

Vlastnosti netkaných textilií upravených technologí infračerveného záření

Bakalářská práce

Studijní program: B 3107 – Textil

Studijní obor: Textilní technologie, materiály a nanomateriály

Autor práce: **Pavel Děkan**

Vedoucí práce: Ing. Jiří Chaloupek, Ph.D.





Properties of nonwovens treated by infrared technology

Bachelor's thesis

Study programme: B 3107 – Textile

Study branch: Textile technologies, materials a nanomaterials

Author: **Pavel Děkan**

Supervisor: Ing. Jiří Chaloupek, Ph.D.



Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně jako původní dílo s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Jsem si vědom toho, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu Technické univerzity v Liberci.

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

Současně čestně prohlašuji, že text elektronické podoby práce vložený do IS/STAG se shoduje s textem tištěné podoby práce.

Beru na vědomí, že má bakalářská práce bude zveřejněna Technickou univerzitou v Liberci v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů.

Jsem si vědom následků, které podle zákona o vysokých školách mohou vyplývat z porušení tohoto prohlášení.

29. května 2020

Pavel Děkan

Poděkování

Chtěl bych poděkovat především panu Ing. Jiřímu Chaloupkovi, PhD. za vedení práce a velkou porci trpělivosti. Další poděkování patří panu Bc. Filipu Sanetníkovi za všechnu pomoc, kterou mi poskytl při vypracování experimentální části této práce a společnosti Retex a.s., jež poskytla materiál pro vykonání experimentální části této práce.

Anotace

Tato bakalářská práce se zabývá infračerveným zářením a jeho využitím pro úpravy netkaných textilií.

V teoretické části jsou popsána základní fakta o infračerveném záření a jeho využití v různých odvětvích. Dále se zde nachází stručný popis výroby vlákněných vrstev a jejich zpevňování pomocí technologie vpichování a termického pojení za použití infračerveného záření.

Experimentální část se zabývá úpravou dané netkané textilie právě infračerveným zářením a jeho vlivem na vlastnosti této textilie. Sledovanými vlastnostmi jsou prodyšnost vzduchu, ohybová tuhost a pevnost a prodloužení v tahu.

Klíčová slova: infračervené záření, netkaná textilie, změna vlastností textilie

Annotation

This bachelor's thesis is focused on the infrared radiation and its use for treatment of nonwoven fabrics.

In theoretical part there are facts described about the infrared radiation and its use in different sectors. Further in the theoretical part there is a brief description of production of fibrous batts and their bonding by technologies of needlepunching and thermal bonding with the use of an infrared heater.

The experimental part focuses on treatment of the nonwoven fabric by infrared radiation and its effects on the properties of this fabric. The monitored properties are air permeability, flexural strength and tensile strength and elongation.

Key words: infrared radiation, nonwoven fabric, change of the fabric properties

Obsah

Úvod.....	9
TEORETICKÁ ČÁST	10
1. Infračervené záření	10
1.1 Historie.....	10
1.2 Využití	11
1.2.1 Medicína	11
1.2.2 Sledovací a zobrazovací technologie.....	12
1.2.3 Průmyslové technologie.....	12
1.2.4 Spektrometrie.....	13
1.2.5 Domácnosti	13
2. Netkané textilie	14
2.1 Výroba vlákenné vrstvy	14
2.2 Zpevňování vlákenné vrstvy technologií vpichování	15
2.2.1 Základní parametry procesu.....	16
2.3 Zpevňování vlákenné vrstvy infračerveným zářením.....	18
PRAKTICKÁ ČÁST	19
3. Popis experimentu.....	19
3.1 Příprava vzorků.....	20
3.2 Sledování teploty	20
3.3 Měření vlastností.....	23
3.3.1 Prodyšnost.....	23
3.3.2 Ohybová tuhost	23
3.3.3 Pevnost a prodloužení v tahu	24
4. Vyhodnocení výsledků	25
4.1 Prodyšnost.....	25
4.2 Ohybová tuhost	26
4.3 Pevnost a prodloužení v tahu	27
Závěr	30
Literatura a reference	31
Příloha.....	33

Úvod

Netkané textilie jsou součástí každodenního života. Setkáváme se s nimi v domácnosti ve formě hygienických potřeb (dětské pleny, intimní vložky, ubrousky), či domácího textilu. Veliké zastoupení mají především ve zdravotnictví (roušky, ochranné obleky, tampóny atp.), automobilovém průmyslu (rohožky, interiérové výstelky, izolace), stavebnictví (geotextilie, tepelné izolace), zemědělství (agrotexilie) nebo jako filtrační materiály.

Existuje mnoho způsobů výroby vlákněných vrstev pro netkané textilie – mykání, mokrá cesta (technologie wetlaid), suchá cesta (technologie airlaid), melt-blown, spunbond a elektrostatické zvlákňování. Vzhledem k tomu, že vlákněné vrstvy drží pospolu jen díky třecím silám mezi vlákny, je třeba jejich zpevnění. Za tímto účelem jsou používány tři základní mechanismy pojení NT – mechanické pojení (proplétání, vpichování a technologie spunlace), chemické pojení (impregnací, pěnou, nebo postříkem) a pojení termické (kalandrováním, plstěním, teplovzdušně, ultrazvukem a infračerveným zářením).

Pro každou výrobní a zpevňovací technologii je dobré znát její vliv na vlastnosti vlákněné vrstvy. Základními vlastnostmi jsou například ohybová tuhost, prodyšnost vzduchu, pevnost v tahu atd.

TEORETICKÁ ČÁST

1. Infračervené záření

Infračervené záření, dále pouze IR (z anglického *infrared*) je typem zářivé energie, která je neviditelná pro lidské oko, ale je možné ji cítit jako teplo. V elektromagnetickém spektru zaujímá místo mezi viditelným světlem a mikrovlnami s vlnovou délkou přibližně mezi 760 nm a 1 mm a s frekvencí v rozmezí zhruba 0,003-400 THz [1]. Zdrojem IR záření je jakýkoliv objekt s teplotou vyšší, než absolutní nula (= 0 K, nebo $-273,15^{\circ}\text{C}$), a to díky vibraci, či rotaci chemických vazeb mezi atomy a molekulami. Například 50 % zářivé energie Slunce je emitováno jako IR záření [2]. IR záření se obecně ještě dělí na jednotlivá pásma:

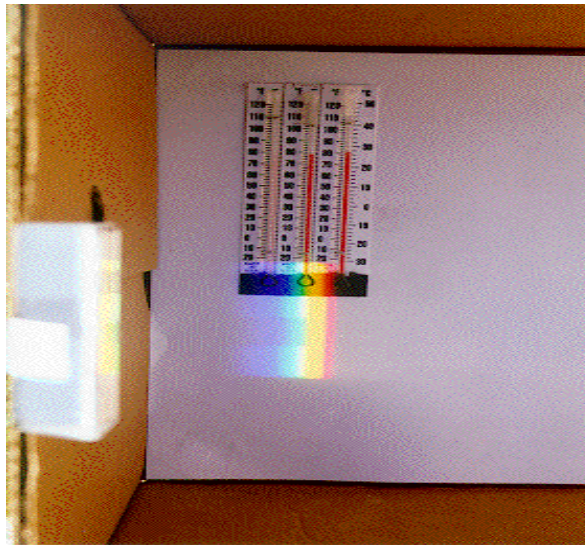
- blízké IR (NIR) – vlnová délka 0,76 – 1,4 μm ,
- IR s krátkou vlnovou délkou (SWIR) – vlnová délka 1,4 – 3 μm ,
- IR se střední vlnovou délkou (MWIR) – vlnová délka 3 – 8 μm ,
- IR s dlouhou vlnovou délkou (LWIR) – vlnová délka 8 – 15 μm ,
- vzdálené IR (FIR) – vlnová délka 15 – 1000 μm [3].

1.1 Historie

Prvním, kdo experimentálně objevil IR záření, byl britský astronom William Herschel (1738-1822). Dokázal to za pomoci rozkladu světla (slunečních paprsků) na základní barvy skleněným hranolem. V jednotlivých barevných částech světla byl umístěn teploměr. Tímto bylo zjištěno, že nejvyšší teplotu má červená část viditelného spektra elektromagnetického záření, překvapením ovšem bylo, že teploměr, který byl umístěn za hranicí červeného spektra, ukazoval teplotu ještě vyšší, což Herschela vedlo k důkazu existence neviditelného záření, které přenáší teplo [2][4].

Dobou rozmachu průmyslového využití IR záření, jako tepelného zdroje, bylo období druhé světové války, kdy se za pomoci polí žárovek sušila barva a lak na vojenském vybavení. Výhodou této technologie, oproti technologii proudivého tepla s pevnými zdroji paliv, byla rychlost schnutí, což zvyšovalo výrobní produkci. V poválečném období pozvolně pokračoval nástup technologií využívajících IR záření. Dalším obdobím průmyslového rozmachu byla 50. léta 20. století, kdy byl projeven

zájem o IR technologie ze strany výrobců motorových vozidel pro linky na sušení barvy karoserií [5].



Obr. 1 Jednoduchý experiment důkazu existence IR záření podle původního experimentu Williama Herschela [6].

1.2 Využití

Vzhledem k tomu, že pro IR záření platí stejné optické zákony jako pro viditelné světlo, je tedy možné sestavovat optické soustavy za použití čoček a zrcadel. To, že prakticky každý objekt vyzařuje IR záření, umožňuje využití sledovací techniky, citlivé na IR vlnové délky, pro vidění ve tmě. V medicíně je IR záření využíváno pro jeho schopnost přenosu tepla. Díky této vlastnosti je také využíváno v průmyslu při schnutí laků a barev nebo k tavení termoplastických materiálů. V domácnosti IR technologie nachází uplatnění zejména při vytápění prostor, v dálkových ovladačích a někdy při ohřevu potravin.

1.2.1 Medicína

V oboru medicíny je IR záření využíváno jako zdroj tzv. suchého tepla. Svým působením zvyšuje roztažitelnost kolagenních vláken, snižuje ztuhlost kloubních spojení, snižuje bolestivost, zlepšuje vstřebávání tělních edémů a snižuje zánětlivou reakci organismu. Použitím tohoto tepla dochází i ke zlepšení prokrvení a zrychlení metabolických procesů v oblasti působení. Toto je důvodem, proč je IR záření oblíbené při rehabilitačních procesech svalové hmoty po vysoké fyzické zátěži [7].

1.2.2 Sledovací a zobrazovací technologie

Existují dvě základní využití IR záření pro zobrazovací a sledovací technologie.

První technologií jsou termokamery. Tyto přístroje dokáží zachytit tepelné záření emitované objekty. K tomu jsou využívány mikrobolometry umístěné v kameře, které zachycují tepelné záření na povrch polovodivého filmu (nejčastěji amorfni křemík, nebo oxidy vanadu) a pro každý jeden pixel obrazu je připojen jeden mikrobolometr. Zahříváním filmu dochází ke změně jeho elektrického odporu. Změna odporu je změřena a převedena na teplotu, která již dále může být použita pro vytvoření obrazu [8]. Termokamery jsou využívány například pro hlídání teplot elektronických součástek, když není možné použít běžný teploměr, hledání ztracených, či hledaných osob, nebo například ve stavebnictví jsou využívány pro kontrolu úniku tepla z budov.

Druhou zobrazovací technologií využívající IR záření jsou kamery s tzv. nočním viděním. Ke svému fungování potřebují vlastní zdroj IR záření (vlnová délka velmi blízká viditelnému světlu, tzn. NIR a SWIR), které sice lidské oko nevidí, ale kamery ho dokáží zachytit. Principem tedy je osvětlování tmavých prostor IR zářením a následným zachycováním zpětně odraženého záření v objektivu kamery [9].

1.2.3 Průmyslové technologie

V průmyslovém odvětví jsou IR tepelné zdroje dosti oblíbené hlavně díky vysokým produkčním rychlostem a bezkontaktnímu nahřívání mezi zdrojem a nahříváním objektem.

Jednou velice oblíbenou technologií je svařování termoplastů. Díky tomu, že IR zářiče mohou být vyrobeny ve tvaru specificky odpovídajícím tvaru svařovaného kusu, zvyšuje se efektivita nahřívání tím, že teplo je směřováno přímo na potřebné místo.

Dalším oblíbeným využitím je urychlování schnutí a tvrzení barev a laků. Výhodou IR zářičů v tomto odvětví je hlavně možnost regulace výkonu a emitovaných vlnových délek v závislosti na optimální podmínky daných barev, které se mohou pokaždé trochu lišit.

V potravinovém průmyslu se IR zářiče využívají například pro tepelnou předúpravu instantních pokrmů, nebo při zpracování čokolády [10].

1.2.4 Spektrometrie

IR spektrometrie je analytickým nástrojem pro zjišťování chemického složení látek. Jedná se o analýzu IR záření interagujícího s atomy a molekulami. Interakce mezi zářením a atomem, či molekulou lze analyzovat třemi způsoby, a to pomocí měření absorpce, emise a odrazu záření. V chemii se využívá pro určení funkčních skupin v molekule [11].

1.2.5 Domácnosti

V domácnostech se IR technologie dají nalézt v zařízeních pro ohřev potravin a celkově jako vytápění bytových, či kancelářských prostor. Výhodou, oproti systémům vytápění využívajících proudění tepla (běžné domácí radiátory fungující na principu ohřevu vody, která pak přes žebrování radiátoru ohřívá okolní vzduch), je nižší čas, za který se daný prostor ohřeje a nižší energetická ztrátovost při průchodu vody potrubím topení. IR zářiče dokáží vyzářit až 90 % energie ve formě tepla, zbylých 10 % je ve formě viditelného světla [1].

Využití optických vlastností IR záření se dá nalézt v dálkových ovladačích, například pro televizory, kdy ovládací zařízení vysílá impulzy IR energie ze světelné diody v závislosti na povelu uživatele. Přijímač v televizoru následně převádí zachycené impulzy na elektrické signály, které dále putují do mikroprocesoru, který informaci z přijímače vyhodnotí a provede úkon [1].

2. Netkané textilie

Netkané textilie (dále jen NT) jsou definovány jako „*vrstva vyrobená z jednosměrně nebo náhodně orientovaných vláken, spojených třením a/nebo kohezí a/nebo adhezí s výjimkou papíru a výrobků vyrobených tkaním, pletením, všíváním, proplétáním nebo plstěním*“. NT se využívají například jako:

- zdravotnické pomůcky (jednorázové obleky a roušky, potřeby pro osobní hygienu dětí i dospělých),
- filtry plynů a kapalin,
- tepelně izolační materiály v oděvnictví, stavebnictví a automobilovém průmyslu,
- geotextilie (stavby vozovek, budování drenáží, ochrana svahů před erozí, ...),
- agrotexilie (ochrana rostlin proti hmyzu a jiným škůdcům, zábrana proti vysychání půdy, ...) [12][13].

2.1 Výroba vlákenné vrstvy

Výroba vlákenné vrstvy se dělí na dva základní principy – mokrá a suchá cesta. Výběr výrobní technologie je závislý na materiálovém původu vlákna a jeho délky, nebo na zvoleném cílovém produktu, protože ne všechny výrobní technologie jsou vhodné pro zamýšlené využití NT.

