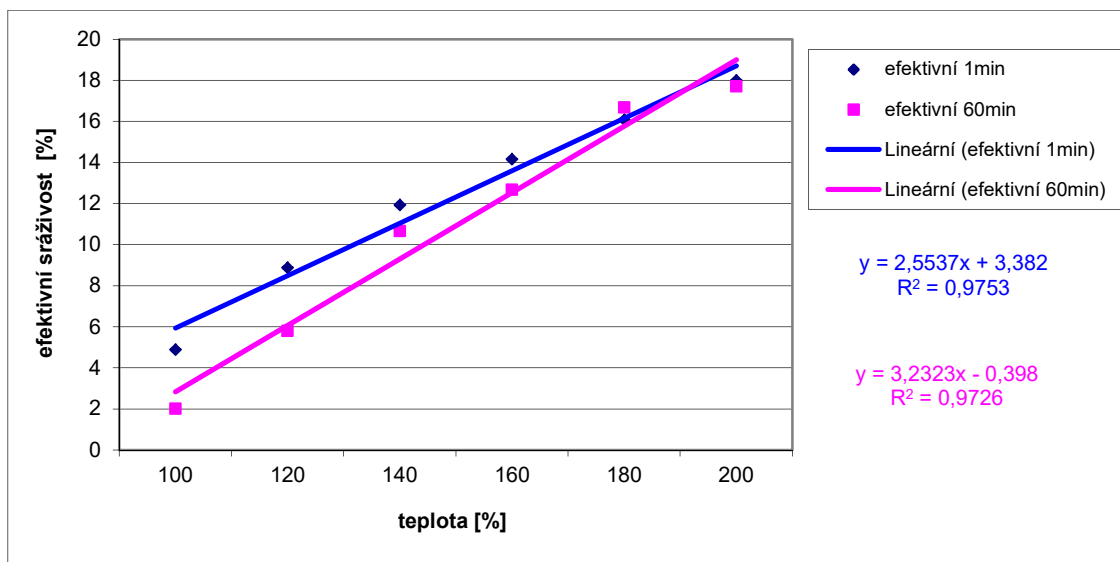
Detailní grafy s efektivní tepelnou sráživostí měřenou po dobu 1 a 60 min jsou pro jednotlivé vzorky vyneseny v grafech 2.2.1.4 až 2.2.1.7.



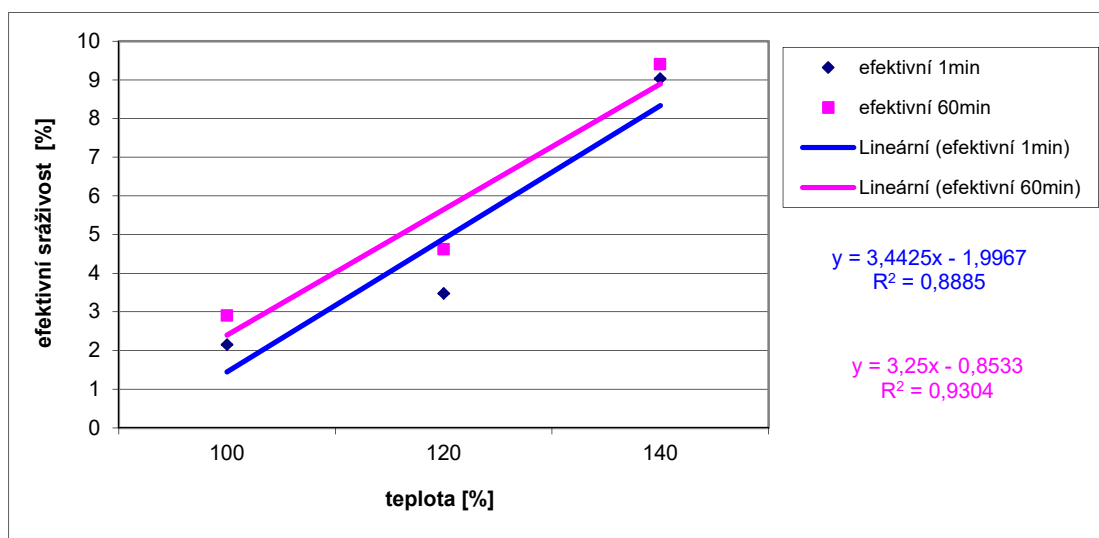
Obr. 2.2.1.4 Efektivní sráživost vzorků PET monofilu o průměru 0,055 mm



Obr. 2.2.1.5 Efektivní sráživost vzorků PET monofilu o průměru 0,08 mm

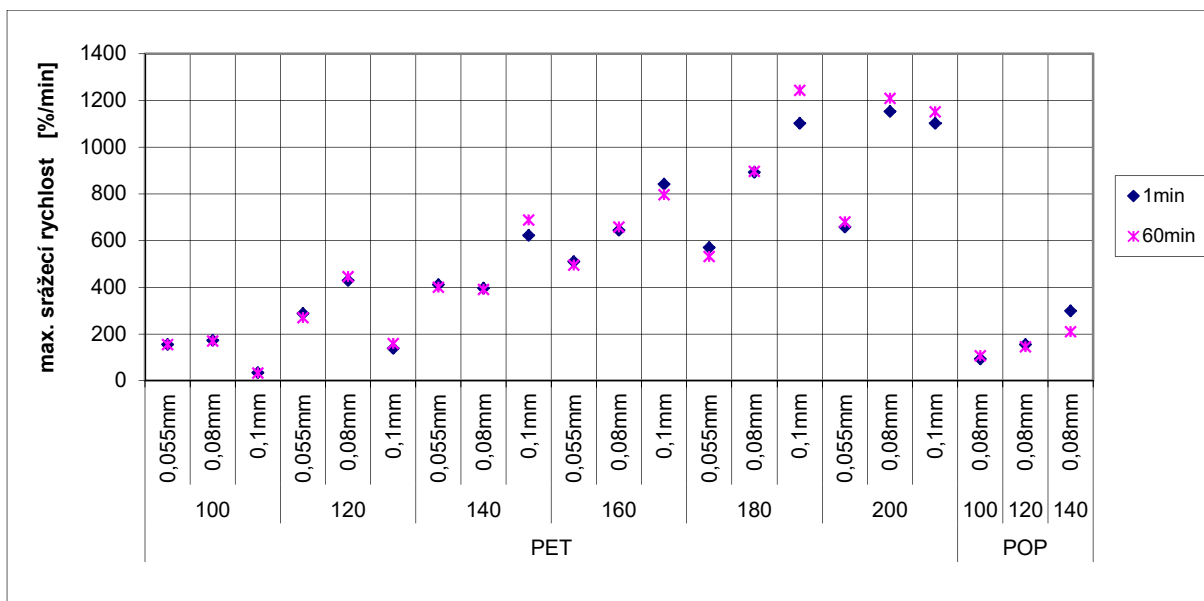


Obr. 2.2.1.6 Efektivní sráživost vzorků PET monofilu o průměru 0,1 mm

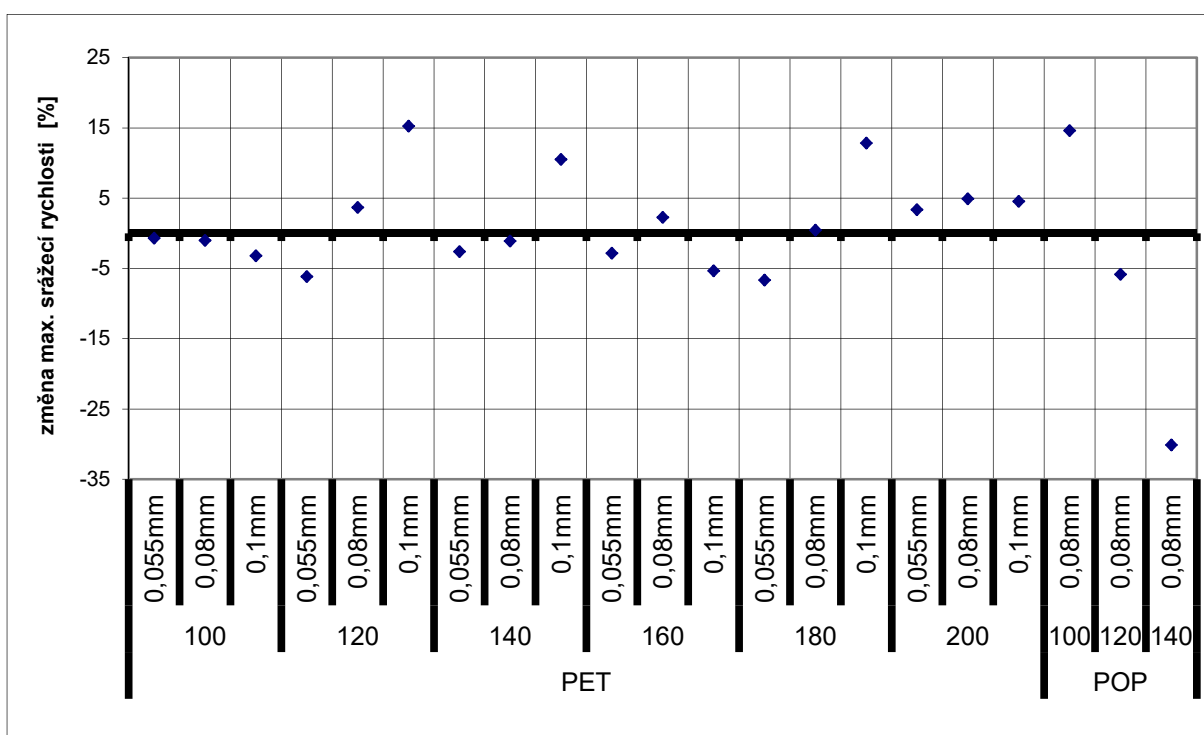


Obr. 2.2.1.7 Efektivní sráživost vzorků PP monofilu o průměru 0,08 mm

Na obr. 2.2.1.8 jsou znázorněny maximální srážecí rychlosti vzorků namáhaných po dobu 1 min a 60 min za teplot v rozmezí 100 až 200 °C pro PET monofily o průměrech vláken 0,055 mm, 0,08mm a 0,1 mm. Za stejných podmínek, avšak do teploty 140 °C byl proměřen i vzorek PP monofilu o průměru 0,08 mm. Procentuální porovnání změn hodnot maximální srážecí rychlosti testovaných monofilů je uvedeno na obr. 2.2.1.9. Číselné hodnoty jsou uvedeny v tab. 4 přílohy A.



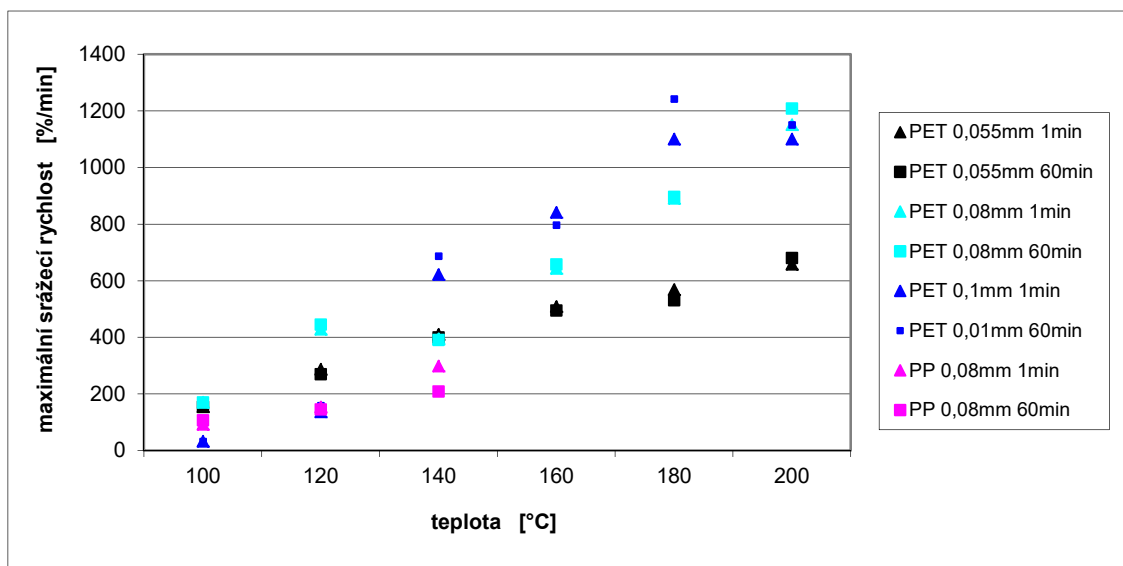
Obr. 2.2.1.8 Porovnání hodnot maximální srážecí rychlosti vzorků PET monofilů o průměru 0,055 mm, 0,08 mm a 0,1 mm a PP o průměru 0,8 mm – uspořádáno dle teplot



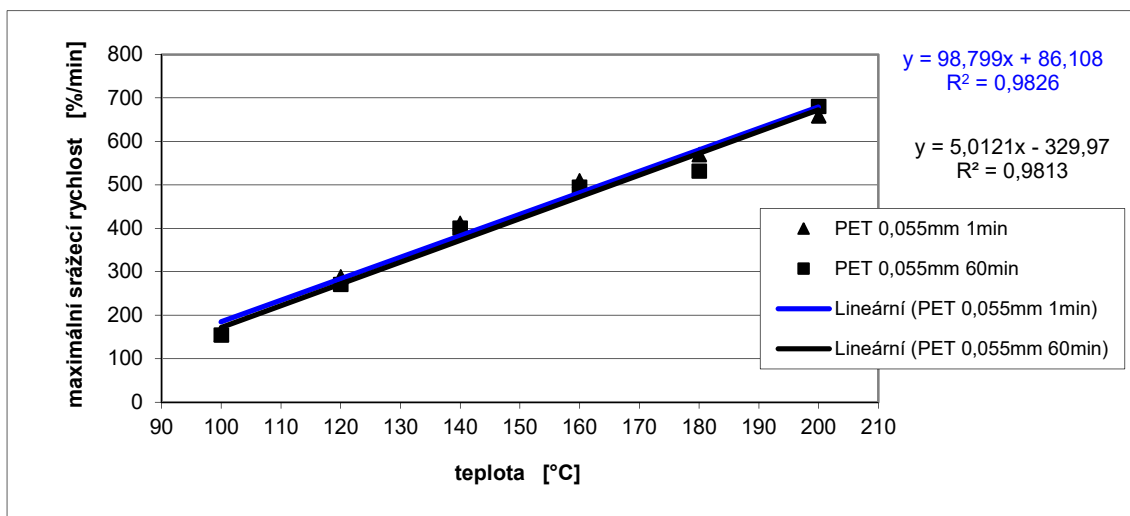
Obr. 2.2.1.9 Procentuální porovnání změn hodnot maximální srážecí rychlosti vzorků PET monofilů o průměru 0,055 mm, 0,08 mm a 0,1 mm a PP o průměru 0,8 mm

Na obr. 2.2.1.10 jsou znázorněny maximální srážecí rychlosti zkoumaných vzorků monofilů namáhaných po dobu 1 min a 60 min. Na obr. 2.2.1.10 a) až obr. 2.2.1.10d) jsou znázorněné maximální srážecí rychlosti pro jednotlivé vzorky odděleně

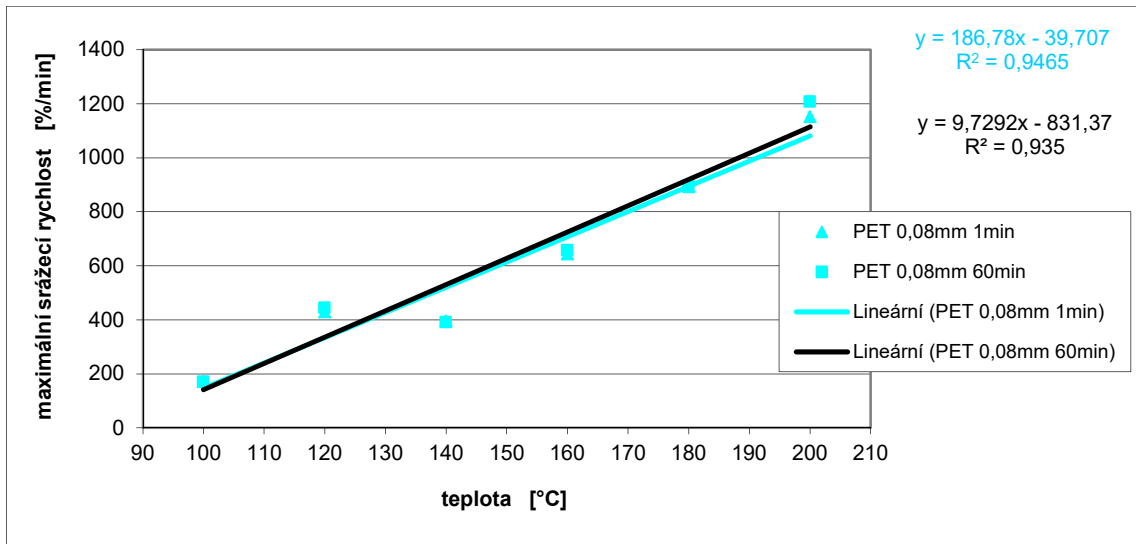
je stanovena tepelná citlivost jednotlivých vzorků na teplotě pro dobu tepelného namáhání 1 min a 60 min.



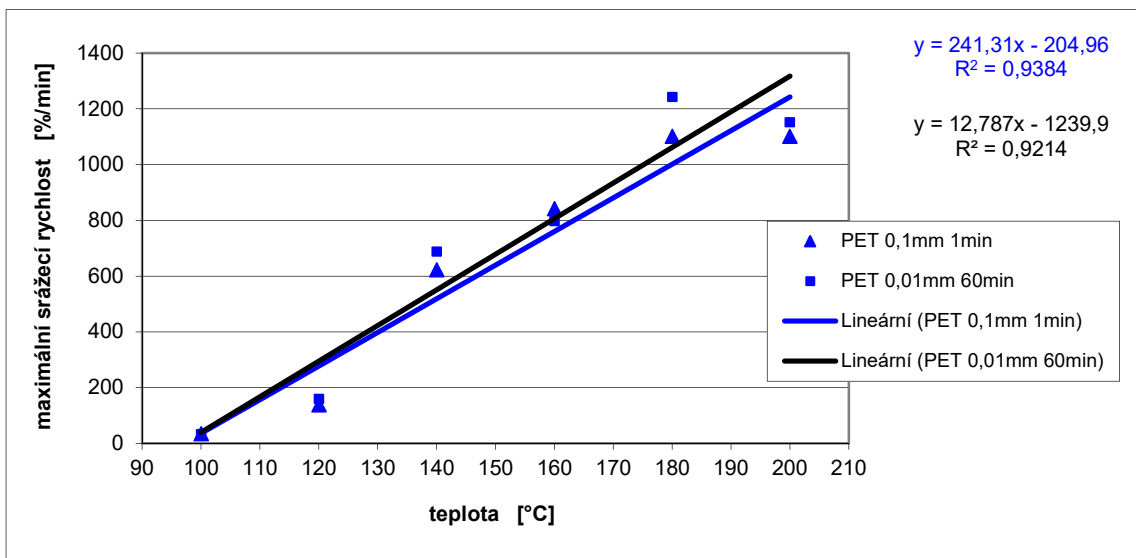
Obr. 2.2.1.10 Hodnoty maximální srážecí rychlosti vzorků PET monofilů o průměru 0,055 mm, 0,08 mm a 0,1 mm a PP o průměru 0,8 mm



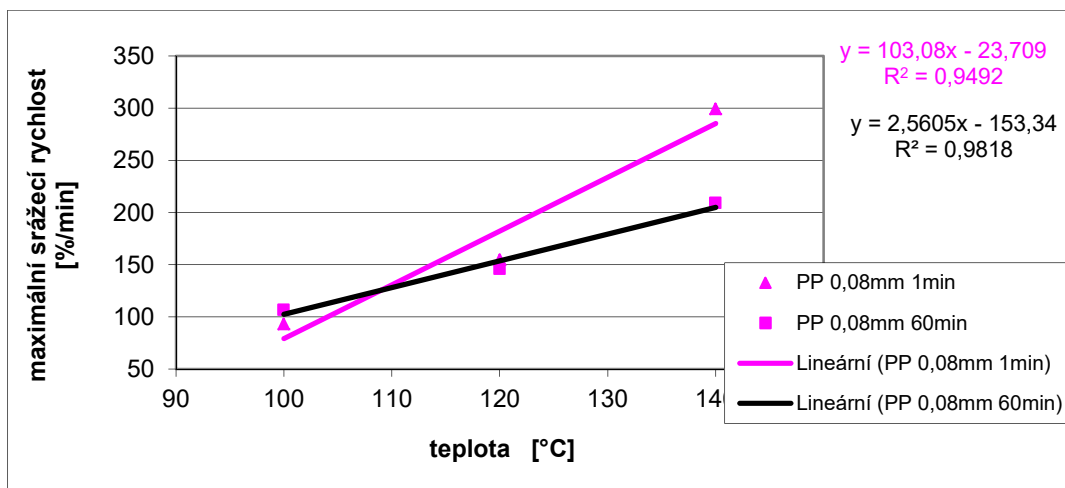
Obr. 2.2.1.10a) Hodnoty maximální srážecí rychlosti vzorků PET monofilů o průměru 0,055 mm



Obr. 2.2.1.10b) Hodnoty maximální srážecí rychlosti vzorků PET monofilů o průměru 0,08 mm

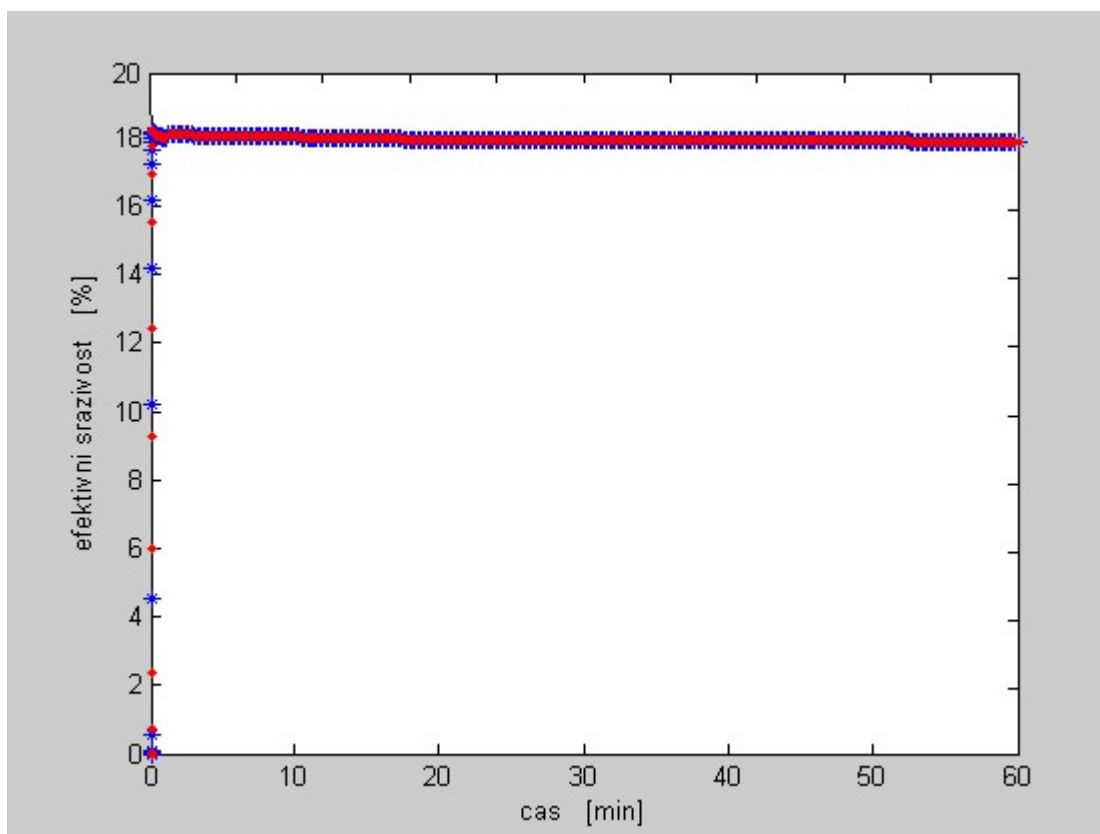


Obr. 2.2.1.10c) Hodnoty maximální srážecí rychlosti vzorků PET monofilů o průměru 0,1 mm

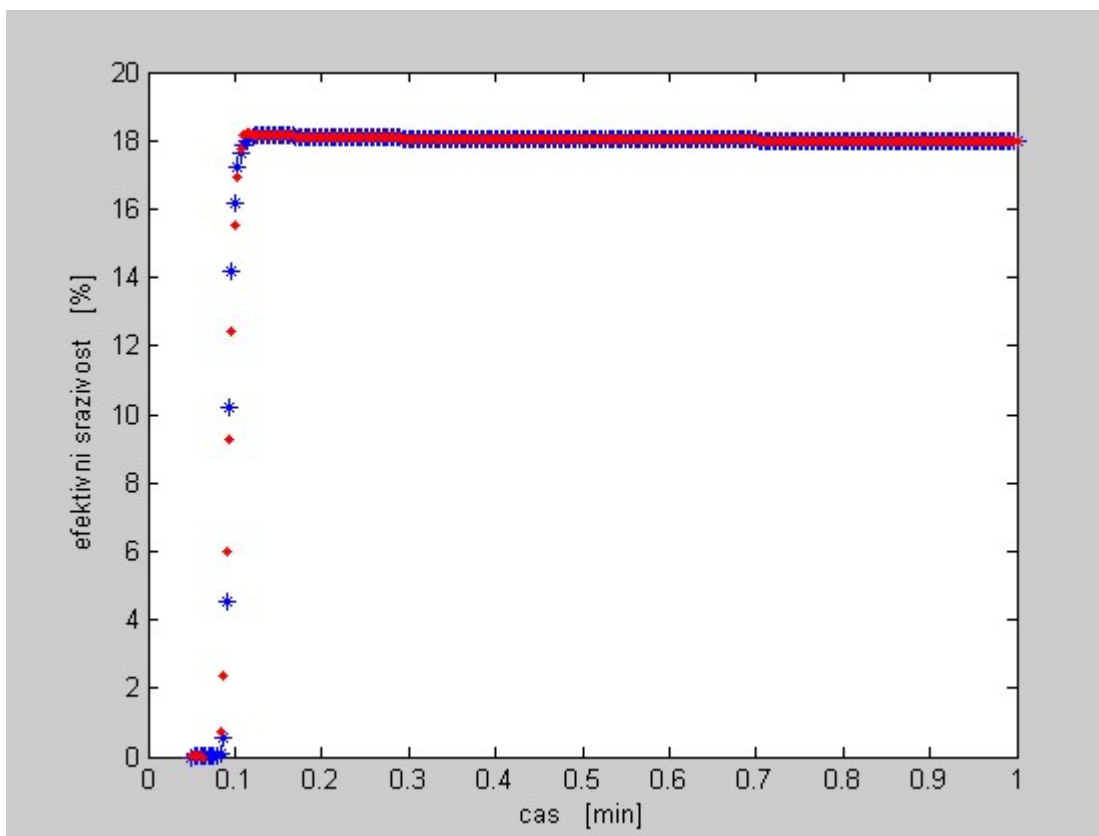


Obr. 2.2.1.10d) Hodnoty maximální srážecí rychlosti vzorků PP monofilu o průměru 0,8 mm

Na obr. 2.2.1.11 a 2.2.1.11a) jsou vykresleny kinetické křivky PET monofilu průměru 0,055 mm, tepelně namáhaného po dobu 1 a 60 min při teplotě 200°C.



Obr. 2.2.1.11 Kinetická srážecí křivka PET monofilu o průměru 0,055 mm – doba měření efektivní sráživost 60 min, teplota 200°C



Obr. 2.2.1.11a) Kinetické srážecí křivky PET monofilu o průměru 0,055 mm – doba měření efektivní sráživosti 1 min, teplota 200°C

V tab. 2.2.1.1: jsou uvedeny koeficienty korelace maximálních srážecích rychlostí stanovených na 1 min a 60 min měření efektivní tepelné sráživosti pro jednotlivé vzorky

Tab. 2.2.1.1 Korelační závislosti maximálních srážecích rychlostí monofilů namáhaných po dobu 1 min a 60 min

materiál	průměr monofilu	korelační koeficient
PET	0,055mm	0,9945
	0,08mm	0,9993
	0,1mm	0,9935
PP	0,08mm	0,9958

Diskuse výsledků

Na vzorcích monofilů PET o průměrech 0,055 mm, 0,08 mm 0,1 mm a PP o průměru 0,08 mm byla naměřena efektivní, maximální a zbytková tepelná sráživost. Hodnota tepelné sráživosti vláken se v závislosti na teplotě lineárně zvyšuje. Výsledky měření

efektivní sráživosti po dobu 1 min byly porovnány s výsledky efektivní tepelné sráživosti měřené po dobu 60 min (obr. 2.2.1.1 a 2.2.1.4 až 2.2.1.7). U všech vzorků se zvýšením teploty dochází k nárůstu hodnot efektivní sráživosti. U vzorku PET průměru 0,055 mm je rozdíl mezi hodnotami stanovenými měřením v délce trvání 1 min nebo 60 min statisticky nevýznamný pro všechny proměřené teploty. Nejvýraznější rozdíly byly zaznamenány u PET vlákna s nejvyšší hodnotou průměru 0,1 mm a PP vlákna. U vzorků s vyšším průměrem se projevuje vliv tepelné vodivosti vláken.

Při delším tepelném působení na vlákno dojde k jeho prohřevu směrem k ose vlákna, což se projeví vyšší hodnotou efektivní, maximální i zbytkové sráživosti vlákna při nižších teplotách. S rostoucí teplotou se rozdíl naměřených hodnot tepelné sráživosti vláken v délce trvání zkoušky 1 min a 60 min stává statisticky nevýznamným. Tento trend byl zaznamenán i u maximální a zbytkové tepelné sráživosti (obr. 2.2.1.1 a obr. 2.2.1.2).

Z hlediska časového průběhu zkoušky dochází k nejvýraznějším projevům efektivní tepelné sráživosti vláken a tím i k maximální rychlosti tepelné sráživosti v počátku tepelného působení. Jak je ukázáno na obr. 2.2.1.9, většinou se jedná o rozdíl nižší jak 5 % hodnoty stanovené měřením po dobu 1 hod od vzorků namáhaných po dobu 1 min. Totéž je patrné z průběhů kinetických křivek při teplotě 200 °C u materiálu PET 0,055 mm, na obr. 2.2.1.11 je doba měření efektivní sráživosti 60 min, na obr. 2.2.1.11a) je doba měření efektivní sráživosti na stejném vzorku monofilu 1 min.

Za nižších teplot a s rostoucím průměrem vlákna dochází patrně k výraznému vlivu rychlosti prohřevu vlákna a tím k postupným projevům rychlosti maximální sráživosti vláken podle „hloubky“ prohřevu vlákna směrem k jeho středové podélné ose. Na povrchu může být teplota až o 30 °C vyšší než ve středu vlákna (viz. kap. 1.3). Vzhledem k textilní praxi, kdy je třeba co nejefektivněji (nejrychleji) stanovit kvalitu dodávky vláken s ohledem na jejich další použití, je dle výsledků možné stanovit maximální srážecí rychlost při nejvyšší možné teplotě testem v délce trvání měření 1 min efektivního namáhání vzorku.

V tab. 2.2.1.1 jsou uvedeny koeficienty korelace maximální srážecí rychlosti vzorků namáhaných po dobu 1 min. v porovnání se vzorky namáhanými po dobu 60 min.

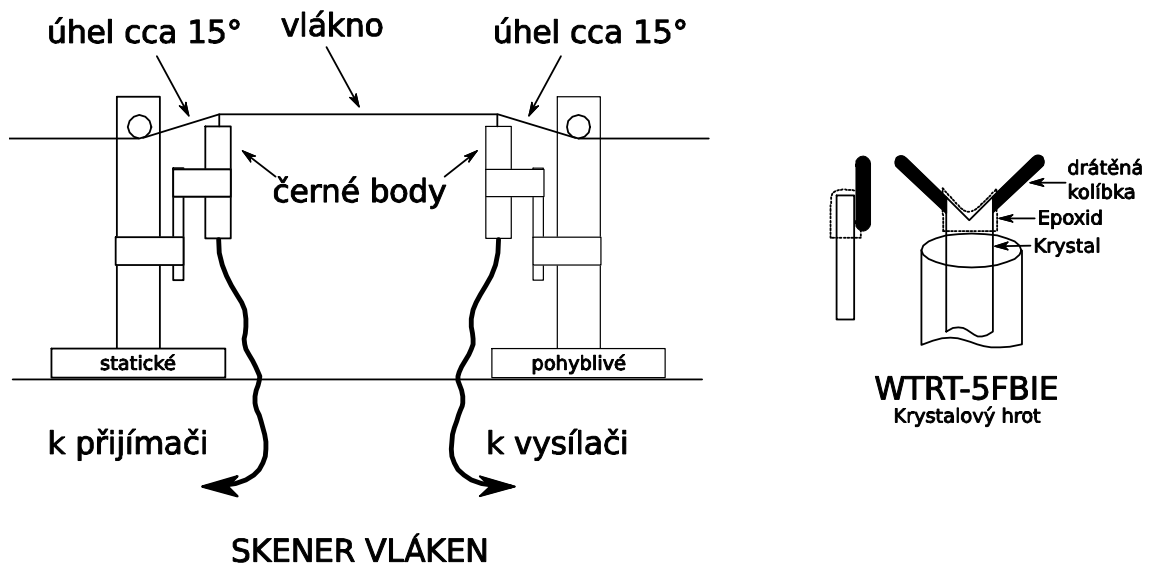
Všechny vzorky vykazují silnou korelační závislost. U vláken s větším průměrem se může jednat o projev jednak nestejnomyšlnosti vlákna v návlnu cívky – tento jev byl zkoumán u PP vlákna v průřezu celé cívky, výsledky jsou uvedeny v kapitole 2.4.2, tak o prodlevu prohřátí vlákna až do jeho středu. Rovněž je třeba neopomenout nepřesnost přístroje, která je výrobcem definována pro tepelnou sráživost v rozmezí do 0,1 %. Nepřesnost nastavené teploty se může pohybovat v rozmezí $\pm 2^{\circ}\text{C}$.

Vzhledem k vysoké korelaci maximální srážecí rychlosti stanovené u vzorků namáhaných po dobu 1 min a 60 min se zdá být měření efektivní tepelné sráživosti po dobu 1 min dostatečně průkazné. V práci je dále využíváno měření tepelné sráživosti a tepelné srážecí síly v režimu 1 min. efektivního namáhání vzorků a 0,5 min zbytkového namáhání.

2.3 Návrh metodiky měření akustického dynamického modulu a orientace

Rychlost zvuku byla studována pomocí odezvy materiálové struktury na akustické vibrace pomocí přístroje Lawson Dynamic modulus Tester PPM-5R [34]. Délková textilie je do přístroje upevněna na jednom konci pomocí svorky, z druhé strany je zatížena předpětovým závažím. Pro měření je nezbytné správně nastavit vzájemnou polohu obou převodníků (značeno černými body na obr. 2.3.1). Pro správné stanovení rychlosti průchodu zvuku je důležité dodržet přibližný úhel 15° mezi krystalem a vláknem (obr. 2.3.1). Pro velmi jemné materiály je vhodné zvětšit tento úhel, aby bylo zajištěno dobré vedení zvukových impulzů. Naopak pro velmi tuhé a houževnaté materiály je vhodné tento úhel zmenšit, aby nedošlo k poškození krystalu. Pro možnosti porovnávání výsledků je vhodné vždy pro jeden testovaný vzorek dodržet stejné nastavení jeho upevnění a předpětového zatížení.

Každý vzorek je vhodné proměřit v délce 10 - 20 cm, se vzdáleností 1cm jednotlivých proměřených míst. Jednotlivé hodnoty je třeba zaznamenávat. Následně je do přístroje upevněn další úsek zkoumaného materiálu a celý postup je zopakován. Takto bylo pro každý typ vzorku provedeno celkem 10 měření. Pro měření rychlosti průchodu zvuku polyesterovým monofilem byl použit typ převodníku WTRT-5FBIE, standardně dodávaný s měřícím zařízením. Doporučená frekvence měření byla stanovena dle [34] 10 kHz.

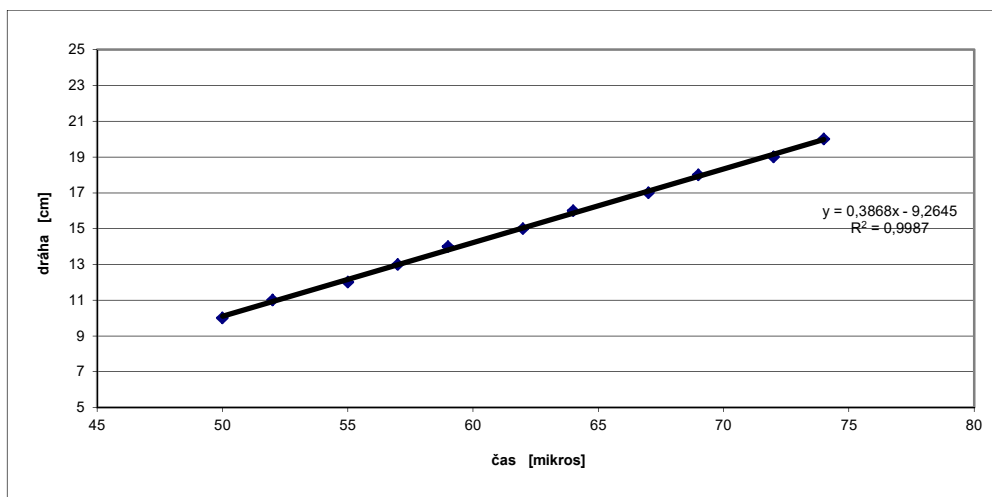


Obr. 2.3.1 Schéma měřícího zařízení Lawson Dynamic modulus Tester PPM-5R, vpravo detail převodníku WTRT-5FBIE [34]

Hodnoty doby průchodu zvukového signálu na jednotlivých délkách vzorku byly zaznamenávány. Měřená délka vzorku, tj. vzdálenost mezi vysílačem a přijímačem zvukového signálu byla vynesena do grafu v závislosti na čase, tj. době průchodu zvukového signálu. Následně byla nalezena rovnice regresní přímky (2.3.1)

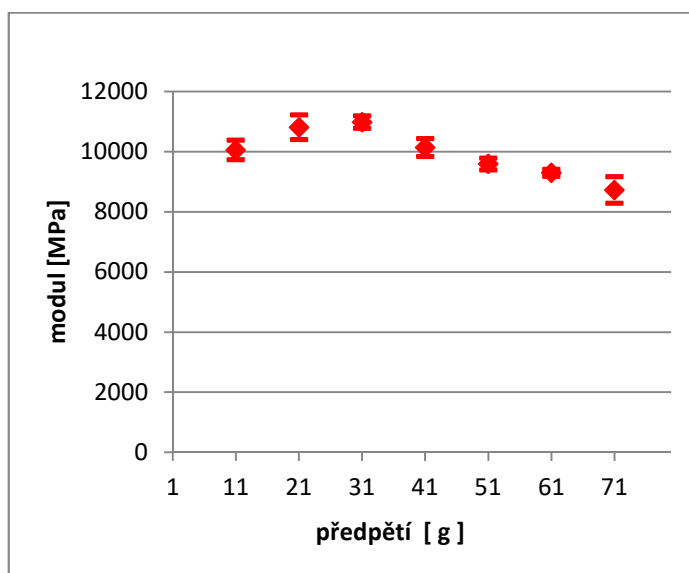
$$y = C * t + q \quad (2.3.1).$$

y je délka vzorku a směrnice přímky C rychlost průchodu zvuku testovaným materiálem.

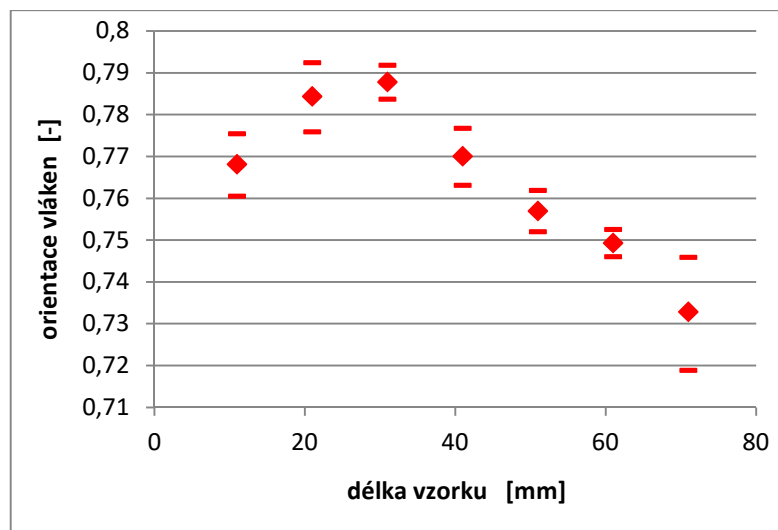


Obr. 2.3.2 Rychlost zvuku procházejícího vzorkem PET 0,055 mm stanovená pomocí přístroje DMT, předpětí 11 g

Z takto stanovené hodnoty maximální rychlosti zvuku byl dle vztahu (1.4.1) vypočten modul pružnosti (obr. 2.3.3). Pro hustotu materiálu byla ve výpočtu použita hodnota 1360 kg m^{-3} . Hodnota $C_u = 1.4 \text{ km s}^{-1}$, používaná pro neorientovaná PET vlákna [28]. Následně byla stanovena vnitřní orientace vláken (obr. 2.3.4) na jednotlivých délkách vzorku dle vztahu (1.4.4).



Obr. 2.3.3 Akustický dynamický modul monofilu PET 0,055 mm



Obr. 2.3.4 Orientace monofilu PET 0,055 mm

Na vzorku PET monofilu průměru 0,055 mm byly měřeny doby průchodu zvukového signálu na délkách vzorku v rozmezí 10 – 20 cm. Vzdálenost mezi jednotlivými měřeními byla 1 cm. Vzorek byl postupně zatěžován předpětím o hmotnosti 11 – 71 g. Byl stanoven akustický modul vlákna v závislosti na předpětí. Dle výsledků uvedených na obr. 2.3.3 dochází k nárůstu hodnot akustického modulu vlákna při zatížení do 31 g a následně k poklesu akustického modulu vlákna při zatížení větším než 31 g. Stejný trend vykazuje i následně stanovená orientace vlákna. Vlivem vysokého zatížení vlákna předpětiovým závažím dochází k vnitřním strukturním změnám a tím i k poklesu jeho vnitřní orientace.

2.4 Variabilita dodávek monofilu

Byly testovány tři dodávky (šarže) PET monofilu průměru 0,055 mm a z něj vytkané armovací tkaniny v rezném a tepelně fixovaném stavu. Byly sledovány změny geometrických, mechanických i tepelných vlastností u rezného materiálu z cívky, dále u vláken vytažených z tkaniny rezné i fixované.

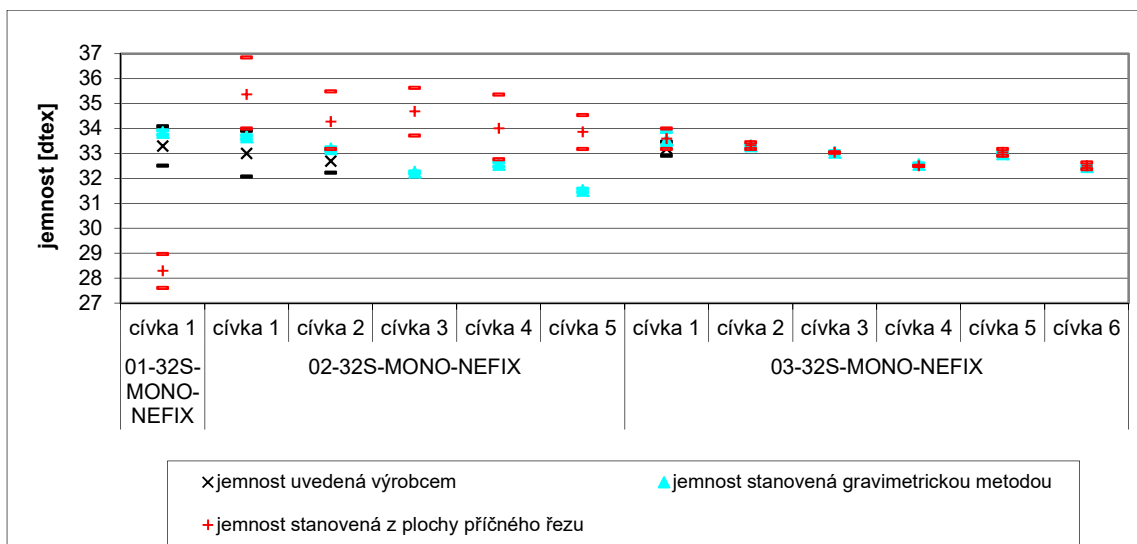
Dále byl testován polypropylénový monofil o průměru 0,065 mm a vliv mechanického působení během zpracování na vlastnosti monofilu v průřezu cívky.

Výsledky DSC těchto materiálů jsou uvedeny v kap. 2.1. a v příloze B.

2.4.1 Variabilita monofilu mezi šaržemi

Byl testován polyesterový monofil průměru 0,055 mm, odebíraný z jedné cívky 01-32S-MONO-NEFIX, dále monofil vytažený z rezné nefixované tkaniny 11-32S-TKAN-NEFIX a monofil vytažený z fixované tkaniny 24-32S-TKAN-FIX. Jedná se o stejný typ monofilu jedné šarže v různé fázi zpracování. Výsledky byly v některých fázích porovnávány s polyesterovými monofily stejného typu ale odlišných šarží, monofil 02-32S-MONO-NEFIX, cívky 1 až 5 a monofil 03-32S-MONO-NEFIX, celkem 6 cívek.

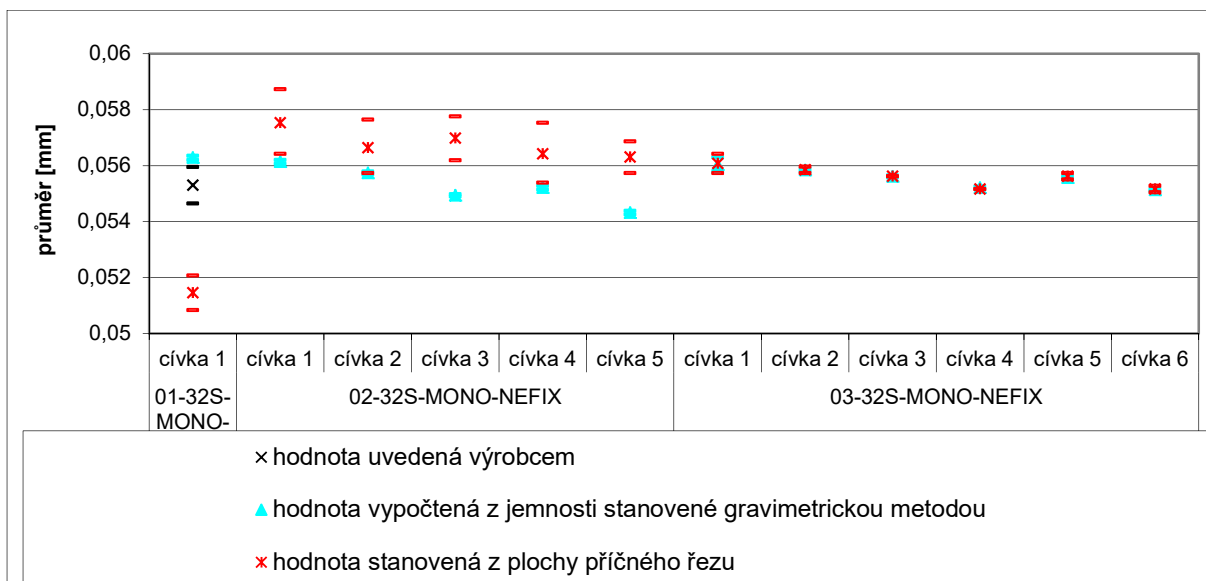
Na obr. 2.4.1 je znázorněna jemnost monofilu PES šarží 01 až 03. Pro porovnání jsou uvedené hodnoty jemnosti poskytnuté výrobcem, dále hodnoty zjištěné pomocí gravimetrické metody a hodnoty stanovené výpočtem z ploch měkkých příčných řezů. Pomocí vijáku bylo odměřeno 5 x po 100 m monofilu a zjištěna hmotnost jednotlivých úseků. Jemnost byla stanovena gravimetrickou metodou dle ČSN EN ISO 1973.



