



Diplomová práce

Vliv parametrů vpichování a termického pojení na výsledné vlastnosti netkané textilie

Studijní program:

N0723A270001 Textilní inženýrství

Autor práce:

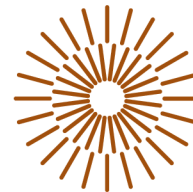
Bc. Michal Žemlička

Vedoucí práce:

Ing. Jiří Chaloupek, Ph.D.

Katedra netkaných textilií a nanovláknenných materiálů

Liberec 2023



Zadání diplomové práce

Vliv parametrů vpichování a termického pojení na výsledné vlastnosti netkané textilie

Jméno a příjmení:

Bc. Michal Žemlička

Osobní číslo:

T20000063

Studijní program:

N0723A270001 Textilní inženýrství

Zadávající katedra:

Katedra netkaných textilií a nanovláknenných materiálů

Akademický rok:

2022/2023

Zásady pro vypracování:

1. Seznamte se s problematikou výroby termicky pojených netkaných textilií. Zaměřte se především na proces vpichování a termického pojení. Vypracujte rešerši na dané téma.
2. Navrhněte postup výroby rouna s různým obsahem pojivých vláken a takto vyrobená rouna pojte vpichováním a teplovzdušným pojením.
3. Na vyrobených vzorcích měřte jejich mechanické vlastnosti a prodyšnost. Celý experiment vyhodnoťte.
4. Diskutujte výsledky a navrhněte další postupy řešení daného problému.

Rozsah grafických prací: dle potřeby dokumentace
Rozsah pracovní zprávy: 40-60 dle potřeby
Forma zpracování práce: tištěná/elektronická
Jazyk práce: Čeština

Seznam odborné literatury:

1. ALBRECHT, Wilhelm, FUCHS, Hilmar, KITTELMANN, Walter. *Nonwovens Fabrics*. Weinheim: Wiley-VCH, 2003. ISBN 3-527-30406-1.
2. RUSSELL, Stephen J. *Handbook of nonwovens*. Cambridge, 2007. ISBN 978-185-5736-030.
3. JIRSAK, Oldřich, WADSWORTH, Larry. *Nonwoven Textiles*. Durham: Carolina Academic Press, 1999. ISBN 0-89089-978-8.

Vedoucí práce: Ing. Jiří Chaloupek, Ph.D.
Katedra netkaných textilií a nanovláknenných materiálů

Datum zadání práce: 1. listopadu 2022

Předpokládaný termín odevzdání: 2. června 2023

L.S.

doc. Ing. Vladimír Bajzík, Ph.D.
děkan

doc. Ing. Jiří Chvojka, Ph.D.
vedoucí katedry

V Liberci dne 1. listopadu 2022

Prohlášení

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

Jsem si vědom toho, že na mou diplomovou 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 diplomové práce pro vnitřní potřebu Technické univerzity v Liberci.

Užiji-li diplomovou 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 diplomová 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.

Poděkování

Rád bych poděkoval svému vedoucímu diplomové práce panu Ing. Jiřímu Chaloupkovi, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady a vstřícnost při zpracování této práce. Děkuji také panu Ing. Ondřeji Novákovi, Ph.D. za podnětné připomínky k mé práci.

Mé poděkování patří též všem pracovníkům laboratoří za pomoc a čas, který mi věnovali při realizaci experimentální části této práce.

Anotace

Diplomová práce pojednává o mechanických vlastnostech netkaných textilií v závislosti na technologických podmínkách jejich výroby. Zaměřuje se na pevnost a tažnost, ohybovou tuhost a prodyšnost. Zkoumání uvedených vlastností se realizuje na vzorcích textilií, vyrobených technologií vpichování a termického pojení při různých parametrech. Jednotlivé zkoumané vzorky jsou odlišné jak v materiálovém složení rouna, tak ve způsobu jeho zpevnění. V práci jsou uvedeny teoretické poznatky o technologii vpichování a teplovzdušného pojení, také o uvedených vlastnostech. Jednotlivé vlastnosti zkoumaných textilií se porovnávají a vyhodnocují na základě naměřených a statisticky zpracovaných hodnot příslušných veličin.

Klíčová slova: netkané textilie, vpichování, teplovzdušné pojení, bikomponentní vlákna, pevnost, tažnost, prodyšnost, tuhost

Annotation

This thesis deals with the mechanical properties of nonwovens depending on the technological conditions of their production. It focuses on strength and elongation, bending resistance and air permeability. The investigation of these properties is carried out on fabric samples produced by needlepunching and thermal bonding technologies under varying parameters. The individual investigated samples differ both in the material composition of the web and in the method of its reinforcement. The theoretical knowledge about needlepunching and through-air bonding technologies, as well as the mentioned properties are presented in the paper. The individual properties of the investigated fabrics are compared and evaluated based on the measured and statistically processed values of the relevant variables.

Keywords: nonwovens, needlepunching, through-air bonding, bicomponent fibres, tensile strength, elongation, air permeability, bending resistance

Obsah

Seznam symbolů a zkratk	9
Úvod	12
Teoretická část	14
1 Netkané textilie.....	14
1.1 Význam netkaných textilií	14
1.2 Klasifikace netkaných textilií.....	16
2 Technologie výroby netkaných textilií	16
2.1 Vláknenné suroviny	17
2.1.1 Vlastnosti textilních vláken	18
2.1.2 Modifikace vláken, kopolymery	19
2.1.3 Bikomponentní vlákna	20
2.1.4 Polyesterová vlákna.....	21
2.1.5 Vlastnosti polyesterových vláken.....	22
2.2 Příprava vláknenné vrstvy	24
2.2.1 Technologie mykání	25
2.2.2 Příčné kladení vláknenné vrstvy.....	26
2.3 Zpevnění vláknenné vrstvy	28
2.3.1 Technologie vpichování	29
2.3.2 Parametry vpichování.....	30
2.3.3 Charakteristika a sortiment vpichovaných textilií.....	33
2.3.4 Termické způsoby zpevnění vláknenné vrstvy	33
2.3.5 Teplovzdušné pojení.....	36
2.3.6 Charakteristika a sortiment termicky pojených textilií	38
3 Vlastnosti netkaných textilií.....	39
3.1 Mechanické vlastnosti netkaných textilií	39
3.1.1 Pevnost a tažnost	40
3.1.2 Tuhost v ohybu	43
3.2 Prostup vzduchu – prodyšnost	43
Experimentální část	46
4 Výroba zkoumaných textilií.....	46
4.1 Parametry zkoumaných textilií	46
4.2 Postup výroby zkoumaných textilií.....	47
5 Testování zkoumaných textilií.....	49
5.1 Metody zpracování a vyhodnocení naměřených hodnot.....	49
5.2 Základní charakteristiky zkoumaných textilií	50