Mokrá cesta je proces výroby NT, který je odvozen od výrobního postupu pro papír. Jedná se o postup výroby, při kterém jsou vlákna nejprve smáčena a následně dispergována ve vodě. Tato disperze je pak dopravena k pohyblivému nekonečnému síťovému pásu, přes který odtéká voda, ale vlákna se zachytí na jeho povrchu, čímž vytváří vlákennou vrstvu. Následně je z odváděné vlákenné vrstvy odstraněn přebytek vody [12][13].

Suchou cestu lze rozdělit na tři další výrobní postupy – technologii mykání, technologii air-lay a technologii výroby vlákenné vrstvy přímo ze zvláknovaných polymerů.

Mykání je proces, při kterém dochází k odstranění nečistot a příliš krátkých vláken z vlákenného materiálu, mísení vlákenných materiálů a k uspořádání vláken převážně do jednoho směru. Principem je průchod vláken mezi povrchy rotujících válců, či víček. Povrchy válců/víček mohou být dvojího typu – pilkové a drátkové.

Vzniklá vlákenná vrstva je mechanicky velice slabá, proto je dále vedena ke zpevňovacím technologiím [12][13].

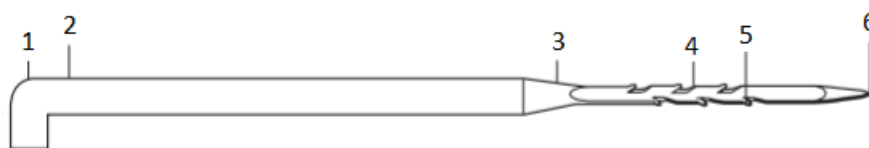
Technologie air-lay funguje na principu rozvolňování vlákenné suroviny (vločky) pomocí šhubacího válce. Proudem vzduchu jsou pak vlákna unášena k pohyblivému se síťovému pásu, kde jsou nahodile uložena. Takto vytvořená vlákenná vrstva je odváděna k dalším úpravám [12].

Výroba vlákenné vrstvy z taveniny termoplastického polymeru je možná pomocí dvou technologií. V technologii spun-bond dochází nejprve k tavení polymerního granulátu. Tavenina prochází zvláknovacími tryskami a následně je nově vzniklé polymerní vlákno odtahováno, případně dluženo (např. pomocí gravitace). Vlákna jsou ukládána na pohyblivý se síťový dopravník a přiváděna k dalším technologickým operacím. Druhou variantou výroby vlákenné vrstvy z taveniny polymeru je technologie melt-blown. Zde dochází k tavení polymeru a k průchodu taveniny zvláknovací tryskou. V ústí zvláknovací trysky je tavenina strhávána proudem vzduchu, čímž dochází ke vzniku vláken. Proudem vzduchu jsou pak nově vzniklá vlákna nesena ke sběrnému bubnu, nebo k dopravníkovému pásu, kde utvoří vlákennou vrstvu. Touto technologií lze vyrobit i vlákna s průměrem menším než 1 mikron [12][13].

2.2 Zpevňování vlákenné vrstvy technologií vpichování

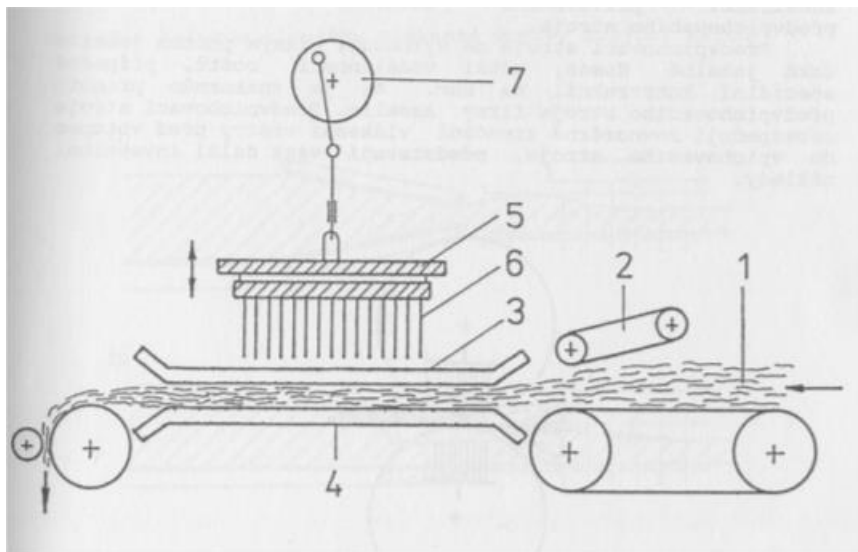
Technologie vpichování je jednou z nejstarších a nejpoužívanějších metod pro zpevňování vlákenných vrstev a vznikla jako náhrada plstění. Jedná se o jeden z několika způsobů mechanického zpevňování vlákenné vrstvy.

Principem této technologie je provazování vláken pomocí prostupování ostnaté vpichovací jehly (Obr. 2) do vlákenné vrstvy. Ostny na hrotu jehly zachycují vlákna při vstupu do vlákenné vrstvy, čímž dochází k jejich přeorientaci převážně do kolmého směru k povrchu vlákenné vrstvy a utvoření vlákenného svazku v místě vstupu vpichovací jehly [12][13].



Obr. 2 Vpichovací jehla (1 – kolínko, 2 – stvol, 3 – zúžení, 4 – pracovní část, 5 – ostn, 6 – hrot) [13].

Postupem technologie vpichování je přivádění vlákněné vrstvy mezi stírací a opěrný rošt. Oba tyto rošty jsou děrované, aby jimi mohla projít vpichovací jehla. Vertikálním pohybem jehelné desky dochází k průniku vpichovacích jehel oběma rošty a zároveň vlákněnou vrstvou. Při pohybu jehelné desky směrem dolů dochází k zachycení vláken v ostnech vpichovacích jehel, čímž se vytvářejí svazky vláken. Při následném pohybu jehelné desky směrem nahoru dochází k vytažení jehel z vlákněné vrstvy a z prostoru mezi opěrným a stíracím roštem. Vlákněná vrstva je při tomto procesu neustále v pohybu působením odváděcího ústrojí [12][13]. Schéma vpichovacího ústrojí se nachází na Obr. 3.



Obr. 3 Schéma vpichovacího stroje (1 – vlákněná vrstva, 2 – vstupní ústrojí, 3 – stírací rošt, 4 – opěrný rošt, 5 – jehelná deska, 6 – vpichovací jehla, 7 – pohon jehelné desky) [12].

2.2.1 Základní parametry procesu

Počet vpichů na jednotku plochy textilie se dá vypočítat ze vztahu:

$$V_P = \frac{a * f * p}{v},$$

kde V_P je počet vpichů [m^{-2}],

a počet vpichovacích jehel ve všech řadách na 1 metru jehelné desky,

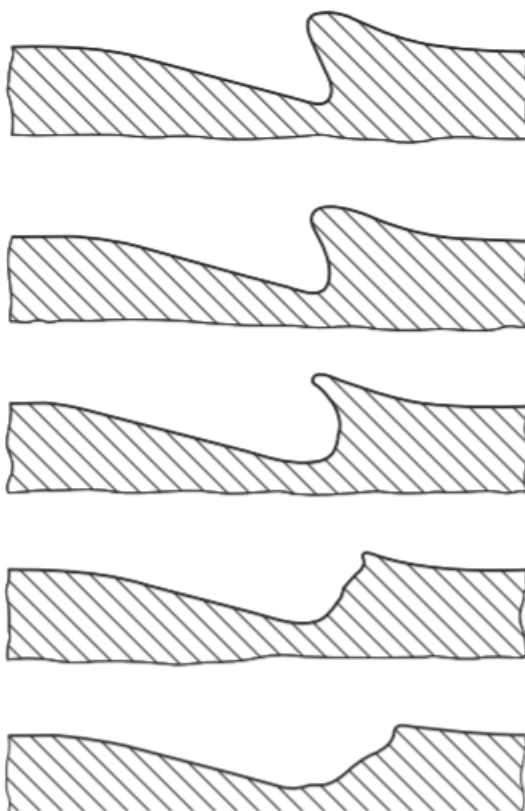
f frekvence vertikálního pohybu jehelné desky [s^{-1}],

p počet průchodů vlákněné vrstvy vpichovacím ústrojím,

v odváděcí rychlost textilie [m/s] [12].

Hloubka vpichu má přímý vliv na vlastnosti textilie. Tento parametr je definován jako vzdálenost mezi horní částí opěrného roštu a špičkou vpichovací jehly v jejím nejnižším bodě pohybu [13].

Typ vpichovacích jehel a jejich stupeň opotřebení jsou další dva důležité parametry zpevnování vlákenné vrstvy touto technologií. Existuje hned několik druhů vpichovacích jehel, lišících se tvarem pracovní části jehly, délkou pracovní části jehly nebo velikostí a tvarem ostnů. Toto všechno následně ovlivňuje výslednou pevnost a vzhled NT. Stupeň opotřebení vpichovací jehly je ovlivňován několika výrobními faktory jako třeba druh vláken (materiál, délka), hustota vpichů, hloubka vpichů nebo hustota vláken v textili. Ostny v pracovní části se těmito faktory postupně opotřebovávají (viz Obr. 4), čímž se snižuje počet vláken, která jsou ostny schopné zachytit a vytvořit tak z nich vlákenný svazek. Přílišnému opotřebení vpichovacích jehel se předchází cyklickou výměnou vždy pouze poloviny vpichovacích jehel na jehelné desce. Předchází se tak velkým rozdílům ve vzhledu a mechanických vlastnostech mezi textiliemi před výměnou a po výměně vpichovacích jehel [13].

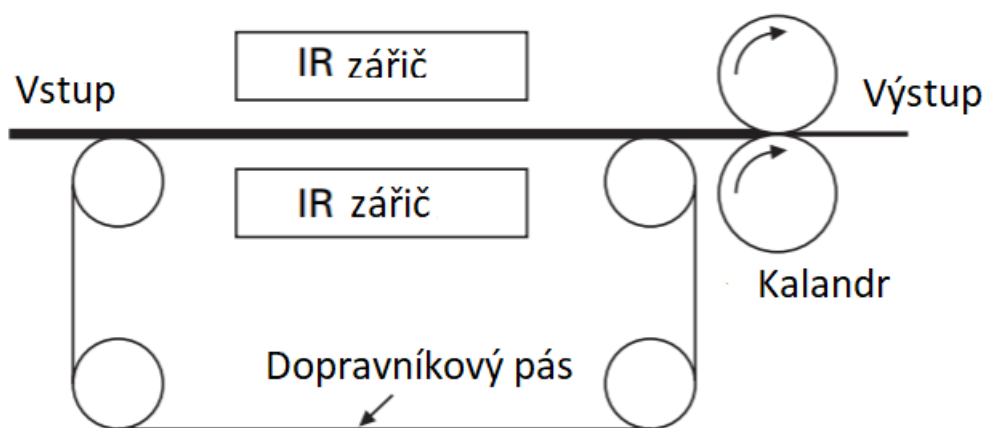


Obr. 4 Postupné opotřebení ostnu [13].

2.3 Zpevňování vlákně vrstvy infračerveným zářením

Technologie zpevňování, či pojení vlákněných vrstev IR zářením je jedním typem termického pojení a to díky schopnosti IR záření přenášet teplo z jednoho objektu na druhý. Zdroje IR záření jsou ve většině případů keramická tělesa se zabudovanými odporovými dráty. Teplo v zářiči vzniká elektrickým prouděním odporovými dráty [12].

Proces pojení vlákněných vrstev využívá schopnost materiálů pohlcovat určitá spektra elektromagnetického záření, v tomto případě záření IR. Čím tmavší barvu těleso má, tím více zářivé energie je schopno pohltit. Pohlcováním záření dochází k zahřívání předmětu, a pokud je dosažena dostatečná teplota, tak v případě termoplastů i k tavení. Díky tomu dochází ke vzniku pojivých míst mezi vlákny [12][13].



Obr. 5 Schéma typického zařízení s IR zářiči [13].

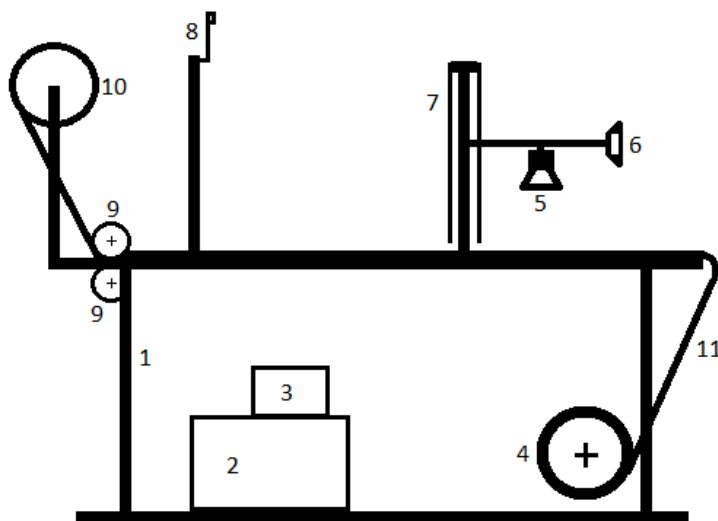
Problém u této technologie může nastat v případě poruchy dopravního zařízení. Pokud se dopravník zastaví za chodu IR zářičů, může díky vysokým teplotám (500-900°C) na zářiči dojít ke vzplanutí upravované textilie. Výrobní linky se tedy pro eliminaci tohoto problému opatřují bezpečnostními mechanismy, které v takovém případě oddálí IR zářiče do bezpečné vzdálenosti [12].

PRAKTICKÁ ČÁST

3. Popis experimentu

Účelem experimentu bylo vyzkoušet nové zařízení na poloprovozu katedry netkaných textilií a nanovláknenných materiálů a dále hodnocení vlivu IR záření na vlastnosti dané netkané textilie. Pro tento účel byla použita netkaná textilie s plošnou hmotností zhruba 360 g/m^2 , společnosti Retex a.s. ze 100 % PES vláken, dále zpevněna na vpichovacím stroji. Pro experiment bylo vytvořeno devět vzorků NT na zařízení s IR zářičem (schéma laboratorního zařízení na Obr. 6). Pro každý vzorek byly použity rozdílné parametry na zařízení, kde byla měněna vzdálenost mezi IR zářičem a netkanou textilií a odváděcí rychlost netkané textilie. Pro nulová měření při hodnocení vlastností byla použita netkaná textilie bez úpravy na laboratorním zařízení.

Vybrané hodnocené vlastnosti byly prodyšnost, ohybová tuhost, pevnost a prodloužení při přetrhu. Jednotlivé zkoušení těchto vlastností je popsáno v následujících kapitolách. Dále byla pomocí termokamery sledována teplota NT při výstupu z pole působení IR zářiče.