Obr. 2.4.1: Jemnost monofilů

Jemnost PET monofilu dosahuje v některých případech statisticky významně odlišných hodnot než udává výrobce. Cívka č.3 šarže 02 a cívky č. 4 a 6 šarže 03 vykazují statisticky významně odlišné hodnoty jemnosti od hodnot stanovených výrobcem . Jemnost stanovená výpočtem z hodnot ploch příčných řezů vykazuje odlišné hodnoty u šarží 01 a 02, současně s širšími konfidenčními intervaly [35]. U šarže číslo 03 nevykazují výsledky jemnosti stanovenými oběma metodami statisticky významné rozdíly. Může se jednat o vliv odlišného vnitřního uspořádání monofilů ovlivněné drobnými změnami v jejich výrobě. Pro výpočet jemnosti z plochy řezu byla ve všech případech použita hodnota měrné hustoty PET monofilu 1360 kgm^{-3} .

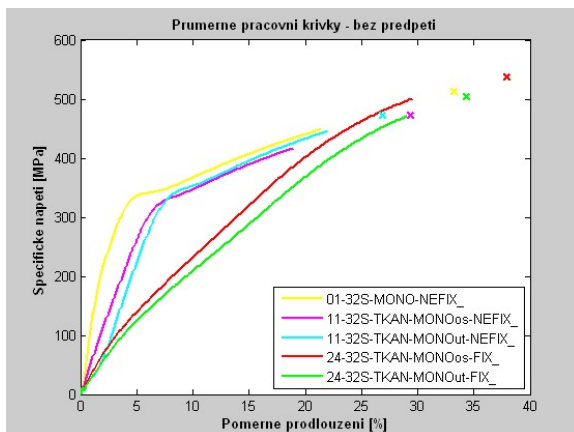
Plocha a průměr monofilu byly stanoveny metodou měkkých řezů pomocí obrazové analýzy Lucia a porovnány s hodnotami stanovenými výpočtem z hodnot zjištěných gravimetrickou metodou. Experimentálně stanovené výsledky jsou porovnány s hodnotou uvedenou výrobcem. Výsledky jsou uvedeny na obr. 2.4.2.



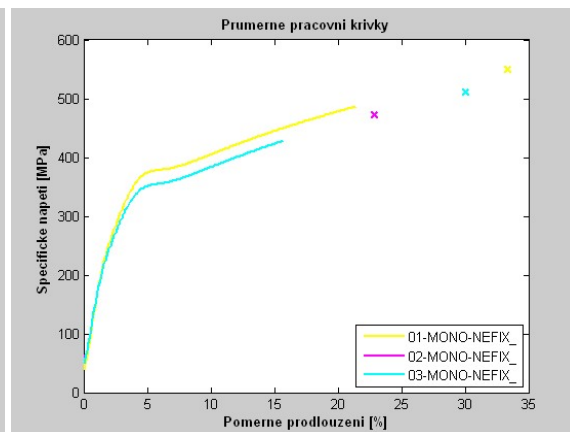
Obr. 2.4.2 Průměr monofilů

Stejný trend, jako je vidět u hodnot jemností monofilů, ukazují i výsledky jejich průměrů a ploch. Na obr. 4.2.1 je černou barvou znázorněna hodnota průměru monofilu uváděná výrobcem. Z výsledků nepřímo vyplývá vliv dosazované konstantní hodnoty měrné hustoty vláken. Za předpokladu dosažení konstantní hodnoty měrné hustoty je možné z výsledků jednotlivých šarží usuzovat na možnosti změny ve výrobě vlákna, a tím i na změny ve vnitřní struktuře a uspořádání vlákna.

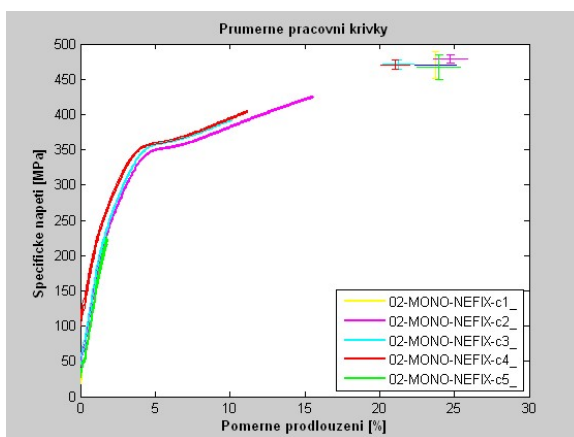
Pevnost a tažnost monofilů byla měřena na přístroji Instron 1144 dle ČSN EN ISO 2062. Parametry rychlosti deformace $1,5 \text{ min}^{-1}$, která je dána rychlostí posuvu čelisti 300 mm min^{-1} a upínací délkou 200mm. Pro daná měření byla zvolena netypická upínací délka s ohledem na monofily vytažené ze tkanin. Pevnost a tažnost tkanin je běžně testována na vzorcích o rozměrech 200 mm délka a šířka 50 mm. Pro možné následné porovnání byla, vzhledem k řečenému, použita u monofilů délka 200 mm místo standardních 500 mm. Předpětí bylo voleno standardně, tj. 5 % z jemnosti měřené gravimetrickou metodou. Pro každý monofil bylo provedeno cca 50 měření. Taktéž pro výhodnější porovnání mechanických vlastností byly testovány jednotlivé monofily vytažené z tkaniny. Zde je třeba brát v úvahu možnosti zvlnění způsobené zatkním monofilu a u vzorků po tepelné fixaci i s termickým ovlivněním finálních vlastností.



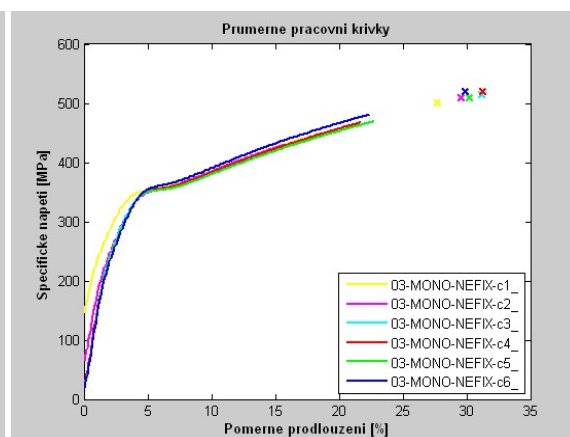
Obr. 2.4.3 Tahové křivky monofilu šarže 01



Obr. 2.4.4 Průměrné tahové křivky monofilů šarží 01, 02 a 03



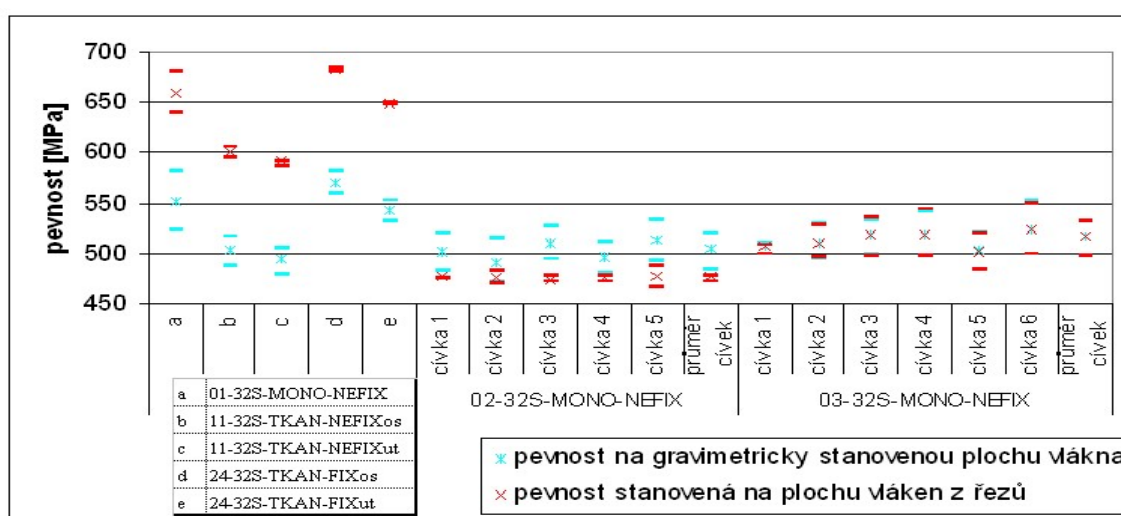
Obr. 2.4.5 Průměrné tahové křivky monofilů cívek šarže 02



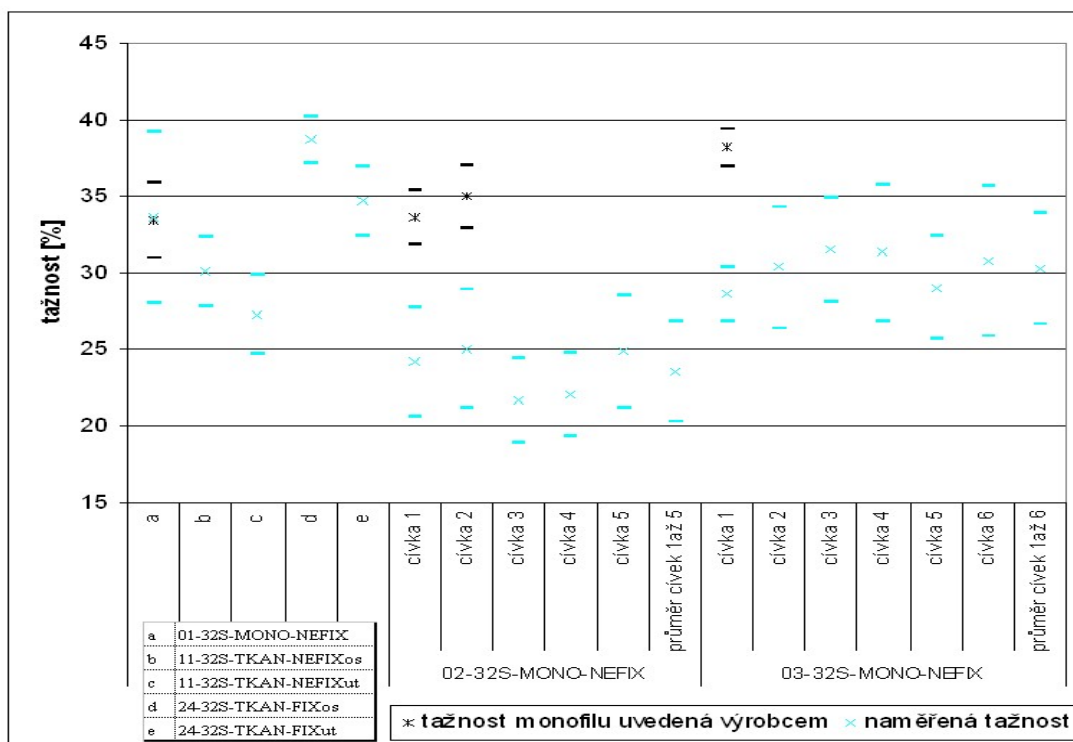
Obr. 2.4.6 Průměrné tahové křivky monofilů cívek šarže 03

Pracovní křivky monofilu 01-32S-MONO-NEFIX (obr. 2.4.3) ukazují, že při zatčení (11-32S-TKAN-MONO-os/ut-NEFIX) a následné tepelné fixaci (24-32S-TKAN-MONO-os/ut-FIX) došlo ke stabilizaci materiálu, což se projevilo odstraněním výrazné meze kluzu, a také zvýšením pevnosti a tažnosti vláken, jak je vidět na obr. 2.4.3 a následně na obr. 2.4.7 až obr.2.4.9. Na obr. 2.4.4 jsou zobrazeny průměrné tahové křivky surového polyesterového monofilu šarží 01, 02 a 03, na vzorcích je možné opět pozorovat výraznou mez kluzu, průměrné tahové křivky jednotlivých cívek monofilu šarží 02 a 03 jsou zobrazeny na obr. 2.4.5 a obr. 2.4.6.

Na obr. 4.3.5 jsou sumarizovány výsledné průměrné pevnosti monofilových vláken. U šarže 01 je vidět statisticky významný pokles pevnosti u monofilů po zatčení, vytažených ze směru osnovy i útku tkaniny. Monofily vytažené po tepelné fixaci tkaniny vykazují naopak nárůst pevnosti. U šarží 02 a 03 výrobce uvádí významně vyšší hodnoty pevnosti, než byly zjištěny při testování na přístroji Instron 1144. V technické praxi je většinou pevnost vztažena na plochu příčného řezu testovaného materiálu. Pro výpočet pevnosti vláken v jednotkách MPa bylo použito výsledné plochy vláken stanovené výpočtem z jemnosti zjištěné experimentálně pomocí gravimetrické metody dle ČSN EN ISO 1973.



Obr. 2.4.7 Pevnost monofilů uvedená v jednotkách MPa



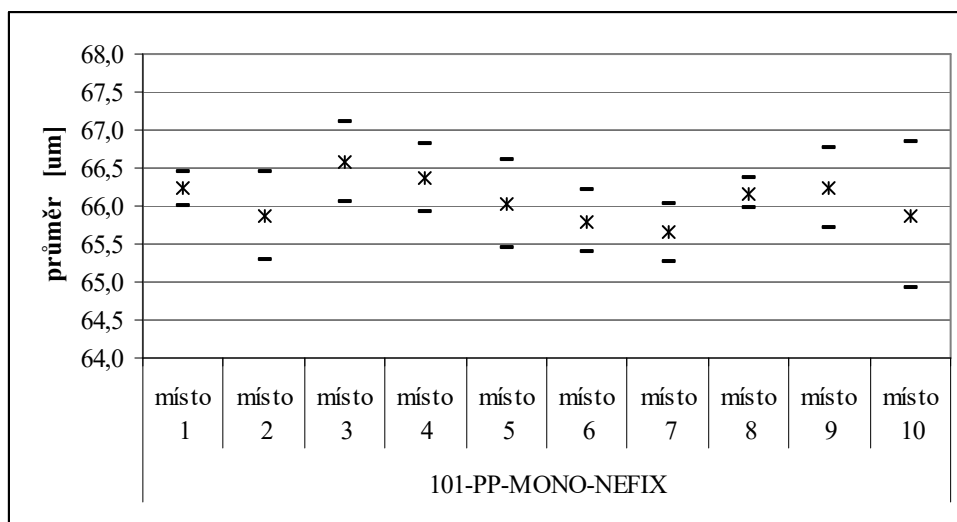
Obr. 2.4.8 Tažnost monofilů

Výsledné hodnoty tažnosti monofilů jsou znázorněny na obr. 2.4.8. U šarže 01 je vidět statisticky významný pokles tažnosti u monofilu vytaženého po zatkání ze směru útku. Monofily vytažené po tepelné fixaci tkaniny vykazují naopak nárůst pevnosti i tažnosti, statisticky významný nárůst tažnosti je ale zaznamenán jen ve směru osnovy tkaniny. U šarží 02 a 03 výrobce uvádí významně vyšší hodnoty tažnosti.

2.4.2 Variabilita vlastností PP monofilu

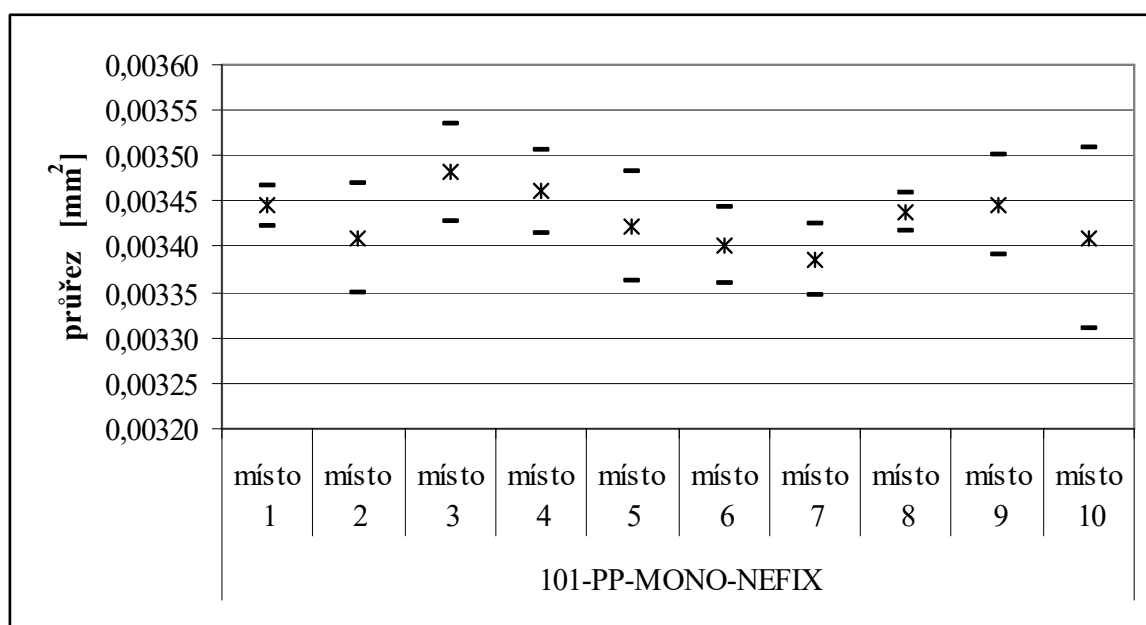
Na cívce PP monofilu o průměru 0,065 mm, dále značen jako 101-pop32S-MONO-NEFIX - cívka č.1, bylo provedeno deset sérií měření (z deseti různých míst, vzdálenost mezi dvěma místy je cca 30 km) jemnosti (gravimetrickou metodou), průměru a průřezu monofilu (metoda měkkých řezů), pevnosti, tažnosti, tahových křivek, tepelné sráživosti a srážecí síly. Při odběru vzorků z cívky č.1 byla subjektivně pozorováno jiné napětí monofilu v návínu na povrchu cívky než ve středu cívky, kde byly vrstvy monofilu vtlačeny do sebe. Monofil byl zřejmě navíjen s konstantní rychlostí, nikoliv s konstantním napětím, a tím došlo k předepnutí vnějších vrstev návínu. Omak monofilu byl hladký v povrchových vrstvách a hrubší (hrbolky) od středních vrstev až k dutince cívky. V tabulkách a grafech jsou místa odběru vzorků číslována od povrchu cívky tj. č.1 směrem k dutince cívky tj. číslo 10.

Na obr. 2.4.2.1 je uveden ekvivalentní průměr a na obr. 2.4.2.2 průřez PP monofilu 0,065mm stanovený z naměřených příčných řezů odebraných z různých míst cívek (10 příčných řezů z jednoho místa, použitím metody obrazové analýzy. Vzorky byly odebrané z deseti míst cívky PP monofilu 0,065mm. V některých případech dosahují hodnoty ekvivalentních průměrů statisticky významně vyšších hodnot, než udává výrobce. Rozdíly v ekvivalentním průměru PP monofilu odebraného z deseti různých míst cívky jsou statisticky nevýznamné, avšak variabilita hodnot v jednotlivých místech cívky je různá. Výsledky jsou uvedeny v tab. 15 a 16 přílohy A.



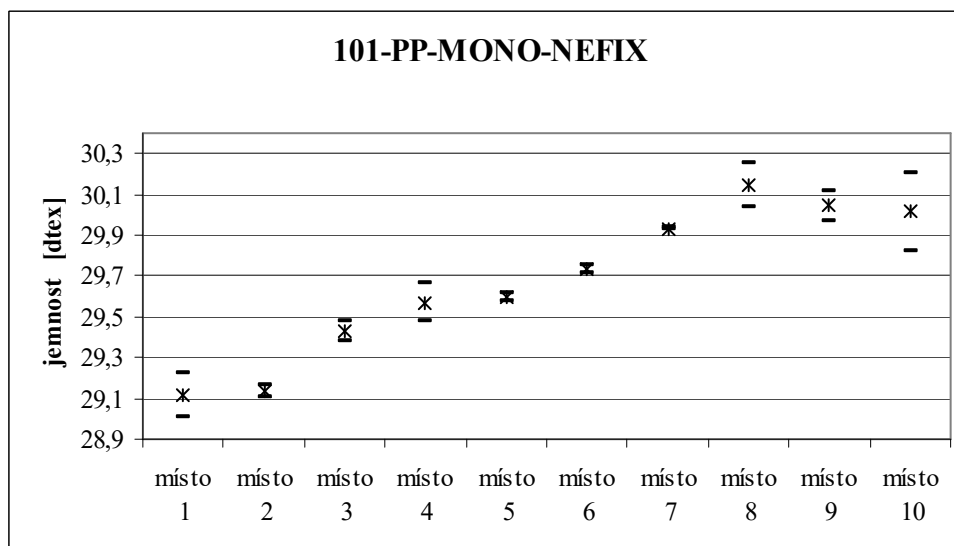
Obr. 2.4.2.1 Průměr 101-PP-MONO-NEFIX

Na obr. 2.4.2.2 jsou znázorněny průřezy monofilu v jednotlivých místech cívky. Rozdíly průřezu v rámci cívky jsou statisticky nevýznamné. Ve všech případech byly průřezy měřeny na vlákne přímo z původní cívky, aby se zamezilo případnému vlivu tahové síly např. vijáku při gravimetrické metodě. Vyšší variabilita dat může být způsobená možností mírné deformace vlákna během řezání pomocí mikrotonu, a rovněž může být ovlivněna poměrně malým proměřeným úsekem monofilu, oproti gravimetrické metodě.



Obr. 2.4.2.2 Průřez 101-PP-MONO-NEFIX

Jemnost monofilu (obr. 2.4.2.3) odebraného z deseti míst cívky statisticky významně roste od místa 2 do místa 8. (Výsledky jsou sumarizovány v tab. 14 přílohy A.) Je to v rozporu s tím, že průřez (průměr) monofilu, uvedený na obr. 2.4.2.1 a 2.4.2.2 se nemění.

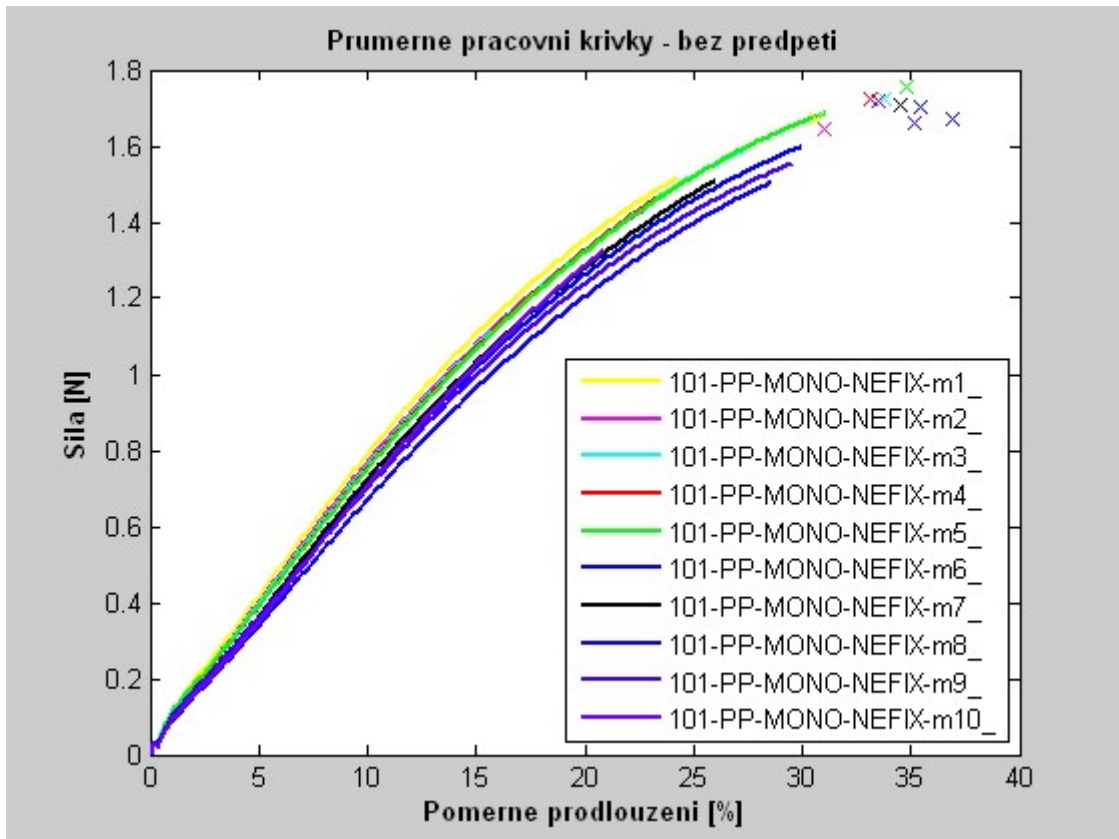


Obr. 2.4.2.3 Jemnost 101-PP-MONO-NEFIX

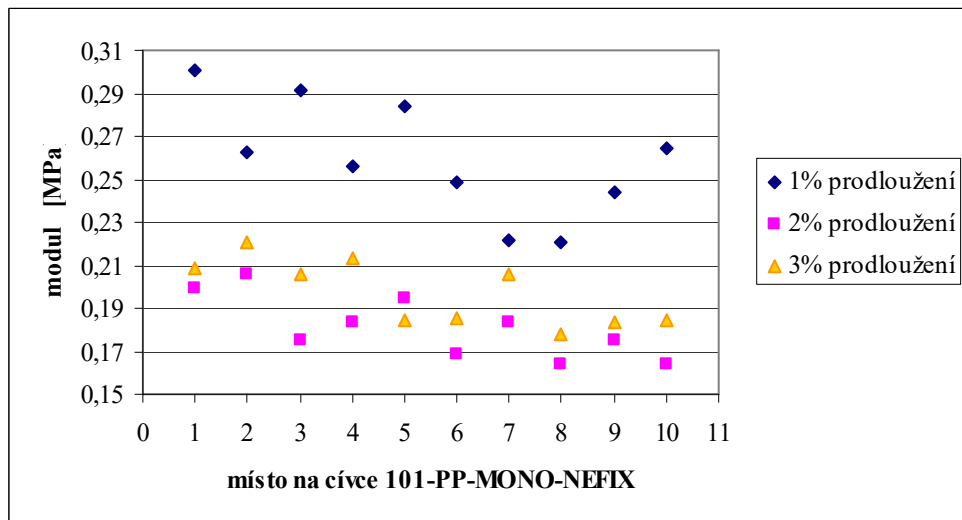
Během navíjení působí na vlákno tahová síla, která patrně nebyla, i dle subjektivního pozorování návinnu na cívce, rovnoměrná v průběhu celého návinnu, resp. regulovaná v souladu s rostoucím průměrem cívky. Nejvyšší variabilita naměřených hodnot jemnosti byla opět prokázána na odběrovém místě nejbližší dutince cívky, jak je zřejmé z obr. 2.4.2.3.

Mechanické vlastnosti PP monofilu o průměru 0,065 mm byly proměřeny na přístroji Instron 1144, pro každý vzorek bylo provedeno 50 měření, použitá upínací délka byla 200 mm, rychlost 300 mm/min, což odpovídá rychlosti deformace 1,5 %/min. Na obr. 2.4.2.4 jsou znázorněny tahové křivky a moduly stanovené na 1 % prodloužení vzorku. Jednotlivé tahové křivky jsou v příloze C, hodnoty pevnosti a tažnosti jsou v tab. 17 přílohy A.

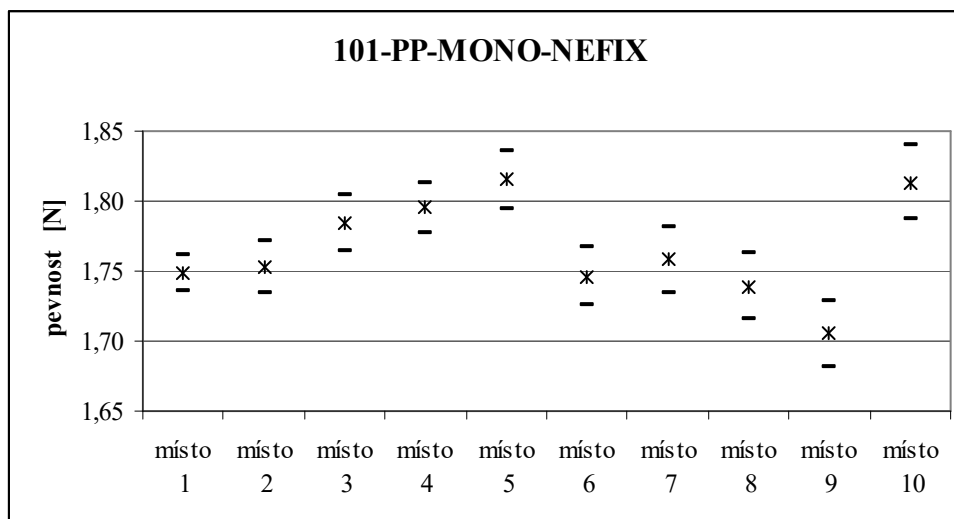
Pevnosti monofilů nezávisí systematicky na vzdálenosti od povrchu cívky. Tažnosti vykazují nárůst a moduly měřené na 1 %, 2 % a 3 % mírný pokles, viz. obr. 2.4.2.5 a tab. 18 přílohy A.



Obr. 2.4.2.4 Tahové křivky vzorku 101-PP-MONO-NEFIX



Obr.2.4.2.5 Moduly na 1 – 3 % prodloužení 101-PP-MONO-NEFIX

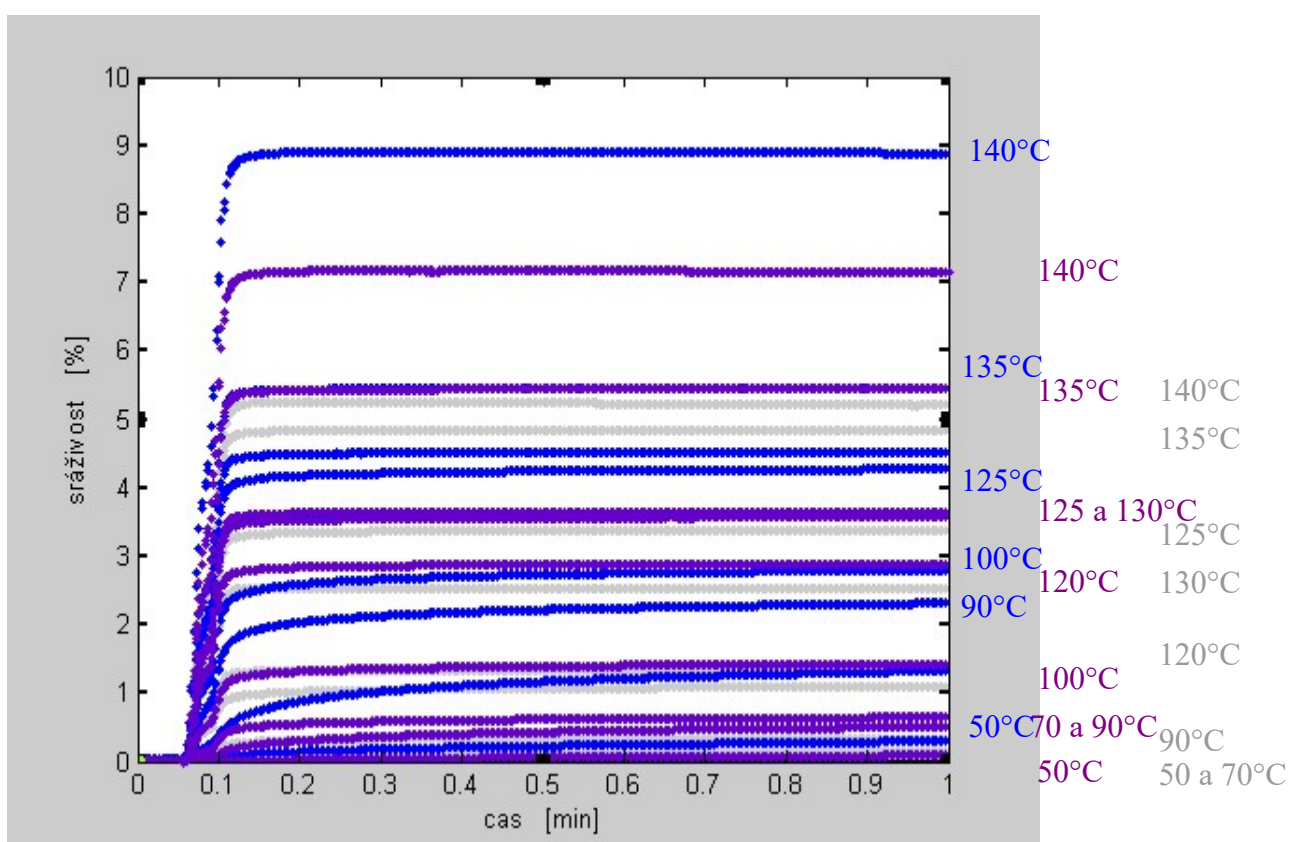


Obr. 2.4.2.6 Pevnost PP monofilu 101-PP-MONO-NEFIX

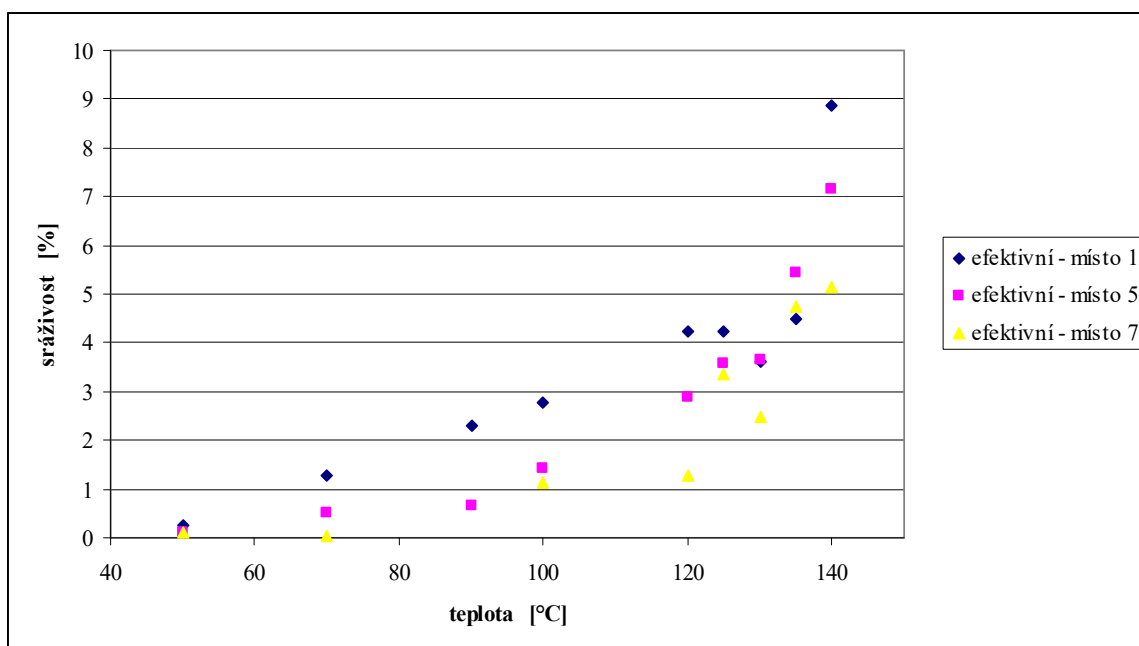
Tepelná sráživost PP monofilu byla testována na přístroji TST 2. Byl proměřen PP monofil 101-pop32S-MONO-NEFIX odebraný z deseti míst od povrchu k dutince cívky. Sráživost a srážecí síla byly měřeny při teplotách 50, 70, 90, 100, 120, 125, 130, 135 a 140 °C. Kinetické křivky srážení POP monofilu z deseti míst cívky jsou uvedeny v příloze D. Teplota 140°C již odpovídá u PP výraznému parciálnímu tání a rekrystalizaci, takže maximální srážení je vyšší. Při teplotě 160 °C je vidět odlišný průběh kinetické křivky srážení. Pomocí diferenciální skenovací kalorimetrie byla ověřena teplota tání PP monofilu 170 °C a teplota krystalizace 115 °C viz příloha B.

Na obr. 2.4.2.7 jsou uvedeny kinetické křivky srážení z míst 1, 5 a 7. Na obr. 2.4.2.8 je znázorněna efektivní sráživost a na obr. 2.4.2.9 je efektivní srážecí síla z míst 1, 5 a 7. Kinetické křivky srážení z jednotlivých míst cívky (příloha C) vykazují pokles směrem od povrchu cívky k dutince a stejně tak sráživost i srážecí síla. Projevuje se zde opět vliv předepnutí povrchových vrstev při navíjení cívky. Sráživost vzrůstá s teplotou, v oblasti od teploty skelného přechodu do teploty tání narůstá lineárně. Maximální a efektivní sráživost je shodná, zbytková sráživost je nižší. Maximální srážecí síla vykazuje vždy nejvyšší hodnoty, nižší je efektivní a nejnižší je zbytková srážecí síla. V oblasti od teploty skelného přechodu do teploty tání je srážecí síla velmi variabilní. V některých případech je rozdíl mezi hodnotami statisticky nevýznamný, v jiných případech se vyskytují hodnoty s velmi vysokou nebo naopak nízkou variabilitou, viz obr. 31 až 40 příloha D. Na obr. 2.4.2.9 je efektivní srážecí síla měřená z míst 1, 5 a 7. Hodnoty maximální, efektivní a zbytkové sráživosti, resp. srážecí síly jsou uvedeny

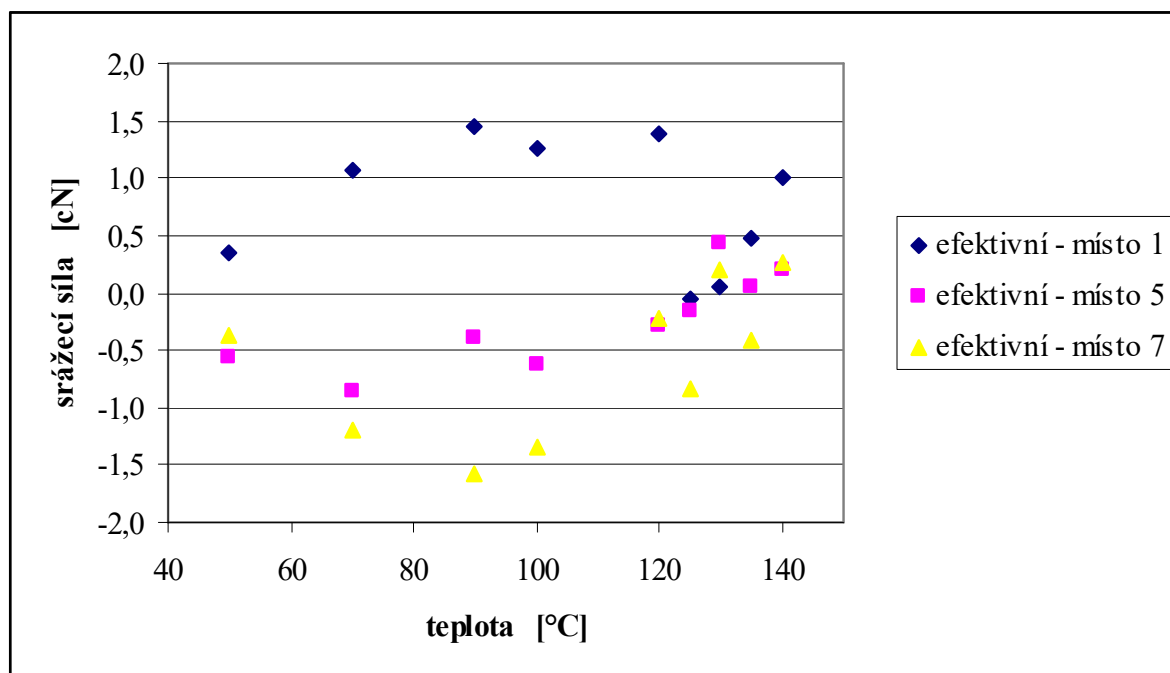
v tab. 19 až 78 přílohy 1. Naměřená srážecí síla je výsledkem dvou procesů, indukováním srážecích sil při zahřátí a současně probíhající relaxace napětí. Maximum srážecí síly pak odpovídá teplotě, kdy se indukuje poměrně velká srážecí síla a relaxace napětí probíhá relativně pomalu. Pokud by neprobíhala relaxace napětí, pak by teplotní závislost srážecí síly byla totožná s průběhem závislosti srážení na teplotě – tedy srážecí síla by stále stoupala. Měření srážecí síly je zatíženo větší chybou měření než měření sráživosti, protože naměřené hodnoty jsou silně závislé na podmínkách měření, především na rychlosti dosažení dané teploty. To je také důvod, proč rozptýl hodnot roste s teplotou měření.



Obr. 2.4.2.7 Kinetické křivky srážení PP monofilu 101-pop32S-MONO-NEFIX místo 1 - modrá, místo 5 –fialová, místo 7 – šedá barva

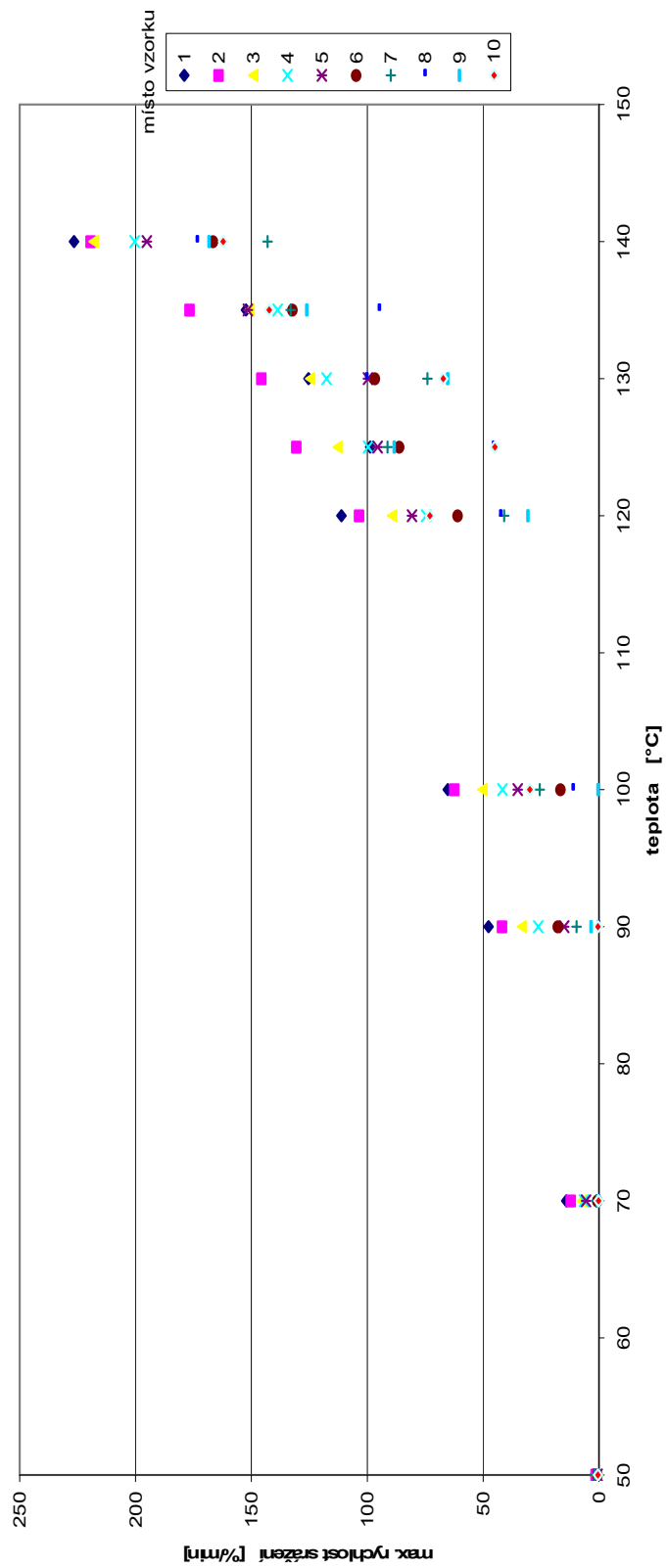


Obr. 2.4.2.8 Sráživost POP monofilu 101-pop32S-MONO-NEFIX – místo 1, 5 a 7

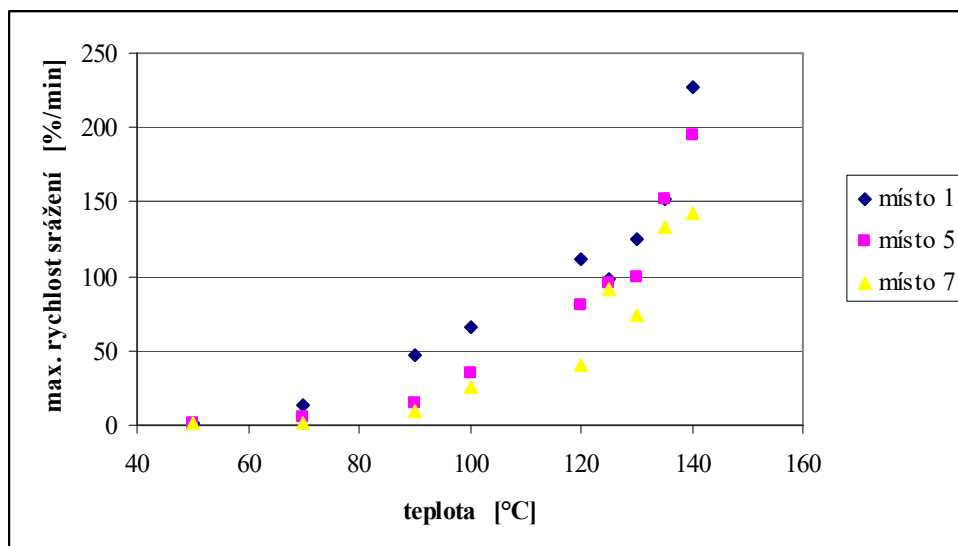


Obr. 2.4.2.9 Srážecí síla POP monofilu 101-pop32S-MONO-NEFIX – místo 1, 5 a 7

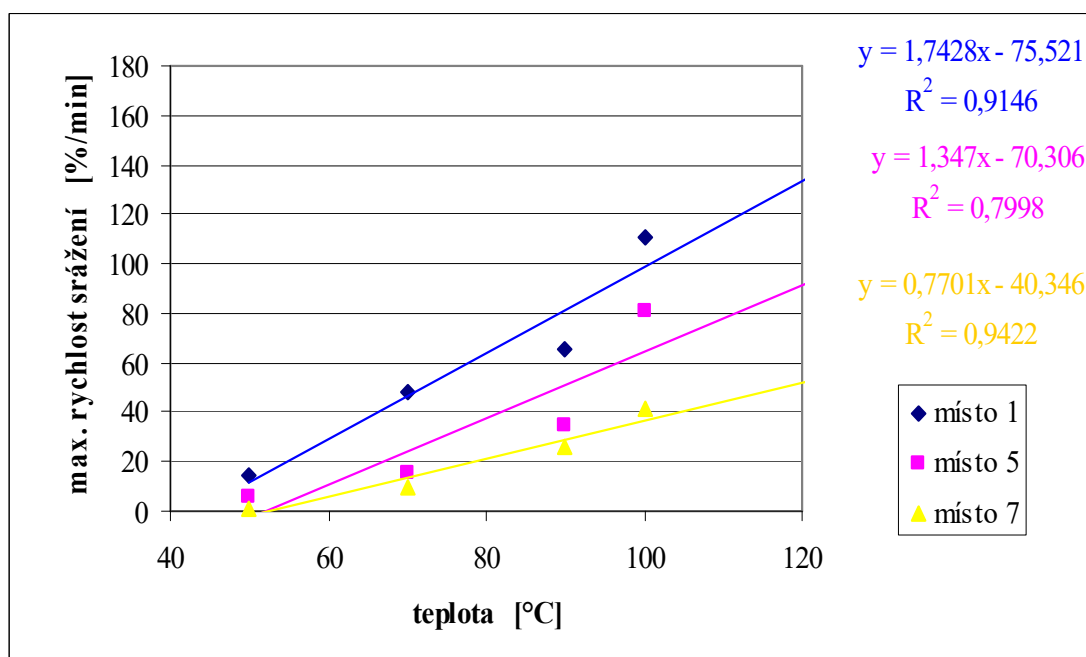
Na obr. 2.4.2.10 jsou znázorněny maximální srážecí rychlosti pro všechna proměřená místa cívky. Z uvedených hodnot na jednotlivých proměřených teplotách jsou patrné rozdíly způsobené mechanickým namáháním vlákna v průběhu navíjení cívky.