5.2.1 Plošná měrná hmotnost	51
5.2.2 Tloušťka	53
5.2.3 Objemová měrná hmotnost	54
5.3 Testování mechanických vlastností a prodyšnosti	56
5.3.1 Testování pevnosti a tažnosti	56
5.3.2 Vyhodnocení pevnosti a tažnosti.....	57
5.3.3 Testování tuhosti v ohybu	68
5.3.4 Vyhodnocení tuhosti v ohybu.....	70
5.3.5 Testování prodyšnosti.....	73
5.3.6 Vyhodnocení prodyšnosti.....	75
Závěr.....	77
Seznam použité literatury	79
Seznam tabulek	82
Seznam obrázků	83
Seznam příloh.....	85

Seznam symbolů a zkratek

a	celkový počet jehel
$bico$	bikomponentní vlákno
$coPES$	kopolymer polyester
$coPET$	kopolymer polyethylentereftalát
$C = O$	karbonylová skupina
CD	příčný směr
ČSÚ	Český statistický úřad
dl	přírůstek délky
$dtex$	jednotka jemnosti vláken
$EDANA$	European Disposables and Nonwovens Association
k	koeficient převodu jednotek
l	litr, jednotka objemu
LOI	Limiting Oxygen Index, limitní kyslíkové číslo
MD	podélný směr
n	počet měření
N	počet vrstev
NT	netkané textilie
p	počet průchodů textilie strojem
PA	polyamid
PE	polyethylen
PES	polyester
PET	polyethylentereftalát
PP	polypropylen
PVC	polyvinylchlorid
R_1	zbytek karboxylové kyseliny
R_2	zbytek alkoholu
s	směrodatná odchylka
t_{n-1}	kvantil Studentova rozdělení
Te	termické pojení
v	variační koeficient
Vp	vpichování
\bar{x}	aritmetický průměr
α	hladina významnosti
μ	koeficient tření

Fyzikální veličiny

A	plocha vzorku, kterou prochází vzduch [m ²]
A_{max}	maximální prodloužení [mm]
b	šířka vzorku [m]

C	ohybová délka [cm]
E	modul pružnosti v tahu [Pa]
E_p	počáteční tangentský modul pružnosti [$N \cdot \text{tex}^{-1}$]
F	pevnost, síla [N]
F_{max}	maximální síla [N]
F_r	relativní pevnost [$N \cdot \text{tex}^{-1}$]
f	frekvence desky [s^{-1}]
G	ohybová tuhost [$\text{mg} \cdot \text{m}$]
g	plošná hmotnost [$\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$]
h	tloušťka plošné textilie [m]
l	délka, vzdálenost [m]
l_0	původní délka [mm]
M_o	ohybový moment [$\text{mN} \cdot \text{cm}$]
m	hmotnost [kg]
p	pórovitost [%]
Q	teplo prošlé jednotkou plochy za jednotku času [$\text{J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$]
Q_v	objemové množství prostoupeného vzduchu [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]
R	prodyšnost [$\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$]
S	plocha [m^2]
T_f	teplota viskózního toku [$^{\circ}\text{C}$]
T_g	teplota skelného přechodu [$^{\circ}\text{C}$]
T_m	teplota tání [$^{\circ}\text{C}$]
V	objem plošné textilie [m^3]
V_c	celkový objem textilie [m^3]
V_p	objem pórů [m^3]
V_t	objem textilie [m^3]
V_{vlk}	objem vláken [m^3]
V_{vzd}	objem vzduchu [m^3]
v	rychlost průchodu (odvádění) textilie strojem [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]
v_{cl}	rychlost pohybu kladacího pásu [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$]
v_{mb}	rychlost pohybu odváděcího pásu ve směru stroje [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$]
v_p	počet vpichů na jednotku plochy [m^{-2}]
W	práce (energie) [J]
Δl	prodloužení [mm]
Δl_{max}	maximální prodloužení [mm]
Δp	tlakový spád [Pa]
ΔT	teplotní rozdíl mezi dvěma teplosměnnými plochami [K]
α	úhel křížení pavučiny vzhledem k příčnému směru [$^{\circ}$]
ε	relativní prodloužení, tažnost, deformace [%]
λ	součinitel tepelné vodivosti materiálu [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]

μ	zaplnění [%]
ρ_S	plošná měrná hmotnost [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$]
ρ_V	objemová měrná hmotnost [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]
ρ_t	objemová měrná hmotnost textilie [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]
ρ_{vlk}	hustota vláken [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]
σ	normálové napětí [Pa]
σ_E	mez pružnosti [Pa]
σ_K	mez kluzu [Pa]
σ_P	mez pevnosti [Pa]
σ_U	mez úměrnosti [Pa]
τ	tečné napětí [Pa]

Úvod

Produkty průmyslu netkaných textilií mají uplatnění prakticky v každé oblasti lidské činnosti a potřeby. Vzhledem k rozmanitosti jejich vlastností, které určují konkrétní používání, se staly neodmyslitelnou součástí každodenního života. Doprovázejí nás prakticky na každém kroku, zvyšují komfort bydlení, pomáhají ke zlepšení pracovních podmínek nebo volnočasových aktivit, celkově přispívají ke kvalitě života. Mnohé z nich jsou vcelku známé, například různé hygienické, zdravotnické nebo úklidové prostředky, geotextilie, filtrační materiály a další. Existuje řada dalších, nově vyvíjených materiálů, které mají specifické použití, například ve tkáňovém inženýrství nebo v oblasti automobilového výzkumu.