Obr. 6 Schéma laboratorního zařízení s infračerveným zářičem. (1 – konstrukce zařízení, 2 – zdroj IR zářiče, 3 – ovládací panel pro regulaci rychlosti odvádění NT, 4 - vál s neupravenou NT, 5 – IR zářič, 6 – sklopná clona, 7 – plechové stínění, 8 – úchyt pro termokameru, 9 – odváděcí válečky, 10 – zbožíový vál, 11 – netkaná textilie)

3.1 Příprava vzorků

Celkem bylo připraveno devět vzorků upravené netkané textilie. Pro každý vzorek byl změněn některý z výrobních parametrů na zařízení. Měněnými parametry na zařízení byla vzdálenost mezi IR zářičem a netkanou textilií a odváděcí rychlost netkané textilie. Pro vzdálenost mezi zářičem a NT byly vybrány hodnoty 6 cm, 9 cm a 12 cm. Zvolené rychlosti odvádění NT byly 1 m/min, 2 m/min a 3 m/min.

Seznam vzorků s nastavením výrobních parametrů:

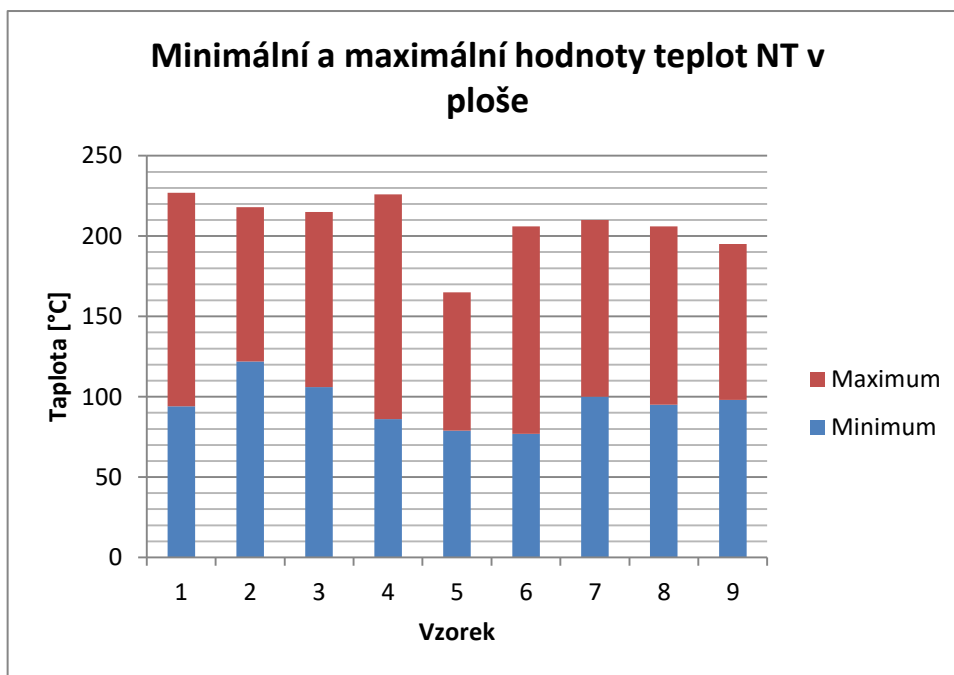
- Vzorek 0 – bez úpravy na laboratorním zařízení,
- Vzorek 1 – vzdálenost 6 cm, odváděcí rychlost 1 m/min,
- Vzorek 2 – vzdálenost 6 cm, odváděcí rychlost 2 m/min,
- Vzorek 3 – vzdálenost 6 cm, odváděcí rychlost 3 m/min,
- Vzorek 4 – vzdálenost 9 cm, odváděcí rychlost 1 m/min,
- Vzorek 5 – vzdálenost 9 cm, odváděcí rychlost 2 m/min,
- Vzorek 6 – vzdálenost 9 cm, odváděcí rychlost 3 m/min,
- Vzorek 7 – vzdálenost 12 cm, odváděcí rychlost 1 m/min,
- Vzorek 8 – vzdálenost 12 cm, odváděcí rychlost 2 m/min,
- Vzorek 9 – vzdálenost 12 cm, odváděcí rychlost 3 m/min.

3.2 Sledování teploty

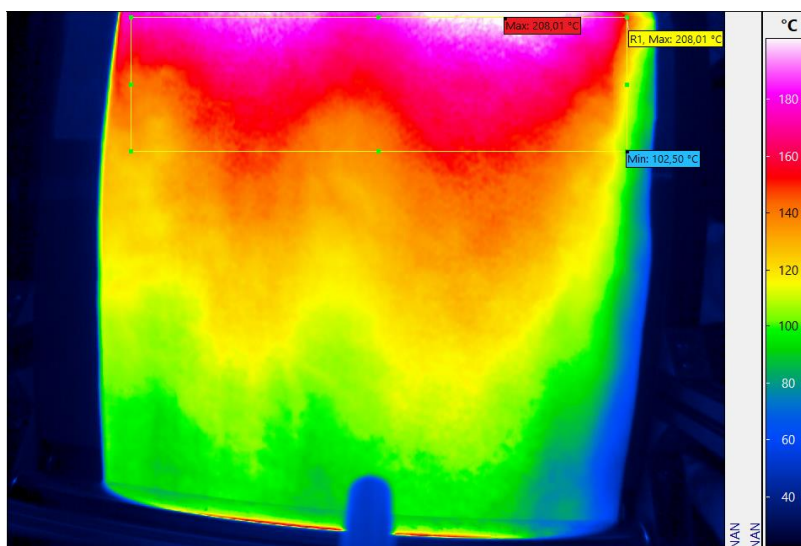
Při výrobě vzorků na zařízení s IR zářičem byla na konstrukci připevněna termokamera. Díky ní bylo možné sledovat teplotu vzorku, který vycházel z pole působení infračerveného záření. Na snímcích byly následně sledovány minimální a maximální teploty vzorků bezprostředně za plechovým stíněním v ploše (pro ilustraci viz Obr. 7, všechny snímky se pak nachází v příloze) a po délce netkané textilie od plechového stínění až po odváděcí válce (pro ilustraci viz Obr. 8, všechny snímky se pak nachází v příloze). Hodnoty byly následně zaneseny do Tabulek 1 a 2.

Tab. 1 Tabulka s hodnotami minimálních a maximálních teplot netkané textilie ve sledované ploše.

Vzorek	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Minimum [°C]	94	122	106	86	79	77	100	95	98
Maximum [°C]	227	218	215	226	165	206	206	210	195



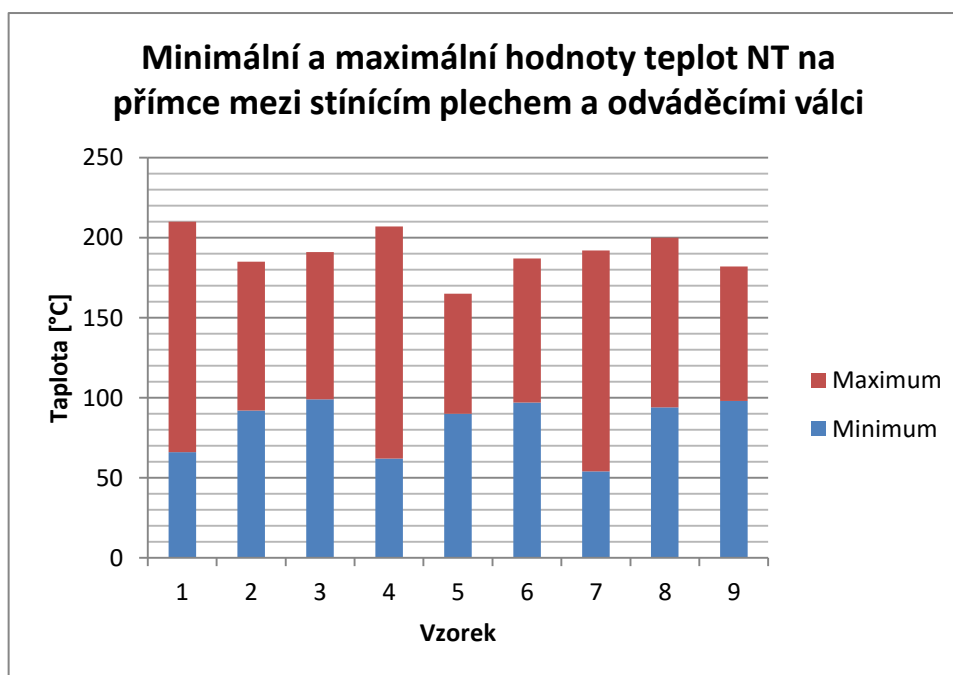
Graf 1 Grafické zobrazení minimálních a maximálních hodnot teploty na jednotlivých vzorcích netkané textilie ve sledované ploše.



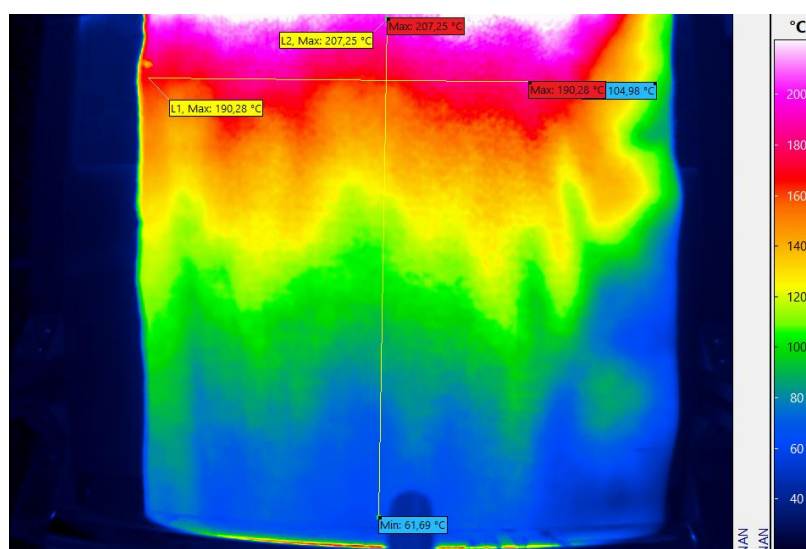
Obr. 6 Snímek pořízený termokamerou s vyznačenou plochou měření (žlutý obdélník v horní části NT) a teplotní škálou (vpravo).

Tab. 2 Tabulka s hodnotami minimálních a maximálních teplot netkané textilie v přímce mezi stínícím plechem a odváděcími válci.

Vzorek	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Minimum [°C]	66	92	99	62	90	97	54	94	98
Maximum [°C]	210	185	191	207	165	187	192	200	182



Graf 2 Grafické zobrazení minimálních a maximálních hodnot teploty na jednotlivých vzorcích netkané textilie v přímce mezi stínícím plechem a odváděcími válci.



Obr. 7 Snímek pořízený termokamerou s vyznačenou přímkou pro měření (žlutá vertikální přímka) a teplotní škálou (vpravo).

3.3 Měření vlastností

3.3.1 Prodyšnost

Pro měření prodyšnosti vzduchu bylo použito zařízení M021A společnosti SDL Atlas. Měření na zařízení umožňuje testování prodyšnosti vzorku v ploše 20 cm². Tlak vzduchu procházející plochou netkané textilie byl nastaven na 200 Pa. Pro každý vzorek netkané textilie bylo provedeno celkem 5 měření na různých místech napříč vzorky.



Obr. 8 Použité zařízení M021A společnosti SDL Atlas pro měření prodyšnosti.

3.3.2 Ohybová tuhost

Pro měření a výpočet ohybové tuhosti byla použita norma BS 3356:1961 (r. 1982) – Stiffness of cloth a nástroj sestavený pro měření dle této normy (viz Obr. 9).



Obr. 9 Nástroj pro měření ohybové tuhosti.

Z každé upravené NT i z NT bez úpravy bylo odstříženo 6 vzorků (3 ve směru odtahu a 3 kolmo na směr odtahu) o rozměrech 25x200 mm. Všechny nastříhané vzorky byly následně jednotlivě zváženy. Všechny vzorky byly poté jednotlivě vkládány do nástroje pro měření délky přesahu tak, aby byl jejich okraj zarovnaný v počáteční pozici. Poté byl vzorek pomalu vysouván z počáteční pozice, dokud se jeho okraj nedotkl rysky s úhlem sklonu 45°. V tento moment bylo zastaveno vysouvání vzorku a byla zaznamenána délka přesahu vzorku od počáteční pozice po okraj vzorku, který se dotýkal rysky. Z průměrných hodnot plošných hmotností (g) a průměrných délek přesahů (C) viz Tab. 3, byla následně vypočtena ohybová tuhost (G) ze vzorce:

$$G [mg \cdot cm] = 0,1 * g [g/m^2] * C^3 [cm].$$

Tab. 3 Průměrné hodnoty plošných hmotností a délek přesahů jednotlivých vzorků.

Vzorek	Prům. délka přesahu [cm]		Prům. plošná hmotnost [g/m ²]	
	Podélně	Příčně	Podélně	Příčně
0	13,63	12,53	360	374
1	11,37	11,23	360	346
2	13,83	13,70	334	360
3	13,77	15,43	334	360
4	11,30	11,70	334	334
5	11,97	11,33	306	320
6	11,17	10,97	320	334
7	12,77	11,53	294	294
8	9,80	9,43	294	294
9	10,73	10,30	306	334

3.3.3 Pevnost a prodloužení v tahu

Zkouška pevnosti v tahu byla provedena v souladu s normou Edana 20.2–89 na laboratorním trhacím přístroji Labtest 4.050 (viz Obr. 10). Upínací délka vzorku byla nastavena na 100 mm a rychlost trhacích čelistí byla 100 mm/min. Pro měření pevnosti v tahu bylo připraveno vždy 5 vzorků v podélném směru NT a 5 vzorků v příčném směru, každý o velikosti 50x160 mm. Grafy tahových křivek pro všechna měření se nachází v příloze.



Obrázek 10 Laboratorní trhací přístroj Labtest 4.050.