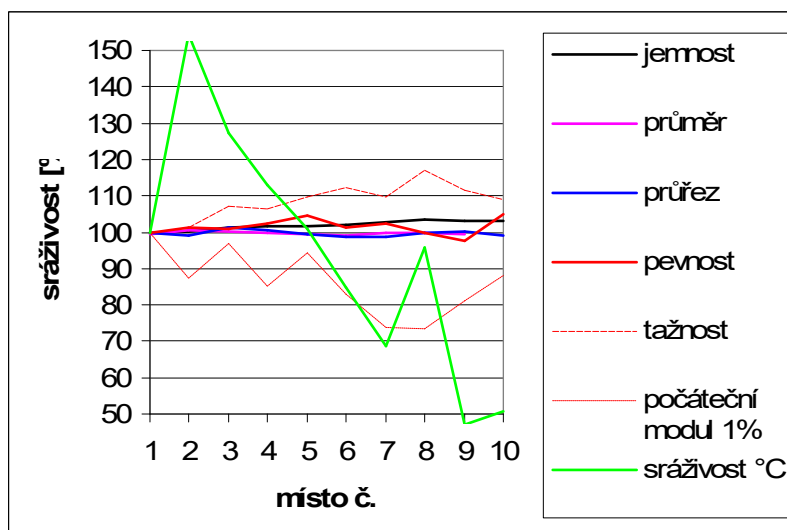
Obr.2.4.2.10 Maximální rychlosti srážení 101-pop32S-MONO-NEFIX – místo 10



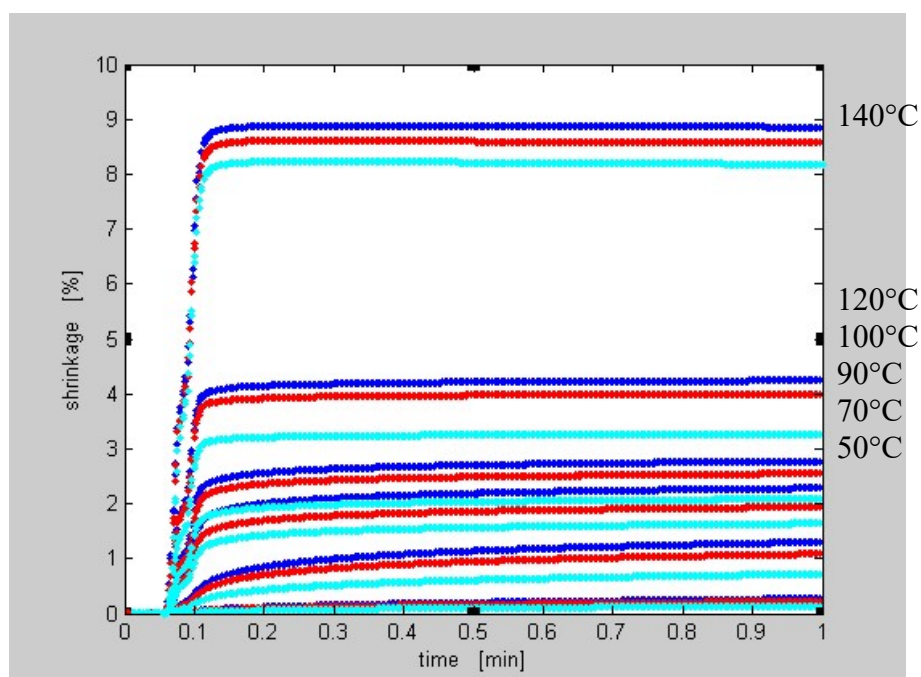
Obr. 2.4.2.11 Maximální rychlosti srážení PP monofilu 101-pop32S-MONO-NEFIX – místo 1, 5 a 7



Obr.3.3.1.12 Maximální rychlosti srážení PP monofilu 101-pop32S-MONO-NEFIX – místo 1, 5 a 7 – lineární regrese



Obr. 2.4.2.13 Procentuální změna vlastností PP monofilu průmětu 0,065m m v závislosti na místě odběru vzorků (z deseti míst cívky)



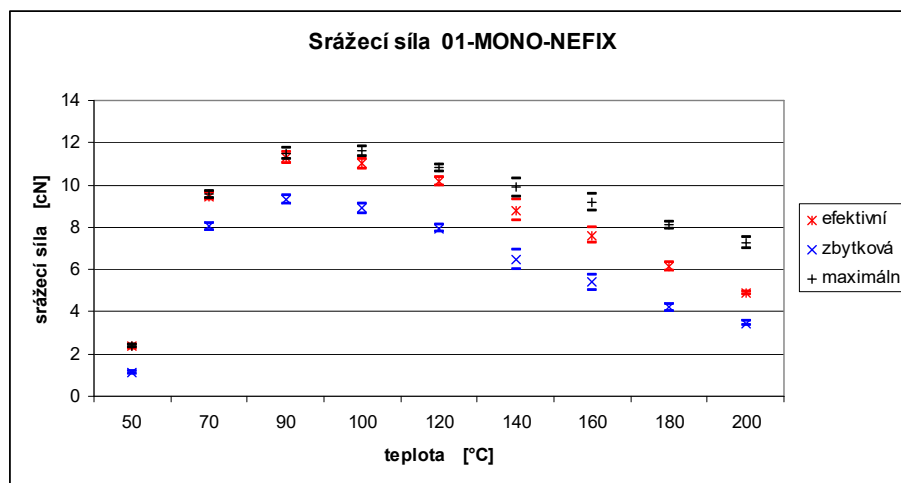
Obr. 2.4.2.14 Kinetické křivky srážení POP monofilu 101-pop32S-MONO-NEFIX - cívka č.1, místo 1 (modrá), místo 2 (červená), místo 3 (tyrkysová), popisky teplot se vztahují k místu 1

Ze závislosti srážení na teplotě je u PP monofilů patrné, že vlákna nebyla v průběhu výroby vystavena žádné fixaci, po fixaci by byla sráživost podstatně nižší. Až do teploty 120 °C roste sráživost lineárně s teplotou. Od teploty 140 °C je vidět rychlejší nárůst sráživosti vzhledem k teplotě tání PP.

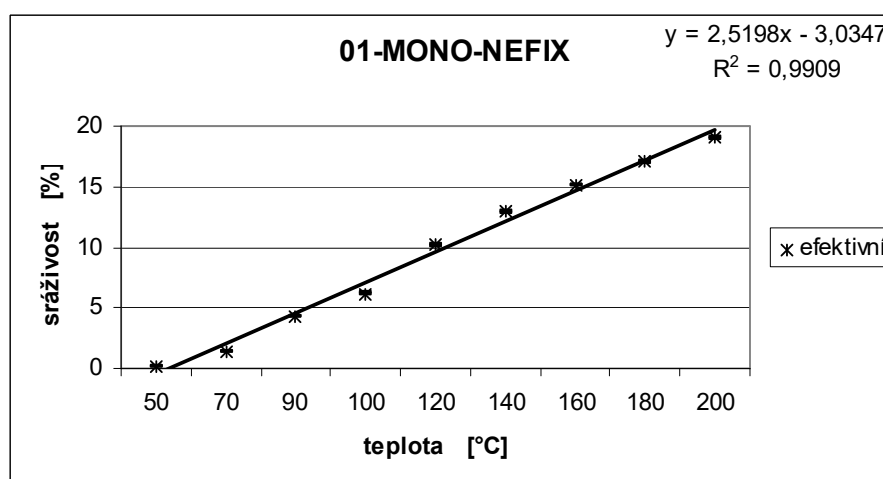
Při testování rovnoměrnosti vlastností monofilu z deseti míst cívky (od povrchu k dutince cívky) bylo zjištěno, že v povrchových vrstvách cívky byl monofil předeplatý. Je to důsledek navíjení cívky s konstantní rychlostí. Potvrzuje to zejména pokles sráživosti od povrchu směrem k dutince cívky viz obr. 2.4.2.13.

2.5 Vliv tkaní a tepelné fixace

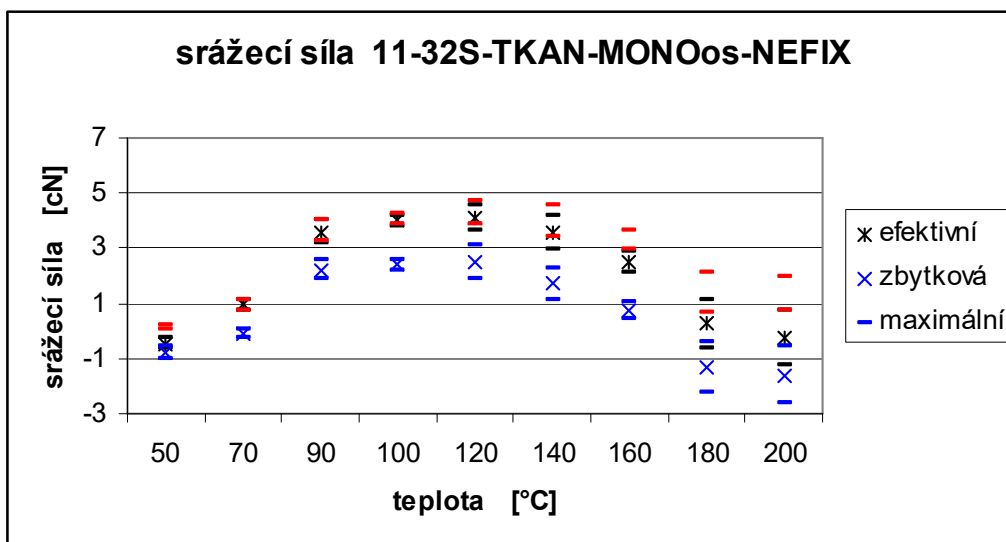
Byla měřena tepelná sráživost a srážecí síla (efektivní, zbytková a maximální) při teplotách 50, 70, 90, 100, 120, 140, 160, 180 a 200° C. Teplotní režim zkoušky byl ve všech měřeních stanoven na 1 min tepelného namáhání za dané konstantní teploty a 0,5 min relaxace po vyjmutí z tepelné komory. Předpětí bylo voleno vzhledem k jemnosti materiálu na 0,7 g. Zkoušky byly z velké většiny provedeny v neklimatizované místnosti, což mohlo ovlivnit výsledky měření. Při dané teplotě bylo provedeno vždy 20 měření sráživosti a srážecí síly, výsledky byly statisticky zpracovány a jsou uvedeny na obr.2.5.1 až obr.2.5.7.



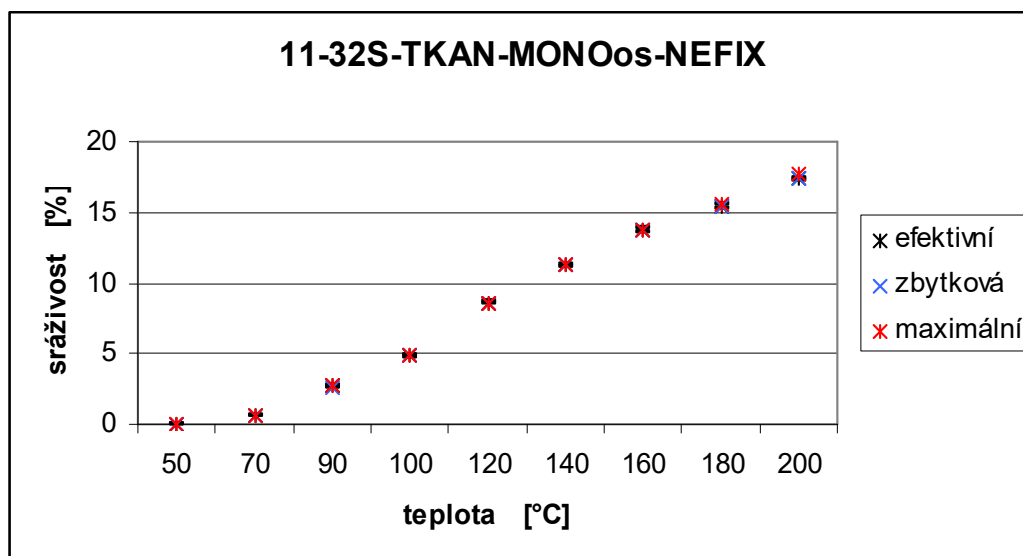
Obr. 2.5.1 Srážecí síla 01-MONO-NEFIX

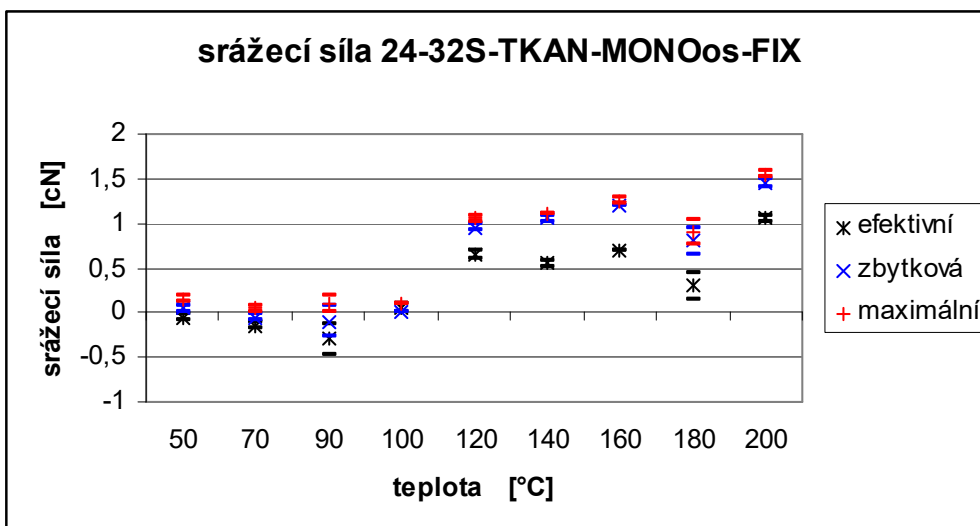


Obr. 2.5.2 Sráživost 01-MONO-NEFIX

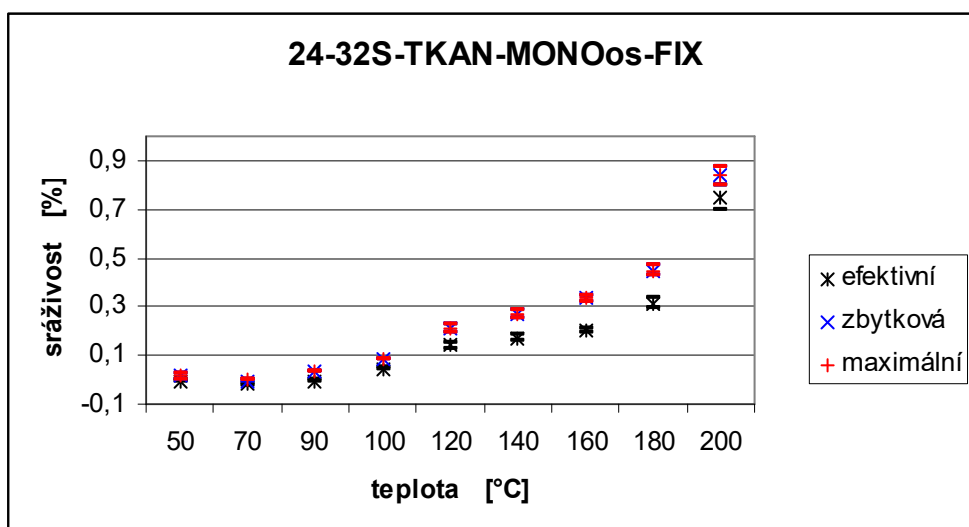


Obr. 2.5.3 Srážecí síla 11-32S-TKAN-MONOos-NEFIX

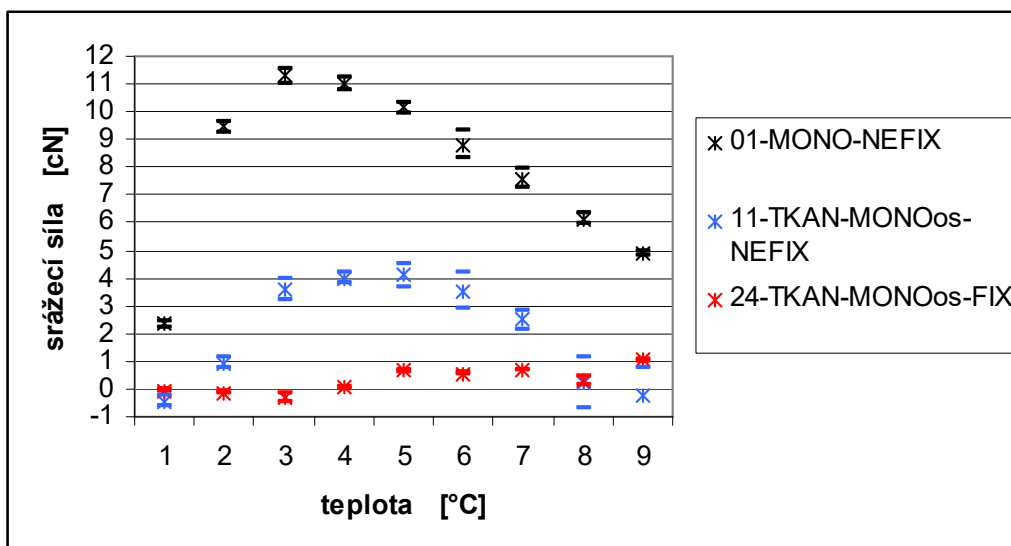




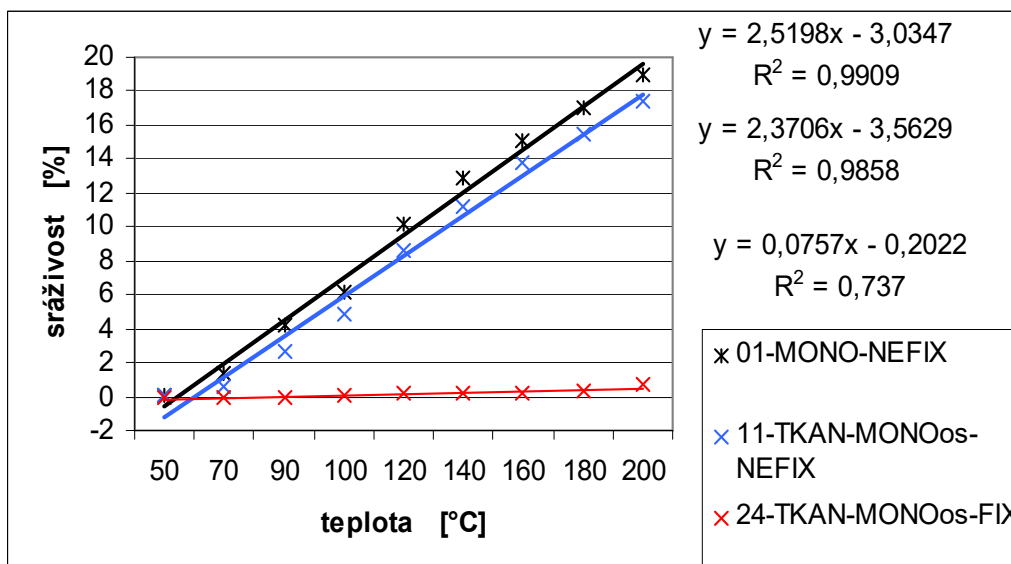
Obr. 2.5.5 Srážecí síla 24-32S-TKAN-MONOOs-FIX



Obr. 2.5.6 Sráživost 24-32S-TKAN-MONOOs-FIX



Obr. 2.5.7 Porovnání srážecích sil monofilů



Obr. 2.5.8 Porovnání citlivosti maximální srážecí rychlosti

Srážecí síla prochází v závislosti na teplotě maximem. Pokud roste sráživost, měla by růst i srážecí síla. Při zahřátí nefixovaného vlákna však probíhají dva procesy: s rostoucí teplotou sice roste srážecí síla, ale současně probíhá, podobně jako u každého viskoelastického materiálu relaxace napětí. Maximální srážecí síla při dané teplotě je pak výsledek těchto dvou procesů. Maximální hodnota efektivní srážecí síly při asi 100°C je daná relativní vysokou srážecí silou při dané teplotě a ještě poměrně pomalou relaxací napětí „srážecí“ síly. Relaxace napětí je ovlivněna výrazně teplotou zeskenění. V okolí této teploty a pod touto teplotou

je relaxace napětí výrazně nižší. Teplotní závislost srážecí síly nad teplotou zesklenní je možno popsat lineární funkcí.

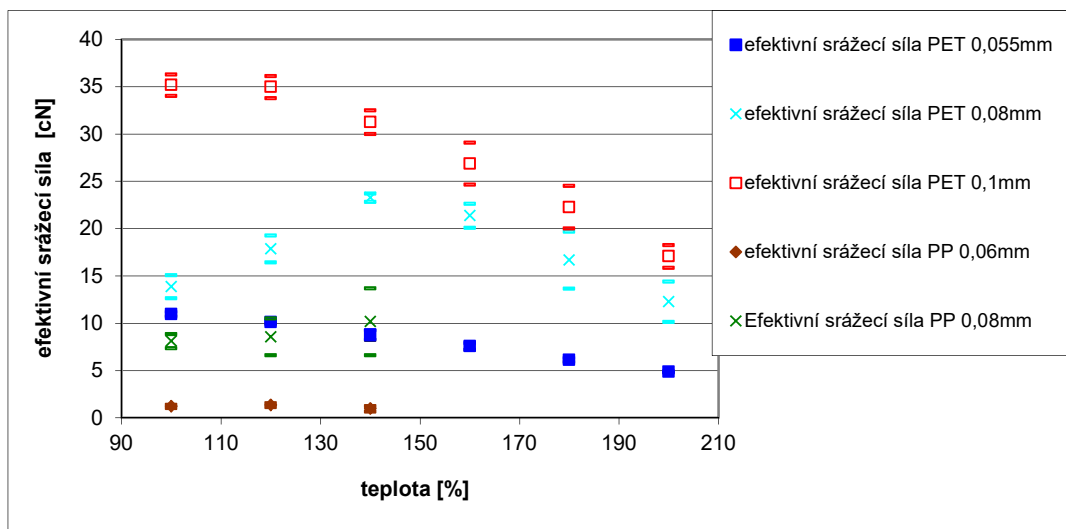
Na obr. 2.5.8 jsou porovnány citlivosti maximální srážecí rychlosti monofilu šarže 01 ukázaného ve třech stupních zpracování ve výrobě – surový monofil z cívky, po zatkání a po tepelné fixaci tkaniny. Z výsledků je patrné, že monofil pro výrobu armovacích tkanin nebyl nijak fixován. V měření na DSC pro stanovení teploty rekrystalizace (tj, teplota odpovídající teplotě fixace) se tento jev tudíž ani nemohl objevit. Výsledky měření tepelné sráživosti tedy potvrzují průběh a výsledky měření DSC, uvedené v kapitole 2.1. Smrštění roste spojitě s teplotou. Pokud by bylo před tím při nějaké teplotě fixováno, pak by až do této teploty bylo smrštění prakticky nulové.

Kontrola všech 3 šarží monofilů ukázala, že monofily od výrobce jsou často nedostatečně fixované, proto je potřeba dbát na dodržení podmínek fixace tkanin. Pokud nebyly splněny požadované podmínky při fixaci tkanin je třeba proces opakovat. Využitím přístroje TST 2 je možné rychle stanovit přibližnou teplotu tepelné fixace.

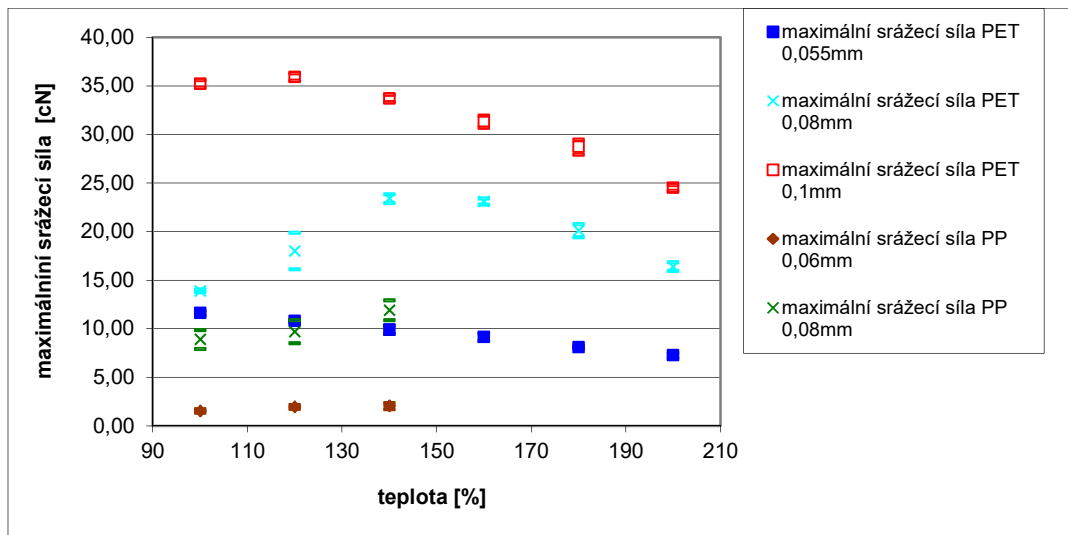
2.6 Vliv tepelné expozice na vlákna

2.6.1 Vliv tepelného namáhání na mechanické vlastnosti vláken a jejich vnitřní strukturu ve volném stavu s minimálním předpětím a v pevném stavu

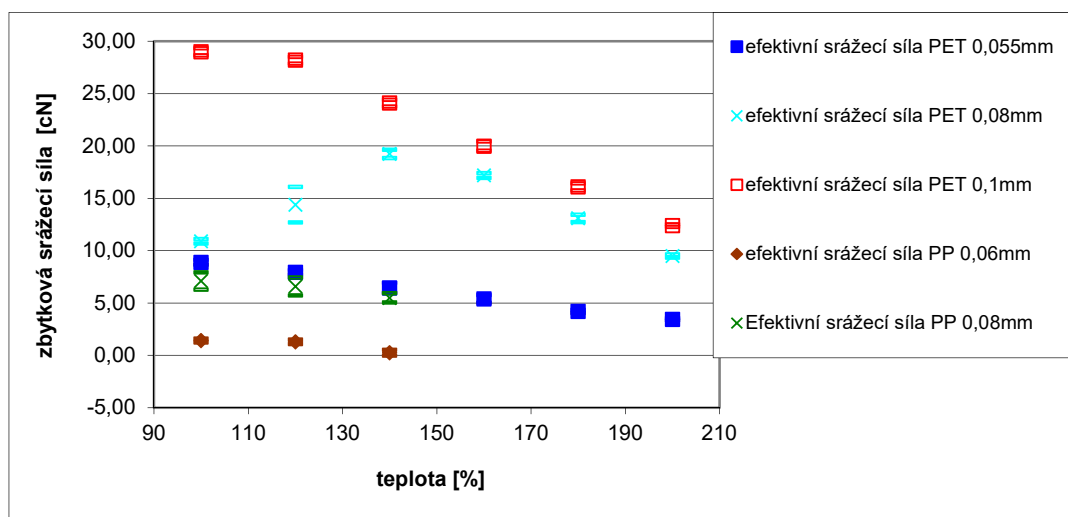
Vlákna byla tepelně namáhána pomocí přístroje TST 2 po dobu 1min efektivní sráživosti a 0,5 min zbytkové sráživosti, dále efektivní a zbytkové srážecí síly. Předpětí byla, stejně jako v předchozích měřeních, zvolena dle jemnosti vláken, 1300 mg pro PET 0,08 mm, 2200 mg pro PET 0,1 mm a 2600 mg pro PP 0,08 mm. Výsledky tepelné sráživosti jsou uvedeny v kap. 2.1.1 a sumarizovány v příloze A, tab. 2 až 4, výsledky tepelné srážecí síly jsou graficky znázorněny na obr. 2.6.1.1 až 2.6.1.4 a sumarizovány v tab. 5 přílohy A.



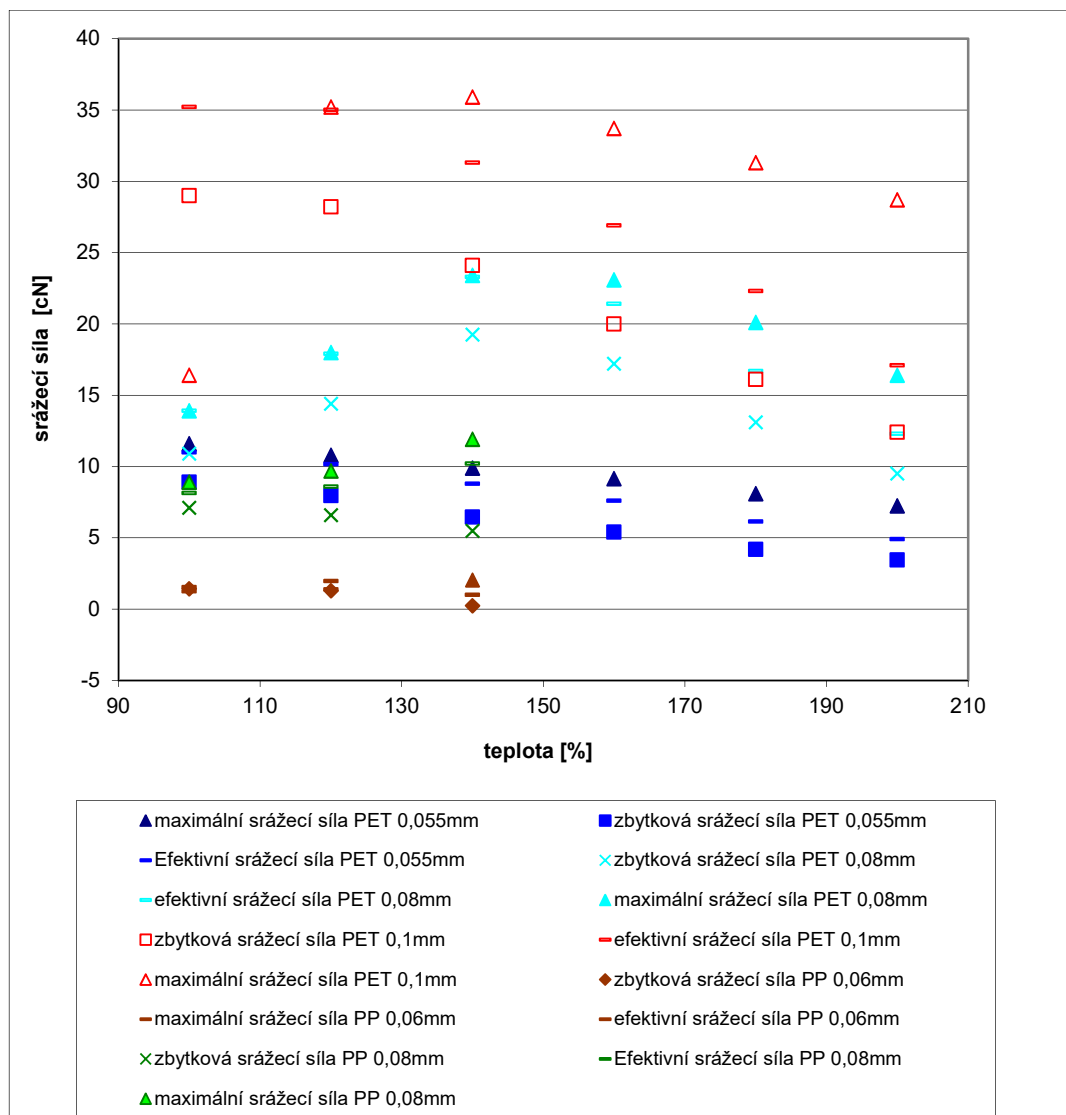
Obr. 2.6.1.1 Efektivní srážecí síla



Obr. 2.6.1.2 Maximální srážecí síla



Obr. 2.6.1.3 Zbytková srážecí síla

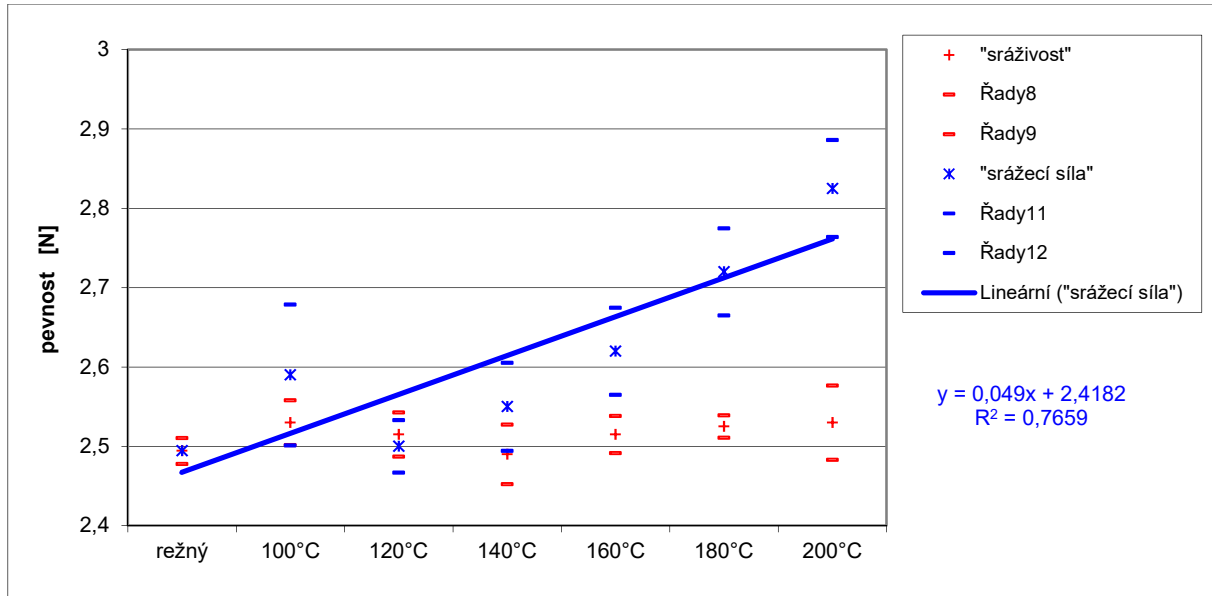


Obr. 2.6.1.4 Porovnání srážecí síly vzorků

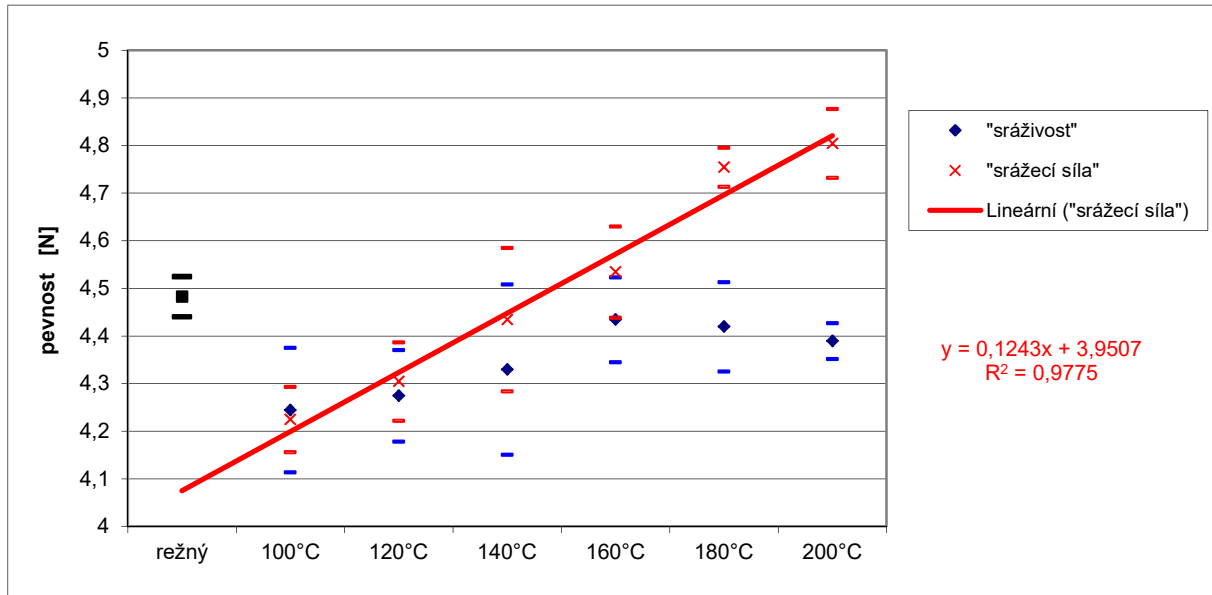
Na tepelně namáhaných vláknech ve volném stavu, dále jsou značeny „sráživost“ byly poté na přístroji INSTRON 4411 testovány mechanické vlastnosti – pevnost, tažnost a byl stanoven počáteční modul na 1% prodloužení vláken. Výsledky pevnosti jsou znázorněny na obr. 2.6.1.5 až 2.6.1.11 V Legendě v uvozovkách je poznačeno, byl-li vzorek fixován s volným koncem za minimálního předpětí – „sráživost“, nebo v pevném stavu – „srážecí síla“.

U PET materiálů tepelně namáhaných v pevném stavu, dále značené jako „srážecí síla“ se pevnost s rostoucí teplotou lineárně zvyšuje, obr. 2.6.1.5 až 2.6.1.11, tab. 6 přílohy A. U vzorků tepelně namáhaných ve volném stavu tento trend nebyl prokázán, tab. 8 přílohy A. Na průběhu tahových křivek vzorků fixovaných v pevném stavu došlo k odstranění výrazné

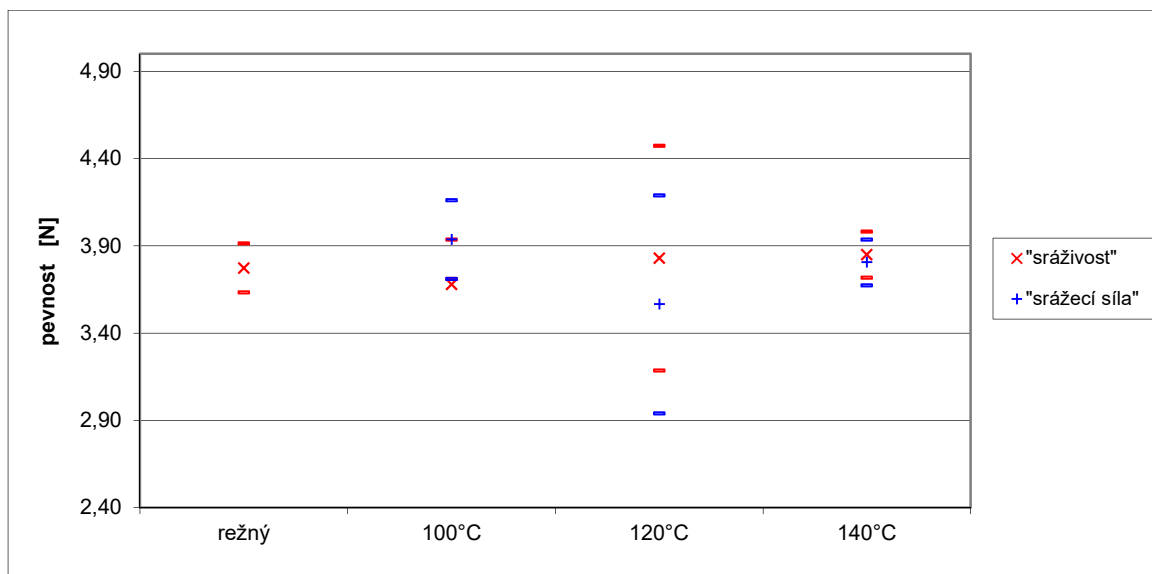
meze kluzu, jak je patrné z obr. 3.2.1.6 a 3.2.1.8. U vzorků tepelně namáhaných ve volném stavu došlo pouze k výraznému snížení této meze, nikoliv k jejímu odstranění (obr. 3.2.1.5 a 3.2.1.1.7).



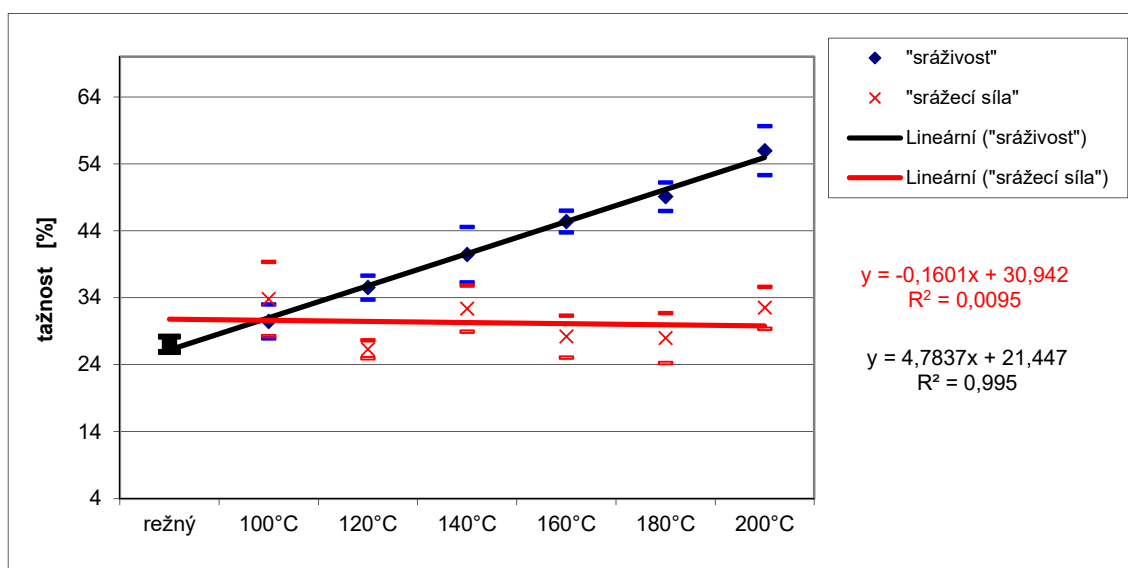
Obr. 2.6.1.5 Pevnost vzorku PET 0,08 mm v závislosti na teplotě



Obr. 2.6.1.6 Pevnost vzorku PET 0,1 mm v závislosti na teplotě

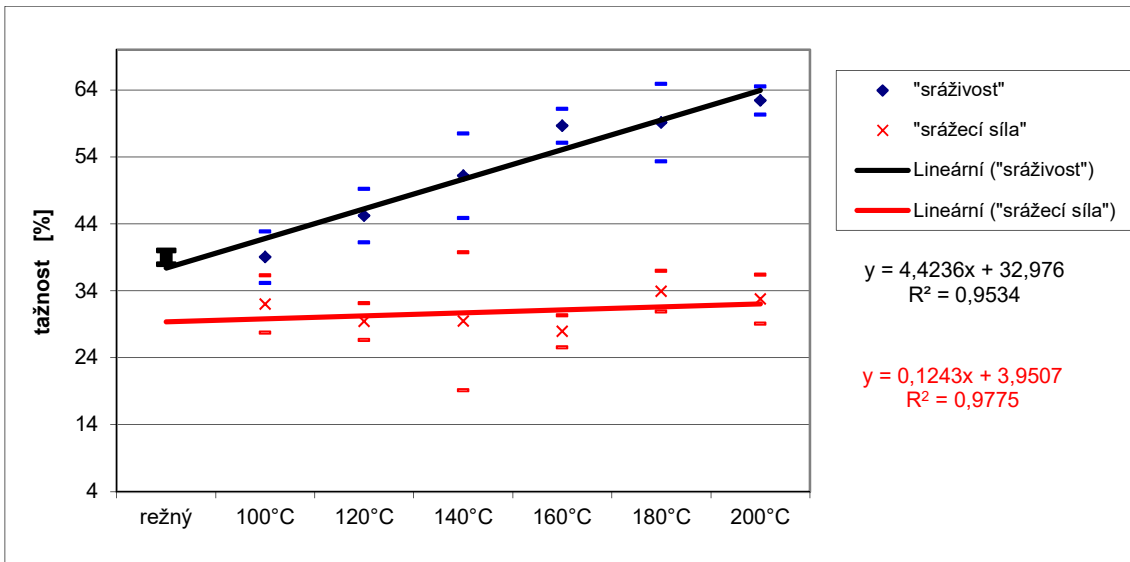


Obr. 2.6.1.7 Pevnost vzorku PP 0,08 mm v závislosti na teplotě

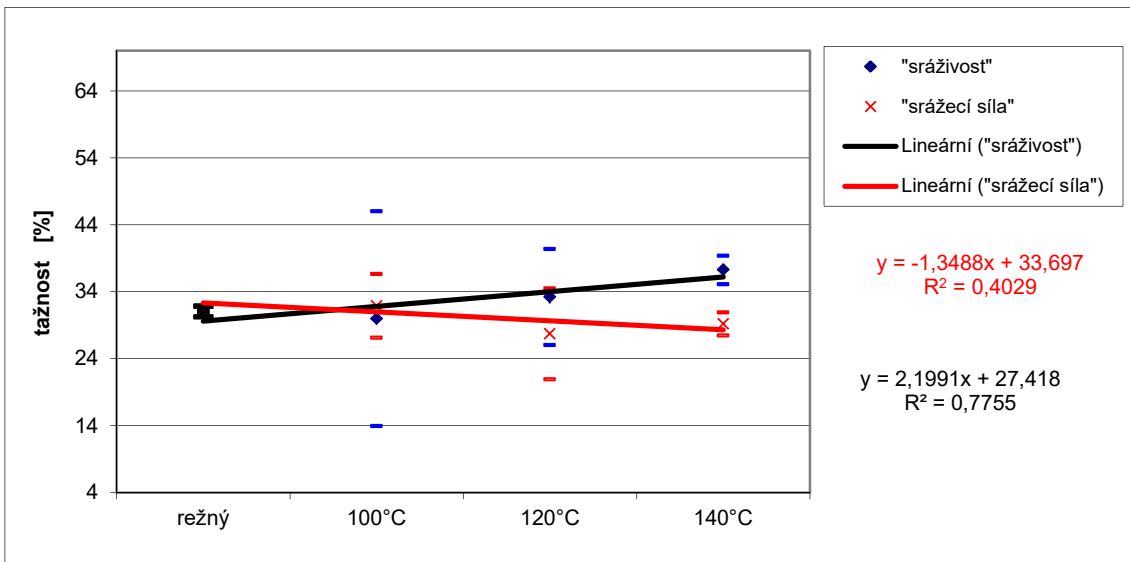


Obr.