Společnosti, zabývající se produkcí a vývojem netkaných textilií, vyvíjejí nové technologie výroby a zpracování, hledají nové aplikační příležitosti a stejně tak i možnosti snižování výrobních nákladů. S tím souvisí využívání recyklovaných textilních vláken nebo vláken z obnovitelných zdrojů. V současné době, poznamenané energetickou krizí, se především jedná o snížení spotřeby energie ve výrobních zařízeních a její efektivní využívání. V neposlední řadě je nutné zohledňovat ekologické hledisko v souladu s Green Deal.

Diplomová práce se zabývá vpichovanými a termicky pojenými netkanými textiliemi. Jejím cílem je vyhodnotit vybrané vlastnosti netkaných textilií v závislosti na materiálovém složení a použitém způsobu jejich výroby. Na základě měření a zpracování dat potom posoudit, který ze sledovaných parametrů má vliv na vlastnosti zkoumaných textilií a které textilie jsou výhodnější z pohledu vybraných vlastností. Jedná se o tyto vlastnosti: pevnost a tažnost, tuhost v ohybu a prodyšnost. K posouzení závislosti byly vyrobeny tři typy textilií, rozdílné ve způsobu zpevnění a složení vlákenné vrstvy, která byla získána z polyesterových vláken. U každé z nich bylo provedeno mechanické zpevnění vpichováním o šesti různých hodnotách hustoty vpichování, přičemž u prvního typu byl použit pouze jeden základní typ vlákna. Druhý typ vpichované textilie obsahoval směs základních a bikomponentních vláken, třetí typ experimentální textilie byl ve složení vlákenného materiálu shodný s druhým, navíc bylo provedeno termické pojení.

V teoretické části práce se uvádějí základní informace o netkaných textiliích, jsou zde popsány vlastnosti základních a modifikovaných polyesterových vláken a typy bikomponentních vláken. Další pojednání této části práce je zaměřeno na způsoby přípravy vlákenné vrstvy a jejího zpevnění, přičemž je hlavní důraz kladen na technologie

vpichování a termického pojení. V práci jsou uvedeny také teoretické podklady k měřeným vlastnostem.

Experimentální část práce popisuje postupy výroby zkoumaných textilií a měření jejich vlastností včetně popisu měřících přístrojů a uvedení příslušných norem. Výroba textilií a testování jejich vlastností byly provedeny v laboratořích Katedry netkaných textilií a nanovláknenných materiálů Fakulty textilní Technické univerzity v Liberci.

Výsledky měření jsou zaznamenány v tabulkách, statisticky zpracovány a porovnány pomocí odpovídajících grafů. V závěrečné části práce je uvedeno hodnocení vlastností zkoumaných textilních materiálů z hlediska vlivu výrobních parametrů a materiálového složení.

Teoretická část

1. Netkané textilie

Netkané textilie představují širokou škálu výrobků, které se získávají různými technologickými postupy, přičemž probíhá neustálý a rychlý vývoj těchto technologií. Vznikají tak výrobky s novými vlastnostmi. Tomu podléhá i definice pojmu netkaná textilie, která je popsána příslušnými normami.

Netkané textilie jsou definovány normami ISO 9092 a CEN EN 29092. Tyto dva dokumenty, identické svým obsahem, jsou mezinárodně uznávanou definicí netkaných textilií. Jsou pravidelně aktualizovány odborníky, reflektují vývoj technologie obchodu a průmyslu a jsou odrazem současného chápání netkaných textilií. Následující text odráží současnou definici netkaných textilií.

„Netkaná textilie je konstruovaná vláknitá struktura, primárně rovinná, které byla dána navržená úroveň strukturální integrity fyzikálními a/nebo chemickými prostředky, s výjimkou tkaní, pletení nebo výroby papíru [1].“

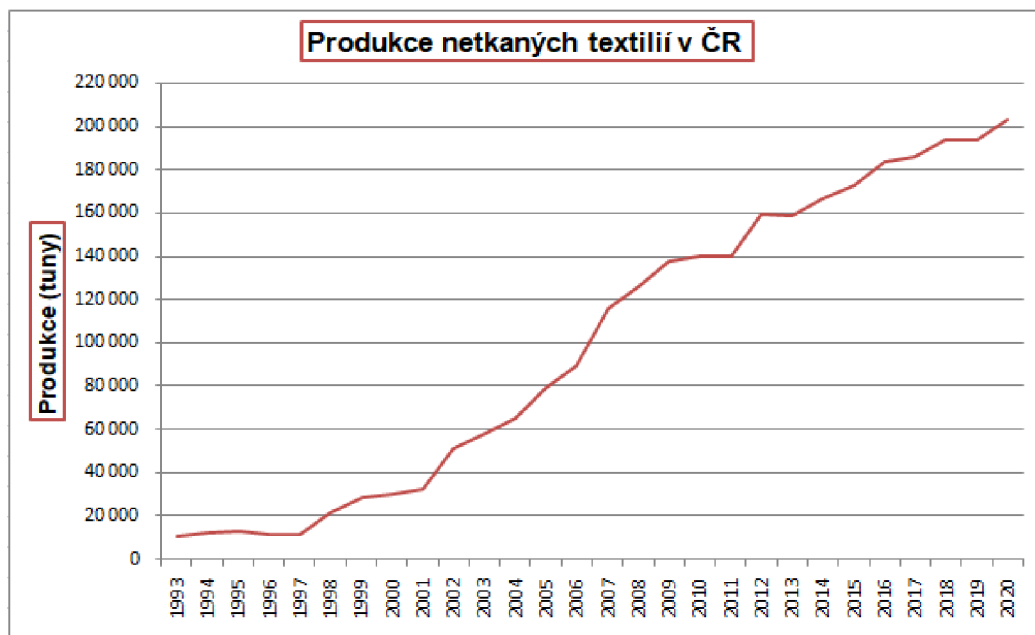
Jiná, starší definice netkané textilie: „Netkaná textilie je vrstva vyrobená z jednosměrně nebo náhodně orientovaných vláken, spojených třením a/nebo kohezí a/nebo adhezí, s výjimkou papíru a výrobků vyrobených tkaním, pletením, všíváním, proplétáním nebo plstěním [2].“

1.1 Význam netkaných textilií

Obor netkaných textilií je nejmladším a zároveň nejrychleji se rozvíjejícím odvětvím textilního průmyslu. Rychlý rozvoj výzkumu, moderních způsobů výroby a všestranného použití netkaných textilií v různých oblastech lidské činnosti se prakticky datuje od šedesátých let 20. století. V současné době dynamika tohoto odvětví pokračuje, jeho široký rozsah spočívá ve využívání různých druhů vláknenných surovin, ve velké variabilitě technologických postupů a také v neustále se rozšiřující paletě běžných i speciálních produktů. Lze tak předpokládat, že se průmysl netkaných textilií dostává do stavu udržitelného růstu a schopnosti konkurovat oproti tradičním výrobcům textilu zabývajících se výrobou oděvního nebo bytového textilu.