4. Vyhodnocení výsledků

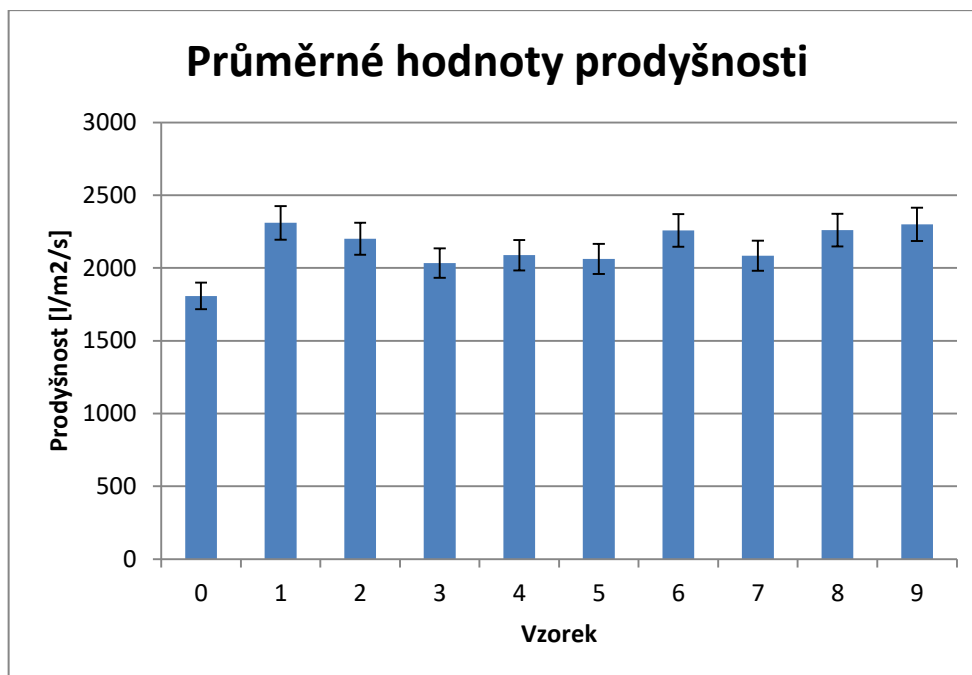
V této kapitole budou vyhodnoceny výsledky jednotlivých měření. Chtěl bych upozornit, že odůvodnění výsledků je spíše spekulativní a bylo by vhodné při dalších studiích blíže sledovat některé děje při úpravě povrchu netkané textilie IR zářením.

4.1 Prodyšnost

Výsledky tohoto měření (viz Tab. 4 a Graf 3) ukazují, že prodyšnost se po úpravě textilie IR zářením zvyšuje. Příčinou může být například to, že při úpravě došlo vlivem vyšší teploty ke sražení vláken blíže k sobě, což vedlo k rozšíření otvorů v NT vzniklých při vstupu vpichovací jehly v procesu zpevňování vlákně vrstvy.

Tab. 4 Naměřené hodnoty prodyšnosti na přístroji M021A společnosti SDL Atlas

Vzorek	Prodyšnost [l/m ² /s]					Průměr	Směr. odch.
0	1780	1810	1820	1890	1740	1808	45,24
1	2430	2180	2100	2590	2250	2310	161,97
2	2040	2350	2200	2120	2290	2200	102,14
3	2170	2120	1970	2000	1910	2034	88,05
4	2140	2200	2060	1950	2090	2088	76,46
5	1920	1950	2090	2160	2190	2062	99,57
6	2170	2200	2340	2270	2310	2258	58,71
7	2030	1930	2230	2190	2040	2084	100,93
8	2170	2310	2280	2180	2360	2260	67,58
9	2190	2260	2320	2200	2530	2300	113,28



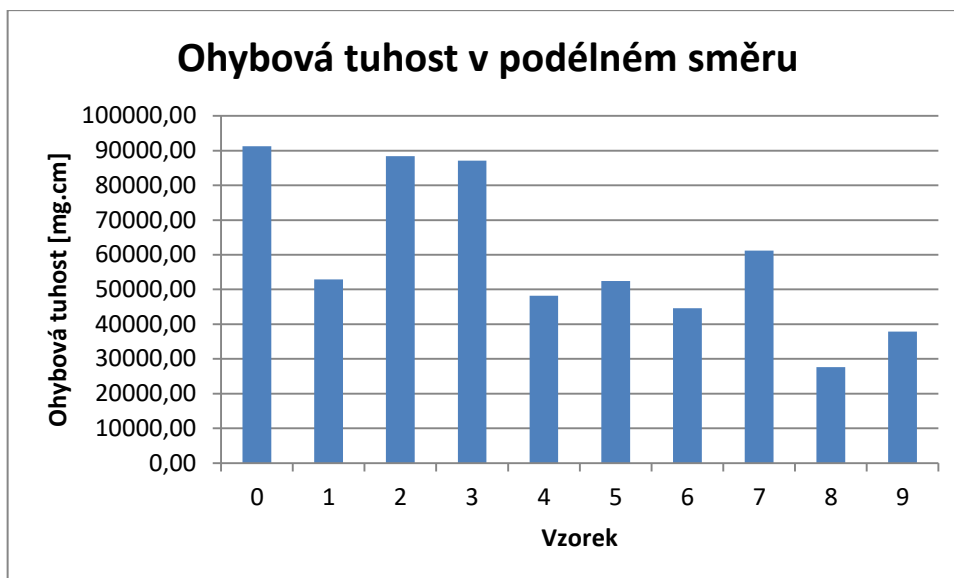
Graf 3 Průměrné hodnoty prodyšnosti naměřených na přístroji M021A společnosti SDL Atlas.

4.2 Ohybová tuhost

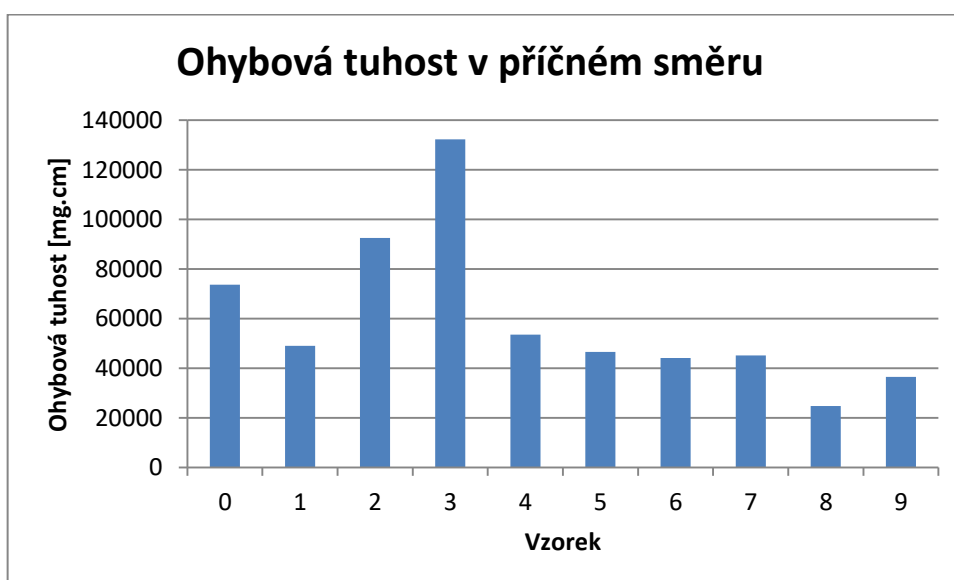
Dle vypočítaných hodnot ohybové tuhosti (uvedeno v Tab. 5 a v Grafech 4 a 5) je patrné, že po úpravě NT technologií IR záření došlo ke snížení ohybových tuhostí vzorků. Výjimkou jsou vzorky 2 a 3 příčného směru, které mají výrazně zvýšenou ohybovou tuhost vůči původní NT (vzorek 0).

Tab. 5 Vypočtené hodnoty ohybových tuhostí jednotlivých vzorků v podélném a příčném směru.

Vzorek	Ohybová tuhost [mg.cm]	
	Podélně	Příčně
0	91223,91	73632,81
1	52869,09	49045,82
2	88415,21	92568,71
3	87143,07	132337,13
4	48192,76	53493,87
5	52437,38	46582,52
6	44557,48	44052,48
7	61175,83	45103,67
8	27671,04	24679,87
9	37837,75	36497,08



Graf 4 Ohybové tuhosti vzorků v podélném směru.



Graf 5 Ohybové tuhosti vzorků v příčném směru.

4.3 Pevnost a prodloužení v tahu

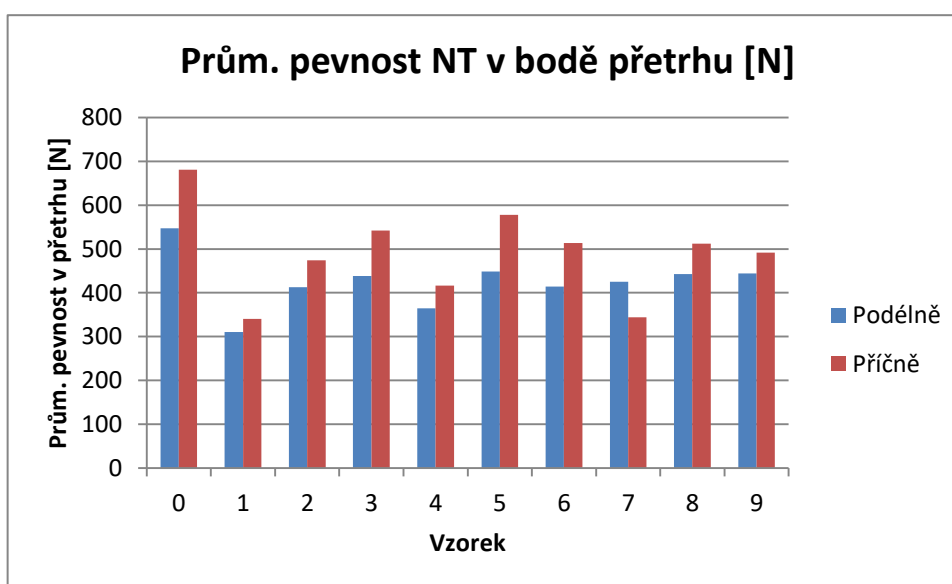
Pevnost v tahu

Z naměřených hodnot (viz Tab. 6 a Graf 6) vyplývá, že pevnost v tahu NT upravené technologií IR záření rapidně klesá v závislosti na míře jejího vystavení IR záříče. V obou směrech, jak podélném, tak i příčném, jsou hodnoty pevnosti v bodě přetrhu minimálně o 100 N nižší než u NT, která nepodstoupila IR úpravu. Důvodem může být narušení (zkrácení) polymerních řetězců tvořících vlákna vlivem vysokých teplot v poli působení IR záření na NT.

Mezi směry vzorků (podélný vůči příčnému) je také patrný rozdíl v pevnosti. Odolnější jsou v tomto případě vzorky příčného směru a to nejspíše díky uspořádání vláken. Společnost Retex a.s. využívá výhradně příčné kladecí přístroje při výrobě vláknenných vrstev, což způsobuje převážně příčné uložení vláken ve vláknenné vrstvě. To poté způsobuje větší tření mezi takto uloženými vlákny a dodává to vyšší pevnost vzorkům příčného směru. Výjimkou je měření vzorku č. 7. Zde se mohla vyskytnout chyba v jakékoliv fázi výroby samotné NT (nehomogenita materiálu) nebo při úpravě IR zářením. Záříč při přípravě vzorku č. 7 nemusel z počátku fungovat na plný výkon, jak bylo zamýšleno a v části, ze které byly vytvořeny vzorky pro měření pevnosti v příčném směru, byla vyšší intenzita IR záření, čili mohlo dojít k většímu narušení molekulárních délek ve vláknech, a tak k většímu snížení pevnosti, nežli u vzorků podélného směru.

Tab. 6 Průměrné pevnosti NT v bodě přetrhu.

Vzorek	Prům. pevnost v bodě přetrhu [N]		Sm. odch. [N]	
	Podélně	Příčně	Podélně	Příčně
0	548,31	681,23	21,63	19,76
1	310,04	340,17	30,94	40,29
2	413,02	474,30	42,09	22,06
3	438,47	541,95	25,62	34,42
4	364,40	416,60	26,28	23,99
5	448,12	577,98	24,68	65,05
6	414,21	513,47	27,23	49,43
7	425,26	344,01	40,26	41,80
8	442,60	512,36	26,78	22,15
9	443,99	491,41	33,30	22,86



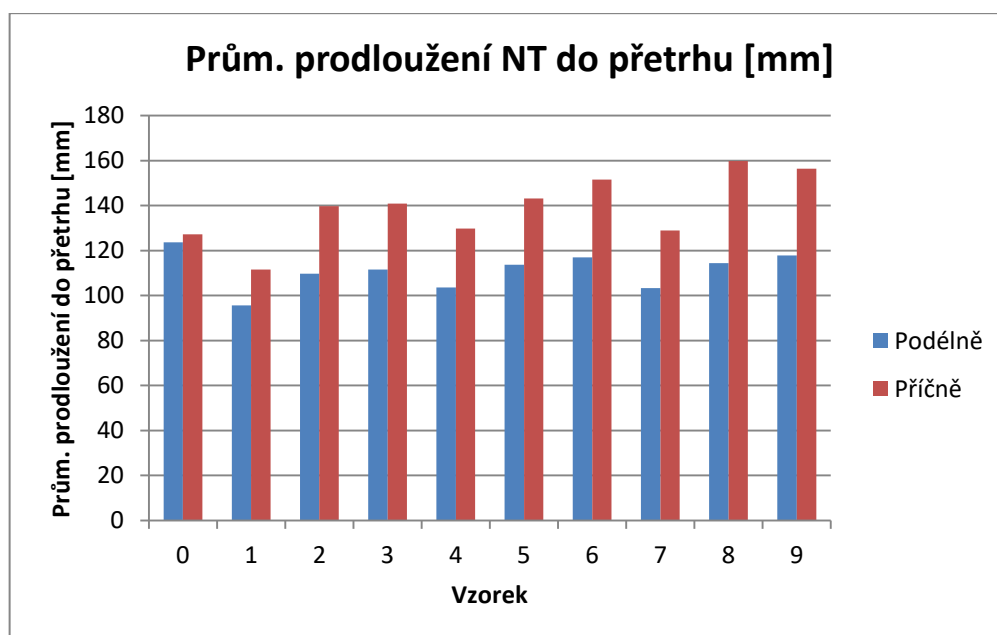
Graf 6 Průměrné pevnosti NT v bodě přetrhu.

Prodloužení v tahu

Výsledné hodnoty (viz Tab. 7 a Graf 7) ukazují, že prodloužení v příčném směru je u všech vzorků vyšší, než ve směru podélném. Podobně jako u pevnosti je důvodem pravděpodobně uložení vláken v NT.

Tab. 7 Průměrné prodloužení NT do bodu přetrhu.

Vzorek	Prům. prodloužení do přetrhu [mm]		Sm. odch. [mm]	
	Podélně	Příčně	Podélně	Příčně
0	123,71	127,24	1,45	2,25
1	95,54	111,5	6,99	6,55
2	109,67	139,69	7,17	6,46
3	111,56	140,81	3,33	6,29
4	103,56	129,78	3,56	8,24
5	113,61	143,13	4,83	6,59
6	116,97	151,52	3,35	5,09
7	103,32	128,89	8,34	11,08
8	114,42	159,79	6,18	5,84
9	117,77	156,37	4,31	6,15



Graf 7 Průměrné prodloužení NT do bodu přetrhu.

Závěr

Infračervené záření má velice široké pole využití od medicíny, přes potravinářský, plastikářský a textilní průmysl, sledovací a zobrazovací technologie až po analytickou chemii. Výhodami této technologie jako tepelného ohřevu jsou především bezkontaktní použití, není potřeba přenosové médium pro teplo (funguje i ve vakuu), velice krátký čas potřebný pro dosažení požadovaných teplot a dobrá přizpůsobitelnost zářičů pro daný účel.