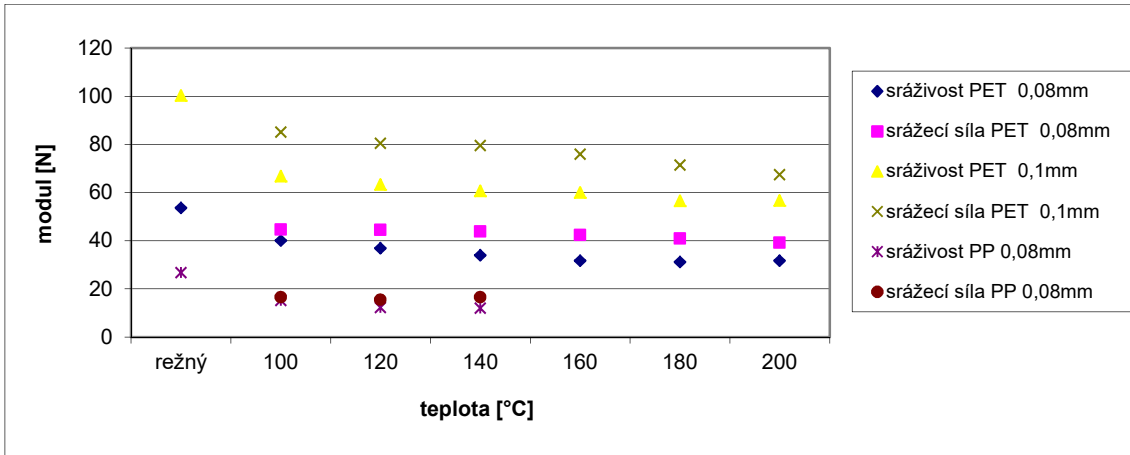
2.6.1.8 Tažnost vzorku PET 0,08 mm v závislosti na teplotě



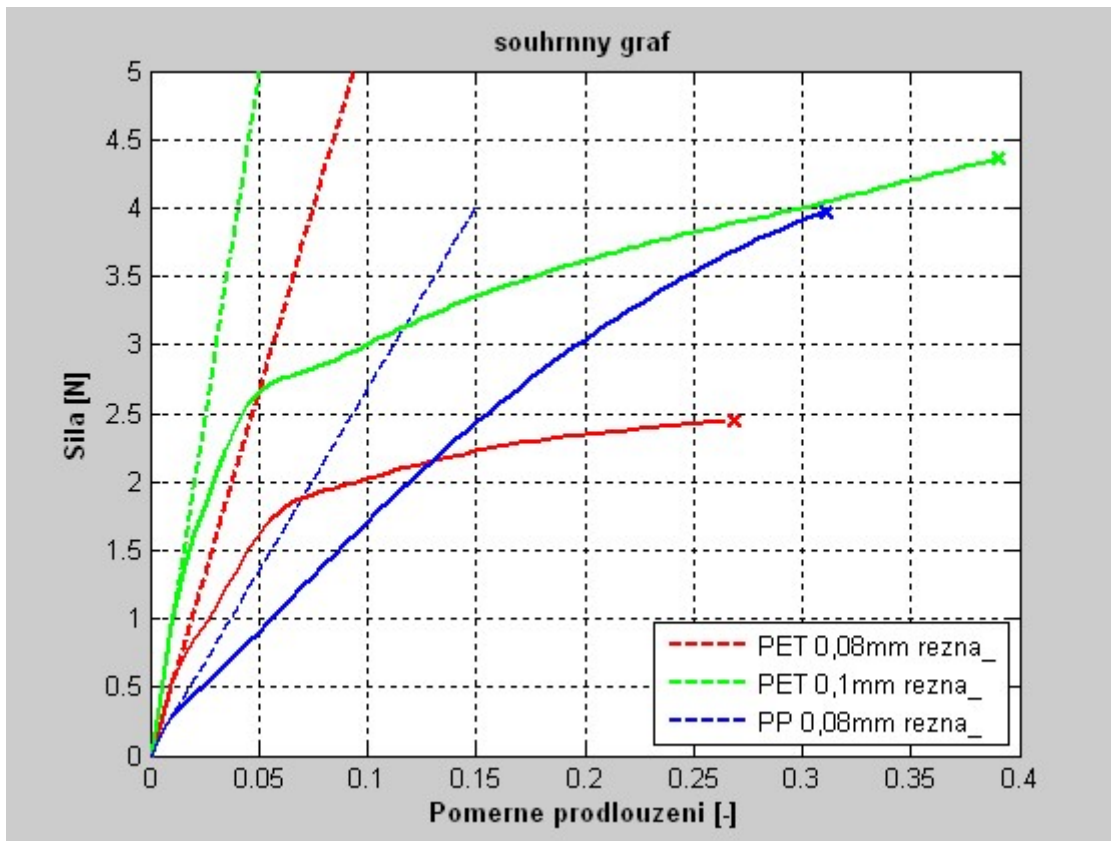
Obr. 2.6.1.9 Tažnost vzorku PET 0,1 mm v závislosti na teplotě



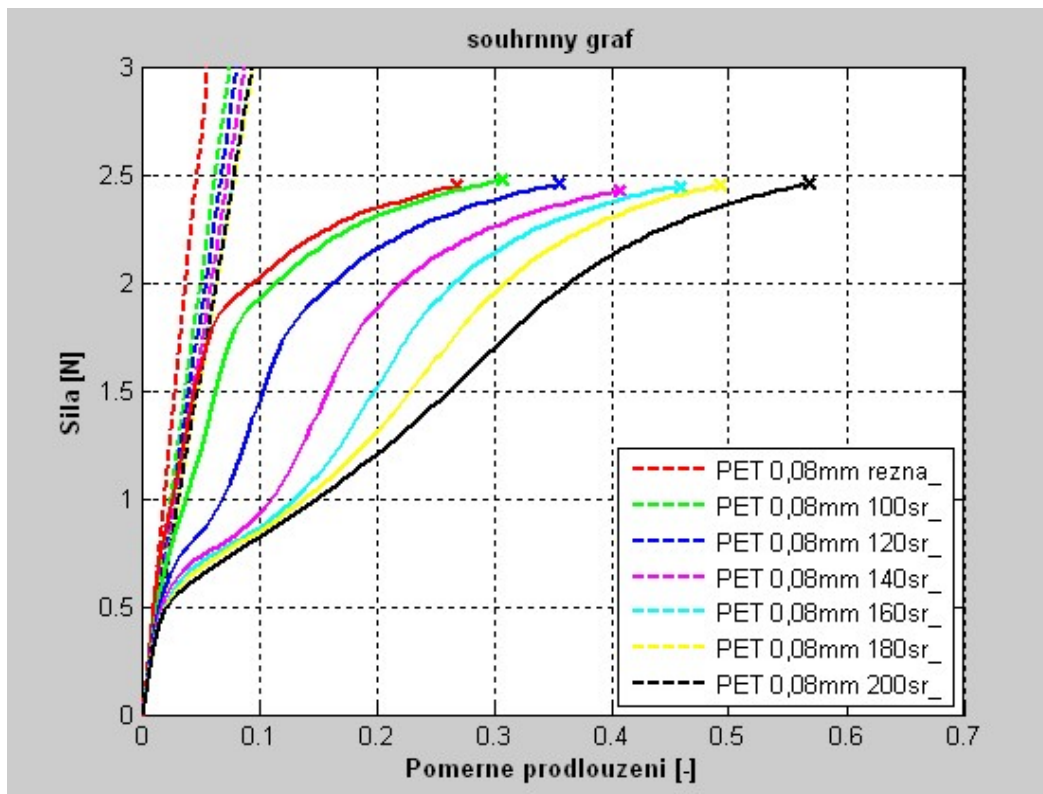
Obr. 2.6.1.10 Tažnost vzorku PP 0,08 mm v závislosti na teplotě



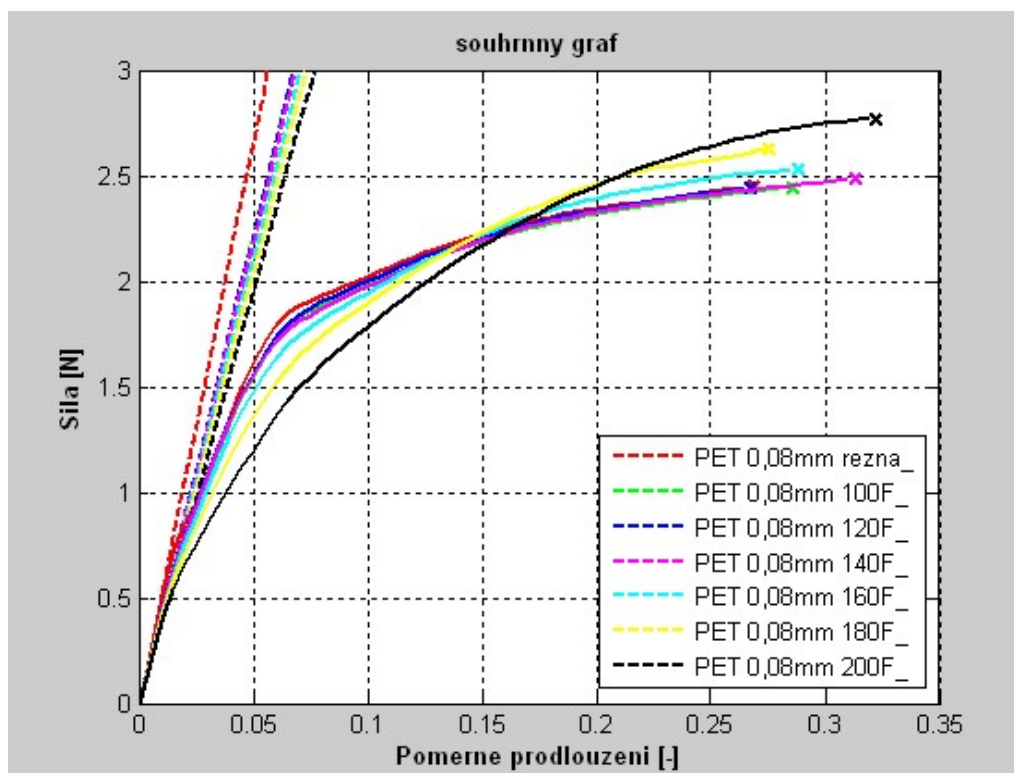
Obr. 2.6.1.11 Moduly stanovené na 1 % prodloužení



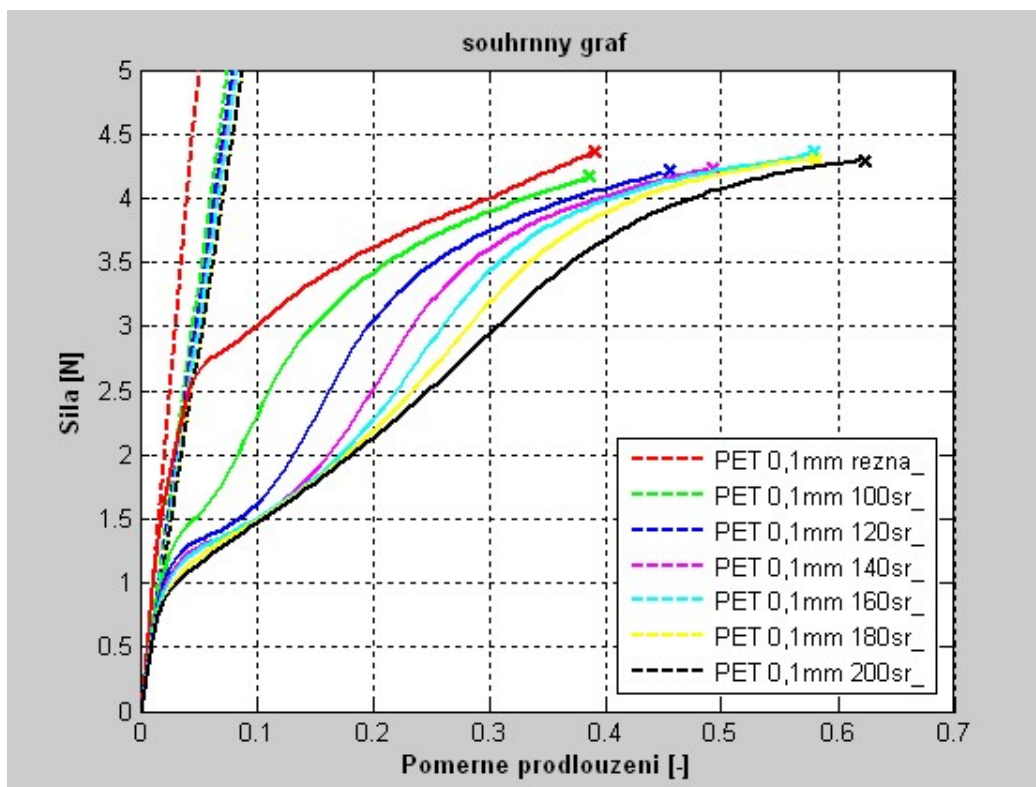
Obr. 2.6.1.12 Průměrné tahové křivky rezných materiálů odebíraných přímo z cívky



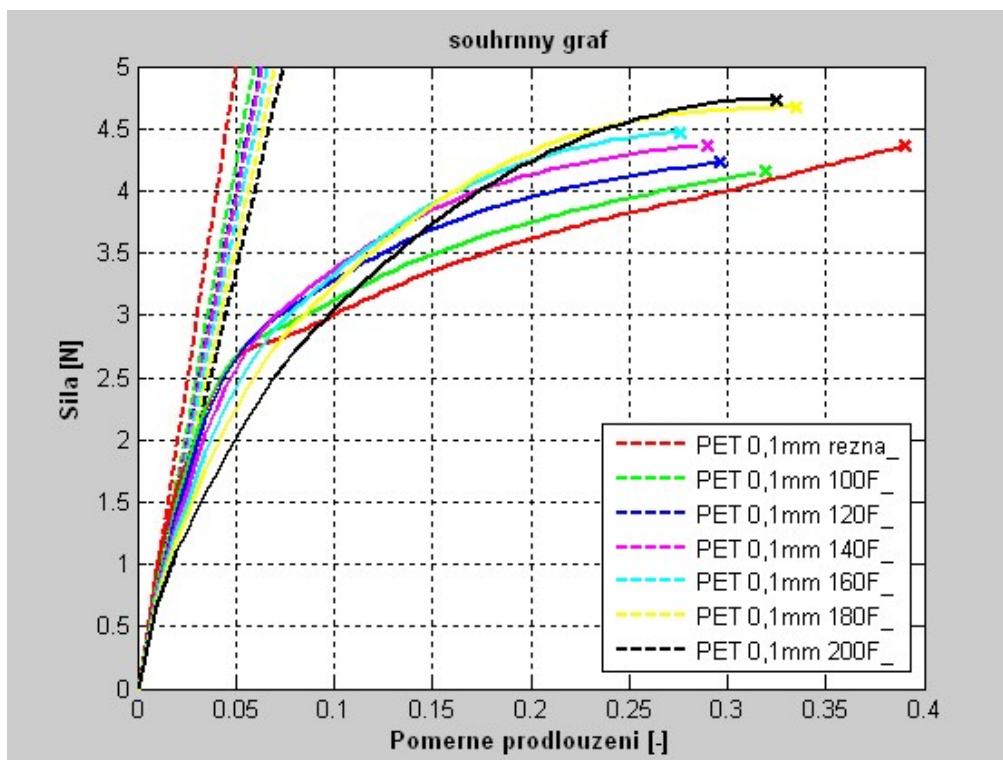
Obr. 2.6.1.13 Průměrné tahové křivky PET monofilu průměru 0,08 mm, vliv tepelného působení na materiál ve volném stavu, modul je stanoven na 1 % prodloužení vláken



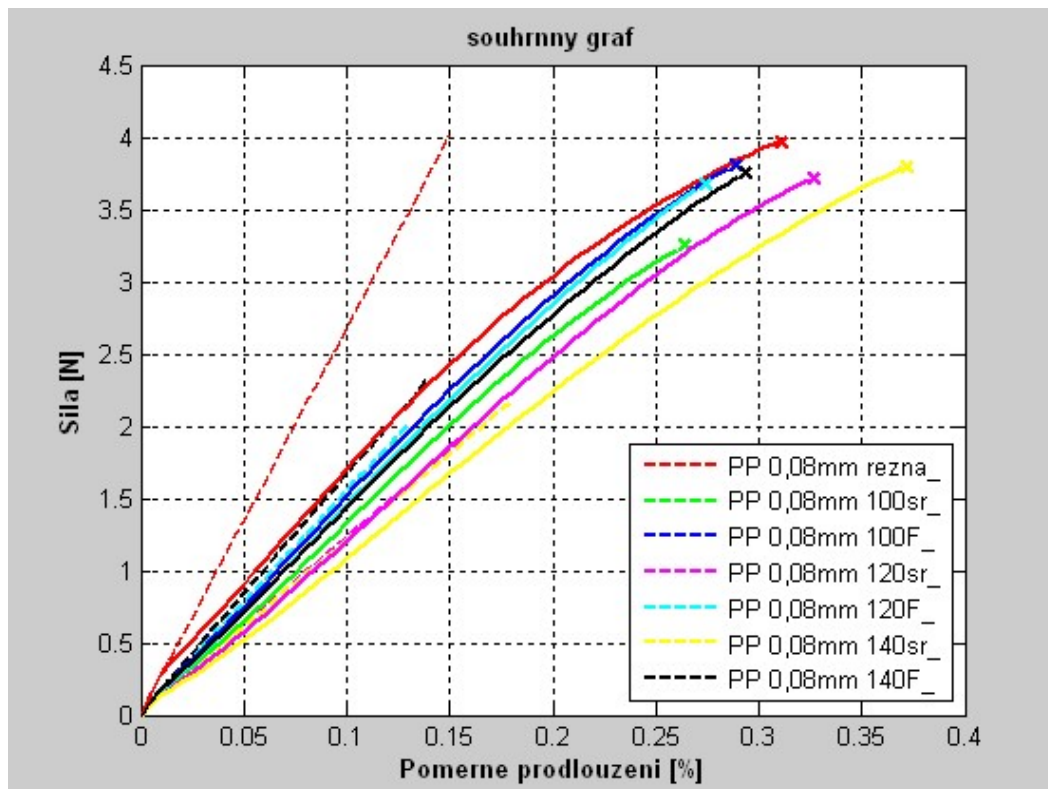
Obr. 2.6.1.14 Průměrné tahové křivky PET monofilu průměru 0,08 mm, vliv tepelného působení na materiál v pevném stavu, modul je stanoven na 1 % prodloužení vláken



Obr. 2.6.1.15 Průměrné tahové křivky PET monofilu průměru 0,1 mm, vliv tepelného působení na materiál ve volném stavu, modul je stanoven na 1 % prodloužení vláken



Obr. 2.6.1.16 Průměrné tahové křivky PET monofilu průměru 0,08 mm, vliv tepelného působení na materiál v pevném stavu, modul je stanoven na 1 % prodloužení vláken

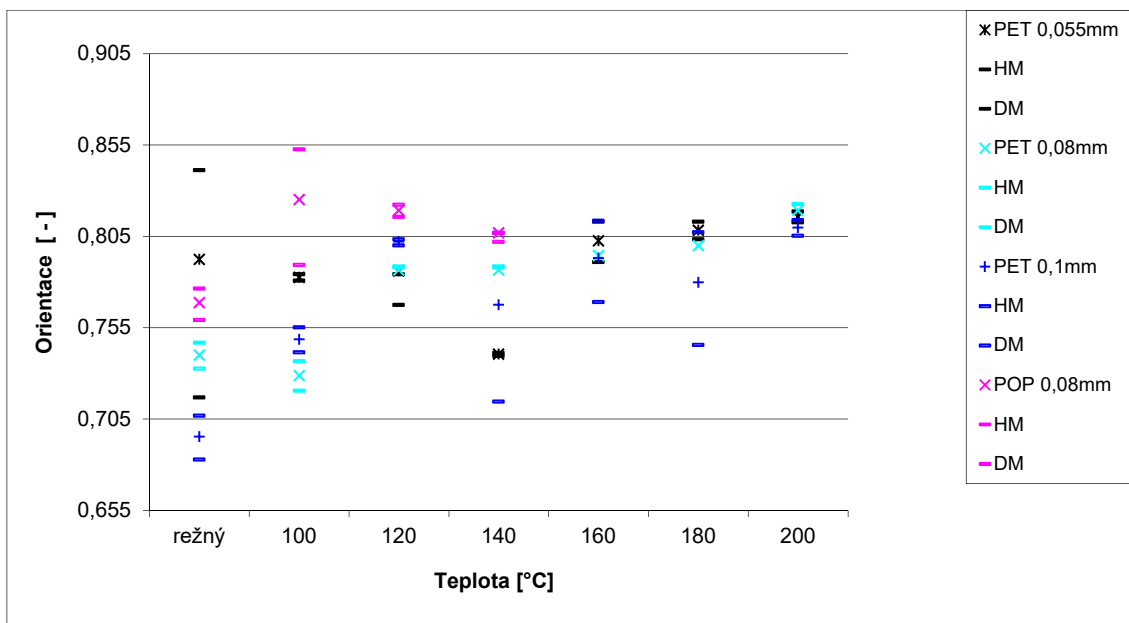


Obr. 2.6.1.17 Průměrné tahové křivky PP monofilu průměru 0,08 mm, vliv tepelného působení na materiál ve volném i pevném stavu, modul je stanoven na 1 % prodloužení vláken

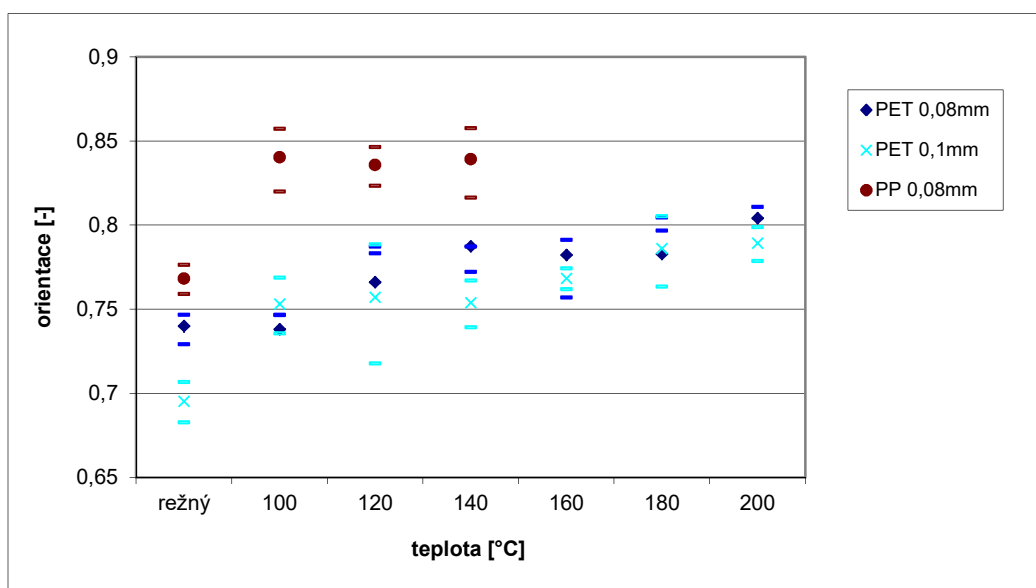
PP monofil nevykazuje tepelným působením výrazné změny na pevnost, tažnost či tvar průběhu tahových křivek, obr. 3.2.1.9. Došlo však k poklesu počátečního modulu vláken stanoveného na 1 % prodloužení vlákna, tab. 6 až 11 přílohy A.

Pomocí DMT byla stanovena rychlost zvuku procházejícího vláknem. Výsledky byly zpracovány a vnitřní orientace vláken byla stanovena dle postupu uvedeném v kap. 2.3.

U všech zkoumaných materiálů došlo ke zvýšení jejich vnitřní orientace, obr. 3.2.1.10 a 3.2.1.11, tab. 12 a 13 přílohy A. Tentýž trend prokazují i průměrné tahové křivky, na nichž byl zaznamenán buď výrazný pokles meze kluzu u PET vláken namáhaných ve volném stavu, či její odstranění u vláken namáhaných v pevném stavu. Metoda stanovení maximální srážecí rychlosti tedy umožňuje stanovit rychlým testem citlivost vlákna na teplotu.



Obr. 2.6.1.18 Orientace vláken stanovená metodou akustického dynamického modulu u vláken tepelně namáhaných ve volném stavu



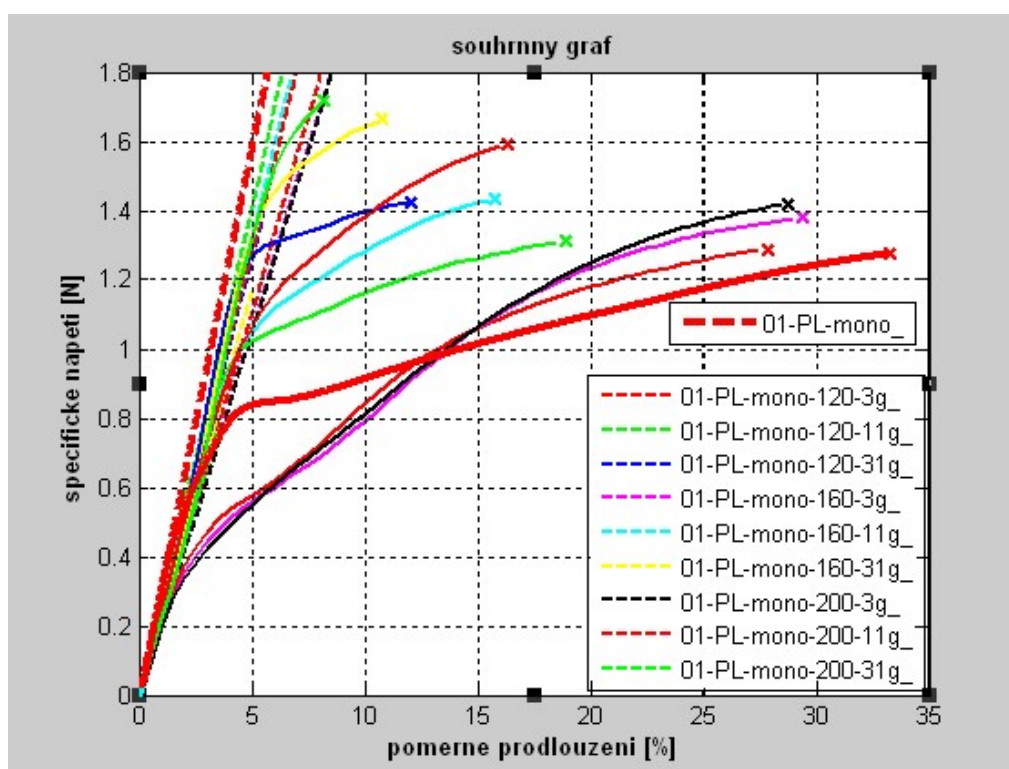
Obr. 2.6.1.19 Orientace vláken stanovená metodou akustického dynamického modulu u vláken tepelně namáhaných v pevném stavu

Rovněž pomocí metody DMT a trhacích zkoušek je možné rychlým způsobem stanovit možnosti úpravy jednotlivých dodávek vláken a jejich dalšího zpracování.

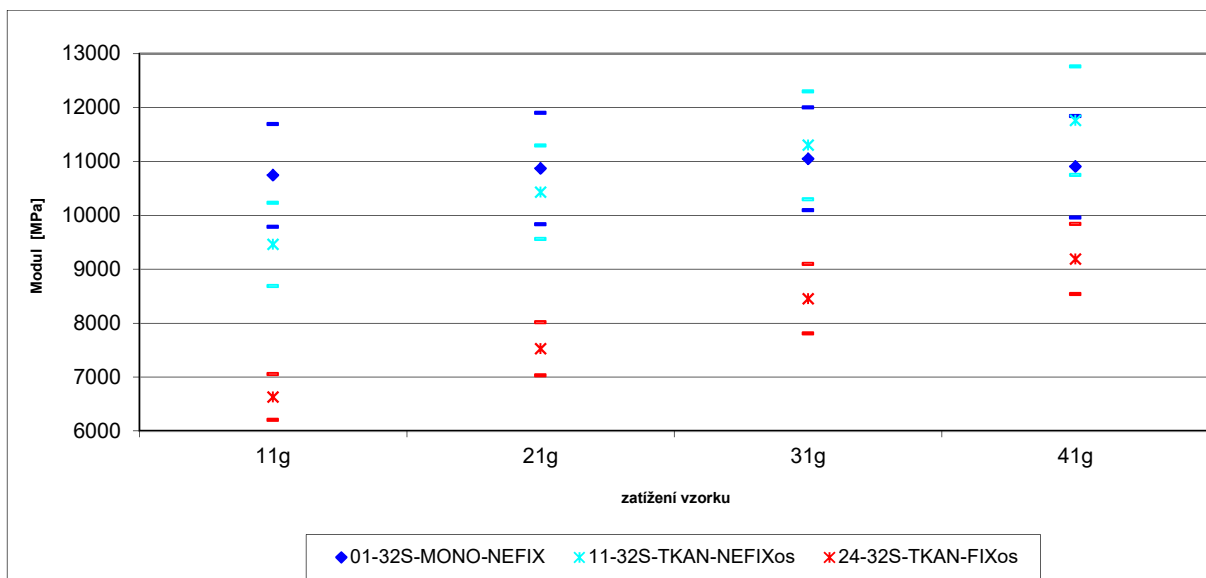
U všech vzorků byl pozorován standardní projev srážecí síly – nejprve její nárůst s působící teplotou až ke 120 – 140 °C, následně její pokles, jak u efektivní, zbytkové tak maximální hodnoty srážecí síly.

2.6.2 Vliv tepelné expozice na mechanické vlastnosti vláken a jejich vnitřní strukturu při různém předpětí

V rámci grantu studentské grantové soutěže (dále SGS) bylo sledováno chování vláken z hlediska mechanického, tepelného a akusticko – dynamického za použití vyšších hodnot předpětí, než minimální hodnoty stanovené dle nově vyvinuté IN 22-112-01/01. Vzorek PET 0,055 mm je v této části značen shodně s SGS jako 01-MONO-NEFIX. Hodnocení spočívalo v zaznamenání závislosti tepelné fixace a předpětí na vybrané vlastnosti monofilu, při teplotách 120, 160 a 200° C a současného zatížení předpětím 3, 11 a 31 g. Při zahřátí PES monofilu docházelo k jeho prodloužení, tedy k procesu, při kterém došlo k protažení makromolekulárních řetězců vlivem vyšších teplot a současně působícího předpětí. Tato reakce nebyla u všech upravených polyesterových vláken stejná, u nižších teplot došlo k opačné odezvě vláken na tepelně-mechanické namáhání a došlo ke zkrácení vláken, projevila se jejich sráživost. Při sledování mechanických změn vlastností u upravených monofilů byly rovněž posuzovány tahové křivky a jejich parametry, tj. pevnost, tažnost a počáteční modul stanovený na 1%tu prodloužení, obr. 2.6.2.1 a 2.6.2.2.

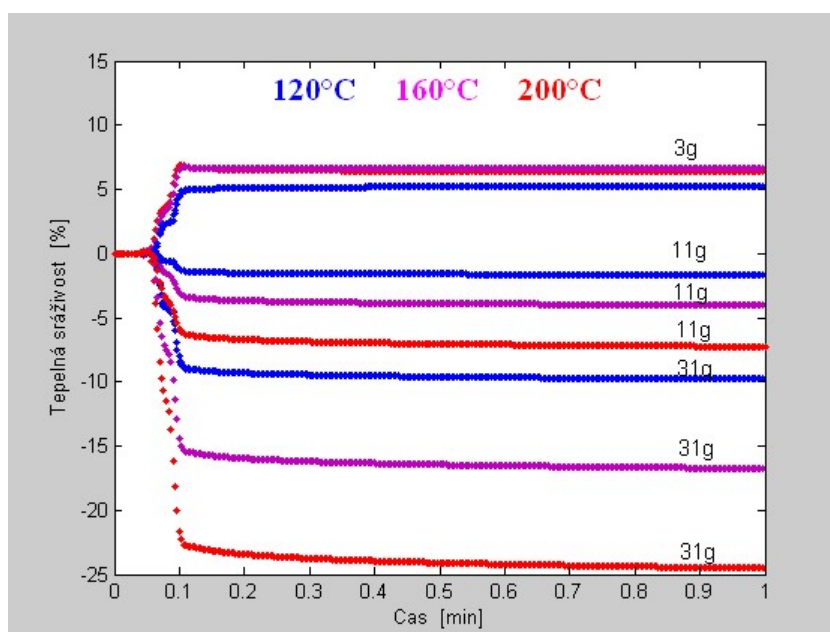


Obr. 2.6.2.1 Tahové křivky polyesterového monofilu 01-MONO-NEFIX s počátečním modulem stanoveným na 1 % prodloužení



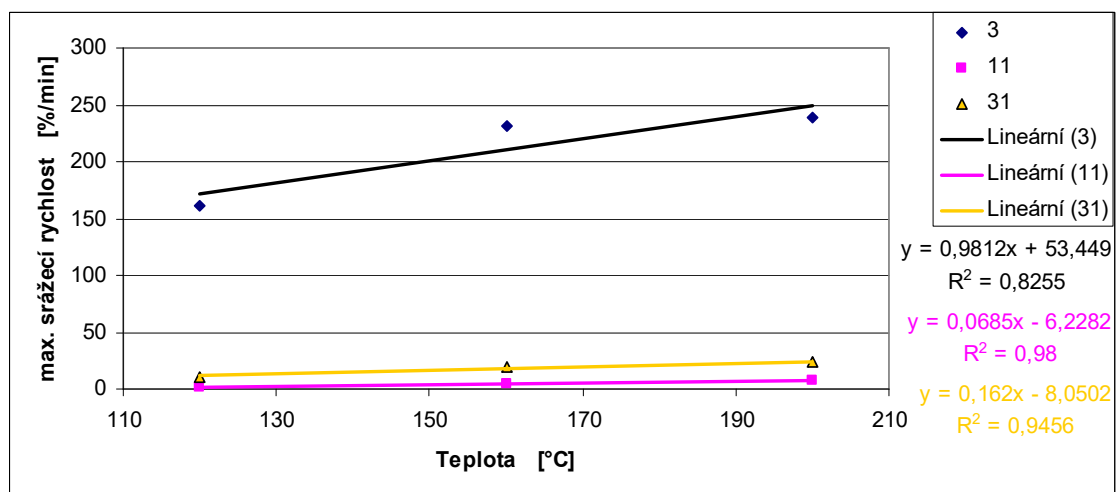
Obr. 2.6.2:2 Počáteční modul stanovený na 1 % prodloužení v závislosti na hmotnosti předpětí

Z výsledků vybraných mechanických vlastností je patrný pokles tažnosti vzorků s rostoucí teplotou a předpětovým zatížením při tepelné fixaci za současného nárůstu pevnosti. Na obr. 3.2.2.3 jsou uvedeny kinetické křivky srážení při teplotách v rozmezí od 120°C do 200°C a předpětí od 3 do 31 g u monofilu 01-MONO-NEFIX.



Obr.2.6.2:3 Výsledné hodnoty kinetické srážecí křivky vzorku PET-monofil při zatížení 3, 11 a 31 g

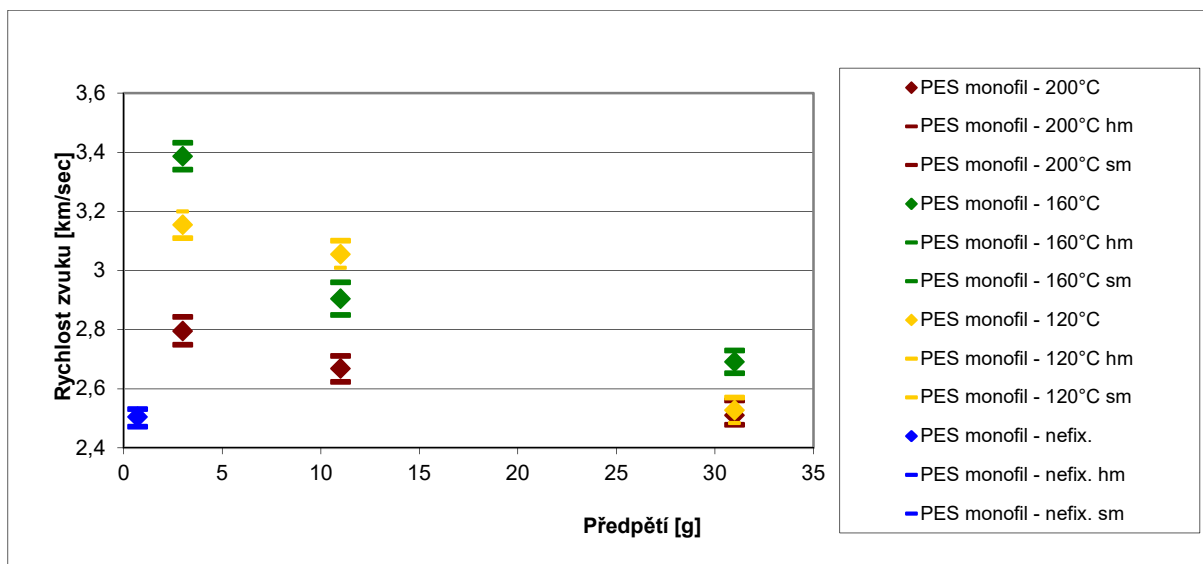
Působení tepla a předpětí na PET monofil má významný vliv na délku vzorku. Z obr. 2.6.2.3 je patrné prodloužení vzorku během tepelného působení a zatížení 11 g přibližně o 0,4 % až 5,5 %. U zatížení vzorku 31 g došlo k prodloužení vzorku o 10 % až 24 %. V oblasti 120°C a 3 g došlo ke sražení vzorku přibližně o 5 % až 6 %. Při zahřátí surového monofilu 01-MONO-NEFIX došlo k jeho prodloužení, tedy k procesu, při kterém s rostoucí teplotou a zatížením došlo k pohybu (natažení nebo smrštění) makromolekulárních řetězců.



Obr. 2.6.2.4 Citlivost maximální rychlosti srážení na teplotě PET monofilu 01-MONO-NEFIX

Na obr. 2.6.2.4 je uvedena citlivost maximální srážecí rychlosti PES monofilu při teplotách v rozmezí od 120 do 200°C a předpětí od 3 do 31 g. Hodnoty směrnice regresní přímky monofilu vykazují s rostoucím zatížením pokles.

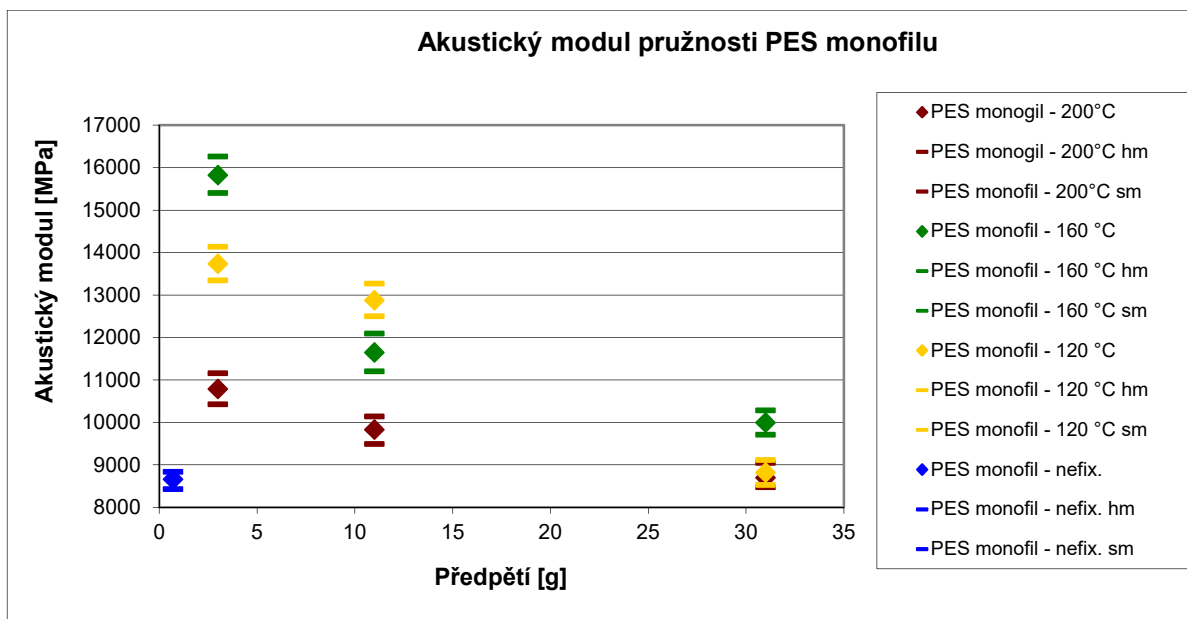
Rychlost zvuku (závislost odezvy struktury na akustické vibrace) procházejícího vzorkem surovým a tepelně modifikovaným na přístroji TST2 při teplotách 120, 160 a 200°C za působícího předpětí 3, 11 a 31 g, je uvedena na obrázku 2.6.2.5.



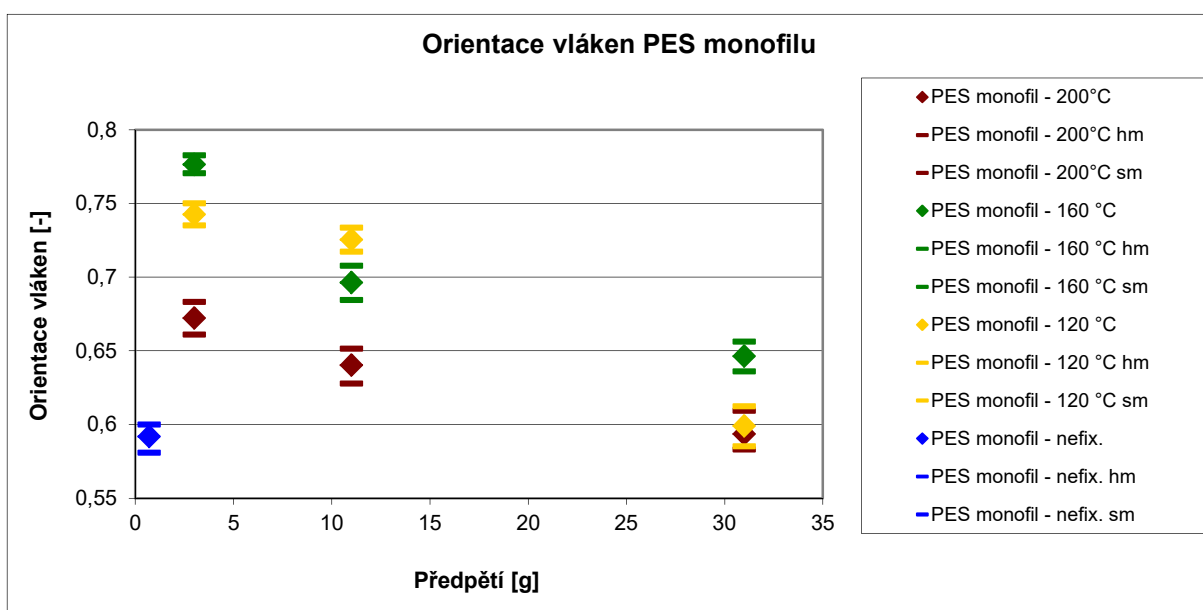
Obr. 2.6.2:5 Průměrné hodnoty rychlosti zvuku procházejícího vzorkem surovým a fixovaným při teplotách 120, 160 a 200°C a zatížení 3, 11 a 31 g.

Jak je patrné z vypočtených průměrných hodnot, rychlost zvuku pocházejícím vzorkem výrazně klesá se vzrůstajícím předpět'ovým zatížením monofilu. Nefixovaný vzorek monofilu má velmi nízkou naměřenou hodnotu rychlosti zvuku v porovnání s modifikovanými vzorky. Hodnota nefixovaného monofilu se přibližuje hodnotě vzorku, který byl modifikován při 200 °C a předpětí 31 g.

Byl stanoven akustický modul [MPa] a stupeň orientace monofilu [-]. Průměrné hodnoty vypočtených veličin za různé tepelné fixace a předpětí jsou uvedeny na obrázku 2.6.2.6 a 2.6.2.7. Vypočtený akustický modul klesá se vzrůstající teplotou a zatížením. Nejnižší hodnoty jsou u teploty 200°C a předpětí 31 g. Nefixovaný PET monofil se chová stejně jako vzorek při maximální zvolené fixaci a maximálním zatížení.



Obr. 2.6.2.6 Průměrné hodnoty akustického modulu pro vzorek PET monofilu 01-MONO-NEFIX surový a fixovaný při teplotách 120, 160 a 200°C a zatížení 3, 11 a 31 g.



Obr. 2.6.2.7 Průměrné hodnoty stupně orientace PET monofilu 01-MONO-NEFIX surového a fixovaného při teplotách 120, 160 a 200°C a zatížení 3, 11 a 31 g.

Orientace vláken působením vyšších teplot a předpětí klesá, dochází ke zhoršení orientace vnitřních strukturálních jednotek vlákna. Jak je zřejmé z výsledku, pomocí tepelné fixace a příslušného zatížení je možné ovlivnit strukturu testovaného PET monofilu.

3. Závěr

S příchodem nových technologií, kde je využíván textil nejen ke svému prapůvodnímu oděvnímu účelu, ale jako součást technologického celku, jsou postupně kladeny nároky na jeho vlastnosti v cílovém produktu, je kladen důraz i na odolnost materiálu při jeho zpracování, kdy může být využit např. jako podpůrná mřížka zajišťující mechanické vlastnosti finálního kompozitu. Cílem disertační práce bylo vypracovat metodiku pro stanovení mechanicko-tepelných vlastností monofilových vláken a z nich vyrobených tkanin, která by umožňovala rychlé testování jednotlivých dodávek materiálu (surového i zpracovaného ve formě armovacích tkanin), kterou by bylo možné využít i v průmyslové kontinuální výrobě. Použití nekvalitní vstupní armovací tkaniny znamená nemalé finanční ztráty.

Při výrobě ionexových membrán je nezbytné zajistit jednotlivým membránám mechanické vlastnosti – pevnost a rozměrovou stálost. Ionexové membrány jsou kompozitní materiály s vysokou bobtnavostí, které nejsou rozměrově stálé. Aby bylo možné membrány využívat ve vodním prostředí, je nezbytné je zpevnit, což je zajištěno dvěma textiliemi, které se zalaminovávají při teplotách do 140°C do vysoce viskózní ionexové směsi. Vyvinutí nové metodiky umožňuje pomocí několika krátkých měření stanovit tepelné chování podpůrné tkaniny, zjistit, zda je vhodné danou šarži zařadit do výrobní linky nebo zajistit před jejím použitím tepelnou fixaci.