Tuzemské trendy vývoje a výroby netkaných textilií korespondují s daty vztahujícími se ke světové nebo evropské produkci. Podle [3] se v České republice zvýšila výroba netkaných textilií z 140 094 tun v roce 2010 na 203 094 tun v roce 2020,

tzn., že meziroční nárůst byl 4,5 %. Celkový vývoj této produkce od roku 1993 do roku 2020 je znázorněn grafem na obr.1, vytvořeným podle statistických údajů ČSÚ.



Obr.1: Vývoj produkce netkaných textilií v ČR v období 1993–2020 [3].

Současný rychlý rozvoj výroby netkaných textilií je spojen s vývojem dalších technologických postupů a zjišťováním potřeb trhu. Výrobky z netkaných textilií nás provázejí prakticky ve všech životních oblastech a potřebách, jsou prakticky nepostradatelnými pro současnou civilizaci. Mají často kvalitativně nové vlastnosti a tím mohou nabízet celou řadu aplikačních možností. K jejich výhodám oproti klasickým textiliím lze zařadit například nízké výrobní náklady, vysokou produktivitu práce nebo možnost využití druhotných surovin. Poptávka po netkaných textiliích a tomu odpovídající nabídka neustále roste a odráží aktuální aspekty života, například pandemie koronaviru významně ovlivnila trhy s netkanými textiliemi [4].

Široké spektrum netkaných textilií zasahuje od technických textilií až po materiály vyvinuté pro biologické tkáňové inženýrství. Pojem technické textilie je souhrnným označením pro textilní materiály a výrobky, jejichž hlavním účelem je plnění určité technické a výkonové funkce, vlastnosti estetické nebo dekorativní nejsou primární i když také důležité. Někdy se pro tyto materiály používají pojmy jako funkcionální nebo inženýrské textilie nebo také „hig-tech“ textilie. Je definováno celkem 12 kategorií technických textilií podle oblasti použití [5]. Z názvů těchto kategorií je zřejmá příslušná

oblast použití: Agrotech, Buildtech, Clothtech, Geotech, Hometech, Indutech, Medtech, Mobiltech, Oekotech, Pactech, Protech, Sporttech.

1.2 Klasifikace netkaných textilií

Snahy o systematickou klasifikaci netkaných textilií korespondují s rozvojem jejich výroby a použití. Vzhledem k velké rozmanitosti surovin, technologických postupů výroby i použití netkaných textilií není jejich klasifikace jednoznačná. Existují různá hlediska, podle kterých lze klasifikaci netkaných textilií provést, nejčastěji se uvádí hledisko založené na technologickém postupu výroby, které souvisí s dalším hlediskem, to je způsob zpevnění vlákenné vrstvy [2].

Rozdělení netkaných textilií podle technologie výroby [6]:

- mechanicky zpevněné – provazované vlákny nebo soustavou vazných nití
- fyzikálně-chemicky zpevněné – kapalnými pojivy, pevnými pojivy, aktivací
- vrstvené – vrstvy spojené mechanicky, chemicky, termicky

Další možný způsob klasifikace netkaných textilií je podle oblasti jejich použití.

Podle [7] je to následujících 14 oblastí:

- automobilový průmysl a doprava
- zemědělství
- stavebnictví
- oblečení a obuv
- hygienické a absorpční výrobky
- medicína
- jídlo a nápoje
- ochranné oděvy
- geotextilie
- elektronika
- filtrační materiály
- ubrousky
- domácnost
- obalové materiály

2 Technologie výroby netkaných textilií

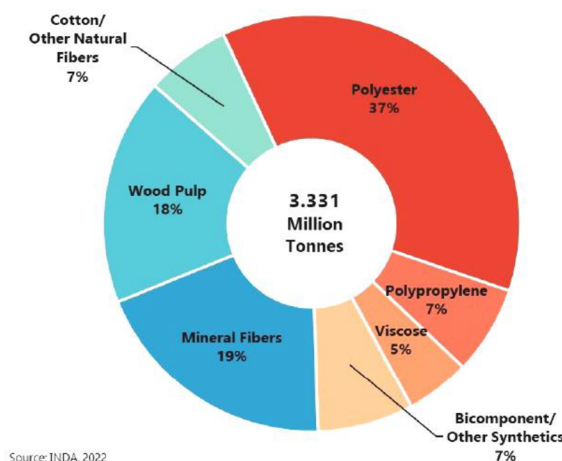
Postupy a způsoby výroby netkaných textilií se volí v závislosti na požadovaných vlastnostech finálního výrobku a vstupních parametrech vlákenné suroviny. Obecně je možné jejich výrobu rozdělit do následujících technologických částí:

1. příprava vlákenné suroviny
2. příprava vlákenné vrstvy
3. zpevnění vlákenné vrstvy
4. úpravy a konečné zpracování netkané textilie.

2.1 Vlákenné suroviny

Při výrobě netkaných textilií se používají textilní vlákna běžně zpracovávaná v textilním průmyslu, jako jsou vlákna přírodní i vlákna z přírodních a syntetických polymerů. Zpracovávají se i některé textilní odpady nebo druhotné textilní suroviny. Používají se některá speciální vlákna, tzn. vlákna různě modifikovaná, štěpená z fólie, dutá nebo bikomponentní. Na výrobu netkaných textilií specifických vlastností lze použít další skupinu vláken, např. vlákna skleněná, čedičová, křemíková, uhlíková nebo kovová a další [8].