Cílem teoretické části práce bylo seznámit se se základními fakty o infračerveném záření a s jeho využitím v textilním průmyslu pro pojení netkaných textilií. Druhou představenou zpevňovací technologií netkaných textilií bylo vpichování, vzhledem k použité textilii v praktické části. V praktické části bylo pak cílem sledovat a vyhodnotit změnu vlastností (konkrétně prodyšnost vzduchu, ohybovou tuhost, pevnost a prodloužení v tahu) určité netkané textilie v závislosti na změně parametrů při úpravě technologií infračerveného záření.

Praktická část této práce slouží spíše pro seznámení se s novým zařízením na katedře netkaných textilií a nanovlákných materiálů fakulty textilní. Cílem bylo zjistit, jak jsou jednotlivé vlastnosti netkané textilie ovlivňovány a na co si dát při použití zařízení pozor. Z výsledných hodnot všech měření vyplývá, že současné použití parametrů 1 m/min pro odváděcí rychlost netkané textilie a 60 mm jako vzdálenost mezi zdrojem záření a netkanou textilií není příliš vhodné. Kromě prodyšnosti byly všechny výsledné hodnoty horší než u základní netkané textilie. Vlákna na povrchu tohoto vzorku 1 byla roztavena a po opětovném ohlazení vytvořila tato tavenina poměrně pevnou a drsnou krustu. Je ovšem nutné zmínit, že při přípravě netkané textilie byl výkon infračerveného zářiče nastaven na maximum, čili je jistě možné výše zmíněnou kombinaci rychlosti odvádění a vzdálenosti použít při nižším výkonu zářiče. Ve výsledku tedy spíše záleží na tom, jakého efektu má být dosaženo. Podle toho se na zařízení následně dají nastavit, či experimentálně zjistit optimální parametry nastavení zařízení. Je důležité také dávat pozor na původ upravované textilie a znát materiálové složení, nebo zda byla textilie dříve upravena ještě jinou technologií.

Literatura a reference

- [1] LUCAS, Jim. What is Infrared? In: *Live science* [online]. Future, 27. 2. 2019 [cit. 2020-05-18]. Dostupné z: <https://www.livescience.com/50260-infrared-radiation.html>
- [2] PHILLIPS, Melba a Hellmut FRITZSCHE. Electromagnetic radiation. In: *Encyclopædia Britannica* [online]. Encyclopædia Britannica, 18. 10. 2017 [cit. 2020-05-18]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/science/electromagnetic-radiation>
- [3] BYRNES, J. S. *Unexploded ordnance detection and mitigation*. London: Springer in cooperation with NATO Public Diplomacy Division, c2009. ISBN 978-1-4020-9252-7.
- [4] Infračervené záření. *Fyzika 007* [online]. [cit. 2020-05-18]. Dostupné z: <https://sites.google.com/site/fyzika007/optika/infracervene-zareni>
- [5] Infrared heater. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2020-05-18]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Infrared_heater
- [6] *Cool cosmos* [online]. [cit. 2020-05-25]. Dostupné z: http://coolcosmos.ipac.caltech.edu/cosmic_classroom/classroom_activities/herschel_example.html
- [7] NÁSIROVÁ, Michaela. *Infračervené záření a jeho působení na lidský organismus* [online]. [cit. 2020-05-18]. Dostupné z: https://www.2es.cz/med/_layout/download/ir-med.pdf
- [8] WANG, Hongchen, Xinjian YI, Jianjun LAI a Yi LI. Fabricating Microbolometer Array on Unplanar Readout Integrated Circuit. *International Journal of Infrared and Millimeter Waves* [online]. 2005, **26**(5), 751-762 [cit. 2020-05-25]. DOI: 10.1007/s10762-005-4983-8. ISSN 0195-9271. Dostupné z: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s10762-005-4983-8.pdf>
- [9] LLOYD, Craig. How Do Night Vision Cameras Work? *How to geek* [online]. [cit. 2020-05-25]. Dostupné z: <https://www.howtogeek.com/291282/how-do-night-vision-cameras-and-goggles-work/>
- [10] *Heraeus: Heraeus noblelight* [online]. [cit. 2020-05-25]. Dostupné z: https://www.heraeus.com/en/hng/home_hng/home_noblelight.html

[11] Infrared spectroscopy. *Chemistry LibreTexts* [online]. [cit. 2020-05-25]. Dostupné z:

[https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Physical_and_Theoretical_Chemistry_Textbook_Maps/Supplemental_Modules_\(Physical_and_Theoretical_Chemistry\)/Spectroscopy/Vibrational_Spectroscopy/Infrared_Spectroscopy](https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Physical_and_Theoretical_Chemistry_Textbook_Maps/Supplemental_Modules_(Physical_and_Theoretical_Chemistry)/Spectroscopy/Vibrational_Spectroscopy/Infrared_Spectroscopy)

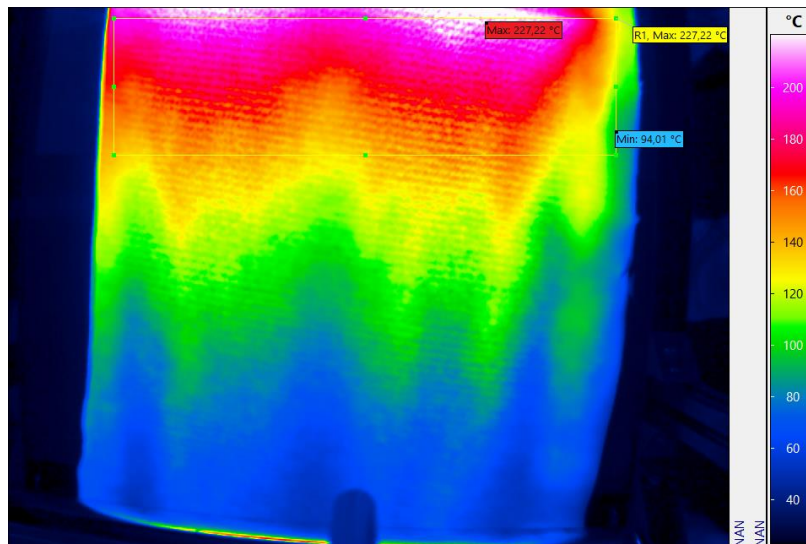
[12] JIRSÁK, Oldřich a Iva MACKOVÁ. *Netkané textilie*. 2.přepřac. vyd. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 1997. ISBN 80-7083-249-5.

[13] RUSSELL, S. J., ed. *Handbook of nonwovens*. Cambridge: Woodhead, 2007. Woodhead publishing in textiles. ISBN 978-1-85573-603-0.

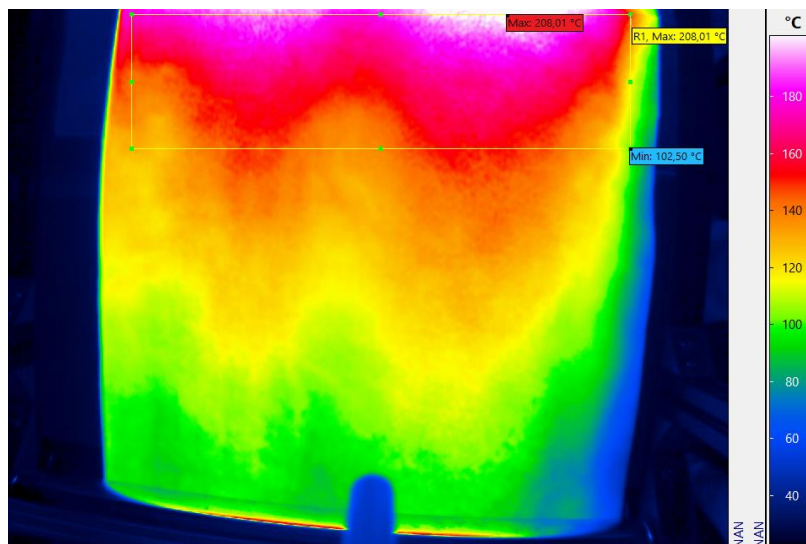
Příloha

Sledování teploty NT v dané ploše

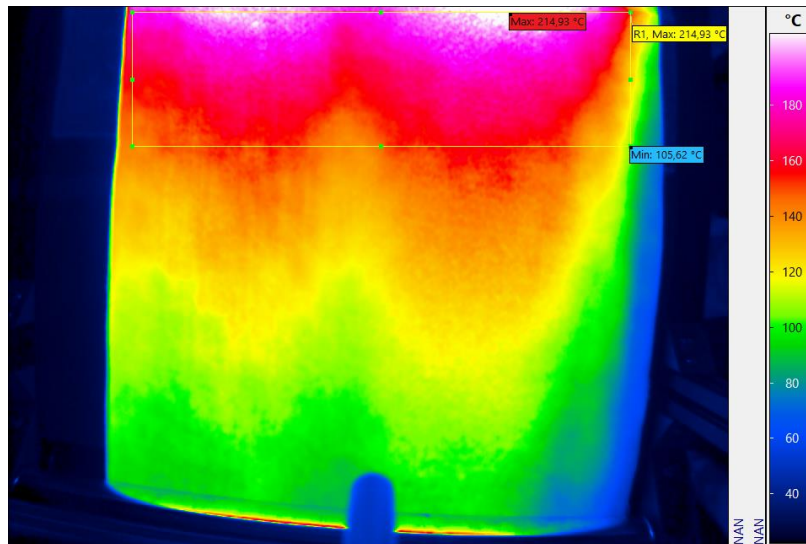
Na každém snímku se nachází vyznačená plocha měření (žlutý obdélník) a teplotní škála.



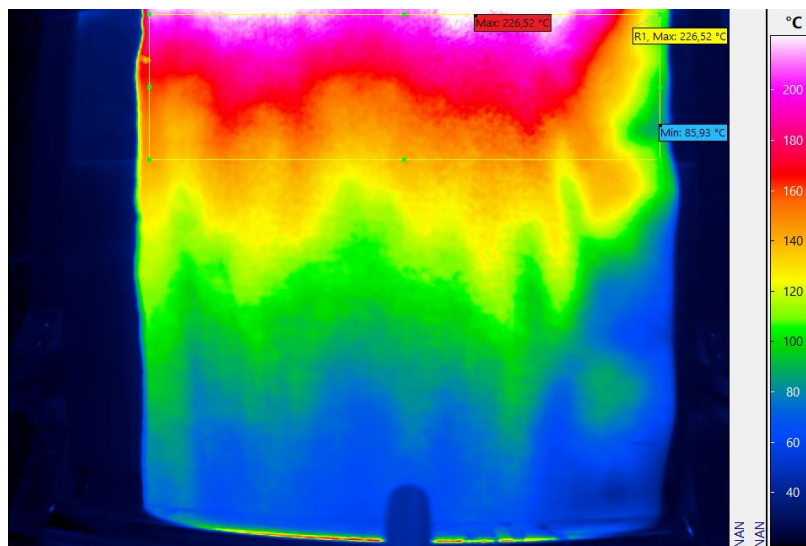
Obr. 11 Netkaná textilie, vzorek 1.



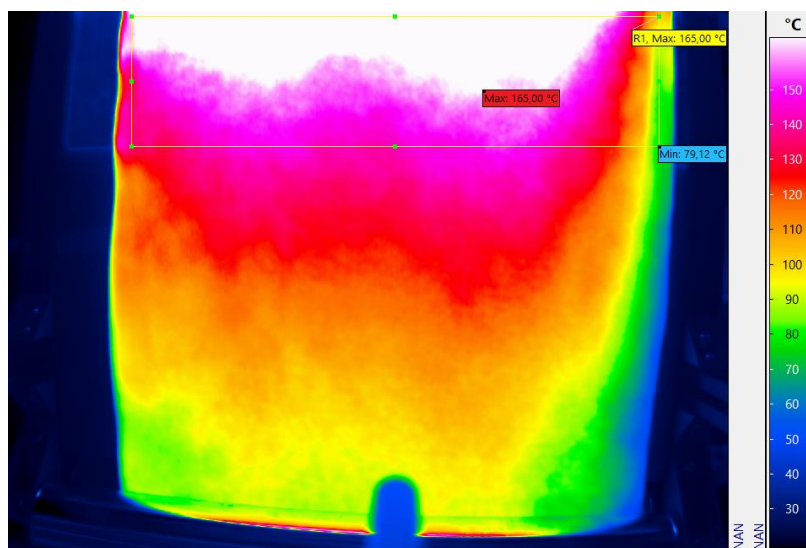
Obr. 12 Netkaná textilie, vzorek 2.



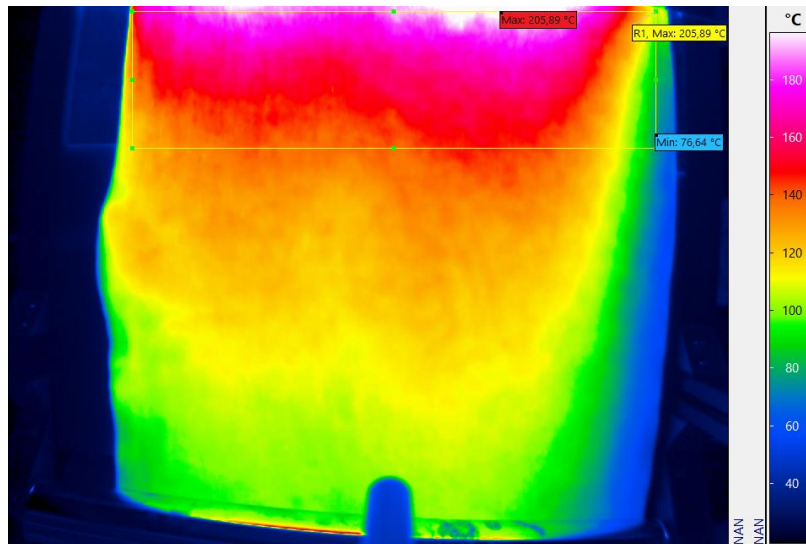
Obr. 13 Netkaná textilie, vzorek 3.



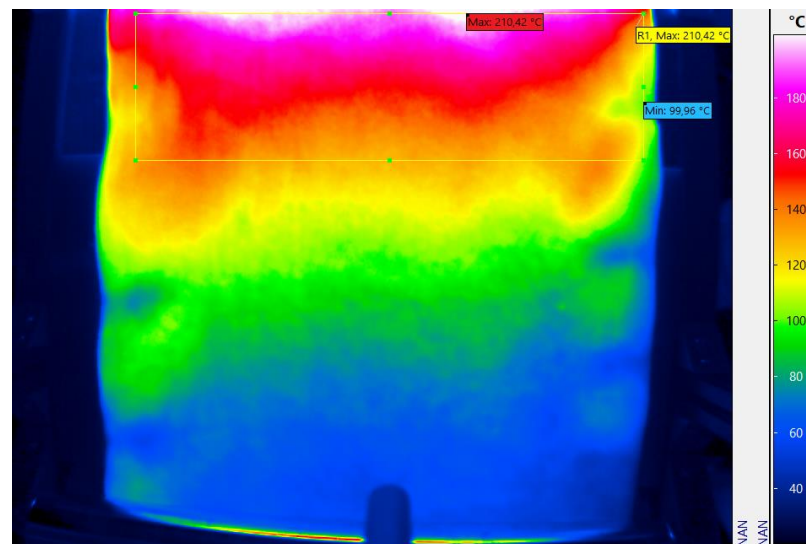
Obr. 14 Netkaná textilie, vzorek 4.