Současně byla zkoumána variabilita kvality dodávaného surového monofilu mezi jednotlivými dodávkami (šaržemi), neboť důraz na kvalitu armovací tkaniny je kladen nejen na její mechanicko – termickou odolnost, ale i na její rovnoměrnost.

Testovány byly materiály reálně používané k výrobě armovacích textilií, které jsou dodávány z Číny. Jednotlivé šarže se dle měření, i obtíží s jejich praktickým zpracováním, vzájemně lišily. Práce se zabývala vývojem metodiky, která by umožňovala co nejrychlejší a nejlevnější způsobem stanovit, kdy bude dodávka vrácena výrobcí, či kdy bude ekonomičtější dodávku zpracovat s možností upravit finální armovací tkaninu k vlastnímu použití.

Dalším cílem práce bylo ukázat na vlastnosti dodávaného materiálu, které by měly být testovány jako ukazatelé kvality k převzetí jednotlivých dodávek materiálů a možností případné dohody smluvních podmínek mezi dodavatelem a odběratelem, možnost podávat návrhy ovlivnění již samotné výroby a zpracování vláken.

Konkrétně se jednalo o postupně dodávané šarže polyesterových a polypropylénových monofilů, ve standardně vyráběných průměrech vláken.

U polyesterového monofilu byly proměřeny dodávky o průměrech vláken 0,055 mm, 0,08 mm, 0,1 mm a u polypropylénového monofilu průměru 0,065 mm 0,08 mm. U daných vzorků byly proměřeny jejich geometrické, mechanické a tepelné vlastnosti a jejich variability. Variabilita jemnosti polypropylénového monofilu byla rovněž testována i v průřezu cívky.

Jemnost monofilů byla stanovena pomocí gravimetrické metody. V některých případech se naměřené hodnoty statisticky významně lišily od hodnot udávaných výrobcem. Jemnost stanovená výpočtem z hodnot ploch příčných řezů, zjišťovaných metodou měkkých řezů vykazuje odlišné hodnoty u šarží polyesterového monofilu 01 a 02, současně data vykazují i širší konfidenční intervaly. Naopak u šarže číslo 03 polyesterového monofilu nevykazují výsledky jemnosti stanovenými oběma metodami statisticky významné rozdíly. Může se jednat o vliv odlišného vnitřního uspořádání monofilů ovlivněné drobnými změnami v jejich výrobě. Pro výpočet jemnosti z plochy řezu byla ve všech případech použita hodnota hustoty PET monofilu 1360 kgm^{-3} a pro PP monofil hodnota 910 kgm^{-3} .

Variabilita vlastností vláken byla prokázána nejen mezi náhodně vybranými šaržemi, ale i v rámci návínů na cívce, jak bylo prokázáno u návínů PP monofilu, kdy byl materiál pro testování odebrán z deseti rovnoměrně vzdálených míst na cívce, přibližně ve vzdálenostech po 30 km úsecích. Materiál vykazoval odlišné hodnoty nejen geometrických vlastností, ale i mechanických a tepelných. K nejvýraznějšímu poklesu tepelné sráživosti došlo na posledním místě, nejbližší dutinky cívky. Toto svědčí nejen o nedlouženém a nedostatečně upraveném materiálu, ale také o nesprávném způsobu výrobce při navíjení materiálu na cívku, kdy patrně došlo jak k nerovnoměrné rychlosti při navíjení, tak k nedostatečnému přizpůsobení rychlosti navíjení. Nejvyšší variabilita průměru a průřezu vlákna byla zjištěna na posledním odběrovém místě, nejbližší k dutince cívky. Hodnoty jemnosti byly statisticky významně odlišné na počátku cívky (odběrové místo č.1), od hodnot ve středu cívky (odběrové místo č. 3 až 6) i o hodnot nejbližší k dutince cívky (místo 8 až 10), hodnoty jemnosti se statisticky významně zvyšovaly směrem k dutince cívky. Nejvyšší variabilita naměřených hodnot jemnosti byla opět prokázána na odběrovém místě nejbližší dutince cívky. Zjištěním napovídá i vizuální pozorování celé cívky a jejího návínu, který v mnoha místech vykazoval „navlnění“ a „stlačení“ návínu, jeho mírné „zešikmení“.

Pro zvýšení kvality PP monofilu a tím i zajištění požadovaných vlastností v průřezu celého návínu všech dodávek, za současného snížení variability jednotlivých vlastností by bylo vhodné změnit způsob návínu cívky, kdy by mělo být především dodrženo stejné napětí, které

je třeba kontinuálně regulovat (snižovat) v souladu s rostoucím návinem (tedy i obvodem) cívky.

Mechanické vlastnosti monofilů byly pozorovány u materiálu dodaného na cívce, dále po jeho zpracování zatkáním, kdy byly z armovací tkaniny vytahovány jednotlivé monofily ve směru osnovy i útku a dále u materiálu po tepelné fixaci tkaniny, kdy byly opět vytahovány jednotlivé monofily jak ve směru osnovy, tak i ve směru útku.

Pracovní tahové křivky PET monofilu ukazují, že zatkáním a následnou tepelnou fixací materiálu dochází k jeho stabilizaci. Tahová křivka tepelně stabilizovaného vlákna se projevuje odstraněním výrazné meze kluzu, zvýšením pevnosti a tažnosti vláken. Po výrobci je tedy vhodné požadovat nejen garanci pevnosti a tažnosti monofilů, nýbrž vyžadovat celý průběh tahové zkoušky, kdy z tvaru tahové křivky lze odhadovat chování materiálu v průběhu jeho dalšího zpracování. Avšak ani tvar takové křivky není dostačující, jelikož v daném případě jeho následného použití je třeba, aby krom dostatečných mechanických vlastností (pevnosti a tažnosti) vykazoval i tepelnou odolnost.

PP monofil nevykazoval tepelným působením výrazné změny pevnosti, tažnosti či tvaru průběhu tahových křivek, došlo však k poklesu počátečního modulu vláken stanoveného na 1 % prodloužení vlákna.

Pro tento účel bylo cílem práce vyvinout metodu umožňující kvantifikovat kvalitu tepelného zpracování vláken s ohledem na sráživost vlákna. V rámci práce byla vyvinuta a otestována nová metoda, umožňující stanovení citlivosti maximální rychlosti srážení na teplotě, která je vyjádřena směrnici regresní přímky závislosti maximální rychlosti srážení na teplotě. Uvedená metoda byla následně zpracována jako interní norma IN 22-112-01/01 a úspěšně oponována.

Pomocí této metody byly nalezeny charakteristické hodnoty citlivosti maximální rychlosti srážení na teplotě pro PET monofily původní a po zpracování tkaním. Monofily vytažené z osnovy a útku tkanin vykazovaly nižší citlivost maximální rychlosti srážení na teplotě. Sráživost v závislosti na teplotě může být v oblasti od teploty zesklnění daného typu vlákna do jeho teploty tání popsána lineární funkcí. Při hodnocení závislosti srážecích sil na teplotě se ukázalo, že nad teplotou zesklnění srážecí síla s teplotou lineárně klesá. Monofily vytažené ze tkanin vykazovaly posun maxim srážecích sil ze 100°C na 120°C oproti původním monofilům. Tento výsledek ukazuje opět na změnu struktury původního monofilu dloužením v průběhu tkaní, ukazuje tedy na jeho nedostatečné mechanické vlastnosti.

V rámci testování této nové metody byla provedena měření výše uvedených materiálů pomocí přístroje TST 2, kdy doba trvání tepelného namáhání byla stanovena na 1 min a 60 min.

Pro jemné monofily je doba tepelného namáhání dostačující a poskytuje spolehlivé hodnoty tepelné sráživosti i srážecí síly efektivní, zbytkové i celkové, tak hodnoty citlivosti maximální tepelné srážecí rychlosti. S vyšším průměrem monofilu a s nižší teploty testování sráživosti či srážecí síly vlákna se projevuje vliv rychlosti prohřevu vlákna směrem k jeho středové ose. Rovněž se mohlo jednat o vliv místa odběru vzorků v rámci cívky, kdy statisticky významná variabilita vlastností v návínu byla popsána pro vzorek PP monofilu výše.

Pro technické využití v rámci provozního testování materiálu bylo pro zkoumané vzorky s průměrem nejvýše 1 mm prokázáno, že při teplotách používaných při výrobě ionexových membrán, je měření tepelné sráživosti po dobu 1 min pro praxi zcela dostačující. Metoda tedy splňuje zadání ekonomicky přijatelného způsobu testování vstupního materiálu do kontinuální laminovací linky.

Rozdíly v mechanických vlastnostech byly rovněž pozorovány u materiálu tepelně namáhaném v pevném a volném stavu, následně i na změnách vnitřní orientace stanovené pomocí přístroje DMT. Změny vnitřní struktury byly sledovány pomocí zvuku procházejícího monofilem na různých délkách vzorku, na principu odezvy struktury na akustické vibrace, pomocí přístroje DMT. Z této veličiny byla poté určena orientace vnitřních strukturálních jednotek vlákna a modul pružnosti. Z průměrných hodnot rychlosti zvuku, modulu a orientace vláken monofilů je patrný jejich pokles vlivem tepelné fixace a zatížení. Působením vyšších teplot a zatížení došlo k poklesu vnitřní orientace monofilů. Dlouhodobé účinky tepelného a mechanického působení mají vliv na vnitřní strukturu vláken. V této práci byla potvrzena možnost ovlivnění mechanických vlastností vláken pomocí tepelného a mechanického působení, možnost stanovení podmínek úpravy surového materiálu, aby splňoval požadované vlastnosti. Tato problematika je významná při aplikacích vhodného materiálu v praxi.

Cílem práce bylo navrhnout metodiku hodnocení tepelných a mechanických vlastností vstupního materiálu k jeho zpracování v kontinuální laminovací lince, kde je materiál (armovací textilie nízké dostavy vyrobená z monofilů) podroben namáhání jak mechanickému tak tepelnému, kdy je zalaminování do vysoce viskózní směsi při teplotách do 140°C. Byla navržena nová metoda rychlého testování vstupního materiálu, jeho tepelných vlastností. S její pomocí je možné navrhnout nutné předpětí a teplotu, pro úpravu nevyhovující materiálu. Metoda byla zpracována a zavedena do praxe v rámci interních norem. Nová metoda je snadno použitelná v praxi, je jednoduchá a její výsledky jsou přesné a rychle dostupné. Metoda DMT, umožňující na principu zvukové odezvy materiálu zhodnocení jeho vnitřní struktury, je vhodným doplňkem k hodnocení kvality materiálu.

Další možností zpracování výsledků a rozšíření jejich využití je vytvoření komplexnějšího modelu, umožňujícího predikci požadovaných vlastností výsledné armovací tkaniny, který by zohledňoval nejen vliv průměru vlákna, jeho materiálové složení, ale i požadovanou hustotu armovací tkaniny. K tomuto účelu by bylo vhodné rozšířit řadu testovaných monofilů vyrobených za různých tepelných podmínek. Nový model by měl rovněž pomoci uživateli stanovit podmínky efektivní tepelné sráživosti a efektivní tepelné srážecí síly, reziduální tepelné sráživosti a reziduální srážecí síly, které by bylo vhodné použít pro testování vstupního materiálu při převzetí dodávek.

4. Práce autora se vztahem ke studované problematice

MILITKÝ, J., KŘEMENÁKOVÁ, D., KOŠÁTKOVÁ HUŠKOVÁ, M. *Industrial polyester monofilaments thermal shrinkage* [kapitola v knize]. In: TUL, 2011, strany 157-166. ISBN 978-80-261-0062-1.

KARHÁNKOVÁ, D., KOŠÁTKOVÁ HUŠKOVÁ, M. The Influence of Temperature and Pretension Weight on the Mechanical and Thermal Properties of PES Monofilaments. In: *18th International Conference STRUTEX*, TUL, 2011. ISBN 978-80-7372-786-4.

KARHÁNKOVÁ, D., KOŠÁTKOVÁ HUŠKOVÁ, M. *Vliv teploty a předpětí na mechanické a tepelné vlastnosti pes/pop monofilu*, In: Workshop Světlanka, Rokytnice nad Jizerou, 19. - 22. září, 2011

MILITKÝ, J., KŘEMENÁKOVÁ, D., KOŠÁTKOVÁ HUŠKOVÁ, M. Shrinkage Rate of Polyester for Membrane Applications. In: *Mezinárodní konference TEXCI*, říjen 2010, Word Journal of Engineering, Vol.7 Supplement 1, p. 36, 2010.

MILITKÝ, J., KŘEMENÁKOVÁ, D., KOŠÁTKOVÁ HUŠKOVÁ, M. Polyester fibers structure and heat setting,, Proc. In: *6 th Central European Conference, Bratislava, 13-14 September 2010*, 6 str. *Vlákna a Textil*, 14 (4), pp. 13 – 18. ISSN 1335-0617.

MILITKÝ, J., KŘEMENÁKOVÁ, D., KOŠÁTKOVÁ HUŠKOVÁ, M. Characterization of polyester monofilaments and fabrics shrinkage. In: *Proc. XIIIth International Izmir Textile and Apparel Symposium*, Oct 28 – 30, 2010.

KŘEMENÁKOVÁ, D., MILITKÝ, J., KOŠÁTKOVÁ HUŠKOVÁ, M., PIVOŇKOVÁ, D. Akustický dynamický modul vláken a přízí. In: *Textilie v novém tisíciletíVIII*, 29.4.2010, FT TUL Liberec.

MILITKÝ, J., KŘEMENÁKOVÁ, D., KOŠÁTKOVÁ HUŠKOVÁ, M. *Polyesterová vlákna a příže* [studie]. In: FT TUL, Liberec, 2009.

IN 22-112-01/01 Thermal Shrinkage od Linear Textiles, KTT FT TUL, 2009.

MILITKÝ, J., KŘEMENÁKOVÁ, D., KOŠÁTKOVÁ HUŠKOVÁ, M. Temperature Dependence of Industrial Polyester Monofilaments Shrinkage. In: *Autex World Textile Conference, 26-28 May*, Izmir, Turecko, 2009.

MILITKÝ, J., KŘEMENÁKOVÁ, D., KOŠÁTKOVÁ HUŠKOVÁ, M. Thermal Sensitivity of Industrial Polyester Monofilaments Shrinkage Rate. In: *Mezinárodní konference Strutex Liberec 2008*,. ISBN 978-80-7372-418-4.

MILITKÝ, J., KŘEMENÁKOVÁ, D., KOŠÁTKOVÁ HUŠKOVÁ, M., KOCOURKOVÁ, J. Simulation of Small Fibrous Bundles Strength. In: *Mezinárodní conference TEXSCI*, Liberec, 2007.

Výzkumné zprávy

KOŠÁTKOVÁ HUŠKOVÁ, M. *Assignment according to order of FEZKO THIERRY a.s.*, Liberec, july 2011.

KOŠÁTKOVÁ HUŠKOVÁ, M. *Zakázka dle objednávky FEZKO THIERRY a.s.*, Liberec červenec 2011.

URSÍNY, P., KOŠÁTKOVÁ HUŠKOVÁ, M., GRABMÜLLEROVÁ, J., MÜLLEROVÁ, J. *Zakázka GRUND*, Liberec, červen 2011.

KOŠÁTKOVÁ HUŠKOVÁ, M., KŘEMENÁKOVÁ, D., MILITKÝ, J. *Zakázka pro Arvin Meritor LVS Liberec, a.s.*, Liberec, listopad 2010.

MILITKÝ, J., KŘEMENÁKOVÁ, D., VANÍČEK, J., KOŠÁTKOVÁ HUŠKOVÁ, M., ŠPÁNKOVÁ, J., MARŠÁLKOVÁ, M., JEŽÍK, K. *Závěrečná výzkumná zpráva- Dokončení etapy E1/2008, Výzkum finálního zpevnění heterogenního kompozitu, Etapa E1/2009 Optimalizace vlastností armovacích tkanin vyrobených z POP monofilu, Etapa E2/2009 Vývoj materiálů pro armovací tkaniny, Etapa E3/2009 Výzkum a návrh metodiky použitelné pro výstupní kontrolu dodavatele a vstupní kontrolu výrobce, Etapa E4/2009 Modelování vlastností tkanin a membrán, Etapa E5/2009 Stanovení chemické odolnosti tkanin a membrán*, pro Membraine s.r.o., Liberec, prosinec 2009.

MILITKÝ, J., KŘEMENÁKOVÁ, D., VANÍČEK, J., KOŠÁTKOVÁ HUŠKOVÁ, M., ŠPÁNKOVÁ, J., MARŠÁLKOVÁ, M., JEŽÍK, K. *Průběžná výzkumná zpráva, Dokončení etapy E1/2008, Výzkum finálního zpevnění heterogenního kompozitu, Etapa E1/2009 Optimalizace vlastností armovacích tkanin vyrobených z POP monofilu, Etapa E2/2009 Vývoj materiálů pro armovací tkaniny, Etapa E3/2009 Výzkum a návrh metodiky použitelné pro výstupní kontrolu dodavatele a vstupní kontrolu výrobce, Etapa E4/2009 Modelování vlastností tkanin a membrán, Etapa E5/2009 Stanovení chemické odolnosti tkanin a membrán*, pro Membraine s.r.o., Liberec, srpen 2009.

MILITKÝ, J., KŘEMENÁKOVÁ, D., VANÍČEK, J., KOŠÁTKOVÁ HUŠKOVÁ, M., ŠPÁNKOVÁ, J., JEŽÍK, K., MARŠÁLKOVÁ, M. *Závěrečná výzkumná zpráva: Etapa E1: Výzkum finálního zpevnění heterogenního kompozitu, Etapa E2: Výzkum a návrh metodiky charakterizace armujících textilií v průmyslové praxi*, pro Mega a.s., Liberec, prosinec 2008.

MILITKÝ, J., KŘEMENÁKOVÁ, D., VANÍČEK, J., KOŠÁTKOVÁ HUŠKOVÁ, M., ŠPÁNKOVÁ, J., MARŠÁLKOVÁ, M., CVRKAL, A. *Průběžná výzkumná zpráva, Etapa E1: Výzkum finálního zpevnění heterogenního kompozitu, Etapa E2: Výzkum a návrh metodiky charakterizace armujících textilií v průmyslové praxi* pro Mega a.s., Liberec, srpen 2008.

MILITKÝ, J., KŘEMENÁKOVÁ, D., KOŠÁTKOVÁ HUŠKOVÁ, M., ŠPÁNKOVÁ, J., MARŠÁLKOVÁ, M. *Výzkumná studie: Etapa E1: Výzkum finálního zpevnění heterogenního kompozitu, Etapa E2: Návrh metodiky charakterizace armujících textilií v průmyslové praxi*, pro Mega a.s., Liberec, prosinec 2007.

MILITKÝ, J., KŘEMENÁKOVÁ, D., VANÍČEK, J., KOŠÁTKOVÁ HUŠKOVÁ, M., ŠPÁNKOVÁ, J., MARŠÁLKOVÁ, M., JEŽÍK, K. *Závěrečná výzkumná zpráva*, pro Membrane s.r.o., Liberec, prosinec 2009.

Literatura

- [1] <http://www.membrain.cz/> [online]
- [2] MILITKÝ, J. *TEXTILNÍ VLÁKNA klasická a speciální*. In: TUL, 2012.
- [3] MILITKÝ, J., VANÍČEK, J., KRYŠTŮFEK, J., HARTYCH, V.: ELSEVIER *Textile Science and Technology* 10, Modified Polyester Fibres, Amsterdam Oxford New York Tokyo 1991
- [4] LEE, K. G., SCHULTZ, J.M.: The Development of Structure and Mechanical Properties in Polyethylene Terephthalate fibers during Heat Treatment under Stress, *Polymer*, 1993
- [5] NAKAJIMA T.: *Advanced Fiber Spinning Technology*, Woodhead Publishing Ltd., Cambridge, 2007
- [6] Huang, B., Tucker P.A., Cuculo J.A.: High Performance Polyethylene terephthalate fibre properties achieved via high speed spinning with modified liquid isothermal bath process, *Polymer*, 1997
- [7] MILITKÝ, J., KŘEMENÁKOVÁ, D., KOŠÁTKOVÁ HUŠKOVÁ, M. *Polyesterová vlákna a příze – studie*. In: FT TUL, Liberec, 2009.
- [8] GUPTA V. B., KUMAR S. *J. Appl. Polym. Sci.* **26**, 1865, 1981.
- [9] RAGHAVAN J. S., CUCULO J.A.: Analysis of necking in High – speed spinning, *J. Polym. Sci. B Polym. Phys.*, 1999.
- [10] OULTACHE, A. K. ET ALL: Orientation and Relaxation of Amorphous Polyethylene Terephthalate, *Polymer*, 2001.

- [11] BECHTEL, S. E., VOHRA, S., JACOB, K. I.: Modeling of a Two – Stage Draw Process, Polymer, 2001.
- [12] OKUMURA, W.: Effects of the Draving Form and Draw Ratio on the Fiber Structure and Mechanical Properties of CO₂ – Laser. Drawn Polyethylene Terephthalate Fibers, J. Polymer Sci. B Polymer Phys., 2004.
- [13] RUDOLF A AND SFILIGOJ-SMOLE M. *Structure–Properties Relations of the Drawn Polyethylene Terephthalate Filament Sewing Thread*. In: J Appl Polym Sci 110:2641–2648, 2008.
- [14] KIM, J. H., Yang, S.S., Hudson, M.S. *Comparison of the Structure-Property Relationships for PTT and PET Fibers Spun at Various Take-up Speeds*. In: Fibers and Polymers, Vol.12, No.6, 771-777, 2011.
- [15] BLAŽEJ, a., ŠUTÁ, Š. *Vlastnosti textilných vlákien*. In: DMT 677.1.04, Alfa, Bratislava 1982.
- [16] VASANTHAN , N. *Effect of Heat Setting Temperatures on Tensile Mechanical Properties of Polyamide Fibers*. In: Princeton, New Jersey 08542, U.S.A., Textile Res.J. 74(6), 545-550, 2004.
- [17] PRÁŠIL, V., URSÍNY, P. *Napjatost a mechanické vlastnosti nitě v koncovém návinu*. In: Textil, 677.023.235.001, roč,36, 1981.
- [18] CAO, J. A KOL. *Journal Applied Polymer Science*. In 37, str. 2683, 1989.
- [19] MANICH, A M;BOSCH, T;CARILLA, J;USSMAN, M H;ET AL, *Thermal analysis and differential solubility of polyester fibers and yarns*. In: Textile Research Journal, 2003
- [20] THOMPSON, A. B.: Strain Introduced Crystallization in Polyethylene Terephthalate, J. Polym. Sci., 1959
- [21] KREBS, J. *Teorie zpracování nekovových materiálů*. In: FS TUL, ISBN 80-7372-133-3, 2006.
- [22] SAMUELS, R. *Structured Polymer Properties*. In: Willey, NY, 1974.
- [23] OWEN, A.J. *Development in Oriented Polymers*. In: Elsewier, Applied Science, London, p.237, 1987.
- [24] HARLOW GARY D., PHOENIX LEIGH S. *The Chin-of-Bundles Probability Model For the Strength of Fibrous Materiále I: Analysis and Conjecture*, In: Received, 1978.
- [25] PAN N. *A Detailed Examination of the Translation Efficiency of Fiber Strength into Composites Strength*. In: Journal of Reinforced Plastics and Composites, Vol. 14, 1995.

- [26] DANIELS, H.A. *The statistical theory of the strength of bundles of threads*. In: Proc. Roy. Soc. Ser. A183, 405, 1945.
- [27] BLYTH, G., POSTLE, R. *Measurement and Interpretation of Fabric Dynamic Modulus*. In: School of Textile Technology, University of South Wales, Kensington, New Wales 2033, Australia 1979.
- [28] MILITKÝ J.: The chemistry, manufacture and tensile behaviour of polyester fibers, chap.9, In *Handbook of tensile properties of textile and technical fibers*, Ed. A. Bunsell, Woodhead Publ., Oxford 2009.
- [29] MILITKÝ, J., KŘEMENÁKOVÁ, D., KOŠÁTKOVÁ HUŠKOVÁ, M. *Industrial polyester monofilaments thermal shrinkage* [kapitola v knize]. In: TUL, 2011, strany 157-166. ISBN 978-80-261-0062-1.
- [30] KŘEMENÁKOVÁ D. Soubor přednášek *Textilie v novém tisíciletí VIII* FT TUL Liberec 2010
- [31] Laboratory Imaging s.r.o. *Uživatelská příručka Lucia*.
- [32] Lenzing Instruments: Instruction Manual
- [33] ŠPÁNKOVÁ, J.: *program pro zpracování výstupních dat z přístroje INSTRON 1144*, dostupný u autora, In:FT TUL, 2007.
- [34] LAWSON HEMPHILL A TMI GROUP COMPANY, *User manual Dynamic Modulus Tester PPM-5R, version 1.1*, www.lawsonhemphill.com.
- [35] MELOUN, M., MILITKÝ, J. *Statistická analýza experimentálních dat*, In: FT TUL, 2006.
- [36] WAYNE K., SHIH. *Shrinkage Modeling of Polyester Shrink Film*, In: *Polymer Engineering and Scienc*, July 1994, Vol.34, No. 14.
- [37] RYAN,A., POSTLE, R. *Application of Sonic Wave Theory to the Measurement of the Dynamic Elastic Moduli of Woven and Knited Fabrice*. In: School of Textile Technology, University of South Wales, Kensington, New Wales 2033, Australia, TRI, 1981.
- [38] <http://www.trilobyte.cz/> [online]

Příloha A – tabulky

Tab. 1 Jemnost zkoumaných materiálů

materiál	průměr monofilu	jemnost [tex]		
		průměr	DM	HM
PET	0,055mm	3,33	3,25	3,41
	0,08mm	6,63	6,60	6,65
	0,1mm	10,81	10,81	10,82
PP	0,065mm	2,97	2,96	2,97
	0,08mm	6,52	6,49	6,54

Tab. 2 Tepelná sráživost stanovená na 1min efektivní sráživosti a 0,5min zbytkové sráživosti

materiál	průměr monofilu	teplota [°C]	sráživost [%]								
			efektivní			maximální			zbytková		
			průměr	HM	DM	průměr	HM	DM	průměr	HM	DM
PET	0,055mm	100	6,17	6,13	6,20	6,19	6,15	6,22	6,15	6,11	6,18
		120	10,18	10,12	10,23	10,20	10,14	10,25	10,17	10,12	10,22
		140	12,94	12,87	13,00	12,95	12,89	13,01	12,95	12,89	13,01
		160	15,10	15,07	15,12	15,13	15,10	15,15	15,13	15,10	15,15
		180	17,03	16,95	17,11	17,11	17,03	17,18	17,07	16,99	17,15
		200	19,01	18,92	19,10	19,34	19,26	19,42	19,08	18,99	19,17
	0,08mm	100	1,45	1,54	1,36	1,46	1,55	1,37	1,40	1,49	1,31
		120	4,40	5,64	3,16	4,43	5,95	2,92	4,39	5,91	2,87
		140	8,63	8,84	8,42	8,65	8,86	8,44	8,83	9,04	8,62
		160	11,85	12,00	11,70	11,87	12,02	11,72	11,87	12,02	11,72
		180	14,85	15,05	14,65	14,87	15,07	14,67	14,87	15,07	14,67
		200	17,71	17,83	17,59	17,92	18,04	17,81	17,76	17,88	17,64
	0,1mm	100	4,88	4,94	4,82	4,89	4,95	4,83	4,84	4,90	4,78
		120	8,88	8,91	8,85	8,89	8,92	8,86	8,86	8,89	8,83
		140	11,93	11,98	11,88	11,94	11,99	11,89	11,94	11,99	11,89
		160	14,16	14,23	14,10	14,18	14,24	14,12	14,18	14,24	14,12
		180	16,08	16,13	16,03	16,10	16,15	16,05	16,10	16,15	16,05
		200	17,99	18,07	17,91	18,16	18,24	18,08	18,04	18,12	17,96
POP	0,065mm	100	2,78	2,72	2,83	2,79	2,73	2,85	2,78	2,72	2,84
		120	4,25	4,14	4,35	4,26	4,15	4,37	4,02	3,93	4,10
		140	8,88	8,70	9,07	8,93	8,76	9,10	7,20	7,07	7,32
	0,08mm	100	2,15	2,72	1,58	2,15	2,73	1,57	1,97	2,54	1,40
		120	3,48	4,04	2,92	3,50	4,05	2,95	2,85	3,30	2,40
		140	9,04	7,33	10,74	9,06	7,37	10,74	6,60	5,01	8,19

Tab. 3 Tepelná ráživost stanovená na 60min efektivní sráživosti a 10min zbytkové sráživosti

materiál	Průměr monofilu	Teplota [°C]	sráživost [%]								
			efektivní			maximální			zbytková		
			průměr	HM	DM	průměr	HM	DM	průměr	HM	DM
PET	0,055mm	100	6,20	8,65	3,75	6,26	8,74	3,79	6,15	8,63	3,68
		120	9,84	9,90	9,79	9,85	9,92	9,78	9,82	9,89	9,75
		140	12,75	12,91	12,59	12,78	12,94	12,62	12,76	12,92	12,60
		160	15,30	15,55	15,05	15,34	15,59	15,09	15,32	15,57	15,07
		180	16,81	17,12	16,50	16,89	17,19	16,59	16,86	17,17	16,55
		200	18,89	19,34	18,44	19,35	19,84	18,86	19,03	19,48	18,58
	0,08mm	100	5,47	5,51	5,43	5,48	5,51	5,44	5,44	5,48	5,39
		120	9,46	9,46	9,45	9,46	9,46	9,45	9,44	9,44	9,43
		140	9,63	9,46	9,79	9,63	9,46	9,80	9,62	9,45	9,78
		160	14,53	14,49	14,57	14,56	14,52	14,60	14,55	14,51	14,59
		180	15,24	14,75	15,73	15,29	14,80	15,78	15,27	14,79	15,75
		200	18,64	18,28	19,00	19,06	18,62	19,50	18,77	18,39	19,15
	0,1mm	100	2,01	2,05	1,96	2,02	2,05	1,98	1,96	2,00	1,91
		120	5,79	5,79	5,79	5,80	5,80	5,79	5,75	5,75	5,75
		140	10,66	12,25	13,07	10,69	12,28	13,09	10,67	12,26	13,08
		160	12,66	12,25	13,07	12,69	12,28	13,09	12,67	12,26	13,08
		180	16,68	16,00	17,35	16,79	16,17	17,40	16,73	16,08	17,38
		200	17,70	17,65	17,75	17,98	17,83	18,13	17,82	17,77	17,87
POP	0,08mm	100	2,91	3,40	2,42	2,92	3,41	2,43	2,88	3,29	2,47
		120	4,62	5,62	3,62	4,62	5,62	3,62	4,18	5,02	3,34
		140	9,41	11,01	7,81	9,44	11,04	7,85	7,25	8,71	5,79

Tab.4 Maximální srážecí rychlost stanovená na 1min, resp. 60min efektivní sráživosti, změna maximální srážecí rychlosti na 1min a 60min

materiál	průměr monofilu	teplota [°C]	maximální srážecí rychlost		změna
			[%/min]		[%]
			1min	60min	
PET	0,055mm	100	155,29	154,15	-0,7
		120	171,92	170,16	-1,0
		140	33,93	32,84	-3,2
		160	288,04	270,28	-6,2
		180	429,19	444,83	3,6
		200	137,75	158,71	15,2
	0,08mm	100	411,02	400,29	-2,6
		120	395,34	390,86	-1,1
		140	622,22	687,52	10,5
		160	509,22	494,72	-2,8
		180	643,79	658,19	2,2
		200	841,51	796,30	-5,4
	0,1mm	100	569,48	531,38	-6,7
		120	891,89	895,81	0,4
		140	1101,20	1242,30	12,8
		160	658,38	680,30	3,3
		180	1152,10	1208,20	4,9
		200	1101,20	1151,10	4,5
POP	0,08mm	100	93,14	106,74	14,6
		120	154,92	145,86	-5,9
		140	299,30	209,16	-30,1

Tab.5 Srážecí síla monofilů PET a PP, doba měření efektivní srážecí síly 1min, zbytkové srážecí síly 0,5min

materiál	průměr monofilu	teplota [°C]	srážecí síla [cN]								
			efektivní			maximální			zbytková		
			průměr	HM	DM	průměr	HM	DM	průměr	HM	DM
PET	0,055mm	100	11,00	10,77	11,23	11,60	11,37	11,83	8,90	8,67	9,13
		120	10,15	9,96	10,34	10,80	10,65	10,95	7,95	7,76	8,14
		140	8,80	8,29	9,31	9,90	9,47	10,33	6,45	5,98	6,92
		160	7,60	7,24	7,96	9,15	8,75	9,55	5,40	5,04	5,76
		180	6,15	5,96	6,34	8,10	7,95	8,25	4,20	4,05	4,35
		200	4,90	4,83	4,97	7,25	7,00	7,50	3,45	3,34	3,56
	0,08mm	100	13,90	15,12	12,68	13,90	14,06	13,74	10,90	11,11	10,69
		120	17,90	19,32	16,48	18,00	19,88	16,12	14,40	16,09	12,71
		140	23,30	22,86	23,74	23,40	22,96	23,84	19,25	18,86	19,64
		160	21,40	22,67	20,13	23,10	23,42	22,78	17,20	17,43	16,97
		180	16,70	19,72	13,68	20,10	20,78	19,42	13,10	13,45	12,75
		200	12,30	14,43	10,18	16,40	16,84	15,96	9,50	9,65	9,35
	0,1mm	100	35,20	36,32	34,08	35,20	35,61	34,79	29,00	29,33	28,67
		120	35,00	36,16	33,84	35,90	36,28	35,52	28,20	28,53	27,87
		140	31,30	32,55	30,05	33,70	34,07	33,33	24,10	24,42	23,78
		160	26,90	29,12	24,68	31,30	31,93	30,67	20,00	20,44	19,56
		180	22,30	24,56	20,04	28,70	29,46	27,94	16,10	16,43	15,77
		200	17,10	18,31	15,89	24,50	24,79	24,21	12,40	12,53	12,27
POP	0,065mm	100	1,26	1,43	1,08	1,55	1,73	1,36	1,42	1,59	1,25
		120	1,39	1,58	1,19	1,96	2,15	1,77	1,31	1,51	1,10
		140	1,01	1,29	0,72	2,05	2,37	1,72	0,25	0,52	-0,03
	0,08mm	100	8,15	7,39	8,91	8,90	7,94	9,86	7,10	6,27	7,93
		120	8,60	10,55	6,65	9,70	10,89	8,52	6,60	7,45	5,75
		140	10,20	13,75	6,65	11,90	12,92	10,88	5,50	5,95	5,05

Tab.6 Pevnost stanovená na vláknech namáhaných ve volném stavu

materiál	průměr vlákna		režný	100°C	120°C	140°C	160°C	180°C	200°C
PET	0,08mm	průměr	2,49	2,53	2,52	2,49	2,52	2,53	2,53
		DM	2,48	2,50	2,49	2,45	2,49	2,51	2,48
		HM	2,51	2,56	2,54	2,53	2,54	2,54	2,58
	0,1mm	průměr	4,48	4,25	4,28	4,33	4,44	4,42	4,39
		DM	4,44	4,11	4,18	4,15	4,35	4,33	4,35
		HM	4,52	4,38	4,37	4,51	4,52	4,51	4,43
PP	0,08mm	průměr	3,77	3,68	3,83	3,85			
		DM	3,63	3,94	3,19	3,72			
		HM	3,91	3,71	4,47	3,98			

Tab.7 Tažnost vláken ve volném stavu [%]

materiál	průměr vlákna		režný	100°C	120°C	140°C	160°C	180°C	200°C
PET	0,08mm	průměr	27,05	30,49	35,55	40,46	45,42	49,12	55,99
		DM	25,90	27,97	33,76	36,31	43,80	46,98	52,33
		HM	28,19	33,02	37,34	44,62	47,03	51,25	59,65
	0,1mm	průměr	39,00	39,05	45,24	51,20	58,67	59,13	62,42
		DM	37,98	35,20	41,23	44,89	56,13	53,33	60,31
		HM	40,02	42,89	49,25	57,50	61,21	64,93	64,53
PP	0,08mm	průměr	31,05	30,04	33,26	37,31			
		DM	30,25	14,02	26,10	35,17			
		HM	31,85	46,06	40,42	39,46			

Tab.8 Pevnosť stanovená na vláknech namáhaných v pevném stave

materiál	průměr vlákna		režný	100°C	120°C	140°C	160°C	180°C	200°C
PET	0,08mm	průměr	2,49	2,59	2,50	2,55	2,62	2,72	2,83
		DM	2,48	2,50	2,47	2,49	2,57	2,67	2,76
		HM	2,51	2,68	2,53	2,61	2,67	2,77	2,89
	0,1mm	průměr	4,48	4,23	4,31	4,44	4,54	4,76	4,81
		DM	4,44	4,16	4,22	4,28	4,44	4,71	4,73
		HM	4,52	4,29	4,39	4,59	4,63	4,80	4,88
PP	0,08mm	průměr	3,77	3,94	3,57	3,81			
		DM	3,63	3,71	2,94	3,67			
		HM	3,91	4,16	4,19	3,94			

Tab.9 Tažnosť vláken v pevném stave [%]

materiál	průměr vlákna		režný	100°C	120°C	140°C	160°C	180°C	200°C
PET	0,08mm	průměr	27,05	33,83	26,33	32,40	28,23	28,00	32,54
		DM	25,90	28,30	24,97	28,95	25,11	24,27	29,41
		HM	28,19	39,36	27,69	35,85	31,34	31,74	35,67
	0,1mm	průměr	39,00	32,05	29,42	29,47	27,96	33,95	32,77
		DM	37,98	27,78	26,66	19,17	25,59	30,91	29,11
		HM	40,02	36,31	32,18	39,77	30,33	36,99	36,43
PP	0,08mm	průměr	31,05	31,95	27,76	29,25			
		DM	30,25	27,20	20,97	27,55			
		HM	31,85	36,69	34,54	30,95			

Tab.10 Moduly stanovené na 1% prodloužení vláken za volného stavu

materiál	průměr vlákna	režný	100°C	120°C	140°C	160°C	180°C	200°C
PET	0,08mm	53,66	40,09	36,88	33,88	31,66	31,18	31,63
	0,1mm	100,33	66,82	63,35	60,71	60,04	56,57	56,66
PP	0,08mm	26,68	15,20	12,19	11,99			

Tab. 11 Moduly stanovené na 1% prodloužení vláken za pevného stavu

materiál	průměr vlákna	režný	100°C	120°C	140°C	160°C	180°C	200°C
PET	0,08mm	53,66	44,51	44,41	43,81	42,34	40,87	39,10
	0,1mm	100,33	85,08	80,41	79,52	75,88	71,38	67,49
PP	0,08mm	26,68	16,55	15,39	16,54			

Tab. 12 Orientace vláken tepelně namáhaných ve volném stavu stanovená metodou DMT

materiál	průměr vlákna	teplota [°C]	průměr	HM	DM
PET	0,055mm	režný	0,792	0,717	0,841
		100°C	0,783	0,784	0,781
		120°C	0,786	0,767	0,784
		140°C	0,741	0,740	0,741
		160°C	0,802	0,791	0,813
		180°C	0,808	0,813	0,803
		200°C	0,816	0,813	0,819
	0,08mm	režný	0,740	0,733	0,747
		100°C	0,729	0,737	0,721
		120°C	0,787	0,788	0,788
		140°C	0,787	0,788	0,788
		160°C	0,795	0,816	0,773
		180°C	0,800	0,810	0,790
		200°C	0,819	0,822	0,823
	0,1mm	režný	0,695	0,683	0,707
		100°C	0,749	0,742	0,755
		120°C	0,802	0,800	0,803
		140°C	0,767	0,807	0,715
		160°C	0,793	0,769	0,814
		180°C	0,780	0,746	0,807
	200°C	0,810	0,814	0,805	
PP	0,08mm	režný	0,769	0,759	0,777
		100°C	0,825	0,789	0,853
		120°C	0,819	0,822	0,816
		140°C	0,807	0,802	0,807

Tab. 13 Orientace vláken tepelně namáhaných v pevném stavu stanovená metodou DMT

materiál	průměr vlákna	teplota [°C]	průměr	HM	DM
PET	0,08mm	režný	0,740	0,733	0,747
		100°C	0,738	0,729	0,747
		120°C	0,766	0,747	0,783
		140°C	0,787	0,787	0,787
		160°C	0,782	0,772	0,791
		180°C	0,783	0,757	0,805
		200°C	0,804	0,797	0,811
	0,1mm	režný	0,695	0,683	0,707
		100°C	0,753	0,736	0,769
		120°C	0,757	0,718	0,789
		140°C	0,754	0,740	0,767
		160°C	0,768	0,762	0,775
		180°C	0,786	0,764	0,805
		200°C	0,789	0,779	0,799
PP	0,08mm	režný	0,768	0,759	0,777
		100°C	0,840	0,820	0,857
		120°C	0,836	0,824	0,847
		140°C	0,839	0,816	0,858

Tab.14 Jemnost PPmonofilu o průměru 0,065mm stanovená na 10 různých místech cívky

101-PP-MONO-NEFIX [dtex]	Střední hodnota	Spodní mez (5%)	Horní mez (95%)
místo 1	29,11	29,01	29,22
místo 2	29,14	29,11	29,17
místo 3	29,43	29,38	29,47
místo 4	29,57	29,48	29,66
místo 5	29,6	29,58	29,62
místo 6	29,73	29,72	29,75
místo 7	29,93	29,93	29,94
místo 8	30,15	30,04	30,25
místo 9	30,04	29,97	30,12
místo 10	30,02	29,82	30,21

Tab.15 Průměr PP monofilu o průměru 0,065mm stanovená na 10 různých místech cívky

průměr monofilu [um]	Střední hodnota	SM	HM
místo 1	66,23	66,01	66,44
místo 2	65,88	65,29	66,46
místo 3	66,58	66,06	67,09
místo 4	66,38	65,93	66,82
místo 5	66,02	65,44	66,60
místo 6	65,80	65,39	66,20
místo 7	65,65	65,27	66,03
místo 8	66,17	65,96	66,37
místo 9	66,23	65,71	66,75
místo 10	65,88	64,92	66,84

Tab.16 Průřez PP monofilu o průměru 0,065mm stanovená na 10 různých místech cívky

Průřez monofilu [mm ²]	Střední hodnota	SM	HM
místo 1	0,00344	0,00342	0,00347
místo 2	0,00341	0,00335	0,00347
místo 3	0,00348	0,00343	0,00354
místo 4	0,00346	0,00341	0,00351
místo 5	0,00342	0,00336	0,00348
místo 6	0,00340	0,00336	0,00344
místo 7	0,00339	0,00335	0,00342
místo 8	0,00344	0,00342	0,00346
místo 9	0,00345	0,00339	0,00350
místo 10	0,00341	0,00331	0,00351

Tab.17 Pevnost a tažnost POP monofilu

101-PP-MONO-NEFIX	pevnost [N]			pevnost [MPa]			tažnost [%]		
	průměr	DM	HM	průměr	DM	HM	průměr	DM	HM
místo 1	1,75	1,74	1,76	507,60	507,86	507,33	32,24	31,57	32,92
místo 2	1,75	1,73	1,77	514,16	510,55	517,91	32,64	31,69	33,59
místo 3	1,78	1,76	1,80	512,55	510,22	514,95	34,51	33,37	35,65
místo 4	1,80	1,78	1,81	518,83	516,96	520,74	34,28	33,51	35,05
místo 5	1,82	1,79	1,84	530,25	526,94	533,68	35,42	34,41	36,42
místo 6	1,75	1,73	1,77	513,53	513,51	513,55	36,20	34,87	37,53
místo 7	1,76	1,73	1,78	519,32	520,32	518,29	35,42	33,60	37,24
místo 8	1,74	1,72	1,76	505,79	509,35	502,19	37,69	35,70	39,67
místo 9	1,71	1,68	1,73	494,90	493,75	496,09	35,94	33,50	38,38
místo 10	1,81	1,79	1,84	531,95	524,45	539,90	35,16	32,33	38,00

Tab. 18 Počáteční modul POP monofilu

101-PP-MONO-NEFIX	modul [Mpa] v místě		
	1 % prodloužení	2% prodloužení	3% prodloužení
místo 1	0,3005	0,1991	0,2084
místo 2	0,2630	0,2060	0,2207
místo 3	0,2915	0,1752	0,2056
místo 4	0,2559	0,1838	0,2133
místo 5	0,2839	0,1943	0,1848
místo 6	0,2488	0,1690	0,1856
místo 7	0,2219	0,1835	0,2055
místo 8	0,2208	0,1641	0,1781
místo 9	0,2442	0,1748	0,1836
místo 10	0,2644	0,1643	0,1845

Tab. 19...Maximální sráživost - 101-pop32S-MONO-NEFIX - místo 1

Teplota [°C]	50	70	90	100	120	125	130	135
Střední hodnota :	0,298	1,343	2,329	2,787	4,258	4,258	3,625	4,5
Spodní mez (5%) :	0,278	1,318	2,289	2,729	4,150	4,150	3,425	4,2
Horní mez (95%) :	0,317	1,369	2,369	2,845	4,365	4,365	3,824	4,7

Tab. 20 Efektivní sráživost - 101-pop32S-MONO-NEFIX - místo 1

Teplota [°C]	50	70	90	100	120	125	130	135
Střední hodnota :	0,270	1,288	2,284	2,775	4,246	4,246	3,611	4,4
Spodní mez (5%) :	0,249	1,262	2,244	2,717	4,143	4,143	3,416	4,2
Horní mez (95%) :	0,290	1,313	2,324	2,832	4,348	4,348	3,806	4,7

Tab. 21 Zbytková sráživost - 101-pop32S-MONO-NEFIX – místo 1

Teplota [°C]	50	70	90	100	120	125	130	135
Střední hodnota :	0,298	1,343	2,329	2,781	4,018	4,018	3,278	3,9
Spodní mez (5%) :	0,278	1,318	2,289	2,724	3,932	3,932	3,091	3,6
Horní mez (95%) :	0,317	1,369	2,369	2,837	4,103	4,103	3,464	4,2

Tab. 22 Maximální srážecí síla - 101-pop32S-MONO-NEFIX – místo 1

Teplota [°C]	50	70	90	100	120	125	130	135
Střední hodnota :	0,625	1,400	1,741	1,546	1,962	0,333	0,583	1,0
Spodní mez (5%) :	0,543	1,264	1,594	1,361	1,773	0,162	0,409	0,9
Horní mez (95%) :	0,707	1,535	1,887	1,730	2,151	0,503	0,758	1,1

Tab. 23 Efektivní srážecí síla - 101-pop32S-MONO-NEFIX – místo 1

Teplota [°C]	50	70	90	100	120	125	130	135
Střední hodnota :	0,347	1,067	1,455	1,257	1,385	-0,054	0,047	0,4
Spodní mez (5%) :	0,268	0,920	1,321	1,081	1,191	-0,198	-0,089	0,3
Horní mez (95%) :	0,426	1,214	1,588	1,432	1,578	0,091	0,184	0,5

Tab. 24 Zbytková srážecí síla - 101-pop32S-MONO-NEFIX – místo 1

Teplota [°C]	50	70	90	100	120	125	130	135
Střední hodnota :	0,559	1,335	1,681	1,420	1,305	-0,239	-0,379	0,0
Spodní mez (5%) :	0,480	1,181	1,538	1,247	1,099	-0,404	-0,520	-0,1
Horní mez (95%) :	0,639	1,488	1,823	1,593	1,510	-0,073	-0,238	0,1