Podíl spotřeby nejvýznamnějších typů vláken používaných ve výrobě netkaných textilií v roce 2021, konkrétně v Severní Americe, je znázorněn na obrázku 2.



Obr. 2: Zastoupení základních typů vláken ve výrobě NT v roce 2021 v Severní Americe [4].

Základními surovinami k výrobě netkaných textilií jsou textilní vlákna v různém stupni zpracování. Typ a tomu odpovídající vlastnosti vláken i stupeň jejich zpracování jsou hlavní hlediska, podle kterých se volí výrobní postupy. Způsob zpracování vlákenných surovin musí odpovídat jejich vlastnostem a současně se musí přizpůsobit a zohledňovat požadavky na vlastnosti budoucí textilie. Vlákenná surovina bývá nejčastěji ve formě stříže, která se před dodáním na další zpracování lisuje.

V následujících kapitolách jsou popsány vlastnosti textilních vláken, možnosti jejich modifikací a typy bikomponentních vláken. Zvláštní pozornost je věnována polyesterovému vláknu, protože tento typ vlákna je často používaným při výrobě netkaných textilií obecně a je také použit při výrobě vzorků netkaných textilií, které jsou předmětem zkoumání v praktické části diplomové práce.

2.1.1 Vlastnosti textilních vláken

Vlastnosti vláken jsou závislé především na jejich chemické struktuře a na fyzikálních podmínkách při jejich zpracování. Chemická struktura má vliv na významné základní vlastnosti, jako jsou pevnost, modul pružnosti, elasticita, absorpce vodní páry a barvitelnost. Molekulová struktura vláken se vyznačuje anizotropií, tj. velkým rozdílem vlastností měřených v podélném nebo příčném směru. V podélném směru se uplatňují silné chemické vazby, protože jsou v tomto směru uloženy molekulové řetězce. V příčném směru působí pouze mezimolekulové síly, které jsou slabší než chemické vazby.

Vlastnosti vláken podmiňují jejich technologické zpracování, užitnost, rozměrovou stabilitu nebo trvanlivost, oblast použití a projevují se ve vlastnostech textilií z nich vyrobených. Posuzují se podle různých kritérií, např. podle původu, geometrických rozměrů, chemického složení nebo způsobu zpracování [9].

a) **Geometrické vlastnosti.** Jsou základními charakteristikami jako je délka vláken, měrná hmotnost, měrný povrch, jemnost, ohebnost nebo pórovitost.

b) **Mechanické vlastnosti.** Tato rozsáhlá skupina vlastností je výsledkem vztahu mezi působící silou a deformací vlákna. Pro hodnocení kvality textilních vláken i jejich využití mají význam zejména: pevnost a tažnost, odolnost v oděru a proti skluzu vláken, únava vláken při opakovaném namáhání, sráživost a mačkavost.

c) **Sorpční vlastnosti.** Vlákna přijímají vlhkost svého okolí tak dlouho, až se ustaví rovnováha mezi obsahem vody ve vláknech a obsahem vody v okolním prostředí. Vlhkost vláken má vliv nejen na jejich zpracovatelnost, ale i na jejich další vlastnosti, např. pevnost a tažnost.

d) **Optické vlastnosti** jsou charakterizovány jevy, ke kterým dochází při interakci vlákna se zářením určité vlnové délky. Jedná se o jevy difrakční, absorpční v oblasti viditelného a infračerveného světla a geometricko-optické.

e) **Elektrické vlastnosti.** Elektrický náboj působí řadu potíží při technologickém zpracování, problémy mohou nastat také u finálního produktu. Pro technologii vláken mají důležitost elektrostatické vlastnosti, statický náboj, elektrická vodivost, izolační schopnosti a dielektrické chování.

f) **Tepelné vlastnosti** vláken jsou výrazně ovlivněny jejich celkovou strukturou, molekulární i nemolekulární. Tvar jednotlivých molekul a jejich vzájemné uspořádání, amorfní nebo krystalické, má vliv zejména na tepelnou roztažnost, měrné teplo a tepelnou

vodivost těchto látek. Teplo může vyvolat různé strukturální změny, způsobit urychlení chemických dějů (např. oxidaci, depolymeraci) a tím způsobit změny v dalších vlastnostech vláken. Tepelné vlastnosti lze posuzovat podle několika hledisek, hodnotí se například teplota tání, měrné teplo, tepelná vodivost a tepelná roztažnost, přechodové teploty nebo zesklnění.

2.1.2 Modifikace vláken, kopolymery

Modifikace vláken je záměrná změna složení nebo struktury vláken, která vede ke zlepšení některých jejich vlastností. Existuje mnoho různých způsobů modifikací, které lze rozdělit podle stadia, ve kterém se modifikace provádí. Jsou to modifikace:

- a) v průběhu přípravy polymeru – změna relativní molekulové hmotnosti, příprava kopolymerů, přidavek aditiv
- b) v průběhu přípravy vlákna – úprava podmínek dloužení a fixace, nekruhový průřez, ultrajemná vlákna, tvarování, bikomponentní vlákna
- c) při použití vláken – roubování, dodatečná krystalizace, řízená povrchová destrukce

Kopolymery

Jsou makromolekulární látky vzniklé ze dvou nebo více monomerů. Při přípravě kopolymerů lze podle vlastností obou monomerů, podle podmínek polymerace, podle poměrného zastoupení obou složek a podle toho, jak se monomerní jednotky v řetězci střídají, získat konečný produkt různých vlastností. Podle způsobu vzájemného střídání obou monomerních jednotek je možno získat kopolymer:

- a) statistický – střídání obou monomerních jednotek je náhodné
- b) alternující – pravidelné střídání jednotek
- c) blokový (sledový) – dlouhé úseky obsahující vždy jen jeden druh monomeru
- d) rozvětvený (roubovaný) – boční napojení skupin z jednoho monomeru na řetězec z druhého monomeru [10].

Kopolymerace se používá k úpravě vlastností polymeru tak, aby vyhovovaly konkrétním potřebám, například ke snížení krystalinity, zlepšení rozpustnosti a schopnosti smáčení. Může docházet ke změnám hodnot přechodových teplot T_g (teplota skelného přechodu) nebo T_f (teplota viskózního toku). Kopolymerací lze připravit polymery s volitelnou teplotou tání T_m .