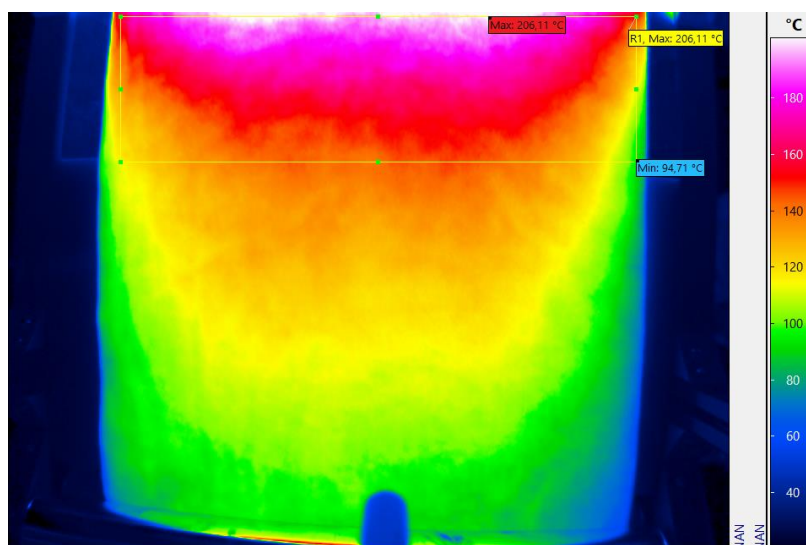
Obr. 15 Netkaná textilie, vzorek 5.



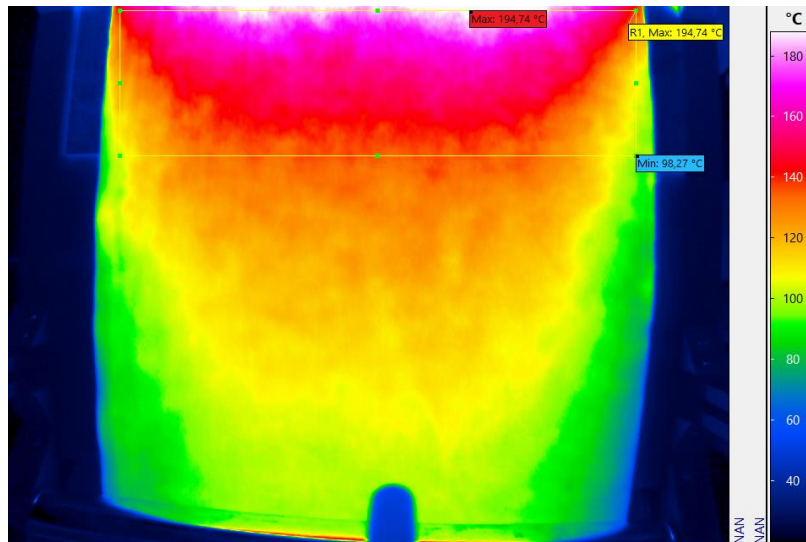
Obr. 16 Netkaná textilie, vzorek 6.



Obr. 17 Netkaná textilie, vzorek 7.



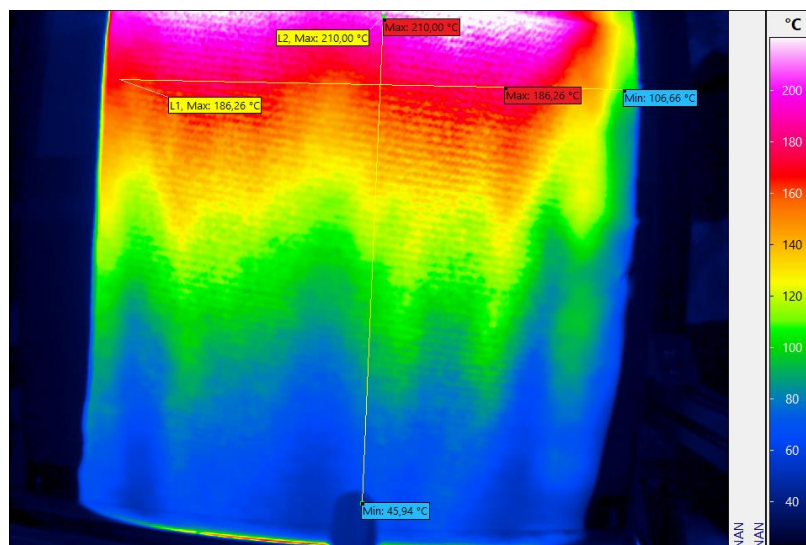
Obr. 18 Netkaná textilie, vzorek 8.



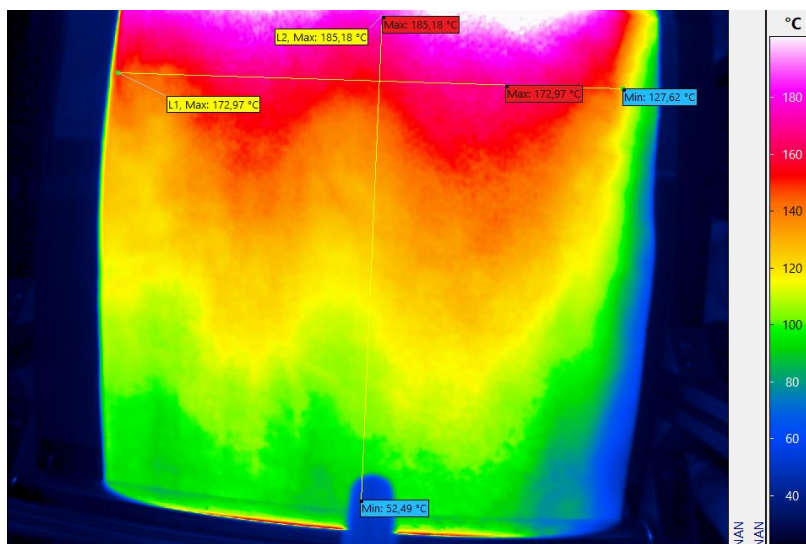
Obr. 19 Netkaná textilie, vzorek 9.

Sledování teploty NT v přímce mezi stínícím plechem a odváděcími válci

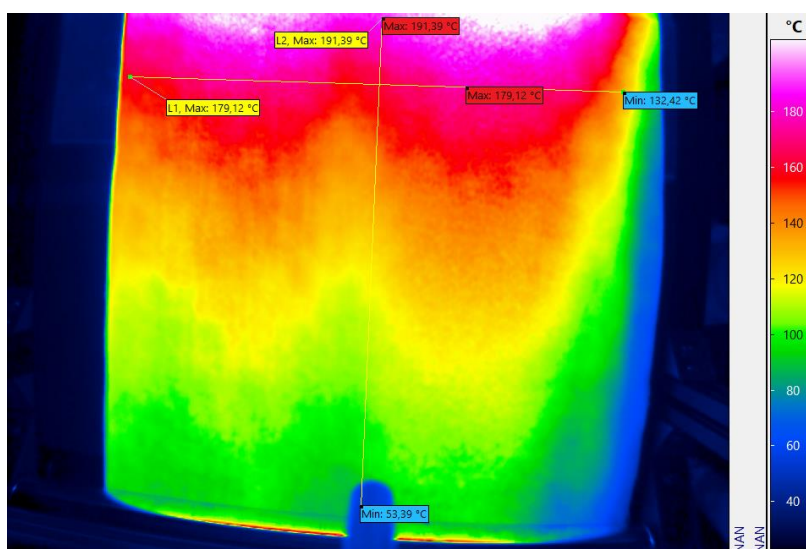
Na každém snímku se nachází žlutě vyznačená vertikální přímka měření a teplotní škála.



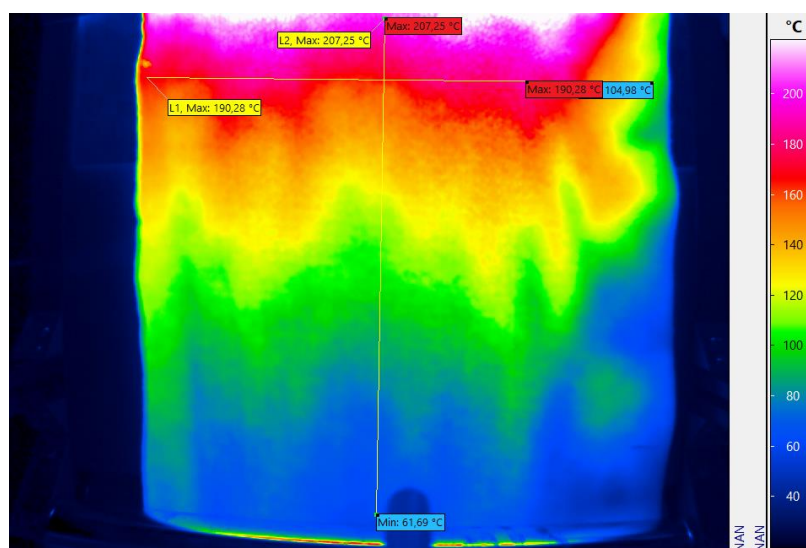
Obr. 20 Netkaná textilie, vzorek 1.



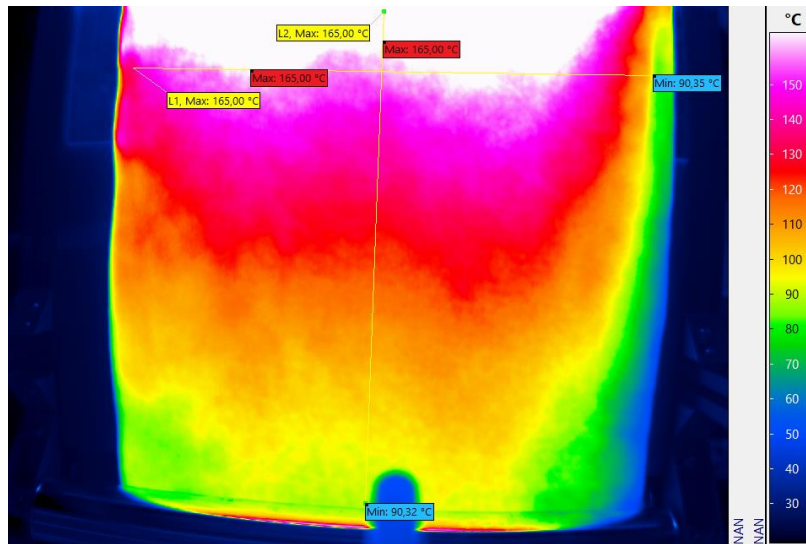
Obr. 21 Netkaná textilie, vzorek 2.



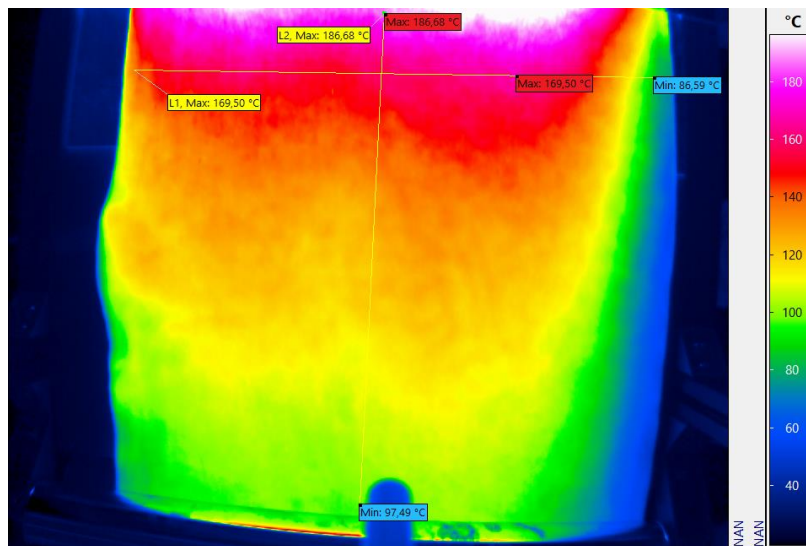
Obr. 22 Netkaná textilie, vzorek 3.



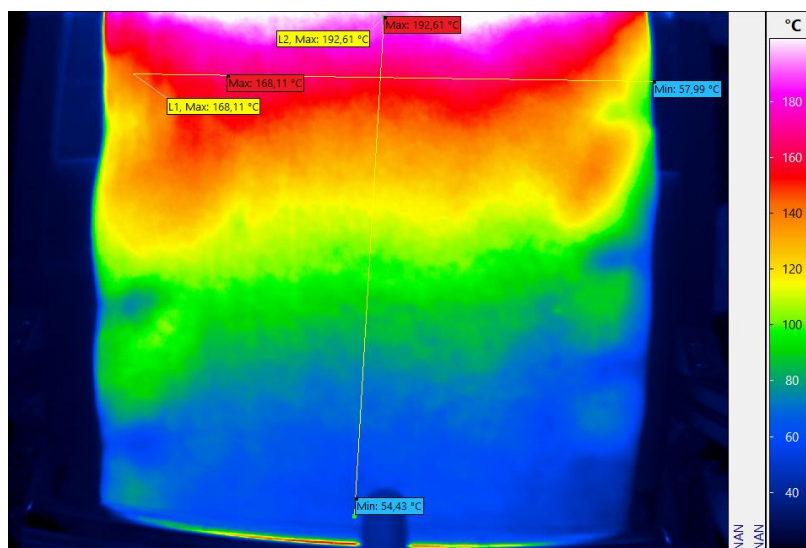
Obr. 23 Netkaná textilie, vzorek 4.



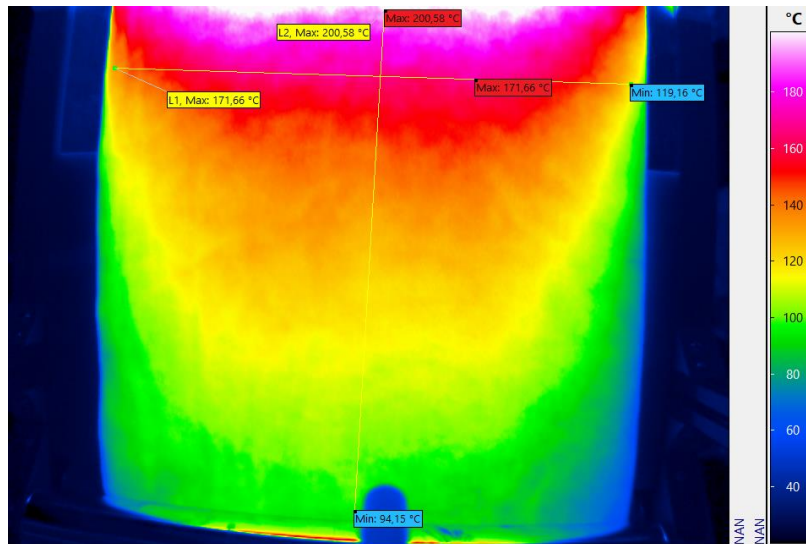
Obr. 23 Netkaná textilie, vzorek 5.