Tab.25 Maximální sráživost - 101-pop32S-MONO-NEFIX –místo 2

Teplota [°C]	50	70	90	100	120	125	130	135	140	160
Střední hodnota :	0,257	1,126	2,007	2,548	3,922	4,870	5,565	6,617	8,566	38,394
Spodní mez (5%) :	0,240	1,055	1,946	2,433	3,846	4,831	5,427	6,352	8,416	37,797
Horní mez (95%) :	0,274	1,196	2,067	2,662	3,997	4,909	5,703	6,881	8,715	38,991

Tab.26 Efektivní sráživost - 101-pop32S-MONO-NEFIX –místo 2

Teplota [°C]	50	70	90	100	120	125	130	135	140	160
Střední hodnota :	0,222	1,044	1,943	2,511	3,911	4,855	5,572	6,602	8,522	11,840
Spodní mez (5%) :	0,201	0,976	1,884	2,391	3,834	4,810	5,416	6,333	8,369	11,106
Horní mez (95%) :	0,243	1,112	2,002	2,631	3,987	4,900	5,727	6,870	8,675	12,574

Tab.27 Zbytková sráživost - 101-pop32S-MONO-NEFIX –místo 2

Teplota [°C]	50	70	90	100	120	125	130	135	140	160
Střední hodnota :	0,257	1,125	2,007	2,548	3,696	4,506	5,003	5,671	6,828	10,678
Spodní mez (5%) :	0,240	1,055	1,946	2,433	3,635	4,382	4,868	5,443	6,722	10,020
Horní mez (95%) :	0,274	1,195	2,067	2,662	3,756	4,631	5,138	5,898	6,935	11,337

Tab.28 Maximální srážecí síla - 101-pop32S-MONO-NEFIX –místo 2

Teplota [°C]	50	70	90	100	120	125	130	135	140	160
Střední hodnota :	0,352	1,059	1,231	1,256	1,526	1,786	1,834	2,083	1,862	2,245
Spodní mez (5%) :	0,241	0,884	1,060	0,988	1,297	1,458	1,394	1,890	1,660	2,025

Horní mez (95%) :	0,463	1,235	1,403	1,523	1,754	2,115	2,274	2,276	2,063	2,466
-------------------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Tab.29 Efektivní srážecí síla - 101-pop32S-MONO-NEFIX –místo 2

Teplota [°C]	50	70	90	100	120	125	130	135	140	160
Střední hodnota :	0,036	0,692	0,882	0,969	0,974	0,982	0,973	1,135	0,921	-0,027
Spodní mez (5%) :	-0,083	0,516	0,713	0,705	0,758	0,698	0,635	0,956	0,760	-0,221
Horní mez (95%) :	0,154	0,867	1,051	1,233	1,189	1,266	1,310	1,314	1,081	0,167

Tab.30 Zbytková srážecí síla - 101-pop32S-MONO-NEFIX –místo 2

Teplota [°C]	50	70	90	100	120	125	130	135	140	160
Střední hodnota :	0,299	0,987	1,164	1,167	0,960	0,769	0,684	0,744	0,148	-1,671
Spodní mez (5%) :	0,197	0,820	0,990	0,891	0,740	0,463	0,320	0,567	-0,024	-1,846
Horní mez (95%) :	0,401	1,155	1,339	1,443	1,179	1,076	1,048	0,922	0,321	-1,495

Tab.31 Maximální sráživost - 101-pop32S-MONO-NEFIX –místo 3

Teplota [°C]	50	70	90	100	120	125	130	135	140	160
Střední hodnota :	0,167	0,727	1,632	1,941	3,234	4,094	4,604	5,424	8,037	38,423
Spodní mez (5%) :	0,157	0,700	1,442	1,848	3,189	3,746	4,219	4,826	7,864	37,826
Horní mez (95%) :	0,176	0,754	1,822	2,034	3,279	4,442	4,989	6,022	8,211	39,020

Tab.32 Efektivní sráživost - 101-pop32S-MONO-NEFIX –místo 3

Teplota [°C]	50	70	90	100	120	125	130	135	140	160
--------------	----	----	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Střední hodnota :	0,134	0,662	1,588	1,926	3,225	4,050	4,595	5,415	7,984	10,781
Spodní mez (5%) :	0,121	0,631	1,395	1,835	3,180	3,700	4,211	4,819	7,800	10,173
Horní mez (95%) :	0,147	0,693	1,780	2,018	3,269	4,400	4,978	6,010	8,168	11,389

Tab.33 Zbytková sráživost - 101-pop32S-MONO-NEFIX –místo 3

Teplota [°C]	50	70	90	100	120	125	130	135	140	160
Střední hodnota :	0,167	0,727	1,632	1,937	3,000	3,668	4,020	4,463	6,253	9,659
Spodní mez (5%) :	0,157	0,700	1,442	1,848	2,967	3,319	3,644	3,869	6,122	9,110
Horní mez (95%) :	0,176	0,754	1,822	2,026	3,033	4,017	4,395	5,056	6,384	10,208

Tab.34 Maximální srážecí síla - 101-pop32S-MONO-NEFIX –místo 3

Teplota [°C]	50	70	90	100	120	125	130	135	140	160
Střední hodnota :	0,214	0,486	0,422	0,444	0,998	0,768	1,134	0,459	1,518	2,018
Spodní mez (5%) :	0,104	0,216	0,175	0,189	0,773	0,311	0,535	0,262	1,332	1,775
Horní mez (95%) :	0,325	0,756	0,669	0,700	1,222	1,226	1,733	0,656	1,703	2,261

Tab.35 Efektivní srážecí síla - 101-pop32S-MONO-NEFIX –místo 3

Teplota [°C]	50	70	90	100	120	125	130	135	140	160
Střední hodnota :	-0,117	0,134	0,152	0,165	0,549	0,173	0,443	-0,090	0,734	-0,099
Spodní mez (5%) :	-0,250	-0,128	-0,105	-0,102	0,340	-0,150	0,012	-0,257	0,586	-0,239
Horní mez (95%) :	0,016	0,396	0,410	0,432	0,758	0,497	0,873	0,077	0,882	0,042

Tab.36 Zbytková srážecí síla - 101-pop32S-MONO-NEFIX –místo 3

Teplota [°C]	50	70	90	100	120	125	130	135	140	160
Střední hodnota :	0,163	0,418	0,361	0,344	0,463	-0,057	0,041	-0,719	-0,105	-1,731
Spodní mez (5%) :	0,060	0,160	0,112	0,084	0,256	-0,461	-0,454	-0,890	-0,256	-1,879
Horní mez (95%) :	0,266	0,677	0,609	0,605	0,669	0,348	0,536	-0,548	0,046	-1,583

Tab.37 Maximální sráživost - 101-pop32S-MONO-NEFIX –místo 4

Teplota [°C]	50	70	90	100	120	125	130	135	140
Střední hodnota :	0,112	0,633	1,272	1,805	2,773	3,652	4,095	5,117	7,129
Spodní mez (5%) :	0,091	0,406	0,981	1,423	2,665	3,229	3,873	4,999	6,678
Horní mez (95%) :	0,133	0,860	1,562	2,187	2,880	4,075	4,317	5,235	7,580

Tab.38 Efektivní sráživost - 101-pop32S-MONO-NEFIX –místo 4

Teplota [°C]	50	70	90	100	120	125	130	135	140
Střední hodnota :	0,071	0,583	1,243	1,792	2,762	3,642	4,083	5,106	7,107
Spodní mez (5%) :	0,045	0,355	0,943	1,411	2,652	3,217	3,861	4,988	6,644
Horní mez (95%) :	0,096	0,811	1,543	2,172	2,871	4,067	4,304	5,223	7,570

Tab.39 Zbytková sráživost - 101-pop32S-MONO-NEFIX –místo 4

Teplota [°C]	50	70	90	100	120	125	130	135	140
Střední hodnota :	0,112	0,633	1,272	1,787	2,521	3,271	3,503	4,154	5,605
Spodní mez (5%) :	0,091	0,406	0,981	1,417	2,426	2,838	3,295	4,055	5,205

Horní mez (95%) :	0,133	0,860	1,562	2,157	2,616	3,704	3,710	4,254	6,005
-------------------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Tab.40 Maximální srážecí síla - 101-pop32S-MONO-NEFIX –místo 4

Teplota [°C]	50	70	90	100	120	125	130	135	140
Střední hodnota :	0,038	0,027	0,127	0,216	0,798	0,582	0,813	0,715	1,009
Spodní mez (5%) :	0,010	0,006	0,030	0,034	0,334	0,311	0,461	0,496	0,624
Horní mez (95%) :	0,066	0,047	0,223	0,398	1,261	0,853	1,165	0,934	1,394

Tab.41 Efektivní srážecí síla - 101-pop32S-MONO-NEFIX –místo 4

Teplota [°C]	50	70	90	100	120	125	130	135	140
Střední hodnota :	-0,353	-0,456	-0,174	-0,032	0,412	0,186	0,318	0,206	0,367
Spodní mez (5%) :	-0,484	-0,561	-0,350	-0,241	0,018	-0,069	0,045	0,011	0,070
Horní mez (95%) :	-0,222	-0,351	0,002	0,177	0,806	0,441	0,591	0,402	0,664

Tab.42 Zbytková srážecí síla - 101-pop32S-MONO-NEFIX –místo 4

Teplota [°C]	50	70	90	100	120	125	130	135	140
Střední hodnota :	-0,082	-0,171	-0,003	0,065	0,244	-0,123	-0,120	-0,384	-0,470
Spodní mez (5%) :	-0,212	-0,272	-0,178	-0,163	-0,148	-0,379	-0,414	-0,611	-0,817
Horní mez (95%) :	0,048	-0,069	0,172	0,293	0,636	0,133	0,174	-0,157	-0,122

Tab.43 Maximální sráživost - 101-pop32S-MONO-NEFIX –místo 5

Teplota [°C]	50	70	90	100	120	125	130	135	140
--------------	----	----	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Střední hodnota :	0,134	0,577	0,714	1,450	2,906	3,585	3,661	5,460	7,184
Spodní mez (5%) :	0,061	0,258	0,670	0,933	2,233	2,927	3,535	4,830	6,473
Horní mez (95%) :	0,206	0,896	0,758	1,967	3,578	4,243	3,786	6,089	7,895

Tab.44 Efektivní sráživost - 101-pop32S-MONO-NEFIX –místo 5

Teplota [°C]	50	70	90	100	120	125	130	135	140
Střední hodnota :	0,094	0,513	0,659	1,427	2,895	3,575	3,649	5,443	7,159
Spodní mez (5%) :	0,012	0,188	0,610	0,902	2,223	2,914	3,525	4,814	6,450
Horní mez (95%) :	0,175	0,837	0,709	1,952	3,566	4,236	3,773	6,072	7,868

Tab.45 Zbytková sráživost - 101-pop32S-MONO-NEFIX –místo 5

Teplota [°C]	50	70	90	100	120	125	130	135	140
Střední hodnota :	0,121	0,577	0,714	1,448	2,667	3,210	3,041	4,475	5,563
Spodní mez (5%) :	0,042	0,258	0,670	0,933	1,996	2,562	2,946	3,839	4,845
Horní mez (95%) :	0,200	0,896	0,758	1,963	3,338	3,858	3,136	5,110	6,281

Tab.46 Maximální srážecí síla - 101-pop32S-MONO-NEFIX –místo 5

Teplota [°C]	50	70	90	100	120	125	130	135	140
Střední hodnota :	0,030	0,006	0,020	0,016	0,131	0,214	0,948	0,529	0,740
Spodní mez (5%) :	0,007	-0,004	0,000	0,002	-0,006	0,025	0,409	0,069	0,457
Horní mez (95%) :	0,053	0,017	0,040	0,030	0,268	0,402	1,487	0,989	1,023

Tab.47 Efektivní srážecí síla - 101-pop32S-MONO-NEFIX –místo 5

Teplota [°C]	50	70	90	100	120	125	130	135	140
Střední hodnota :	-0,557	-0,858	-0,400	-0,620	-0,276	-0,164	0,427	0,048	0,208
Spodní mez (5%) :	-0,895	-1,124	-0,904	-0,781	-0,647	-0,387	0,006	-0,419	-0,007
Horní mez (95%) :	-0,218	-0,591	0,105	-0,458	0,096	0,059	0,847	0,515	0,422

Tab.48 Zbytková srážecí síla - 101-pop32S-MONO-NEFIX –místo 5

Teplota [°C]	50	70	90	100	120	125	130	135	140
Střední hodnota :	-0,217	-0,514	-0,141	-0,438	-0,416	-0,452	0,027	-0,609	-0,694
Spodní mez (5%) :	-0,502	-0,786	-0,634	-0,615	-0,767	-0,659	-0,396	-1,063	-0,943
Horní mez (95%) :	0,069	-0,241	0,352	-0,261	-0,064	-0,245	0,450	-0,155	-0,445

Tab.49 Maximální sráživost - 101-pop32S-MONO-NEFIX –místo 6

Teplota [°C]	50	70	90	100	120	125	130	135	140
Střední hodnota :	0,110	0,080	0,915	0,620	1,890	3,040	3,075	4,800	5,685
Spodní mez (5%) :	0,081	0,060	0,561	0,595	1,811	2,595	2,974	4,362	5,559
Horní mez (95%) :	0,139	0,100	1,269	0,645	1,969	3,485	3,176	5,238	5,811

Tab.50 Efektivní sráživost - 101-pop32S-MONO-NEFIX –místo 6

Teplota [°C]	50	70	90	100	120	125	130	135	140
Střední hodnota :	0,080	-0,030	0,830	0,560	1,870	3,025	3,065	4,780	5,590
Spodní mez (5%) :	0,026	-0,043	0,466	0,535	1,791	2,577	2,964	4,342	5,474

Horní mez (95%) :	0,134	-0,017	1,194	0,585	1,949	3,473	3,166	5,218	5,706
-------------------	-------	--------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Tab.51 Zbytková sráživost - 101-pop32S-MONO-NEFIX –místo 6

Teplota [°C]	50	70	90	100	120	125	130	135	140
Střední hodnota :	0,110	0,080	0,915	0,620	1,650	2,450	2,525	3,940	4,105
Spodní mez (5%) :	0,081	0,060	0,561	0,595	1,580	2,146	2,451	3,461	4,056
Horní mez (95%) :	0,139	0,100	1,269	0,645	1,720	2,754	2,599	4,419	4,154

Tab.52 Maximální srážecí síla - 101-pop32S-MONO-NEFIX –místo 6

Teplota [°C]	50	70	90	100	120	125	130	135	140
Střední hodnota :	0,025	0,240	0,005	0,060	0,010	0,005	0,495	0,180	0,945
Spodní mez (5%) :	0,008	0,065	0,001	0,022	0,002	0,000	0,182	0,096	0,584
Horní mez (95%) :	0,042	0,415	0,009	0,098	0,018	0,010	0,808	0,264	1,306

Tab.53 Efektivní srážecí síla - 101-pop32S-MONO-NEFIX –místo 6

Teplota [°C]	50	70	90	100	120	125	130	135	140
Střední hodnota :	-0,835	-0,290	-1,340	-0,465	-0,645	-0,325	0,080	-0,210	0,315
Spodní mez (5%) :	-0,879	-0,816	-1,495	-0,832	-0,750	-0,466	-0,223	-0,271	0,076
Horní mez (95%) :	-0,791	0,236	-1,185	-0,098	-0,540	-0,184	0,383	-0,149	0,554

Tab.54 Zbytková srážecí síla - 101-pop32S-MONO-NEFIX –místo 6

Teplota [°C]	50	70	90	100	120	125	130	135	140
--------------	----	----	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Střední hodnota :	-0,420	0,105	-0,970	-0,240	-0,780	-0,410	-0,235	-0,685	-0,380
Spodní mez (5%) :	-0,467	-0,411	-1,125	-0,584	-0,881	-0,659	-0,535	-0,750	-0,629
Horní mez (95%) :	-0,373	0,621	-0,815	0,104	-0,679	-0,161	0,065	-0,620	-0,131

Tab.55 Maximální sráživost - 101-pop32S-MONO-NEFIX –místo 7

Teplota [°C]	50	70	90	100	120	125	130	135	140
Střední hodnota :	0,150	0,200	0,015	1,130	1,275	3,350	2,525	4,775	5,215
Spodní mez (5%) :	0,120	0,065	0,002	0,523	1,256	2,743	2,493	4,212	5,110
Horní mez (95%) :	0,180	0,335	0,028	1,737	1,294	3,957	2,557	5,338	5,320

Tab.56 Efektivní sráživost - 101-pop32S-MONO-NEFIX –místo 7

Teplota [°C]	50	70	90	100	120	125	130	135	140
Střední hodnota :	0,105	0,045	-0,130	1,115	1,260	3,340	2,480	4,745	5,135
Spodní mez (5%) :	0,063	-0,161	-0,165	0,498	1,230	2,733	2,451	4,162	5,023
Horní mez (95%) :	0,147	0,251	-0,095	1,732	1,290	3,947	2,509	5,328	5,247

Tab.57 Zbytková sráživost - 101-pop32S-MONO-NEFIX –místo 7

Teplota [°C]	50	70	90	100	120	125	130	135	140
Střední hodnota :	0,150	0,115	-0,070	1,130	1,030	2,990	1,845	3,780	3,600
Spodní mez (5%) :	0,120	-0,077	-0,105	0,523	1,007	2,410	1,826	3,194	3,528
Horní mez (95%) :	0,180	0,307	-0,035	1,737	1,053	3,570	1,864	4,366	3,672

Tab.58 Maximální srážecí síla - 101-pop32S-MONO-NEFIX –místo 7

Teplota [°C]	50	70	90	100	120	125	130	135	140
Střední hodnota :	0,340	0,010	0,030	0,015	0,170	0,015	0,720	0,015	0,940
Spodní mez (5%) :	0,118	0,002	0,013	0,005	0,041	0,005	0,241	0,002	0,551
Horní mez (95%) :	0,562	0,018	0,047	0,025	0,299	0,025	1,199	0,028	1,329

Tab.59 Efektivní srážecí síla - 101-pop32S-MONO-NEFIX –místo 7

Teplota [°C]	50	70	90	100	120	125	130	135	140
Střední hodnota :	-0,375	-1,195	-1,570	-1,345	-0,215	-0,840	0,205	-0,420	0,255
Spodní mez (5%) :	-0,816	-1,630	-1,688	-1,436	-0,623	-0,921	-0,183	-0,507	0,006
Horní mez (95%) :	0,066	-0,760	-1,452	-1,254	0,193	-0,759	0,593	-0,333	0,504

Tab.60 Zbytková srážecí síla - 101-pop32S-MONO-NEFIX –místo 7

Teplota [°C]	50	70	90	100	120	125	130	135	140
Střední hodnota :	0,010	-0,840	-1,335	-1,195	-0,380	-1,165	-0,235	-1,110	-0,490
Spodní mez (5%) :	-0,381	-1,292	-1,474	-1,306	-0,791	-1,256	-0,683	-1,168	-0,817
Horní mez (95%) :	0,401	-0,388	-1,196	-1,084	0,031	-1,074	0,213	-1,052	-0,163

Tab.61 Maximální sráživost - 101-pop32S-MONO-NEFIX –místo 8

Teplota [°C]	50	70	90	100	120	125	130	135	140
Střední hodnota :	0,065	0,015	0,015	0,510	0,740	1,210	3,490	2,975	6,330
Spodní mez (5%) :	0,021	0,005	0,005	0,166	0,689	1,168	2,573	2,918	5,649
Horní mez (95%) :	0,109	0,025	0,025	0,854	0,791	1,252	4,407	3,032	7,011

Tab.62 Efektivní sráživost - 101-pop32S-MONO-NEFIX –místo 8

Teplota [°C]	50	70	90	100	120	125	130	135	140
Střední hodnota :	-0,015	-0,465	-0,555	0,305	0,700	1,165	3,460	2,880	6,250
Spodní mez (5%) :	-0,079	-0,522	-0,579	-0,136	0,641	1,127	2,523	2,799	5,549
Horní mez (95%) :	0,049	-0,408	-0,531	0,746	0,759	1,203	4,397	2,961	6,951

Tab.63 Zbytková sráživost - 101-pop32S-MONO-NEFIX –místo 8

Teplota [°C]	50	70	90	100	120	125	130	135	140
Střední hodnota :	0,045	-0,360	-0,455	0,375	0,555	0,895	2,955	2,030	4,845
Spodní mez (5%) :	-0,012	-0,414	-0,472	-0,060	0,492	0,848	2,008	1,969	4,134
Horní mez (95%) :	0,102	-0,306	-0,438	0,810	0,618	0,942	3,902	2,091	5,556

Tab.64 Maximální srážecí síla - 101-pop32S-MONO-NEFIX –místo 8

Teplota [°C]	50	70	90	100	120	125	130	135	140
Střední hodnota :	0,025	0,025	0,555	0,025	0,010	0,110	0,015	0,495	0,065
Spodní mez (5%) :	0,015	0,012	0,181	0,015	0,002	0,026	0,004	0,188	0,019
Horní mez (95%) :	0,035	0,038	0,929	0,035	0,018	0,194	0,026	0,802	0,111

Tab.65 Efektivní srážecí síla - 101-pop32S-MONO-NEFIX –místo 8

Teplota [°C]	50	70	90	100	120	125	130	135	140
Střední hodnota :	-1,140	-0,705	-0,415	-1,205	-0,895	-0,470	-0,475	-0,065	-0,250

Spodní mez (5%) :	-1,228	-1,221	-1,227	-1,277	-1,066	-0,728	-0,551	-0,351	-0,315
Horní mez (95%) :	-1,052	-0,189	0,397	-1,133	-0,724	-0,212	-0,399	0,221	-0,185

Tab.66 Zbytková srážecí síla - 101-pop32S-MONO-NEFIX –místo 8

Teplota [°C]	50	70	90	100	120	125	130	135	140
Střední hodnota :	-0,760	-0,350	-0,090	-1,030	-0,970	-0,575	-0,825	-0,495	-1,095
Spodní mez (5%) :	-0,861	-0,842	-0,865	-1,121	-1,113	-0,890	-0,908	-0,795	-1,139
Horní mez (95%) :	-0,659	0,142	0,685	-0,939	-0,827	-0,260	-0,742	-0,195	-1,051

Tab.67 Maximální sráživost - 101-pop32S-MONO-NEFIX –místo 9

Teplota [°C]	50	70	90	100	120	125	130	135	140
Střední hodnota :	0,015	0,015	0,015	0,006	0,535	3,240	1,760	4,710	6,195
Spodní mez (5%) :	0,004	0,005	0,004	-0,006	0,516	2,438	1,745	3,645	5,106
Horní mez (95%) :	0,026	0,025	0,026	0,018	0,554	4,042	1,775	5,775	7,284

Tab.68 Efektivní sráživost - 101-pop32S-MONO-NEFIX –místo 9

Teplota [°C]	50	70	90	100	120	125	130	135	140
Střední hodnota :	-0,075	-0,720	-0,585	-0,565	0,495	3,235	1,705	4,625	6,065
Spodní mez (5%) :	-0,079	-0,756	-0,708	-0,595	0,468	2,430	1,684	3,536	4,909
Horní mez (95%) :	-0,071	-0,684	-0,462	-0,535	0,522	4,040	1,726	5,714	7,221

Tab.69 Zbytková sráživost - 101-pop32S-MONO-NEFIX –místo 9

Teplota [°C]	50	70	90	100	120	125	130	135	140
Střední hodnota :	-0,020	-0,635	-0,475	-0,505	0,335	2,915	1,165	3,795	4,710
Spodní mez (5%) :	-0,037	-0,654	-0,606	-0,532	0,301	2,083	1,135	2,680	3,564
Horní mez (95%) :	-0,003	-0,616	-0,344	-0,478	0,369	3,747	1,195	4,910	5,856

Tab.70 Maximální srážecí síla - 101-pop32S-MONO-NEFIX –místo 9

Teplota [°C]	50	70	90	100	120	125	130	135	140
Střední hodnota :	0,015	0,015	0,015	0,025	0,025	0,020	0,710	0,125	0,275
Spodní mez (5%) :	0,004	0,000	0,004	0,014	0,000	0,006	0,252	0,035	0,195
Horní mez (95%) :	0,026	0,030	0,026	0,036	0,050	0,034	1,168	0,215	0,355

Tab.71 Efektivní srážecí síla - 101-pop32S-MONO-NEFIX –místo 9

Teplota [°C]	50	70	90	100	120	125	130	135	140
Střední hodnota :	-0,910	-0,625	-1,390	-1,205	-0,140	-0,385	0,090	-0,150	-0,035
Spodní mez (5%) :	-1,173	-1,397	-1,437	-1,270	-0,592	-0,469	-0,355	-0,241	-0,107
Horní mez (95%) :	-0,647	0,147	-1,343	-1,140	0,312	-0,301	0,535	-0,059	0,037

Tab.72 Zbytková srážecí síla - 101-pop32S-MONO-NEFIX –místo 9

Teplota [°C]	50	70	90	100	120	125	130	135	140
Střední hodnota :	-0,560	-0,280	-1,155	-1,010	-0,190	-0,645	-0,165	-0,735	-0,815
Spodní mez (5%) :	-0,776	-1,035	-1,184	-1,044	-0,642	-0,721	-0,681	-0,845	-0,894
Horní mez (95%) :	-0,344	0,475	-1,126	-0,976	0,262	-0,569	0,351	-0,625	-0,736

Tab.73 Maximální sráživost - 101-pop32S-MONO-NEFIX –místo 10

Teplota [°C]	50	70	90	100	120	125	130	135	140
Střední hodnota :	0,095	0,015	0,015	1,510	2,730	1,010	1,875	5,210	6,030
Spodní mez (5%) :	0,026	0,002	0,005	0,512	1,975	0,956	1,828	4,368	5,322
Horní mez (95%) :	0,164	0,028	0,025	2,508	3,485	1,064	1,922	6,053	6,738

Tab.74 Efektivní sráživost - 101-pop32S-MONO-NEFIX –místo 10

Teplota [°C]	50	70	90	100	120	125	130	135	140
Střední hodnota :	-0,020	-0,640	-0,835	1,205	2,725	0,955	1,830	5,200	5,975
Spodní mez (5%) :	-0,215	-0,716	-0,872	0,002	1,967	0,908	1,784	4,358	5,264
Horní mez (95%) :	0,175	-0,564	-0,798	2,408	3,483	1,002	1,876	6,043	6,686

Tab.75 Zbytková sráživost - 101-pop32S-MONO-NEFIX –místo 10

Teplota [°C]	50	70	90	100	120	125	130	135	140
Střední hodnota :	0,025	-0,565	-0,780	1,195	2,435	0,510	1,105	4,240	4,285
Spodní mez (5%) :	-0,154	-0,645	-0,814	0,019	1,697	0,474	1,063	3,398	3,547
Horní mez (95%) :	0,204	-0,485	-0,746	2,371	3,173	0,546	1,147	5,083	5,023

Tab.76 Maximální srážecí síla - 101-pop32S-MONO-NEFIX –místo 10

Teplota [°C]	50	70	90	100	120	125	130	135	140
Střední hodnota :	0,020	0,010	0,555	0,025	0,005	1,010	0,035	0,340	0,395

Spodní mez (5%) :	0,007	0,003	0,188	0,007	0,001	0,956	0,009	0,289	0,239
Horní mez (95%) :	0,033	0,017	0,922	0,043	0,009	1,064	0,061	0,391	0,551

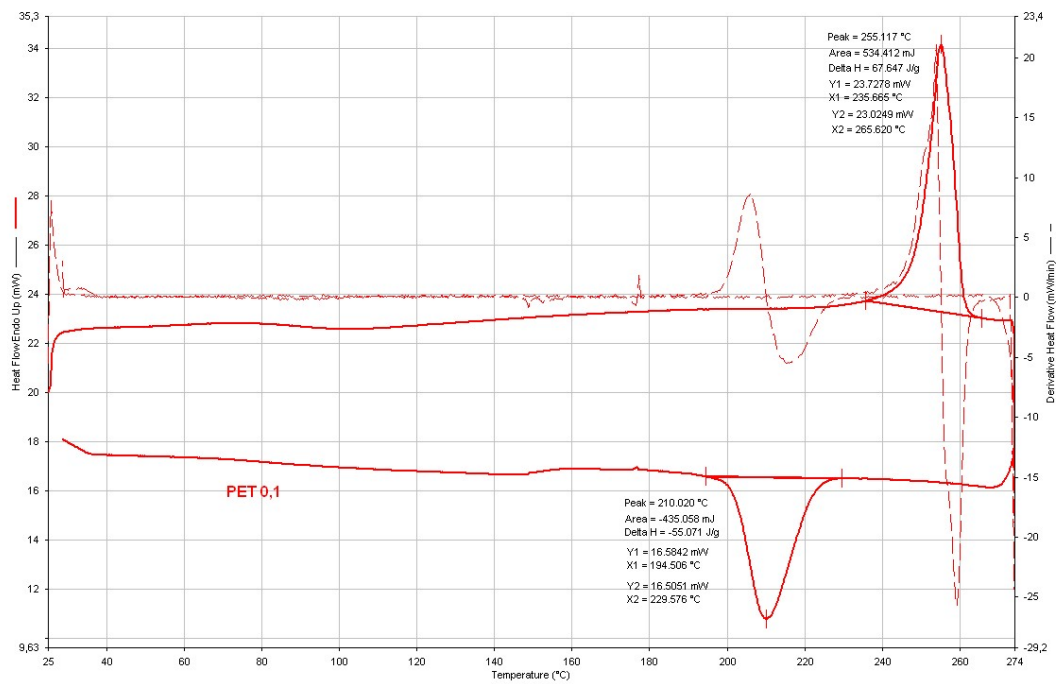
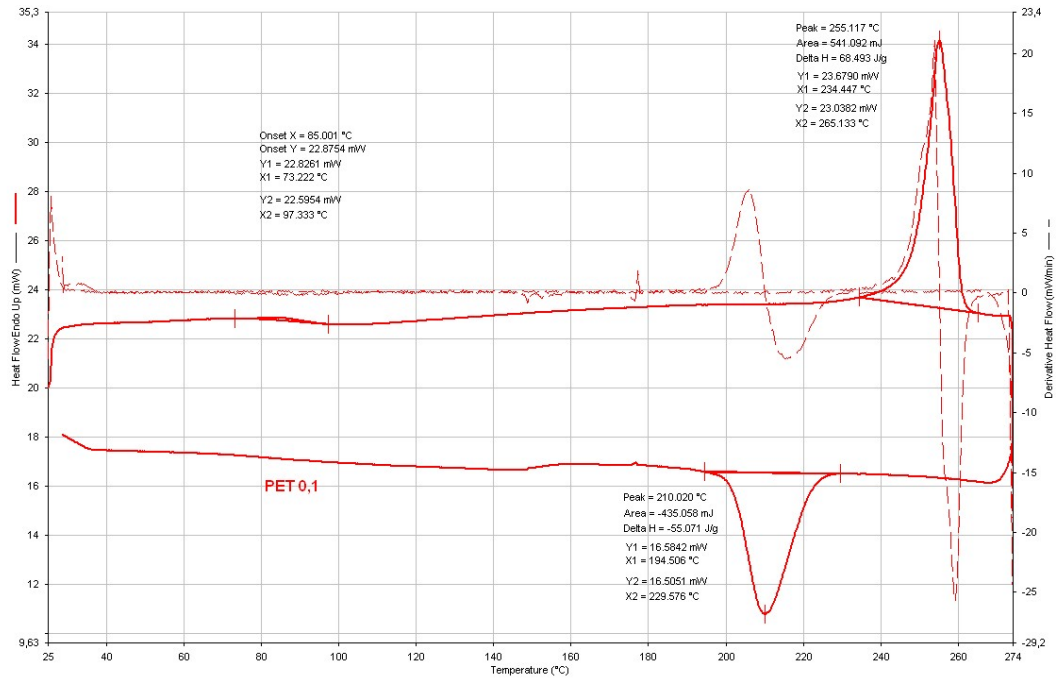
Tab.77 Efektivní srážecí síla - 101-pop32S-MONO-NEFIX –místo 10

Teplota [°C]	50	70	90	100	120	125	130	135	140
Střední hodnota :	-1,095	-1,620	-0,345	-1,155	-0,510	0,955	-0,380	0,120	0,060
Spodní mez (5%) :	-1,174	-1,762	-1,171	-1,227	-0,611	0,908	-0,616	0,075	-0,102
Horní mez (95%) :	-1,016	-1,478	0,481	-1,083	-0,409	1,002	-0,144	0,165	0,222

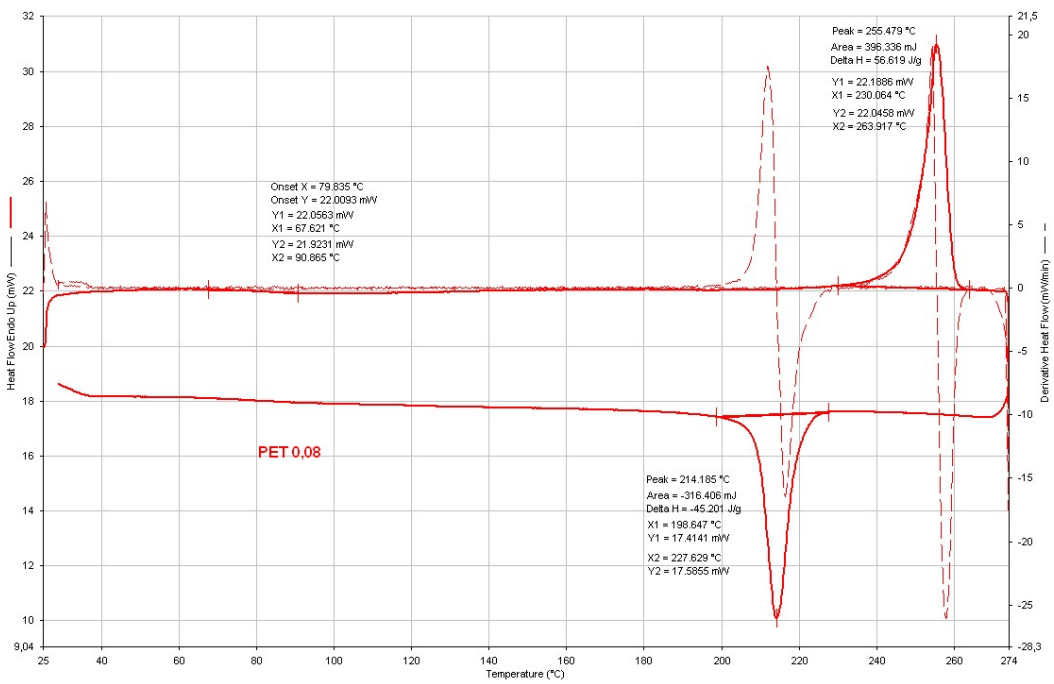
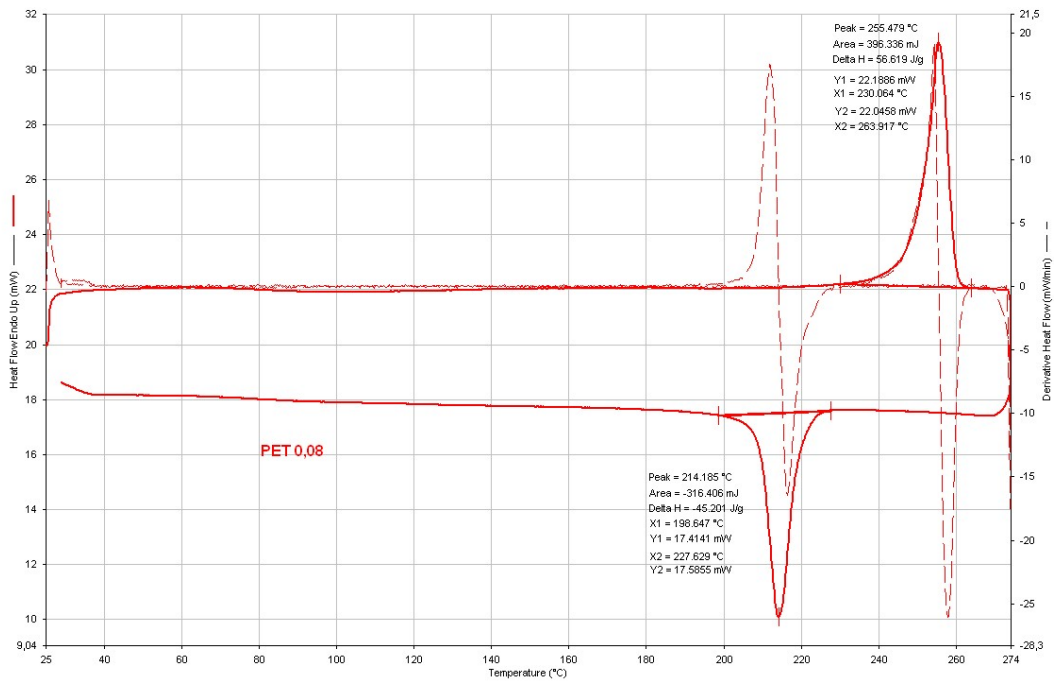
Tab.78 Zbytková srážecí síla - 101-pop32S-MONO-NEFIX –místo 10

Teplota [°C]	50	70	90	100	120	125	130	135	140
Střední hodnota :	-0,900	-1,430	-0,270	-1,045	-0,825	0,510	-0,925	-0,805	-1,020
Spodní mez (5%) :	-0,953	-1,551	-1,072	-1,109	-0,905	0,474	-1,058	-0,862	-1,222
Horní mez (95%) :	-0,847	-1,309	0,532	-0,981	-0,745	0,546	-0,792	-0,748	-0,818

Příloha B – Křivky DSC



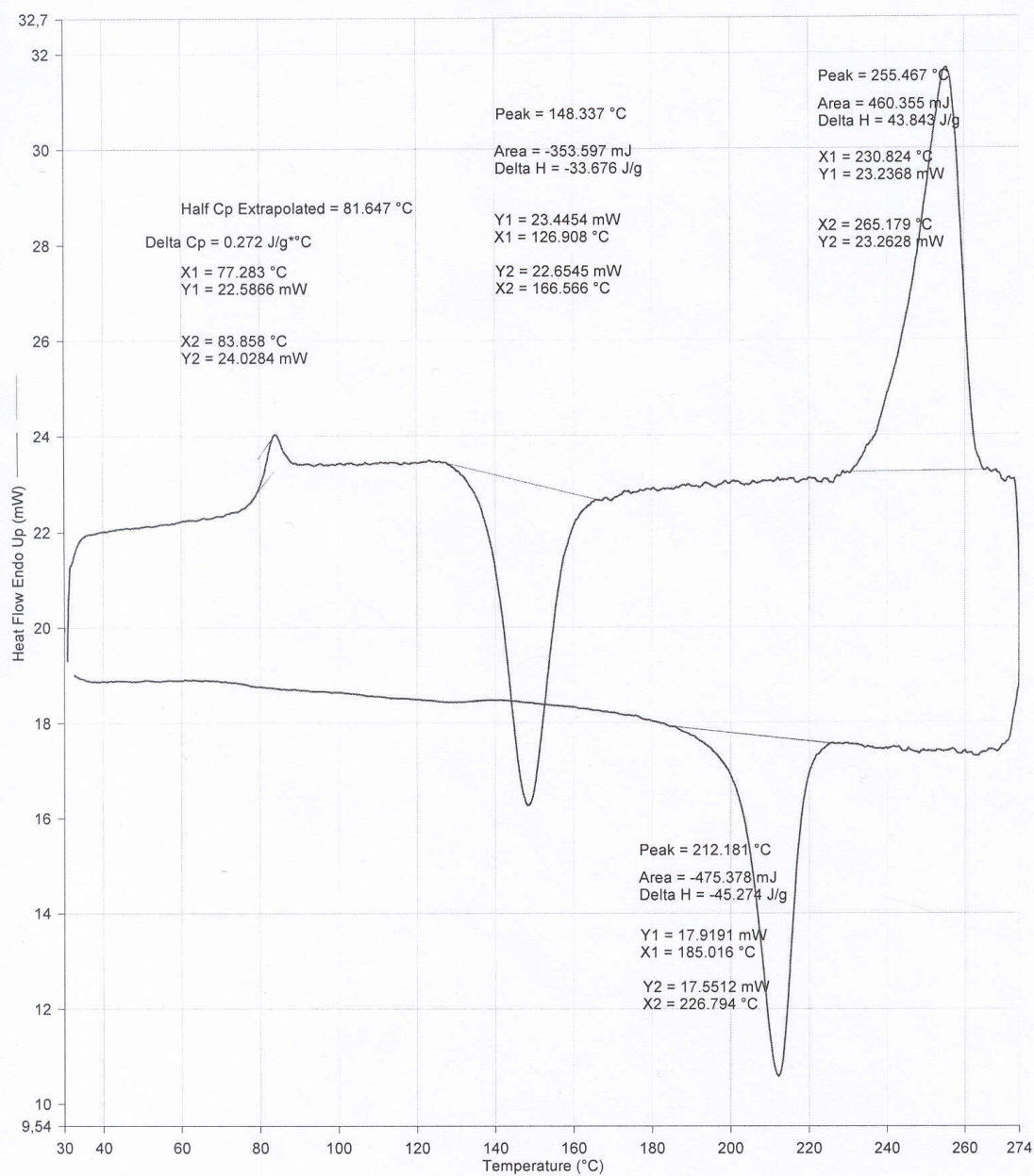
Obr. 1 DSC křivky PET průměru 0,01mm



Obř. 2 DSC křivky PET řřmřeru 0,08mm

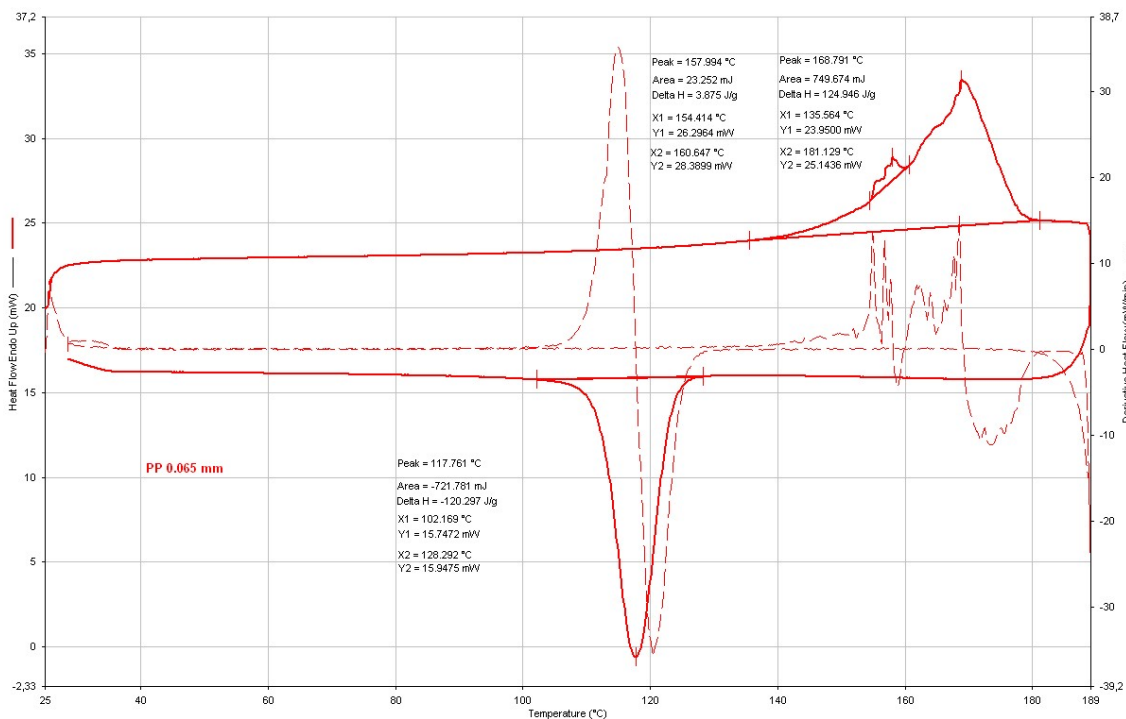
Filename:	C:\PE\Pyris\Data\MMM...\vzorek_a2.d6d	-----	vzorek b: vzorek_a2
Operator ID:	mm	-----	Heat Flow Endo Up (mW) : Steps: 4-5
Sample ID:	vzorek a	-----	vzorek b: vzorek_a2
Sample Weight:	10.500 mg	-----	Heat Flow Endo Up (mW) : Step: 1
Comment:		-----	vzorek b: vzorek_a2
		-----	Heat Flow Endo Up (mW) : Step: 1
		-----	vzorek b: vzorek_a2
		-----	Heat Flow Endo Up (mW) : Step: 5

Perkin-Elmer Thermal Analysis

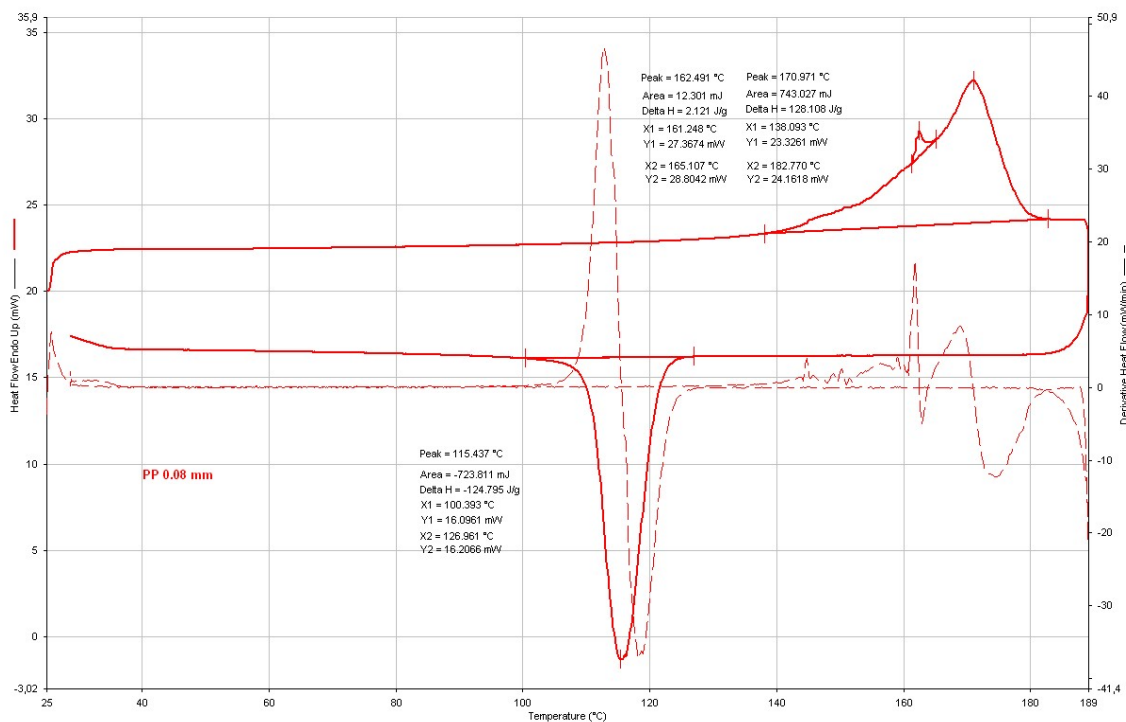


- | | | |
|--|---|---------------------|
| 1) Hold for 1.0 min at 30.00°C | 4) Heat from 30.00°C to 275.00°C at 15.00°C/min | |
| 2) Heat from 30.00°C to 85.00°C at 50.00°C/min | 5) Cool from 275.00°C to 30.00°C at 10.00°C/min | 13.11.2007 10:04:28 |
| 3) Cool from 85.00°C to 30.00°C at 5.00°C/min | | |