2.1.3 Bikomponentní vlákna

Jsou to syntetická vlákna, která jsou složena ze dvou polymerů odlišné chemické nebo fyzikální struktury tvořících vzájemně spojené samostatné fáze, komponenty. Funkční vlastnosti obou složek lze využít v jednom vláknu a tím docílit specifických vlastností. Jejich výroba je nákladnější než u vláken klasických.

Polymery jsou zvlákňovány speciálními tryskami zajišťujícími umístění složek vlákna buď vedle sebe nebo jako směs s fibrilami uvnitř matice. Existují v podstatě tři typy bikomponentních vláken, které se liší uspořádáním obou komponent. Podle způsobu spojení v průřezu vlákna se rozlišují typy:

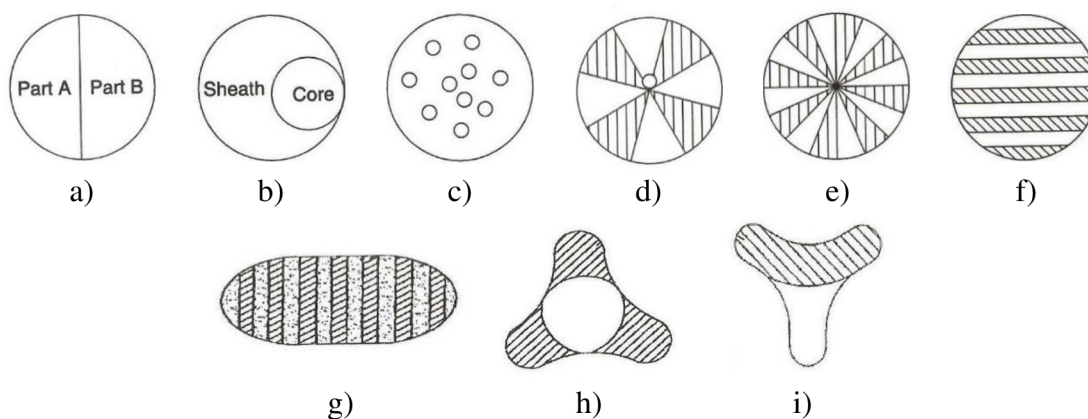
a) **Vlákna typu S/S** (side by side, strana ke straně) se vyrábějí spojením dvou proudů taveniny ve zvlákňovací trysce nebo těsně pod ní. Složky mají různou sráživost a bobtnání. Tato vlákna jsou trvale zkadeřená.

b) **Vlákna typu C/S** (core/sheath, jádro/plášť) jsou z komponent s rozdílnou tavitelností. Vyrábějí se speciálními tryskami umožňujícími obklopení jednoho proudu taveniny (jádra) jiným proudem taveniny, tvořící plášť vlákna. Zvlákňují se přes prstencovou trysku s odděleným přívodem obou polymerních složek.

Vlákna tohoto typu jsou doporučována pro výrobu netkaných textilií pojených termicky.

c) **Bikonstituentní vlákna** typu M/F (matrix/fibril, matrice/vláknina) se vyrábějí z taveniny, která vznikla mechanickým mísením dvou tavenin nebo rozptýlením fibrilek jednoho polymeru v tavenině druhého polymeru. Do matrice vniknou krátká nebo i velmi dlouhá vlákénka. U tohoto typu vláken se změni vlastnosti obou komponent, např. afinita k barvivům. Bikonstituentní vlákna se často využívají pro tvorbu mikrovláken nebo dutých vláken.

Další druhy bikomponentních vláken jsou odvozeny od předcházejících, např. MR (multiple radial), MS/S (multiple side by side) nebo MC (multi core). Vlákno je tvořeno vrstvami jednoho polymeru oddělenými vrstvami polymeru jiného. Vrstvy mohou být uspořádány axiálně, radiálně nebo segmentově [11]. Na obr. 3 jsou znázorněny některé varianty bikomponentních vláken.



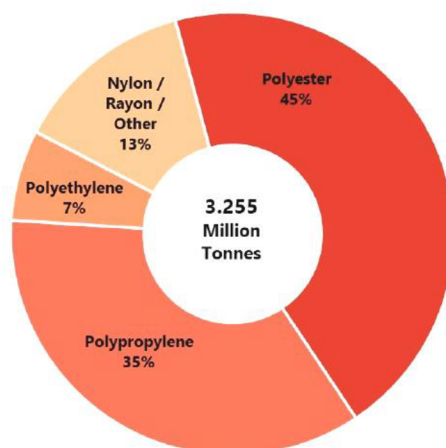
Obr. 3: Schéma průřezu hlavních typů bikomponentních vláken [12].

a) S/S, b) C/S, excentrický, c) M/F, ostrovy v moři d) MR, citrus, e) segmentový koláč, f) segmentový kruh, g) segmentová stuha, h) C/S, trilobal, i) S/S, trilobal

2.1.4 Polyesterová vlákna

Vývojem nových technologií ale i dostupností zdrojů a vývojem cen se mění zastoupení typů vláken ve výrobě netkaných textilií ve prospěch syntetických vláken. Z této skupiny vláken se nejvíce uplatňují vlákna polypropylenová, polyesterová, polyamidová nebo polyethylenová.

Polyesterová vlákna tvoří významnou složku objemu výroby syntetických vláken používaných v průmyslu netkaných textilií. Příkladem může být statistika z roku 2021 pro Severní Ameriku, obr. 4, podle které tento podíl činí 45 % [4].



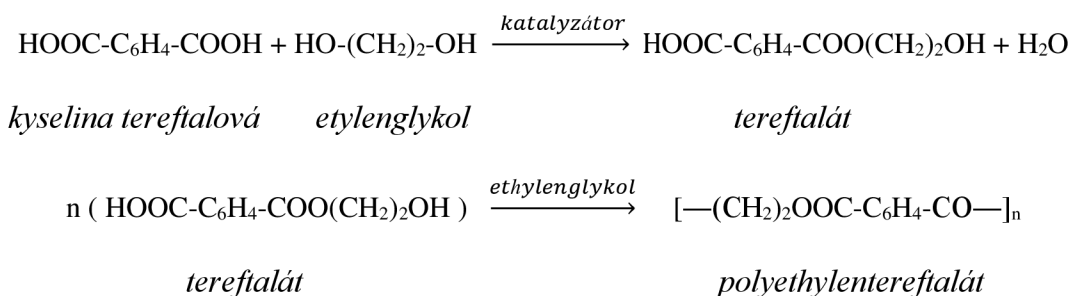
Obr. 4: Podíl syntetických vláken používaných ve výrobě NT v roce 2021 v Severní Americe 2021 [4].