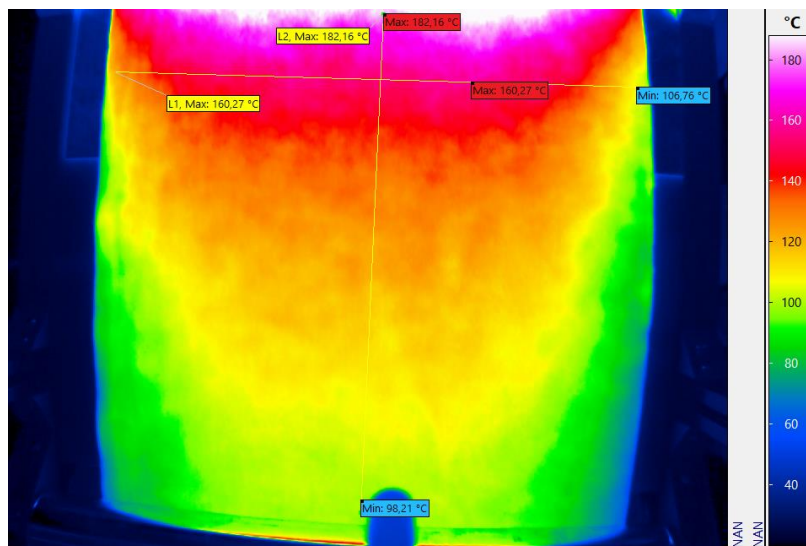
Obr. 24 Netkaná textilie, vzorek 6.



Obr. 25 Netkaná textilie, vzorek 7.



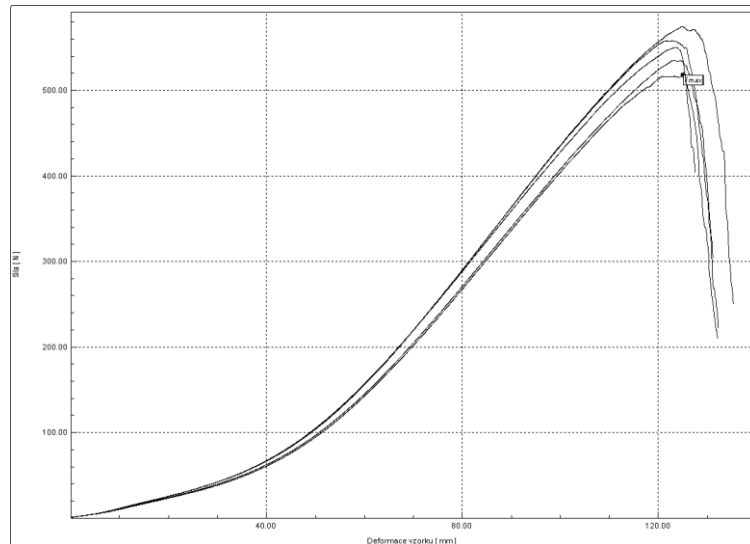
Obr. 26 Netkaná textilie, vzorek 8.



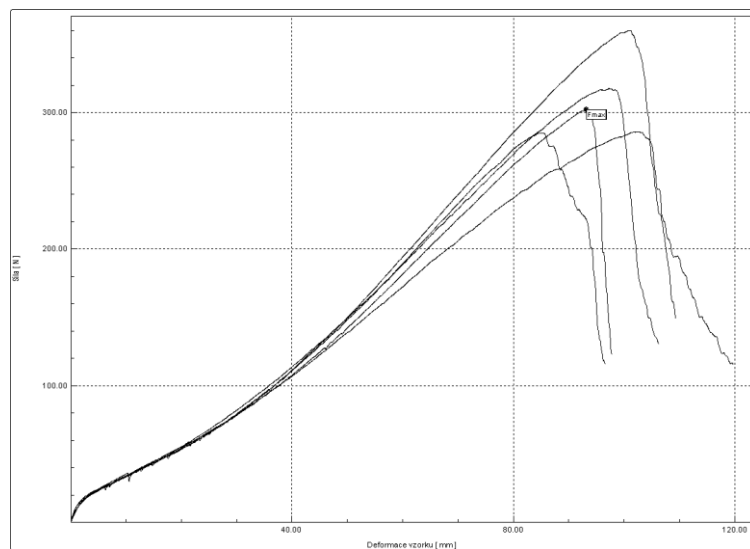
Obr. 27 Netkaná textilie, vzorek 9.

Tahové křivky

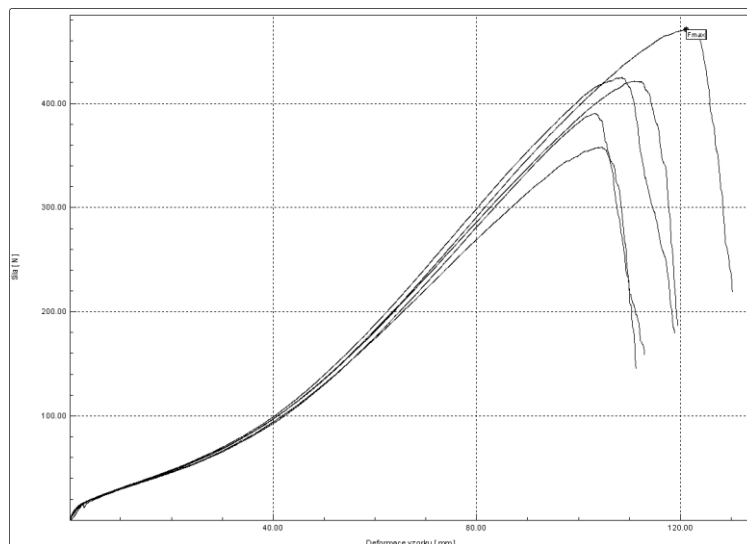
Níže jsou umístěny grafy 5 tahových křivek všech vzorků z měření pevnosti a prodloužení v tahu.



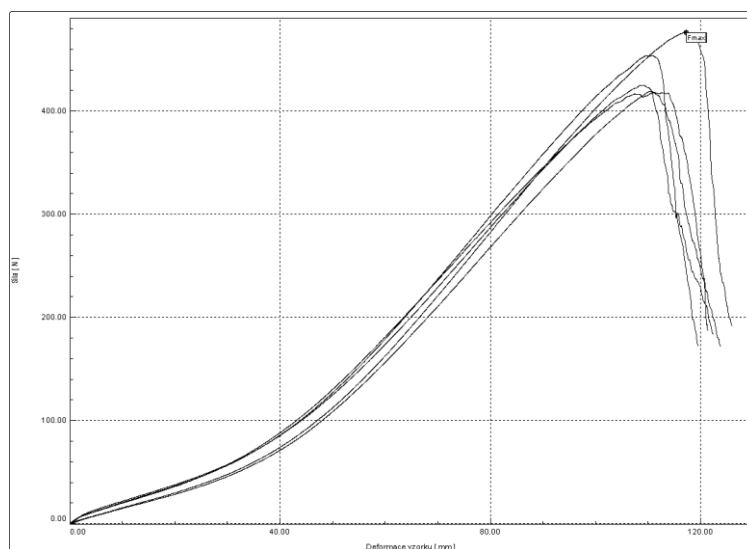
Graf 8 Tahové křivky pro 5 měření, vzorek 0, podélný směr.



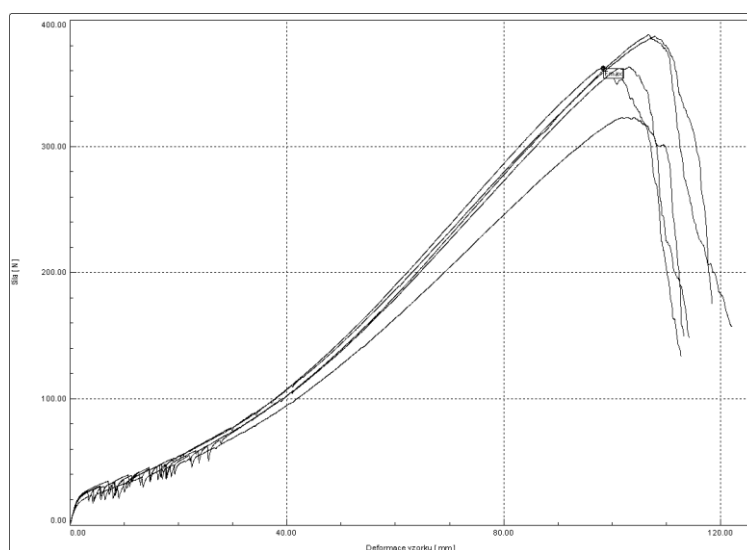
Graf 9 Tahové křivky pro 5 měření, vzorek 1, podélný směr.



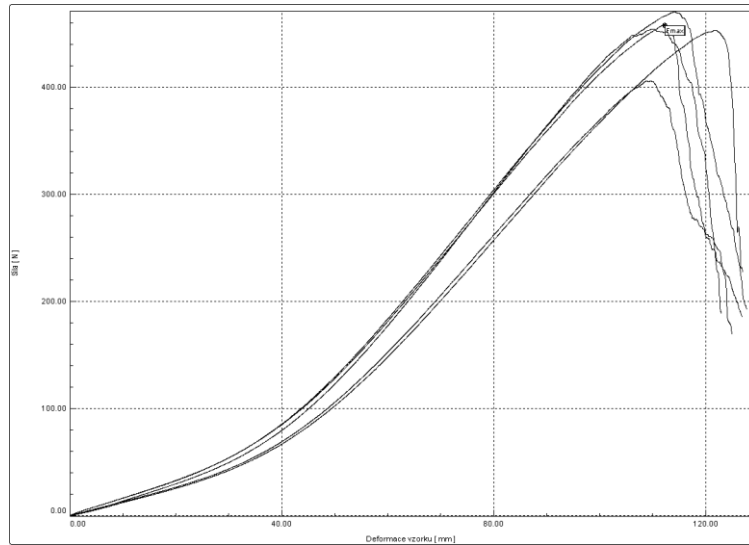
Graf 10 Tahové křivky pro 5 měření, vzorek 2, podélný směr.



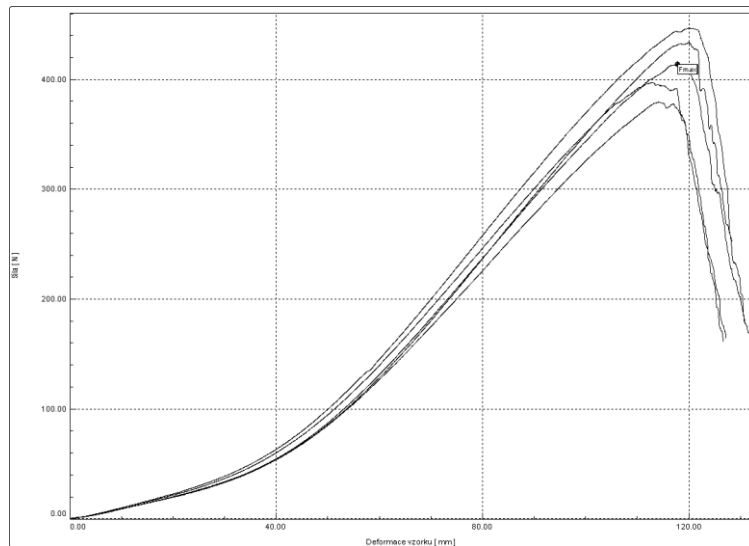
Graf 11 Tahové křivky pro 5 měření, vzorek 3, podélný směr.



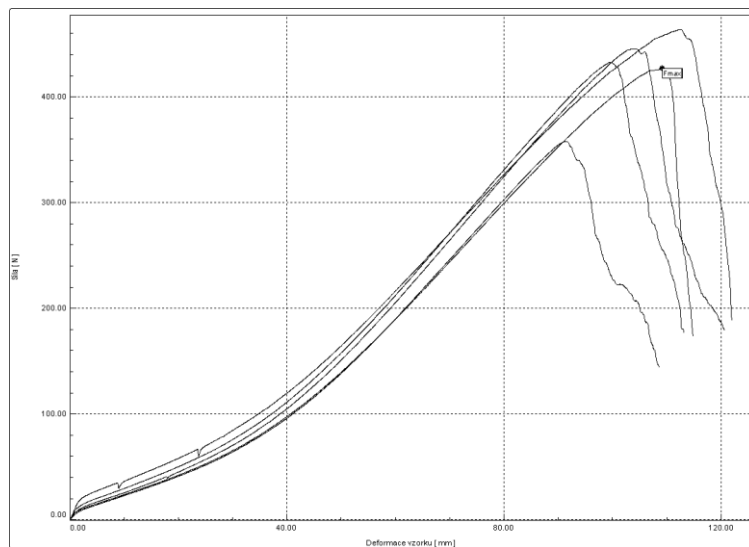
Graf 12 Tahové křivky pro 5 měření, vzorek 4, podélný směr.



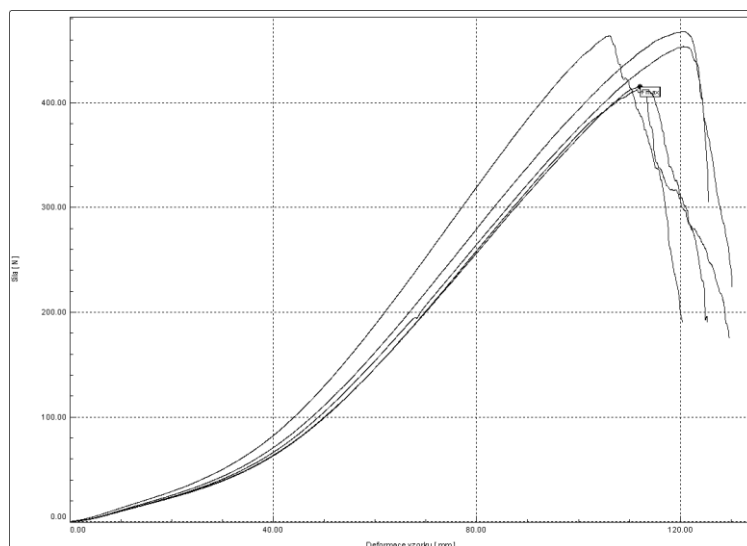
Graf 13 Tahové křivky pro 5 měření, vzorek 5, podélný směr.



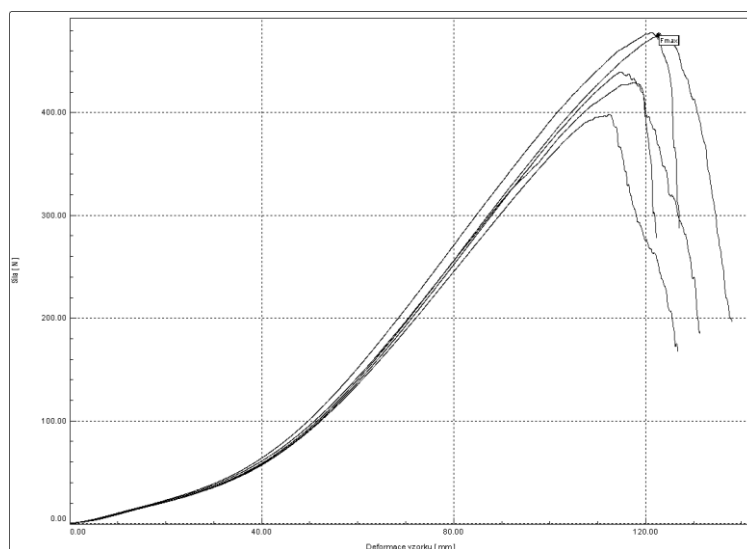
Graf 14 Tahové křivky pro 5 měření, vzorek 6, podélný směr.