0br. 3 DSC křivky PET průměru 0,055mm

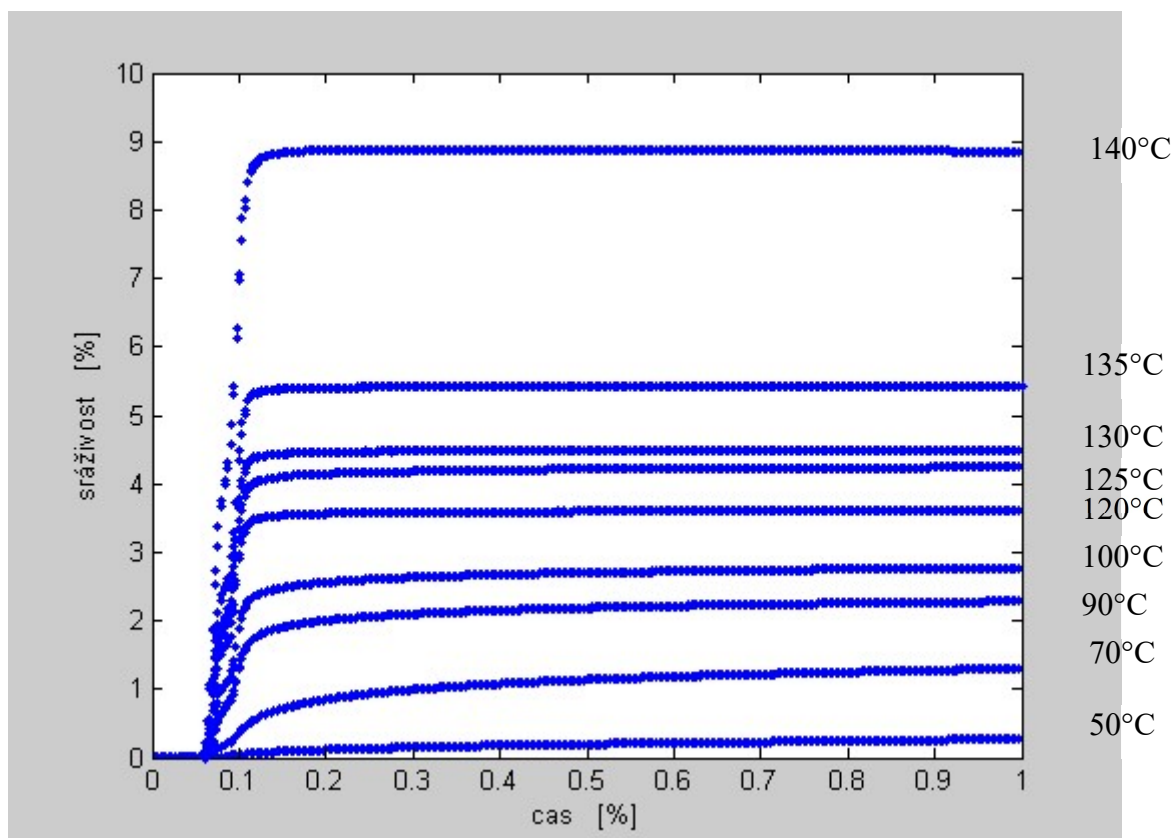


Obr. 4 DSC křivky PP průměru 0,065mm

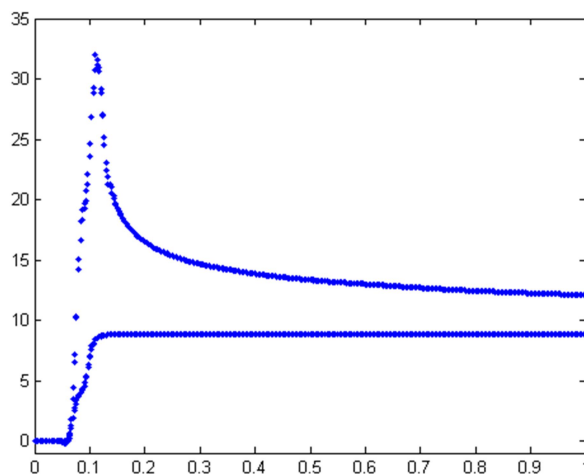


Obr. 5 DSC křivky PET průměru 0,08mm

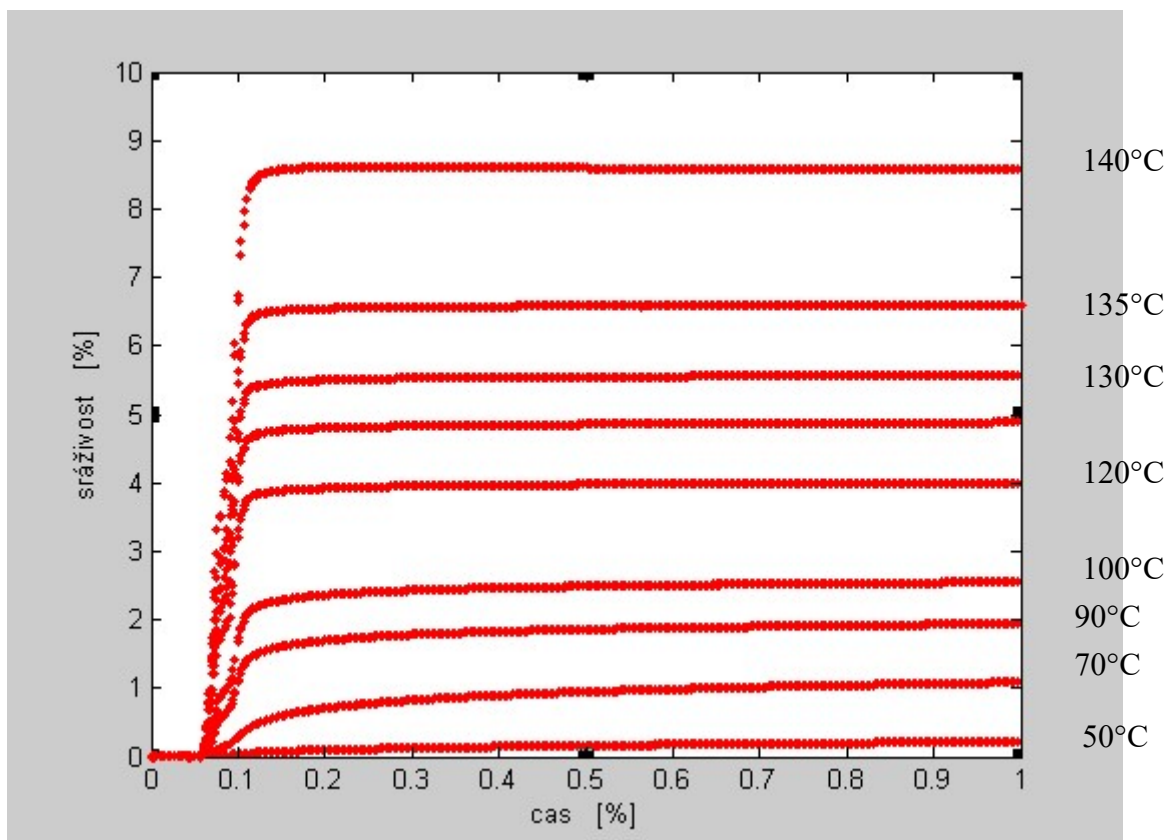
Příloha C



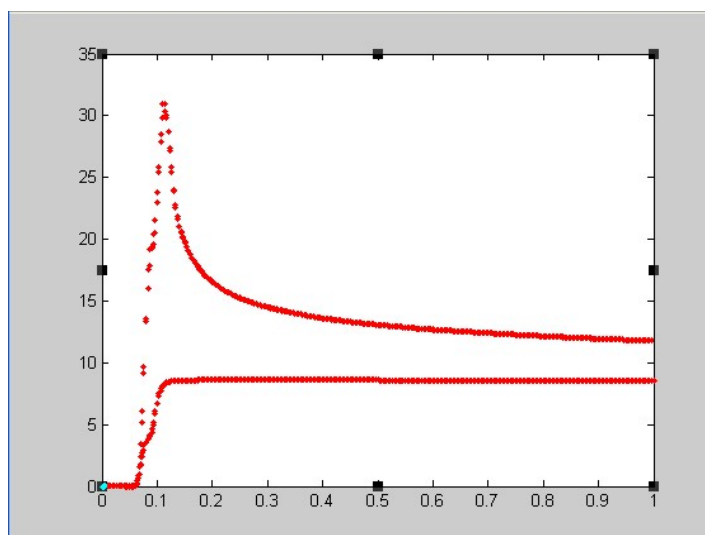
Obr.1a Kinetické křivky srážení PP monofilu 101-pop32S-MONO-NEFIX-místo 1



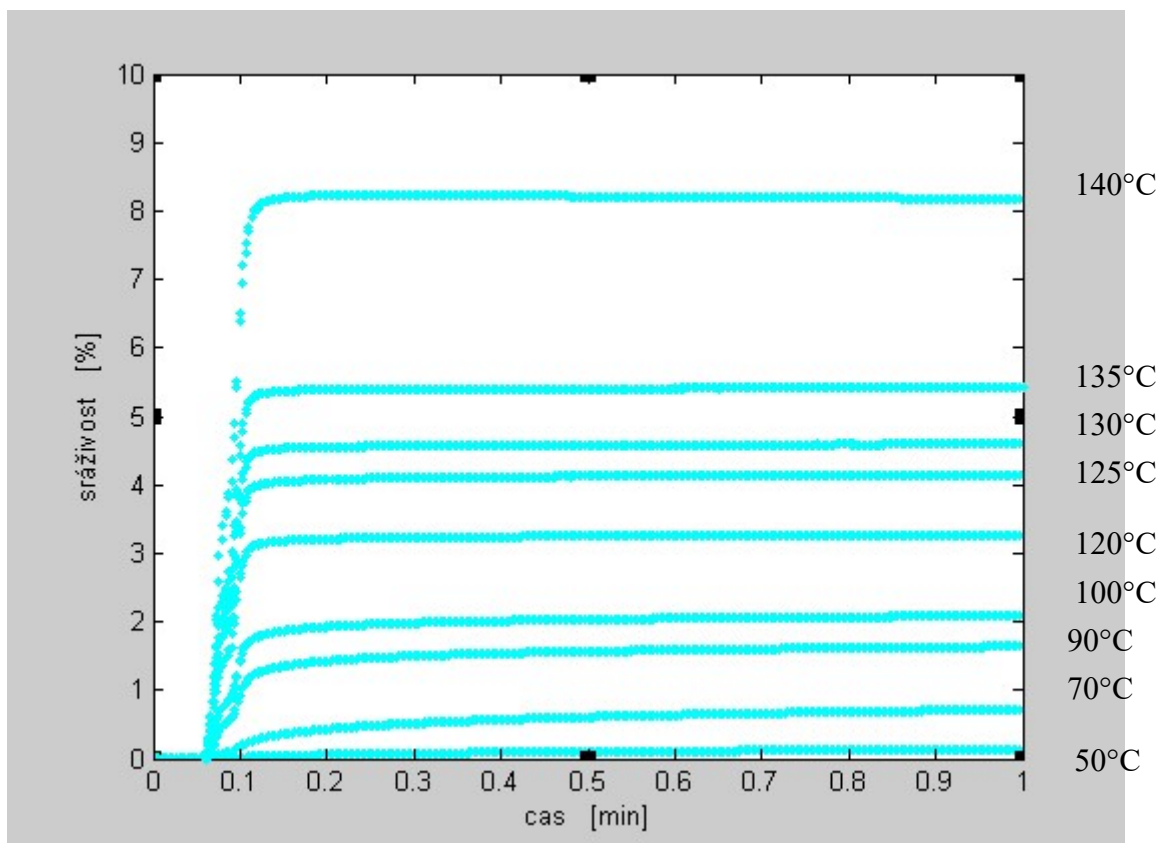
Obr.1b Kinetické křivky srážení POP monofilu 101-pop32S-MONO-NEFIX - místo 1 při teplotě 140°C (dole) a 160°C (nahore)



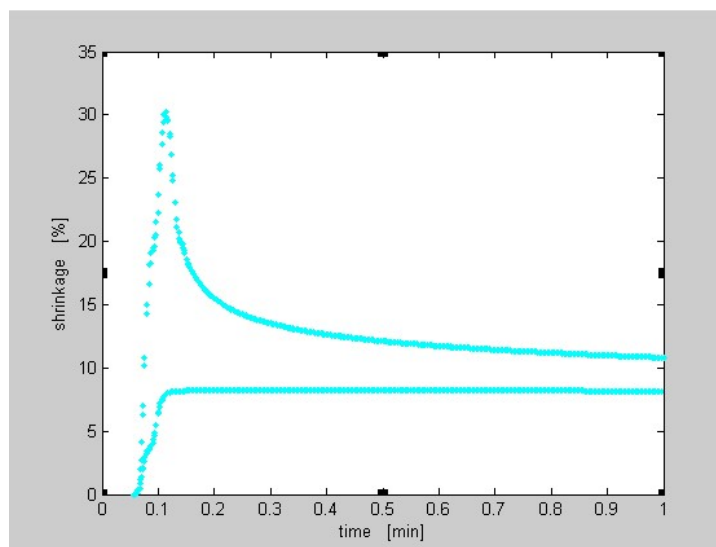
Obr.2a Kinetické křivky srážení PP monofilu 101-pop32S-MONO-NEFIX-místo 2



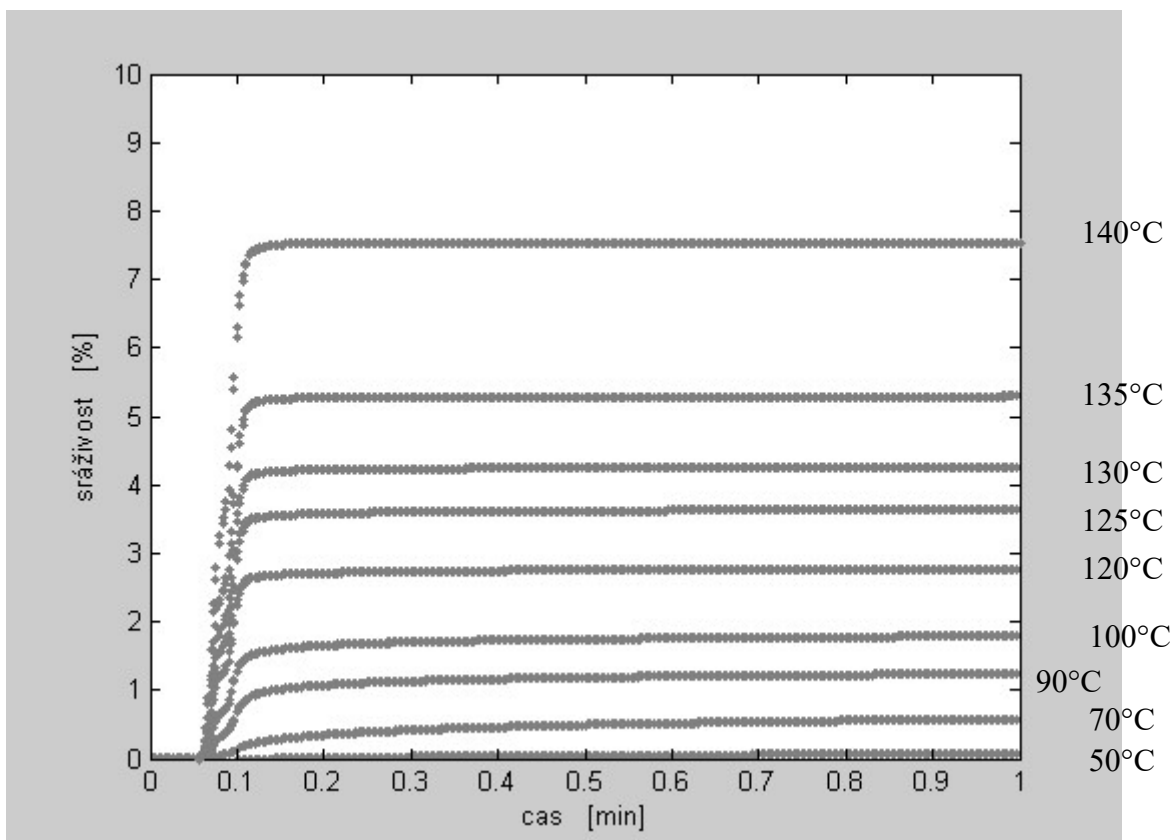
Obr.2b Kinetické křivky srážení POP monofilu 101-pop32S-MONO-NEFIX - místo 2 při teplotě 140°C (dole) a 160°C (nahore)



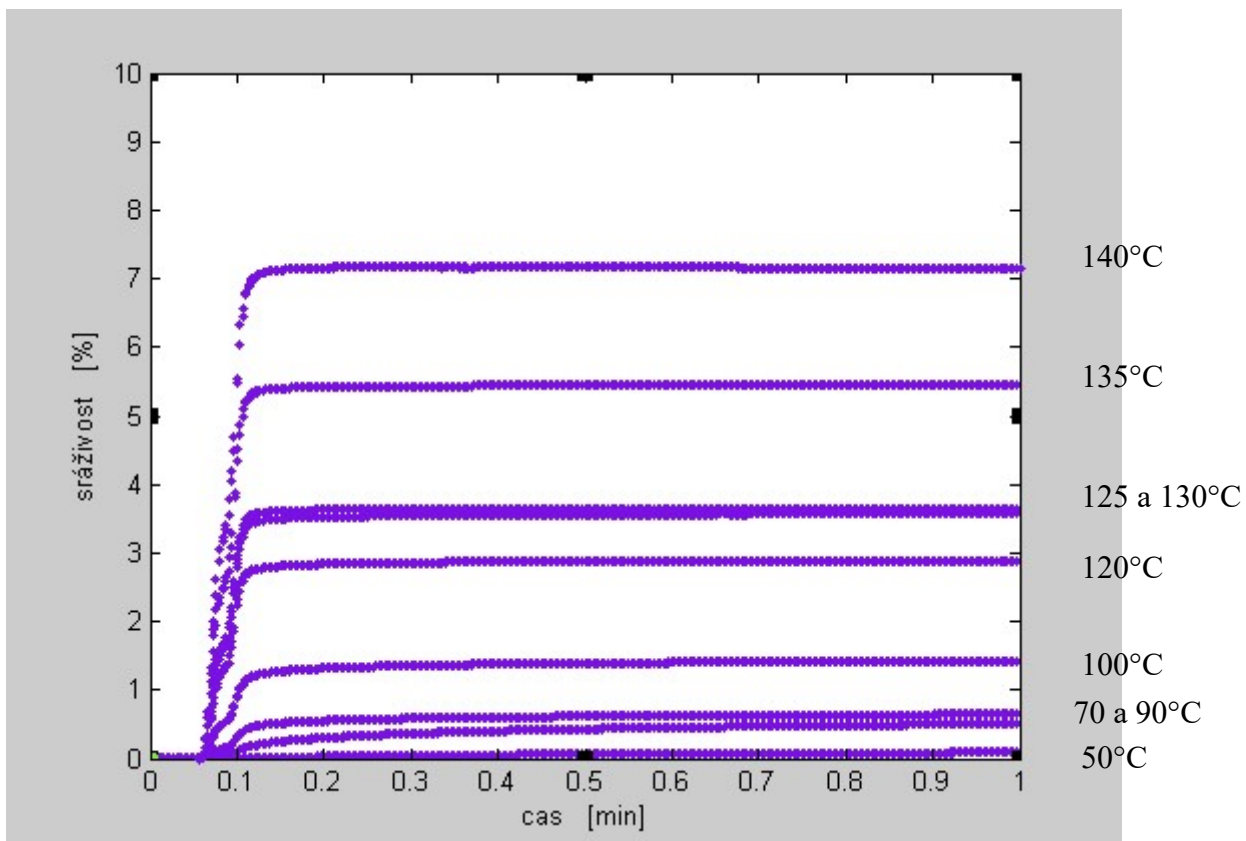
Obr.3a Kinetické křivky srážení PP monofilu 101-pop32S-MONO-NEFIX-místo 3



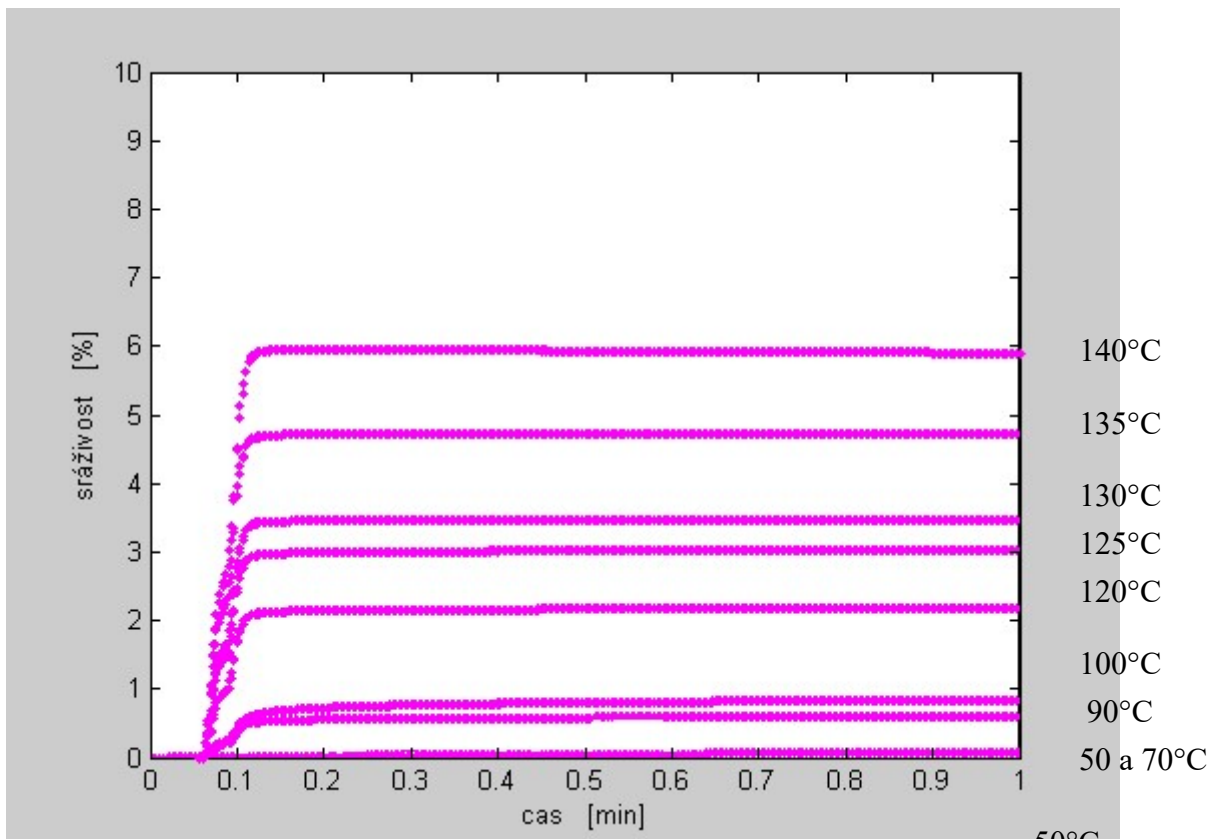
Obr.3b Kinetické křivky srážení POP monofilu 101-pop32S-MONO-NEFIX - cívka č.1, místo 2 při teplotě 140°C (dole) a 160°C (nahore)



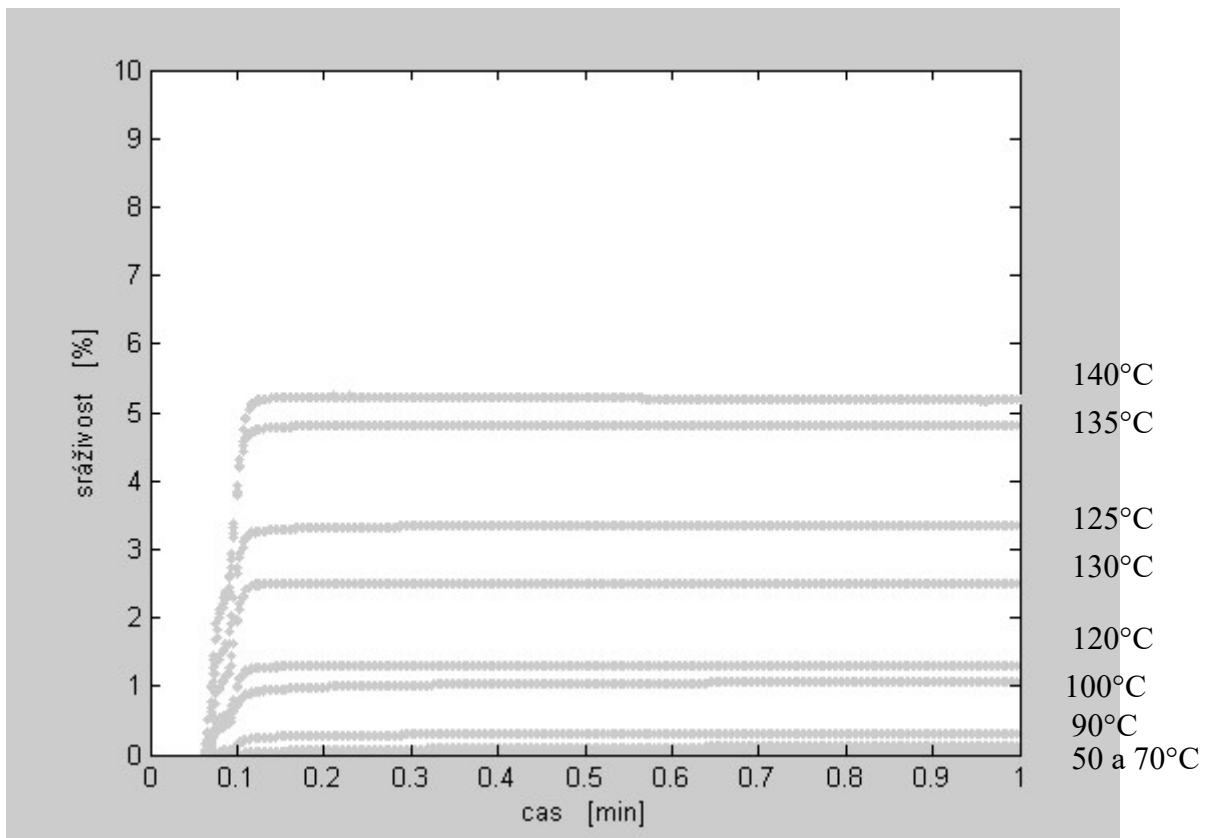
Obr.4 Kinetické křivky srážení PP monofilu 101-pop32S-MONO-NEFIX-místo 4



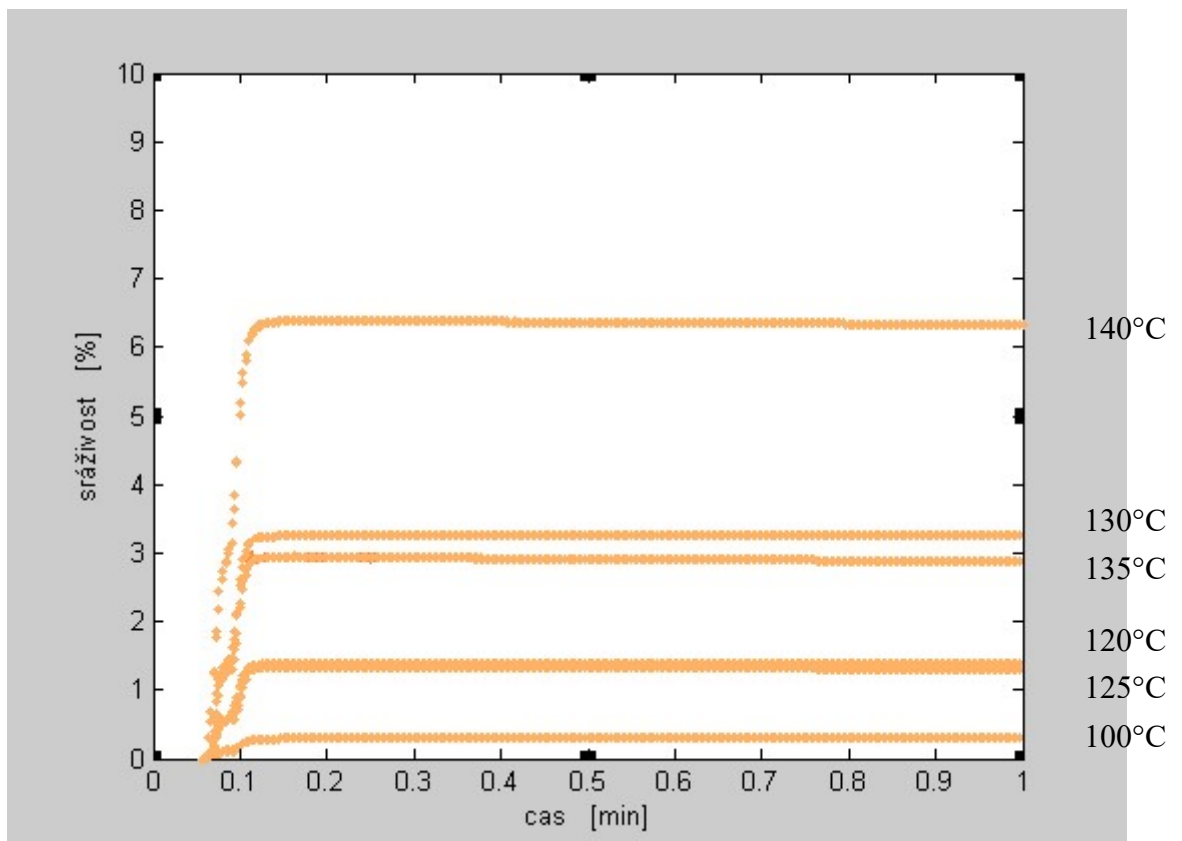
Obr.5 Kinetické křivky srážení PP monofilu 101-pop32S-MONO-NEFIX-místo 5



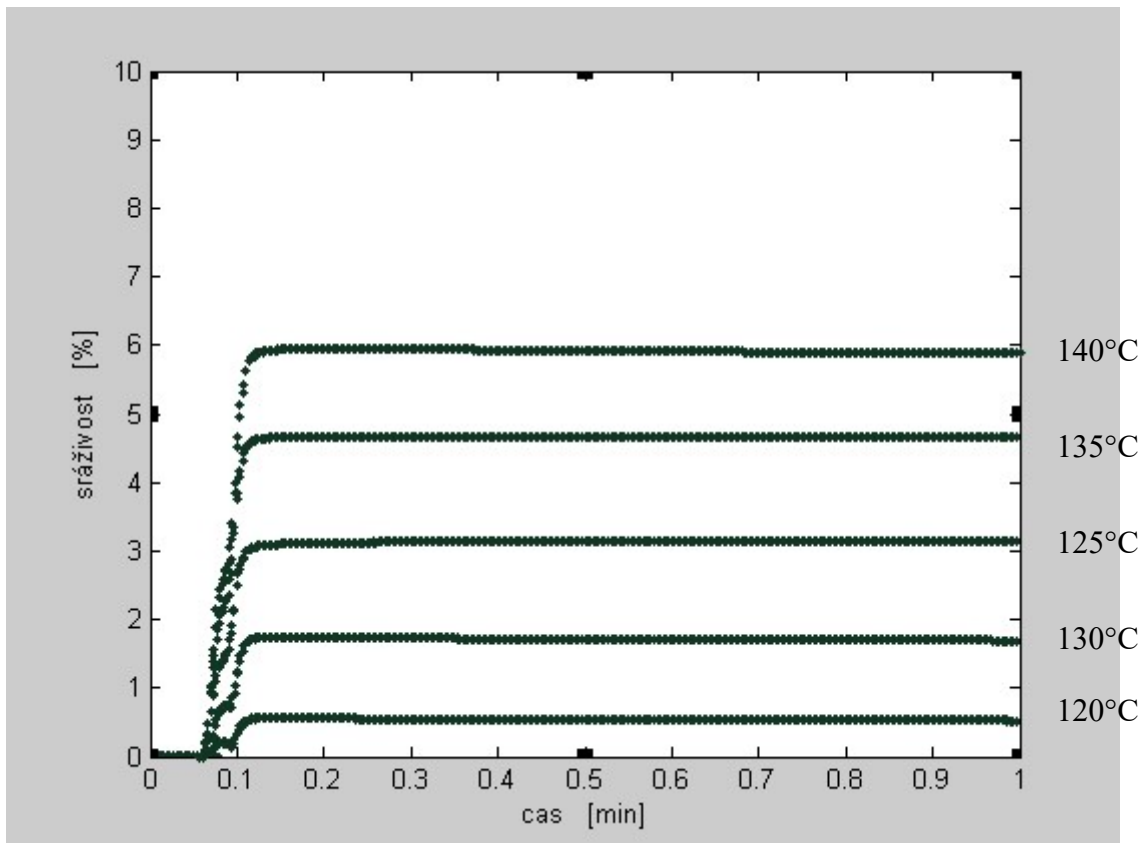
Obr.6 Kinetické křivky srážení PP monofilu 101-pop32S-MONO-NEFIX-místo 6



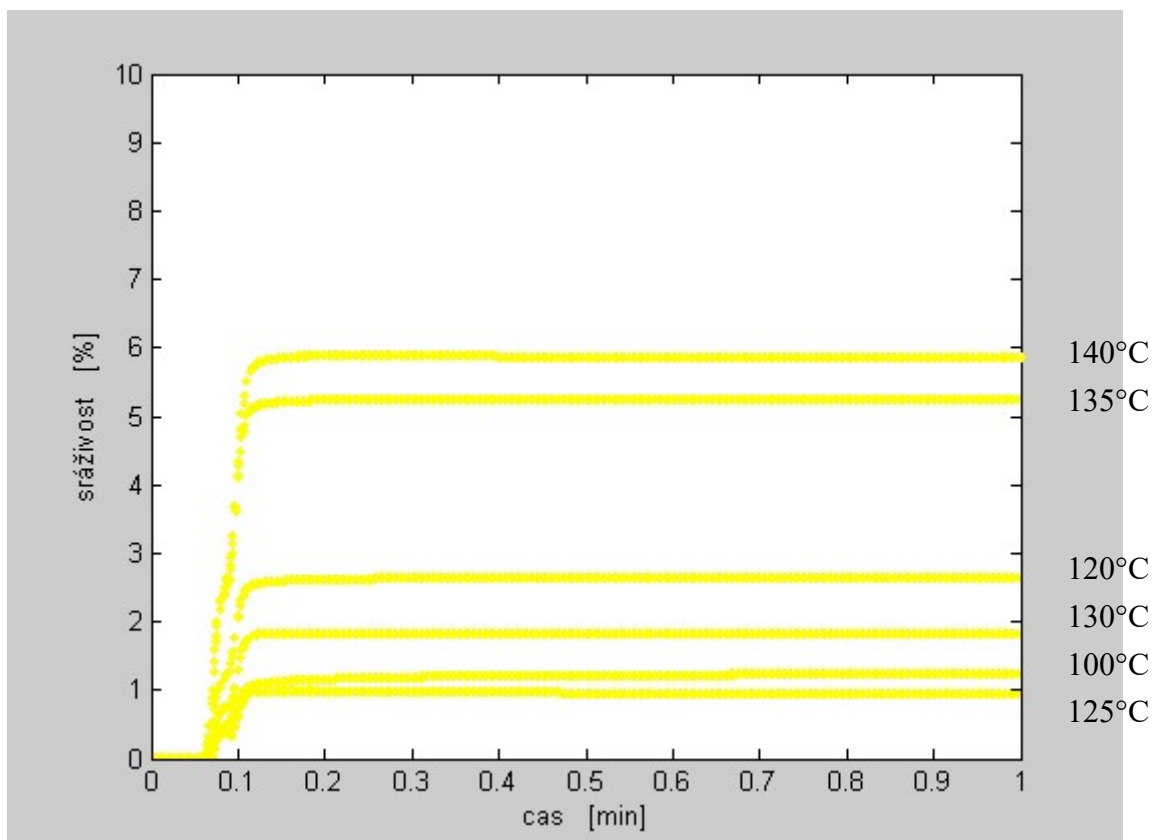
Obr.7 Kinetické křivky srážení PP monofilu 101-pop32S-MONO-NEFIX-místo 7



Obr.8 Kinetické křivky srážení PP monofilu 101-pop32S-MONO-NEFIX-místo 8

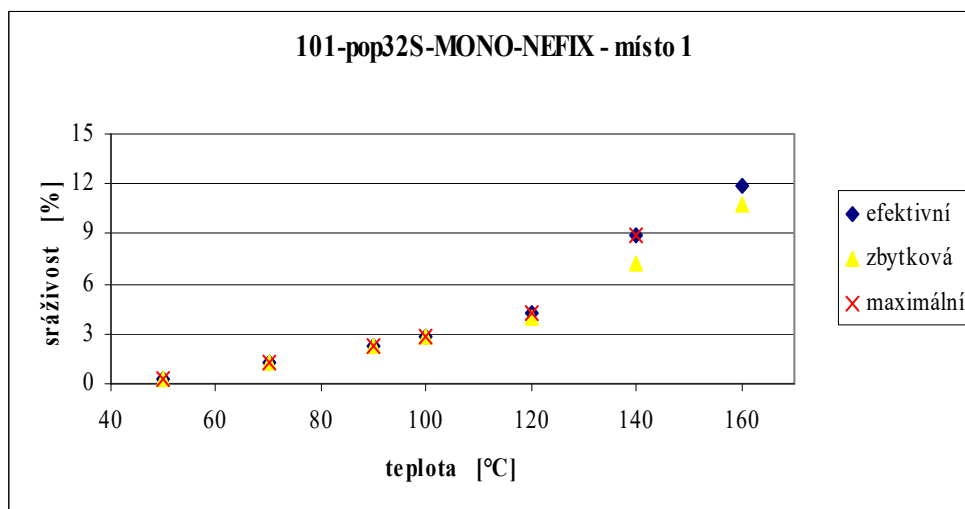


Obr.9 Kinetické křivky srážení PP monofilu 101-pop32S-MONO-NEFIX-místo 9

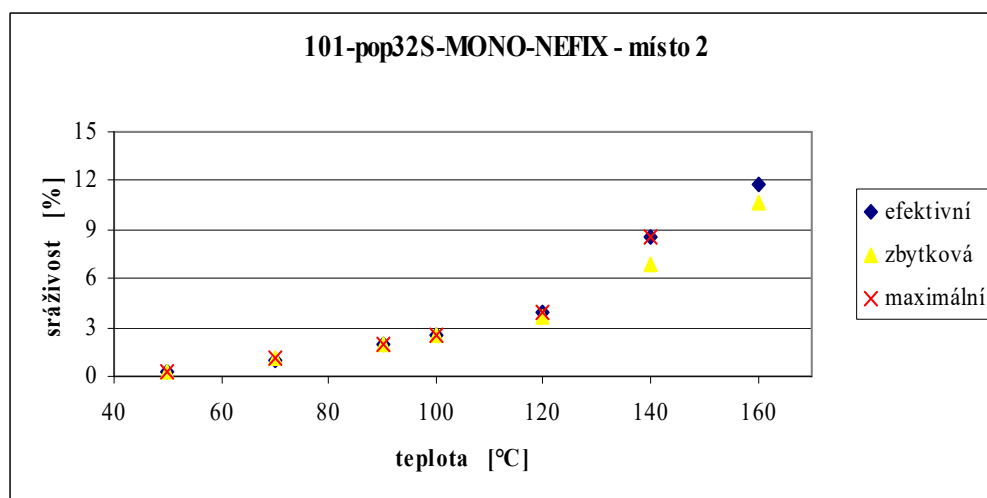


Obr.10 Kinetické křivky srážení PP monofilu 101-pop32S-MONO-NEFIX-místo 10

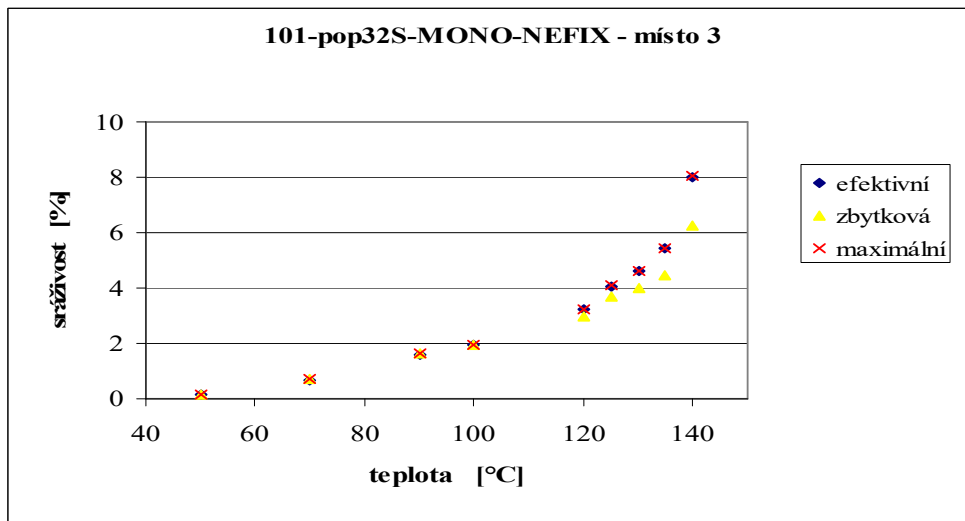
Příloha D



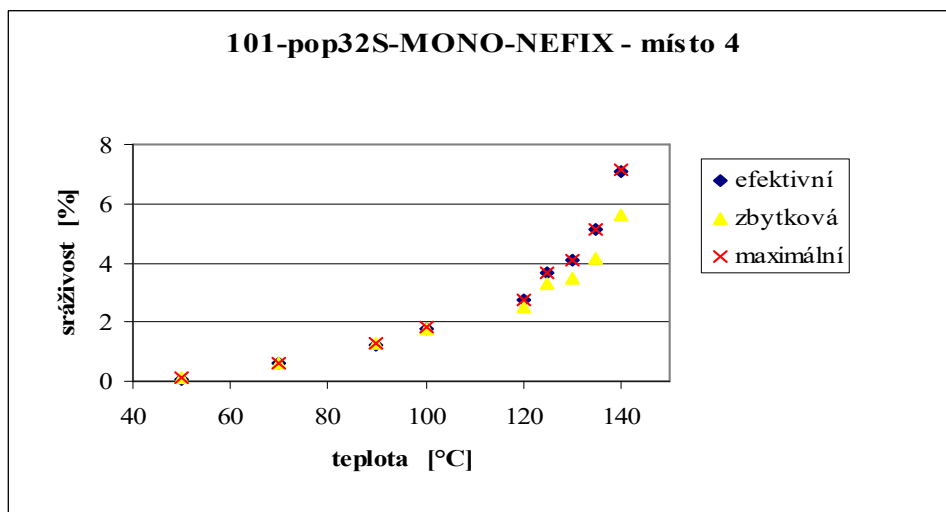
Obr.1 Maximální, efektivní a zbytková tepelná sráživost POP monofilu 101-pop32S-MONO-NEFIX - místo 1



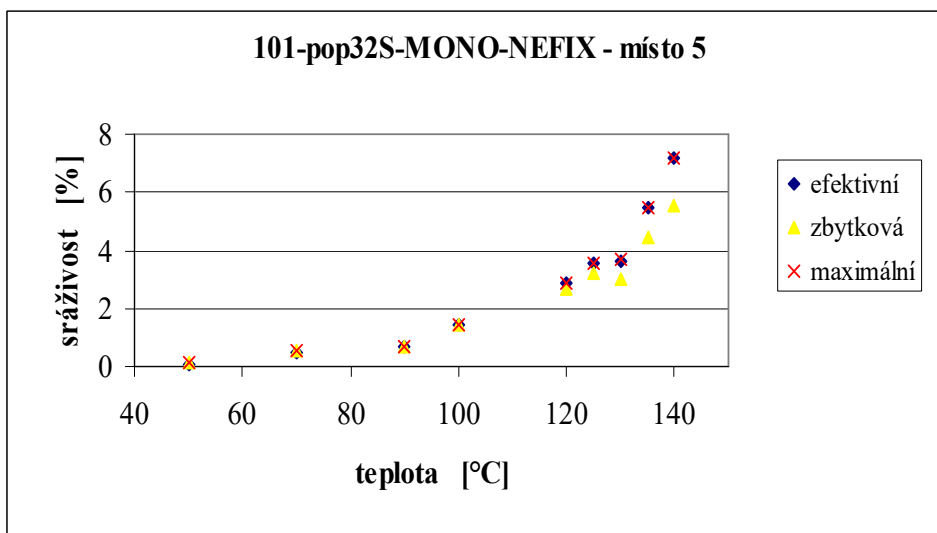
Obr.2 Maximální, efektivní a zbytková tepelná sráživost POP monofilu 101-pop32S-MONO-NEFIX - místo 2



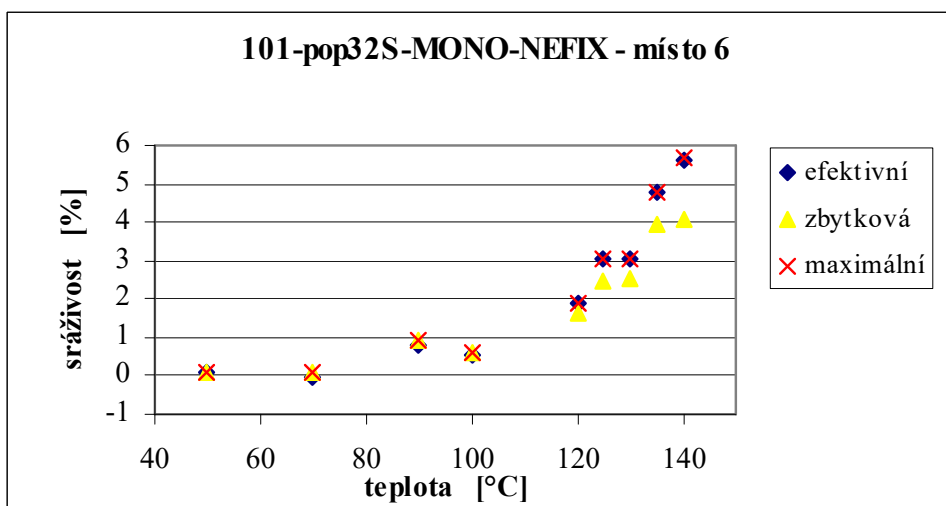
Obr.3 Maximální, efektivní a zbytková tepelná sráživost POP monofilu 101-pop32S-MONO-NEFIX - místo3



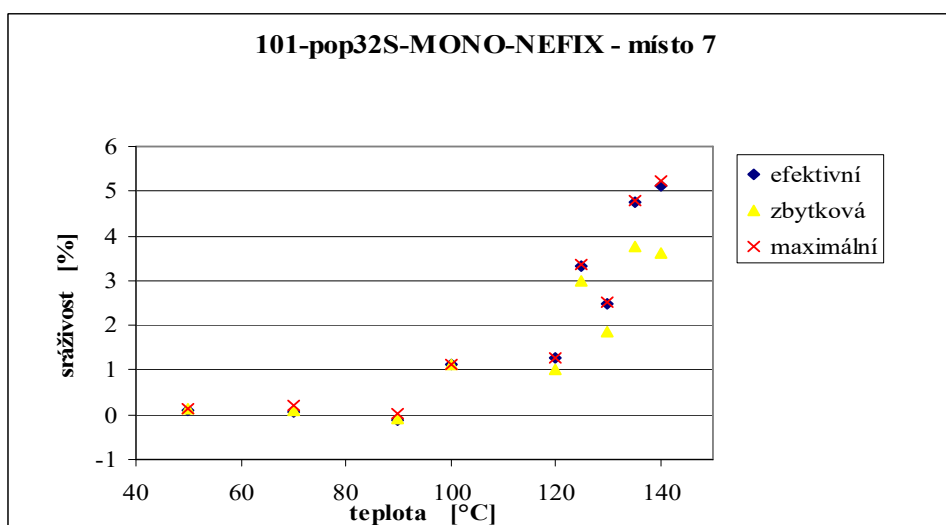
Obr.4 Maximální, efektivní a zbytková tepelná sráživost POP monofilu 101-pop32S-MONO-NEFIX - místo4