Názvem polyester se původně označoval reakční produkt vícesytných karboxylových kyselin a vícesytných alkoholů. Později se pod tento název zařadily

produkty obsahující esterové skupiny v hlavních, souvislých řetězcích. Základem jejich struktury je esterová vazba $R_1 - CO - O - R_2$, kde R_1 je zbytek karboxylové kyseliny a R_2 je zbytek alkoholu.

Nejrozšířenějším polyesterovým vláknem z hlediska použití je vlákno vyrobené z polyethyltereftalátu, PET. Přitom existují jeho různé modifikace.

Polyethyltereftalát lze chemicky definovat jako polyester kyseliny tereftalové (1,4-benzendikarboxylové) a ethylenglykolu (1,2-ethandiolu). Přímou metodu přípravy polyesteru vyjadřuje následující schéma:



V praxi se jako výchozí monomer pro přípravu polyethyltereftalátu častěji používá dimethylester kyseliny tereftalové, protože použití kyseliny tereftalové naráží na mnohé nežádoucí jevy vyplývající z vlastností této kyseliny.

Modifikace polyesterových vláken se provádí většinou kopolykondenzací, obvykle mají statistické nebo blokové uspořádání monomerních jednotek. V podstatě se jedná o náhradu kyseliny tereftalové jinou dikarboxylovou kyselinou, používají se i substituční deriváty kyselin. Ethylenglykol lze zaměnit za jiný diol, například trimethylenglykol, tetramethylenglykol nebo vyšší dioly. Poměrně známá je kopolymerace kyselinou isoftalovou nebo častěji sulfoisoftalovou, kterou se získá produkt s nižší teplotou tání, naopak použití bifenyldikarboxylové kyseliny teplotu tání zvyšuje. Na snížení teploty tání má také vliv vyšší počet methylenových skupin obsažených ve struktuře použitého diolu [10].

2.1.5 Vlastnosti polyesterových vláken

Polyesterová vlákna v porovnání s jinými syntetickými vlákny se vyznačují především větší schopností krystalovat, mají krystalinitu 60–85 %. To je důsledkem jejich struktury, zejména přítomností vodíkových vazeb mezi skupinou C=O a vodíkem benzenového kruhu řetězce. Symetrické a pravidelné uspořádání benzenových jader v makromolekule je příčinou malé ohebnosti řetězce. Vlákna se vyznačují vnitřní tuhostí,

a tím odolností proti ohybu a schopností rychlého návratu do původního stavu. Tato vlastnost velmi příznivě ovlivňuje tvarovou stálost finálních textilních výrobků.

Kromě výborné schopnosti zotavení, vykazují vysokou pružnost a objemnost, dobrou odolnost vůči zředěným kyselinám a hydroxidům při normální teplotě, v koncentrovaných kyselinách, zásadách nebo amoniaku se rozkládají. Jsou málo navlhavé a poměrně rychle schnou. Při 65% vlhkosti vzduchu jsou schopny udržet pouze 0,4 % vlhkosti. Obtížně se barví, protože nebobtnají ve vodě a tím těžko přijímají barviva. Polyesterová vlákna se dají snadno kadeřit, což umožňuje přípravu objemových přízí a textilních výrobků. Polyesterová stříž se vyznačuje hlavně nemačkovostí a pružností. Má jemný a teplý omak, rychlé schnutí a malý účinek vody na deformovatelnost vlákna.

Hustota vláken je závislá na stupni krystalizace, úplně amorfní vlákna mají hustotu $1330 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, úplně krystalická $1470 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, obecně se udává hodnota $1380 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ [10].

Polyesterová vlákna mají nízký koeficient tření ($\mu = 0,58$), jsou dobrým elektrickým izolantem, s velkou náchylností k tvorbě elektrostatického náboje. Mají nízkou tepelnou vodivost a specifické teplo, hořlavost LOI = 0,206 [5].

Hodnoty některých dalších charakteristických veličin, konkrétně pro PET vlákna s průměrnými vlastnostmi jsou uvedeny v tab. 1, sestavené podle [13] a [14].

Tab. 1: Základní vlastnosti PET vláken.

Polymerační stupeň	100 – 150
Hustota [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]	1370 – 1390
Teplota zesklnění T_g [$^{\circ}\text{C}$]	70 – 80
Teplota měknutí [$^{\circ}\text{C}$]	235 – 250
Teplota tání T_m [$^{\circ}\text{C}$]	248 – 258
Teplota rozkladu [$^{\circ}\text{C}$]	280 – 320
Relativní pevnost za sucha [$\text{cN} \cdot \text{dtex}^{-1}$]	4,0 – 6,5
Relativní pevnost za mokra [% pevnosti za sucha]	95 – 100
Tažnost za sucha [%]	15 – 35
Tažnost za mokra [% tažnosti za sucha]	100 – 105
Tuhost [$\text{cN} \cdot \text{dtex}^{-1}$]	20,3 – 45,0
Modul pružnosti [$\text{cN} \cdot \text{dtex}^{-1}$]	79,4 – 114,7

Polyesterová vlákna se dají snadno modifikovat a tvarovat. Je možné záměrně měnit například jejich elasticitu, sráživost, žmolovitost nebo barvitelnost. V dnešní, již třetí generaci modifikovaných vláken, je snaha výrobců připravovat vlákna „na míru“

podle předem určených vlastností (fibreengineering). Vztahy mezi strukturou vláken a jejich vlastnostmi jsou poměrně komplikované, nelze kvantifikovat jednoznačnou závislost a v podstatě jde pouze o určení korelace mezi strukturou vláken a jejich vlastnostmi [11].