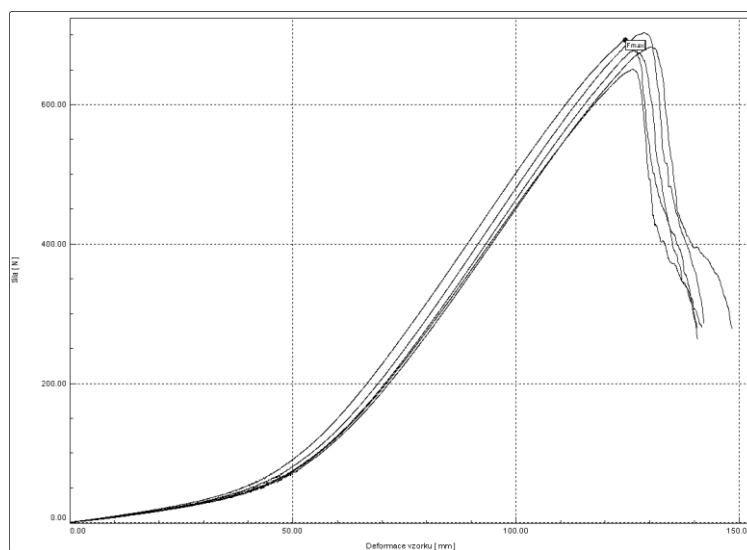
Graf 15 Tahové křivky pro 5 měření, vzorek 7, podélný směr.



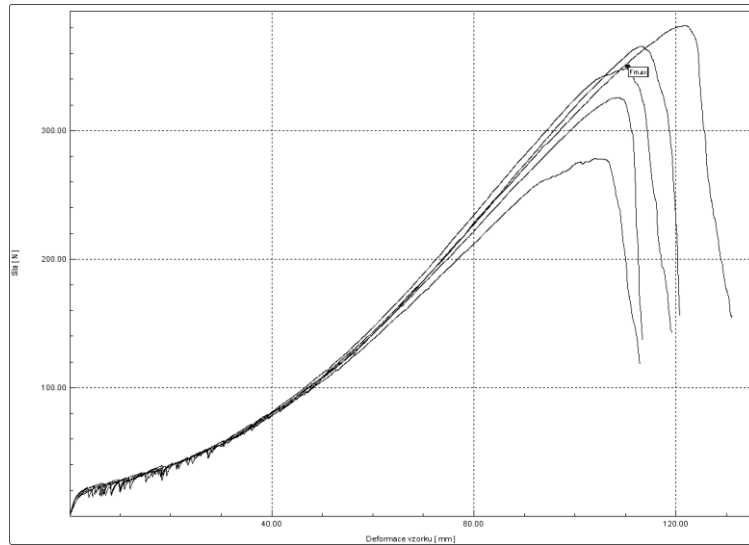
Graf 16 Tahové křivky pro 5 měření, vzorek 8, podélný směr.



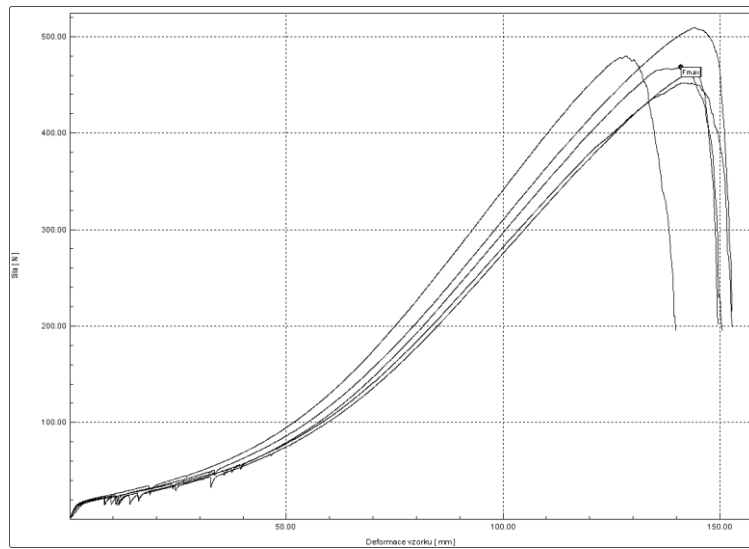
Graf 17 Tahové křivky pro 5 měření, vzorek 9, podélný směr.



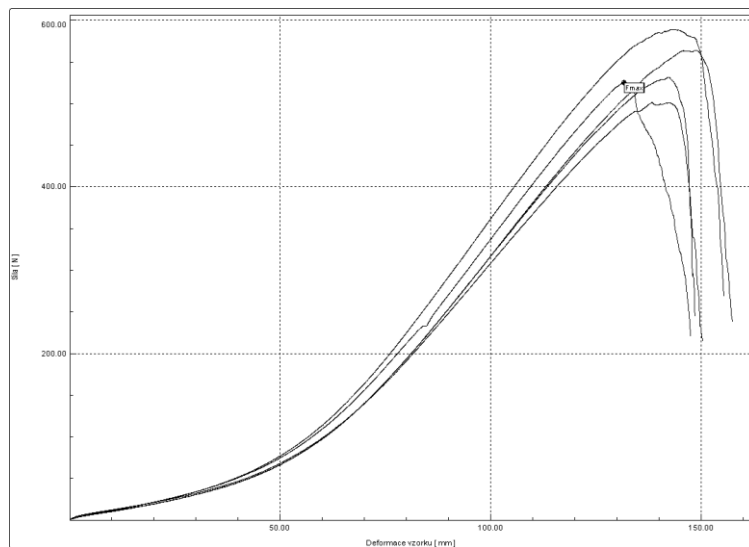
Graf 18 Tahové křivky pro 5 měření, vzorek 0, příčný směr.



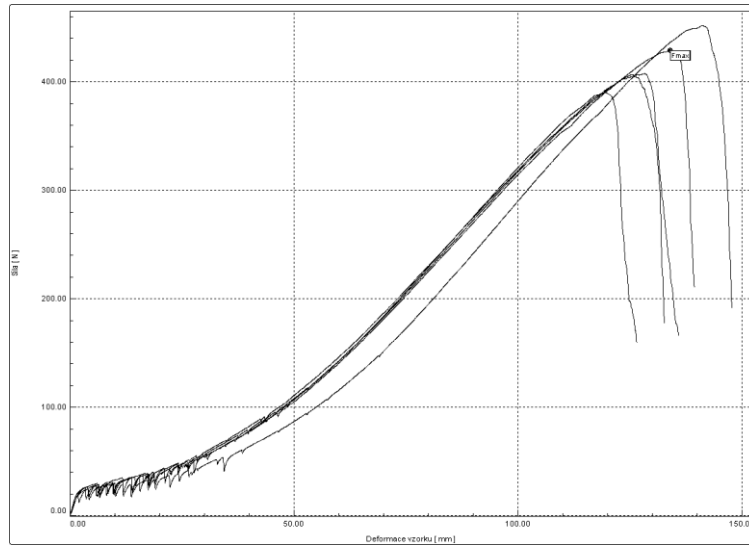
Graf 19 Tahové křivky pro 5 měření, vzorek 1, příčný směr.



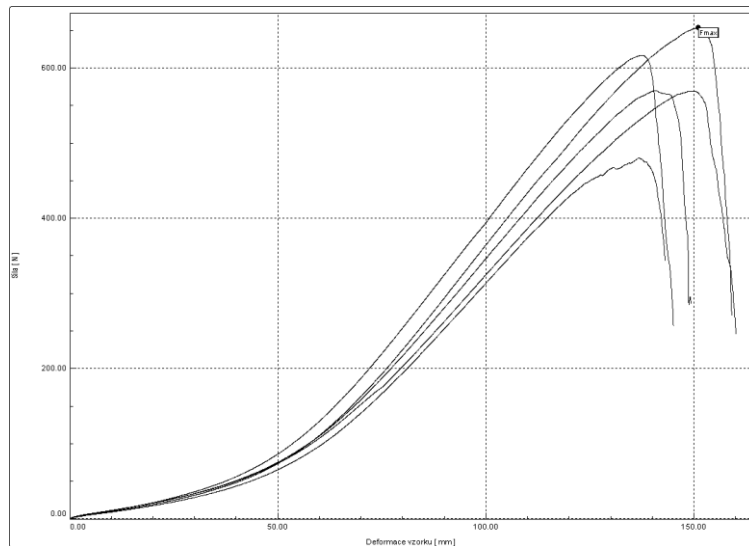
Graf 20 Tahové křivky pro 5 měření, vzorek 2, příčný směr.



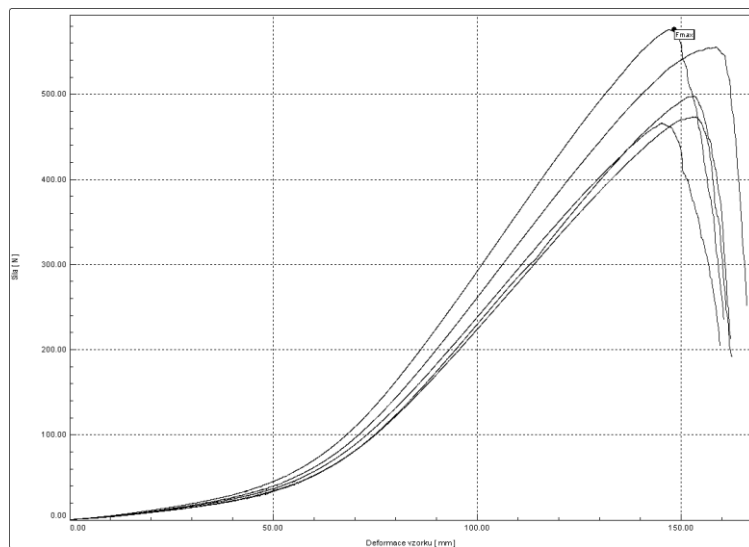
Graf 21 Tahové křivky pro 5 měření, vzorek 3, příčný směr.



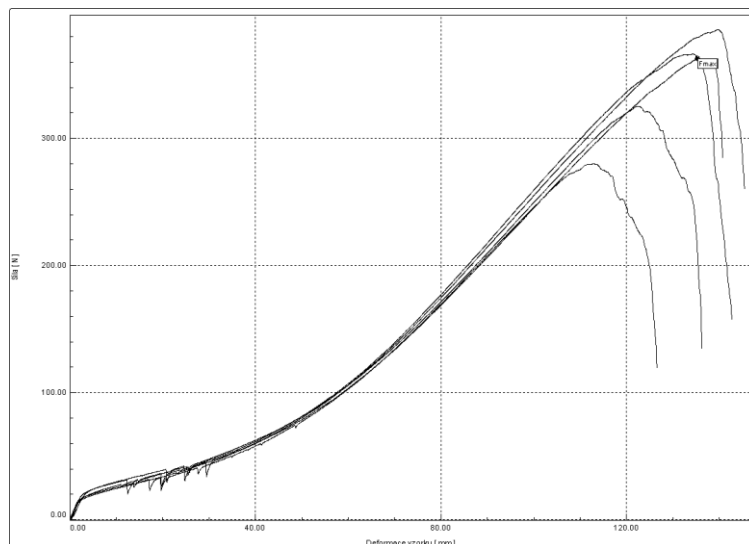
Graf 22 Tahové křivky pro 5 měření, vzorek 4, příčný směr.



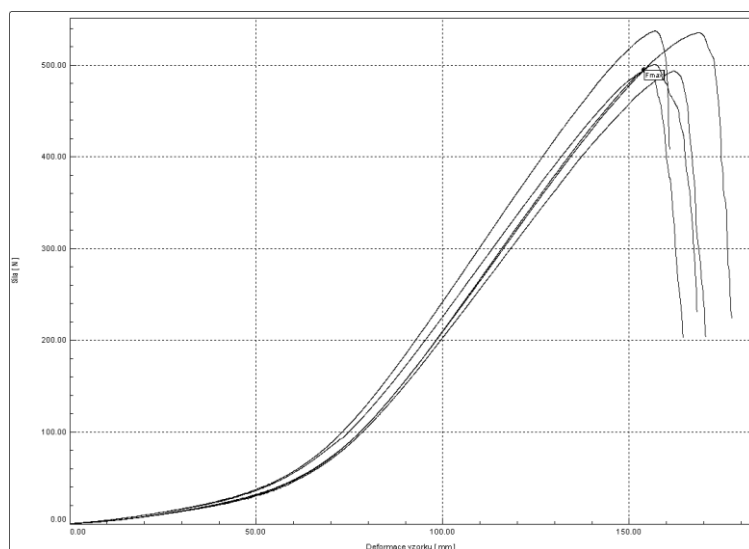
Graf 23 Tahové křivky pro 5 měření, vzorek 5, příčný směr.



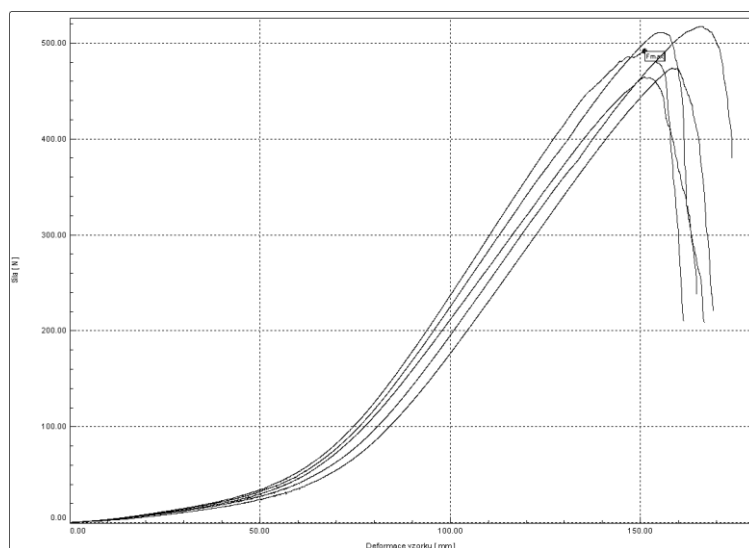
Graf 24 Tahové křivky pro 5 měření, vzorek 6, příčný směr.



Graf 25 Tahové křivky pro 5 měření, vzorek 7, příčný směr.



Graf 26 Tahové křivky pro 5 měření, vzorek 8, příčný směr.



Graf 27 Tahové křivky pro 5 měření, vzorek 9, příčný směr.