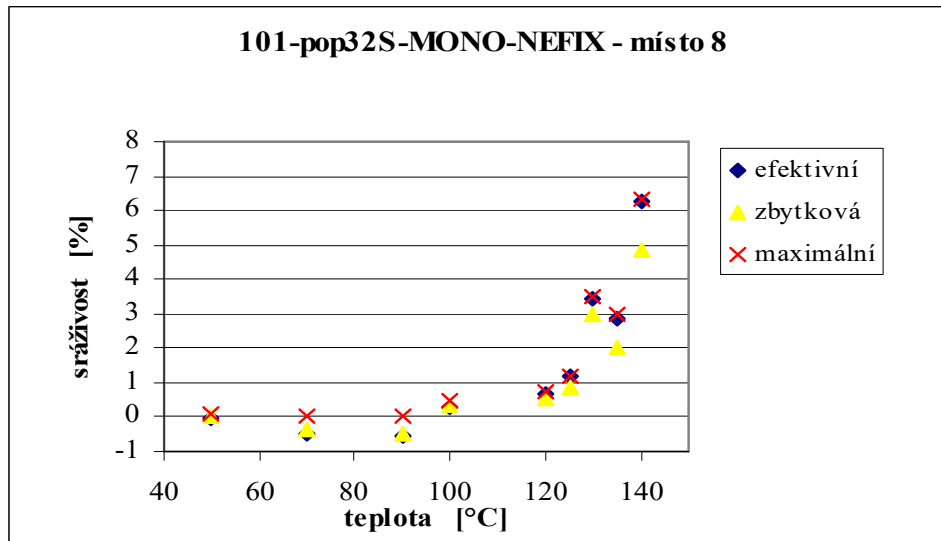
Obr.5 Maximální, efektivní a zbytková tepelná sráživost POP monofilu 101-pop32S-MONO-NEFIX - místo5



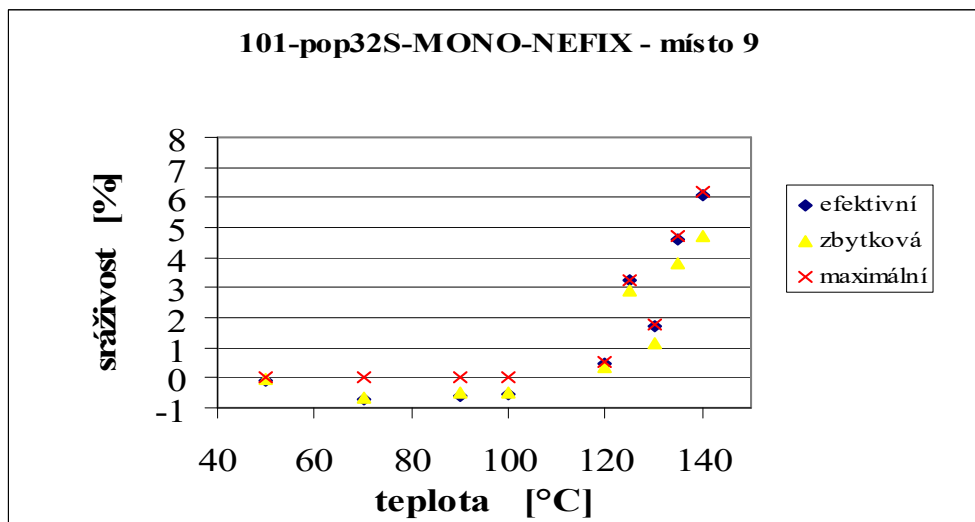
Obr.6 Maximální, efektivní a zbytková tepelná sráživost POP monofilu 101-pop32S-MONO-NEFIX - místo 6



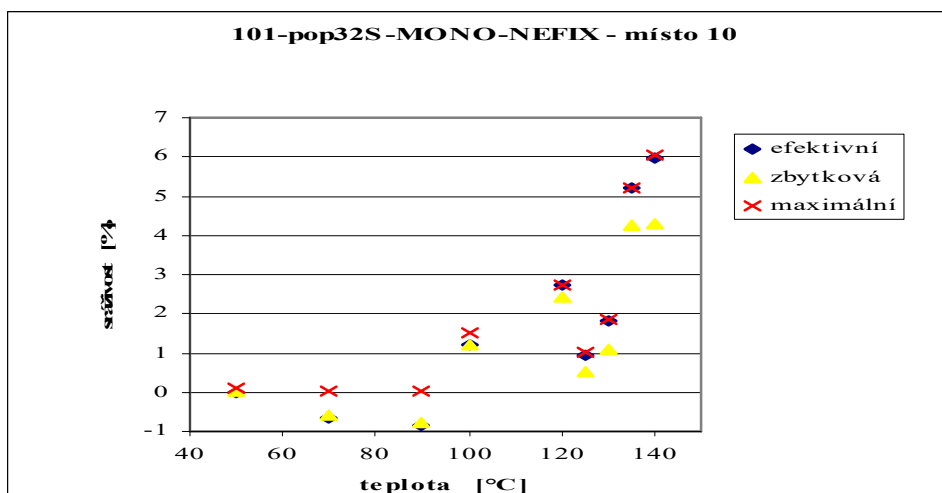
Obr.7 Maximální, efektivní a zbytková tepelná sráživost POP monofilu 101-pop32S-MONO-NEFIX - místo 7



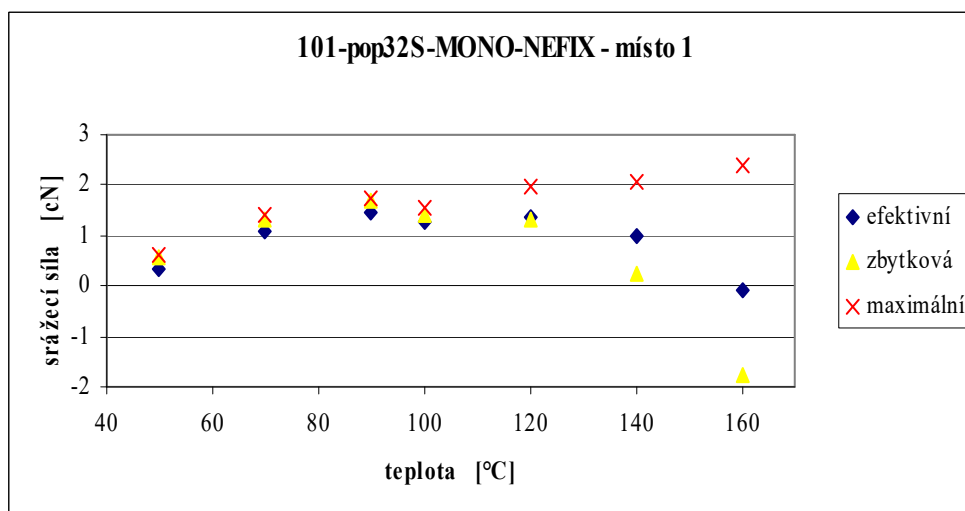
Obr.8 Maximální, efektivní a zbytková tepelná sráživost POP monofilu 101-pop32S-MONO-NEFIX - místo 8



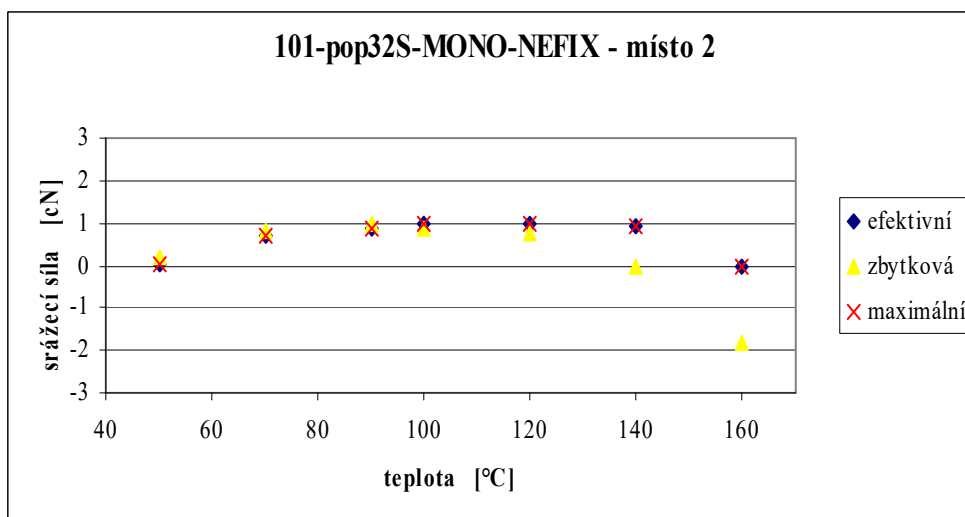
Obr.9 Maximální, efektivní a zbytková tepelná sráživost POP monofilu 101-pop32S-MONO-NEFIX - místo 9



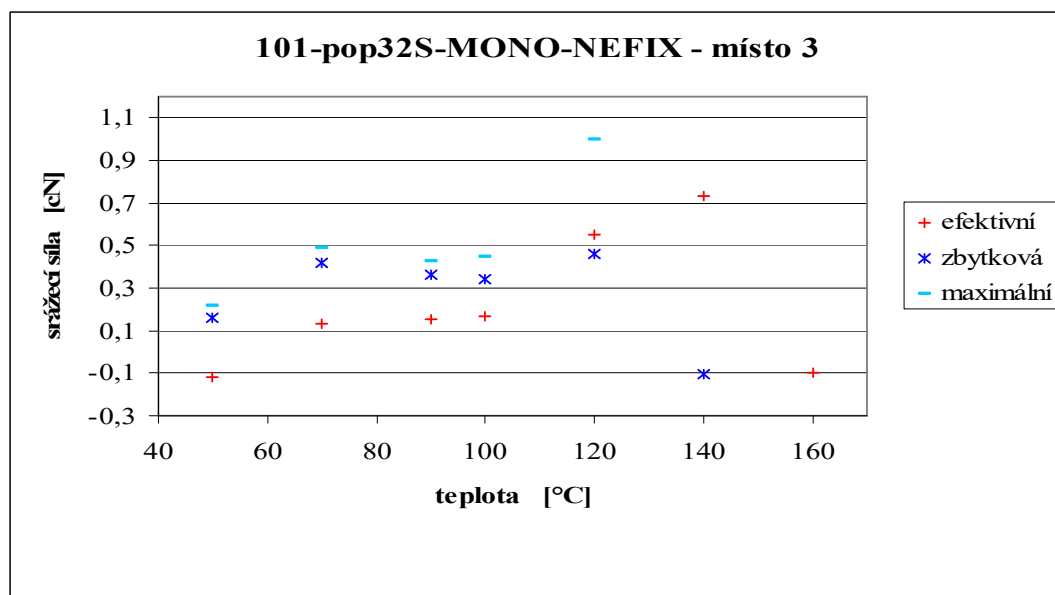
Obr.10 Maximální, efektivní a zbytková tepelná sráživost POP monofilu 101-pop32S-MONO-NEFIX - místo 10



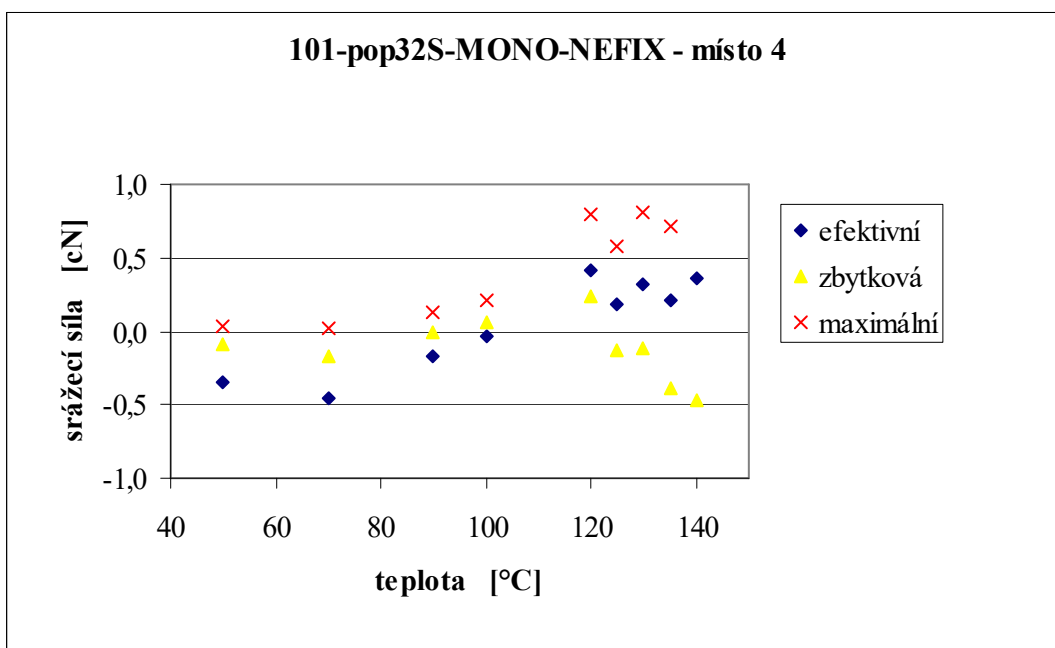
Obr.11 Maximální, efektivní a zbytková srážecí síla POP monofilu 101-pop32S-MONO-NEFIX - místo 1



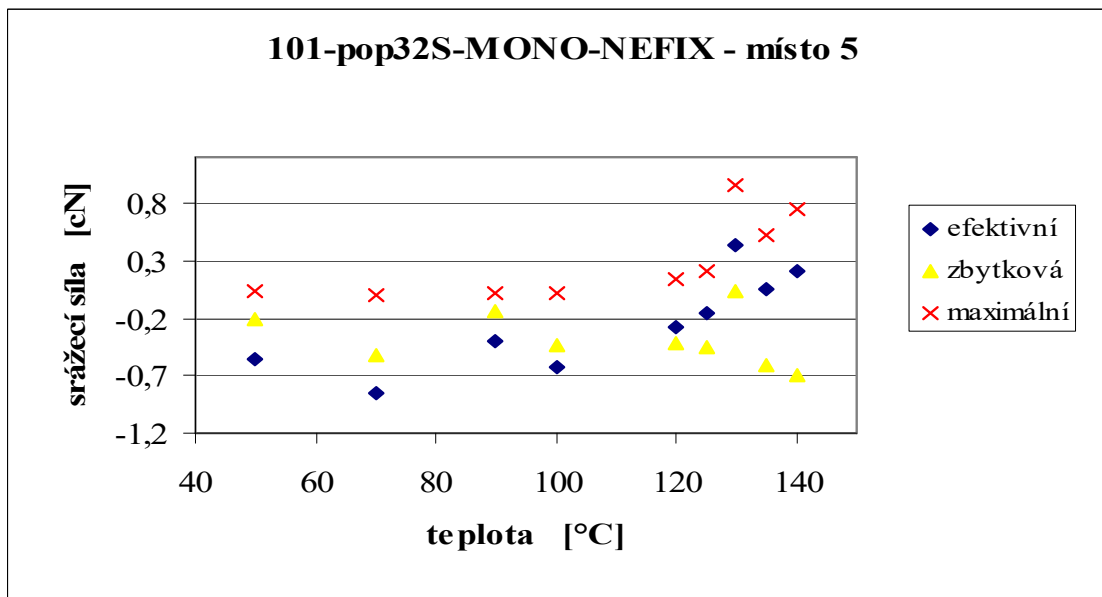
Obr.12 Maximální, efektivní a zbytková srážecí síla POP monofilu 101-pop32S-MONO-NEFIX - místo 2



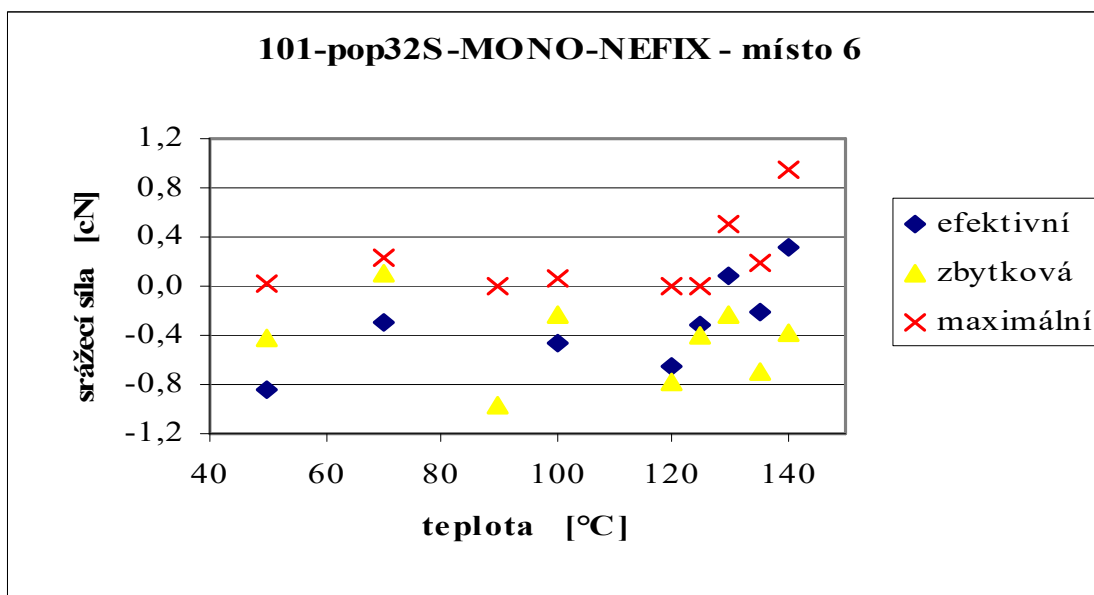
Obr.13 Maximální, efektivní a zbytková srážecí síla POP monofilu 101-pop32S-MONO-NEFIX - místo 3



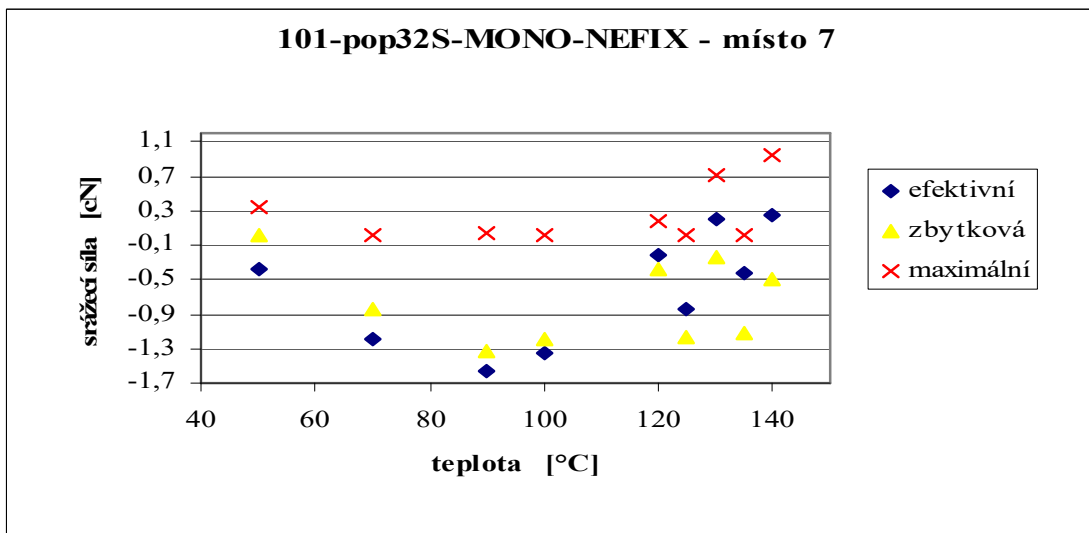
Obr.14 Maximální, efektivní a zbytková srážecí síla POP monofilu 101-pop32S-MONO-NEFIX - místo 4



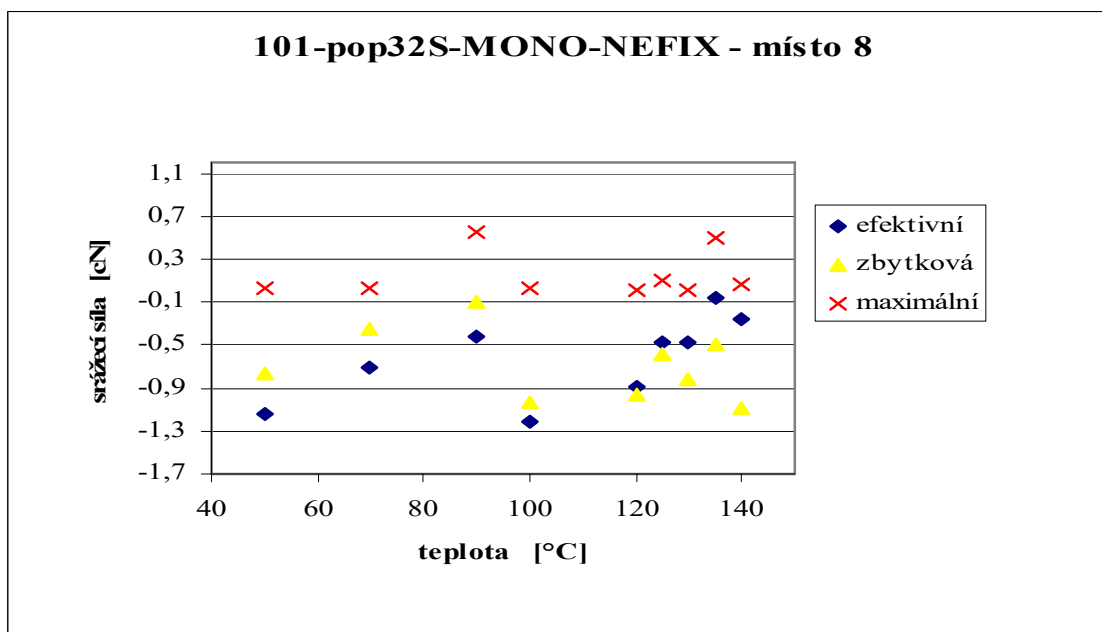
Obr.15 Maximální, efektivní a zbytková srážecí síla POP monofilu 101-pop32S-MONO-NEFIX - místo 5



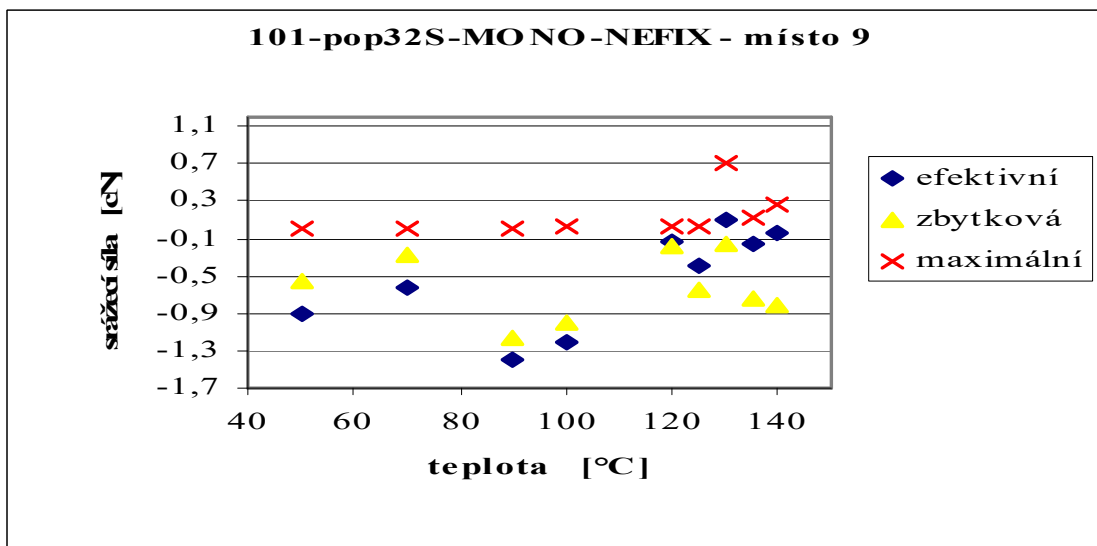
Obr.16 Maximální, efektivní a zbytková srážecí síla POP monofilu 101-pop32S-MONO-NEFIX - místo 6



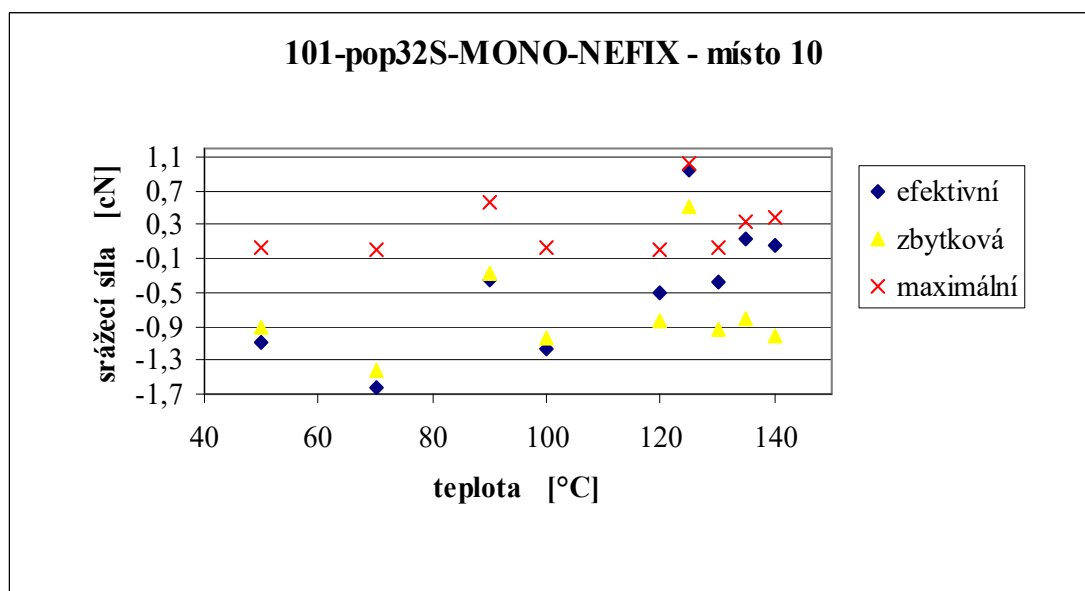
Obr.17 Maximální, efektivní a zbytková srážecí síla POP monofilu 101-pop32S-MONO-NEFIX - místo 7



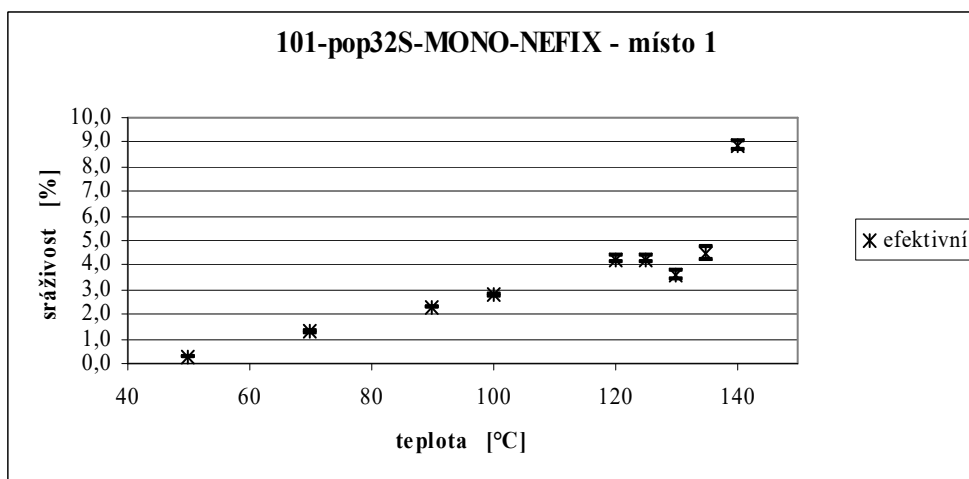
Obr.18 Maximální, efektivní a zbytková srážecí síla POP monofilu 101-pop32S-MONO-NEFIX - místo 8



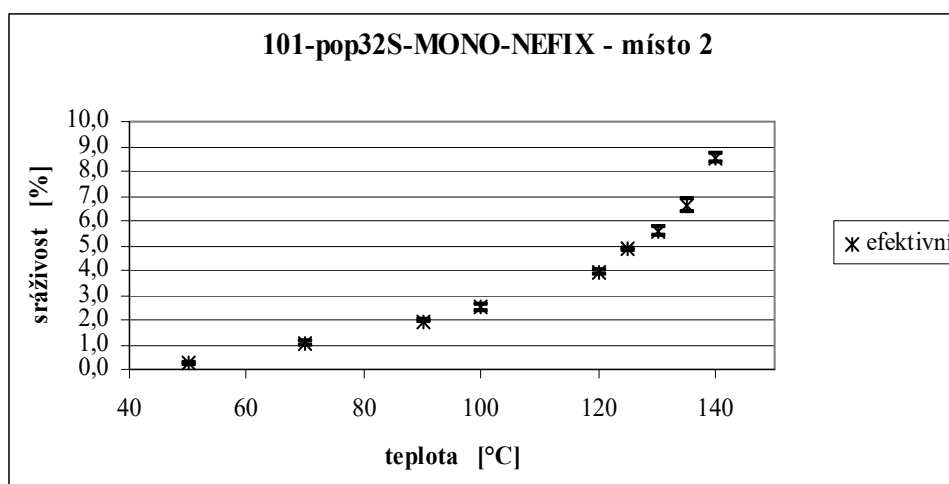
Obr.19 Maximální, efektivní a zbytková srážecí síla POP monofilu 101-pop32S-MONO-NEFIX - místo 9



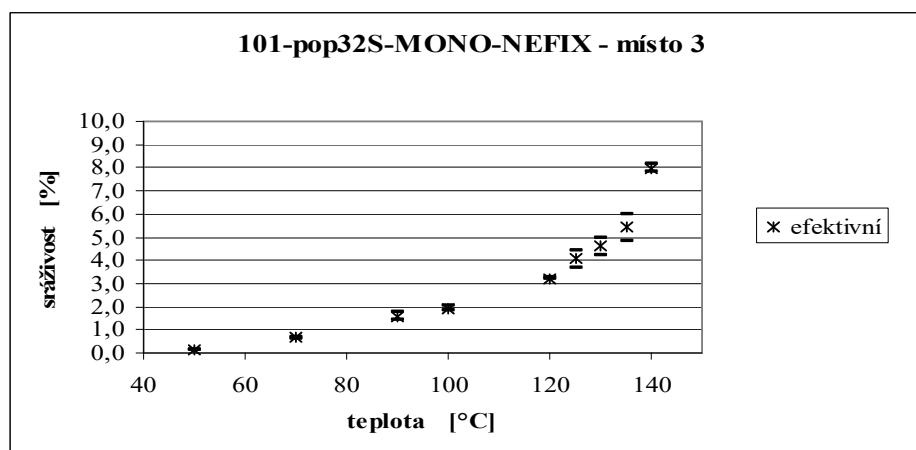
Obr.20 Maximální, efektivní a zbytková srážecí síla POP monofilu 101-pop32S-MONO-NEFIX - místo 10



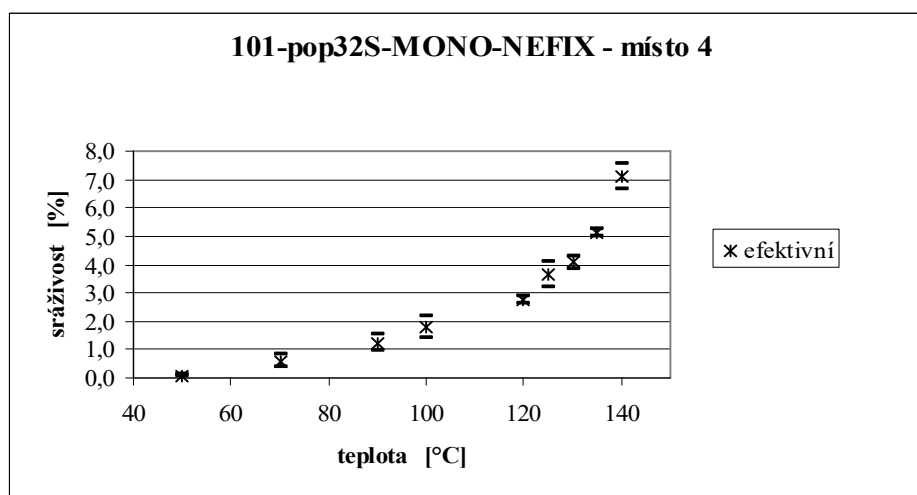
Obr.21 Efektivní sráživost POP monofilu 101-pop32S-MONO-NEFIX - místo 1



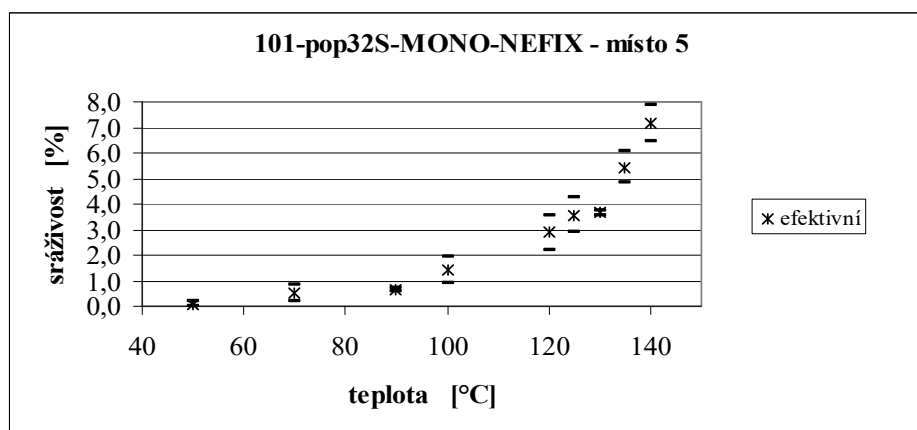
Obr.22 Efektivní sráživost POP monofilu 101-pop32S-MONO-NEFIX - místo 2



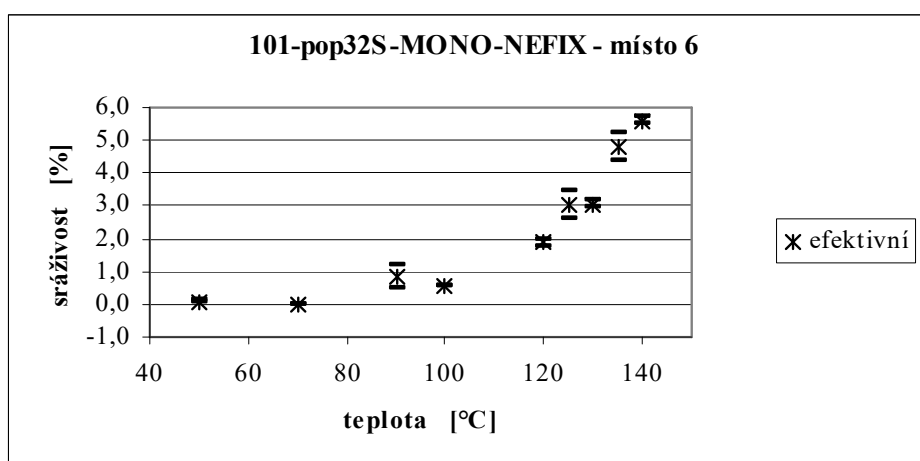
Obr.23 Efektivní sráživost POP monofilu 101-pop32S-MONO-NEFIX - místo 3



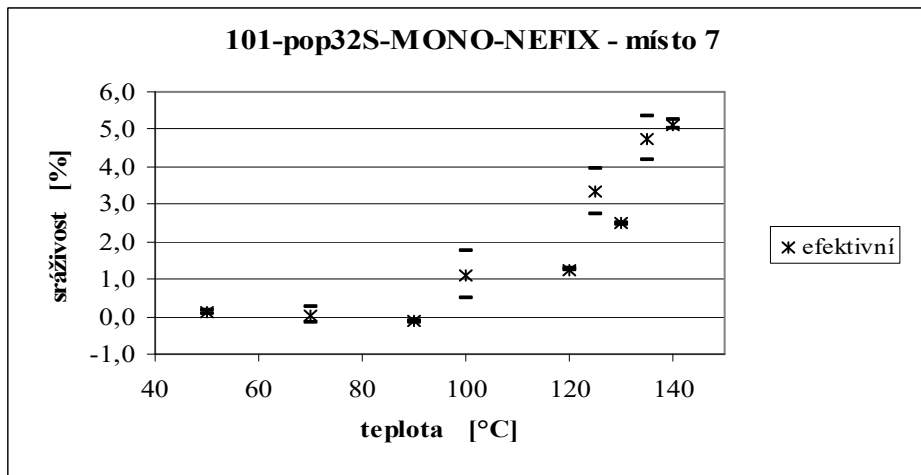
Obr.24 Efektivní sráživost POP monofilu 101-pop32S-MONO-NEFIX - místo 4



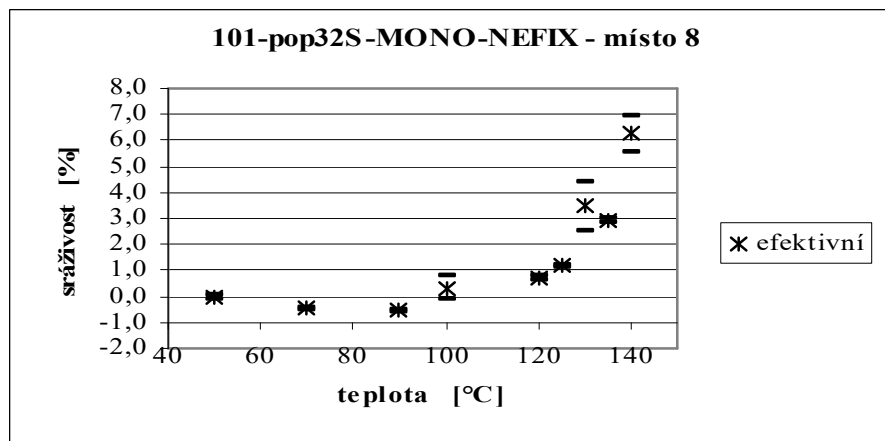
Obr.25 Efektivní sráživost POP monofilu 101-pop32S-MONO-NEFIX - místo 5



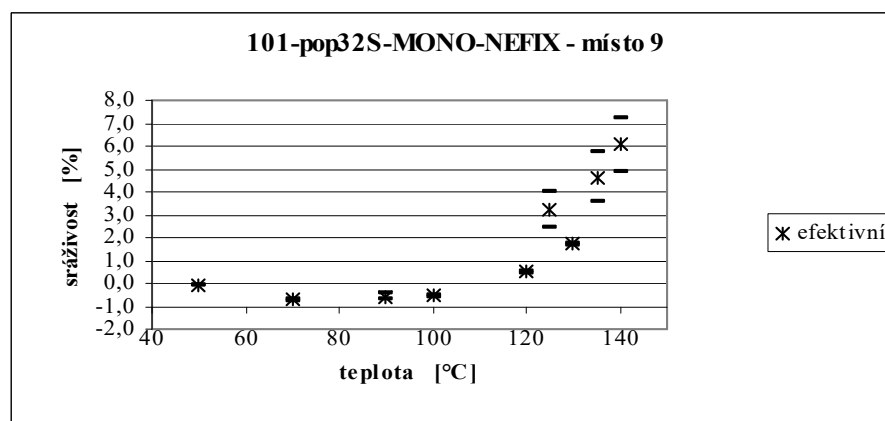
Obr.26 Efektivní sráživost POP monofilu 101-pop32S-MONO-NEFIX - místo 6



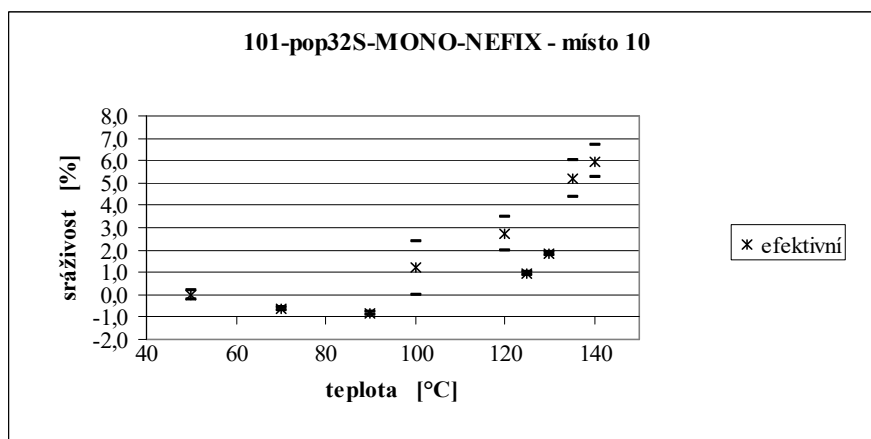
Obr.27 Efektivní sráživost POP monofilu 101-pop32S-MONO-NEFIX - místo 7



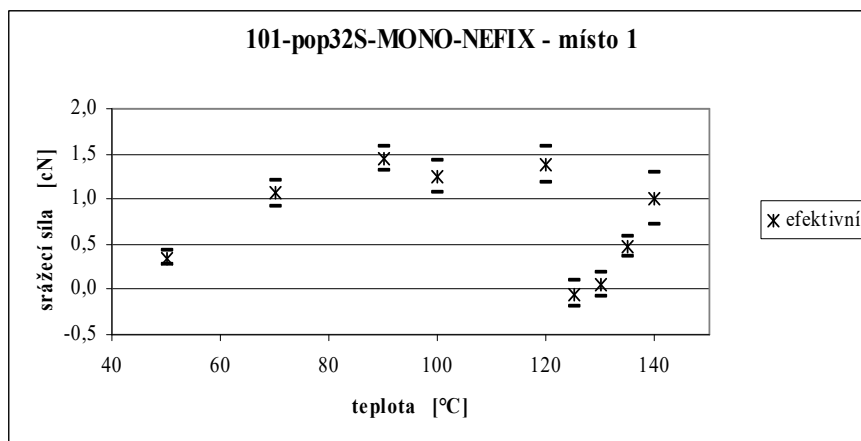
Obr.28 Efektivní sráživost POP monofilu 101-pop32S-MONO-NEFIX - místo 8



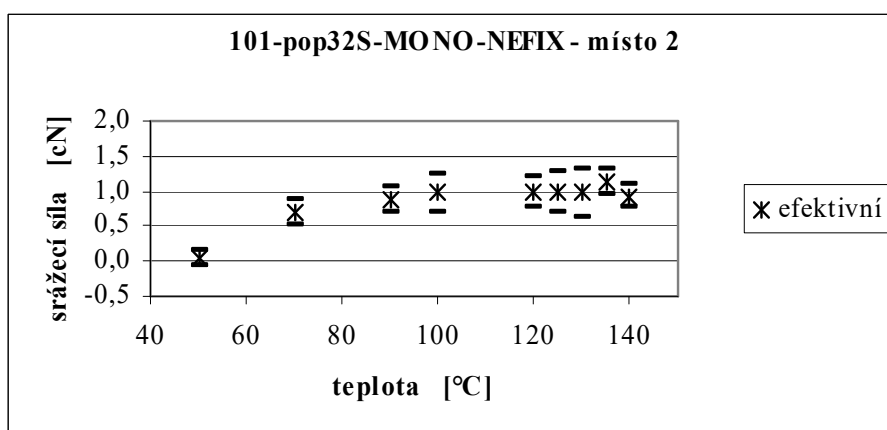
Obr.29 Efektivní sráživost POP monofilu 101-pop32S-MONO-NEFIX - místo 9



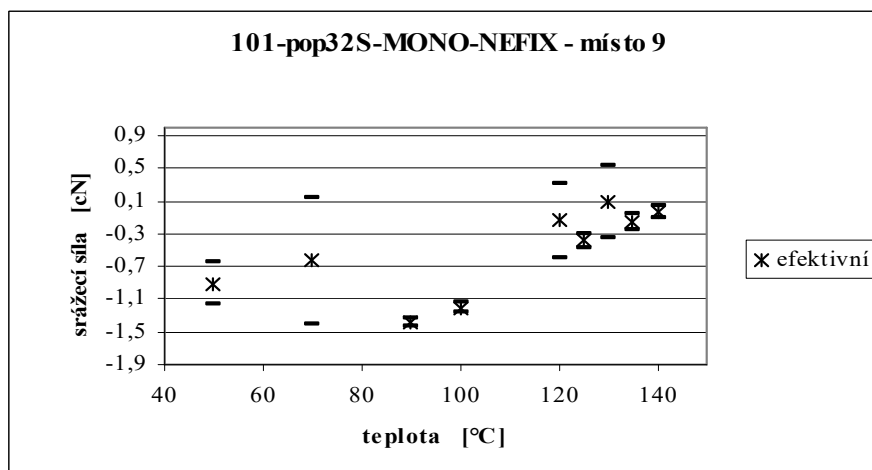
Obr.30 Efektivní sráživost POP monofilu 101-pop32S-MONO-NEFIX - místo 10



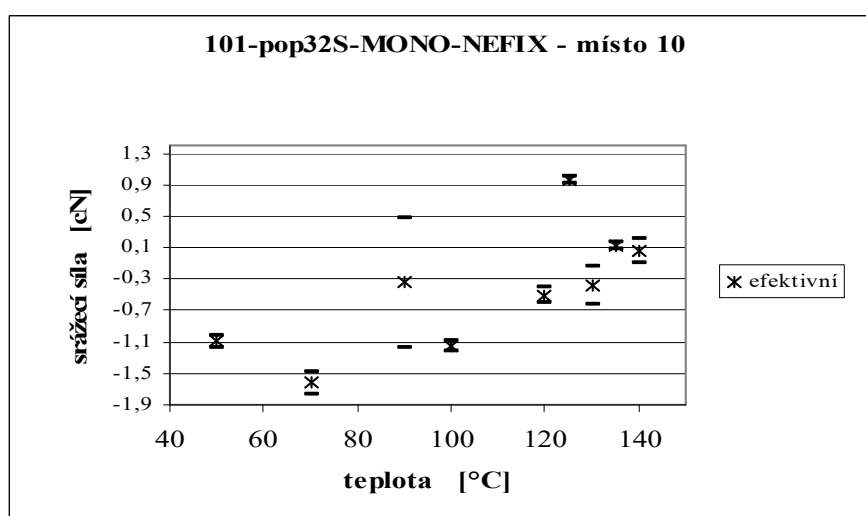
Obr.31 Efektivní srážecí síla POP monofilu 101-pop32S-MONO-NEFIX - místo 1



Obr.32 Efektivní srážecí síla POP monofilu 101-pop32S-MONO-NEFIX - místo 2



Obr.39 Efektivní srážecí síla POP monofilu 101-pop32S-MONO-NEFIX - místo 9



Obr.40 Efektivní srážecí síla POP monofilu 101-pop32S-MONO-NEFIX - místo 10