2.2 Příprava vlákenné vrstvy

Vlastnosti vlákenné vrstvy mají jednoznačně vliv na její další zpracování a promítají se také do finálního výrobku. Pro danou technologii a výrobní postup musí vlákenná vrstva splňovat určité požadavky. Je to homogenita a soudržnost vrstvy, orientace vláken ve vrstvě nebo způsoby zahušťování na příslušnou hmotnost.

Proces přípravy vlákenné vrstvy zahrnuje v podstatě dva stupně, přípravu vláken a formátování vlákenné vrstvy (způsoby kladení vláken a řízení jejich orientace). Vlákná mohou být upravena pomocí různých technologií – rozvolňování, promíchání, mísení různých typů vláken, čištění, čechrání, preparace nebo dávkování [15].

Vlákenná vrstva může být připravena v různých tloušťkách, orientacích a pevnostech. V podstatě se jedná o pavučinu (snímanou z mykacího stroje), rouno (několik sdružených pavučin, nebo rouno vytvořené pneumaticky), list (vytvořený z naplavené suspenze krátkých vláken a následného odstranění kapaliny), spleť (z nekonečných vláken nebo nití). Jednotlivé postupy se vyznačují různými vlastnostmi vytvořené vrstvy, zejména objemností, rovnoměrností a orientací vláken, které mají vliv na vlastnosti finálního produktu [8].

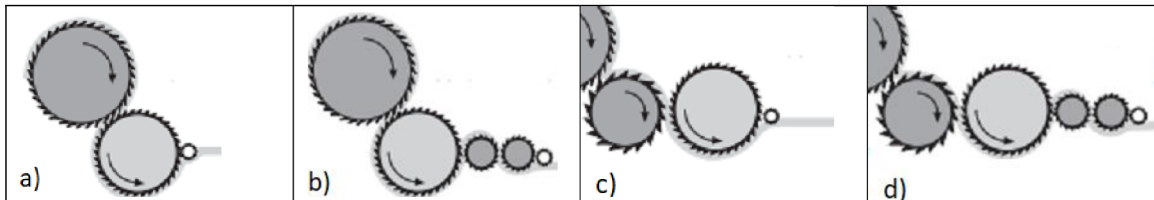
Nejdůležitější postupy přípravy vlákenných vrstev.

- 1) mokrá cesta (wet laid): naplavováním vhodné suspenze vláken
(náhodná orientace vláken).
- 2) suchá cesta (dry laid):
 - a) mechanicky → mykání (orientace vláken podélně, příčně nebo kolmo)
 - b) aerodynamicky (air laid) → náhodná orientace vláken
 - c) přímo z polymeru → spunbond, meltblown, elektrostatické zvlákňování
(převážně náhodná orientace vláken).

Mechanické způsoby spočívají ve vytvoření vlákenné pavučiny a v jejím vrstvení. V dalším bude popsán proces mykání a následné příčné kladení pavučiny vertikálním nebo horizontálním kladečem. Tyto technologické postupy byly použity při výrobě vzorků zkoumaných netkaných textilií.

a pracovních válců a čím je těsnější sesazení pracovních povrchů. Další okolnosti, které mají vliv na účinnost mykání, je typ a povrchová úprava vláken nebo tvar pracovních hrotů. Zařízení se většinou osazují a seřizují tak, že účinek ve směru zpracovávání vzrůstá, to znamená, že mezery mezi povrchy jsou čím dále menší a pracovní hroty jemnější a hustší [2].

Pro klasický způsob snímání pavučiny je charakteristické paralelní uspořádání vláken, které má anizotropní rozdělení s relativně vysokým poměrem $MD : CD > 5 : 1$. Pokud je žádoucí vytvoření hustější pavučiny se sníženou anizotropií, používají se kondenzační válce. Další možností, kterou lze dosáhnout izotropního uspořádání je začlenění randomizačních (míchacích) válců, které okamžitě mění směr uspořádání vláken. Na obr. 6 je schéma použití kondenzačních i randomizačních válců nebo jejich kombinace [17].



Obr. 6: Různé způsoby výroby vlákenné pavučiny mykáním [17].

- a) paralelní uložení vláken, b) zhuštěná pavučina, c) izotropní pavučina,
d) izotropní zhuštěná pavučina

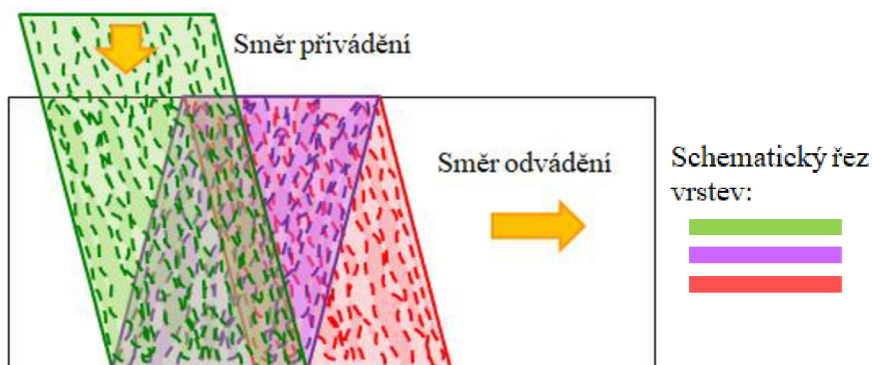
Vzniklá pavučina je potom vrstvena na kladečích, kde může probíhat vrstvení podélné, příčné nebo kolmé.

2.2.2 Příčné kladení vlákenné vrstvy

Poměrně značný podíl netkaných textilií se vyrábí na bázi rouna s příčnou orientací vláken. Principem příčného kladení pavučiny je kombinace pohybu odváděcího pásu a posuvného nebo výkyvného kladečího pásu. Jednotlivé vrstvy se tak ukládají šikmo ke směru odvádění. Příčné kladení způsobuje rovnoměrnější uspořádání vláken v ploše, čímž se zvyšuje izotropie struktury [15].

Úhel křížení pavučiny v příčně vrstveném vlákenném rounu je dán rychlostí pohybu ukládacího a odváděcího pásu. Na úhlu křížení je závislá orientace vláken, která má vliv zejména na pevnost a tažnost vlákenné vrstvy. Pevnost je v příčném směru obvykle dva až třikrát vyšší než v podélném [18].

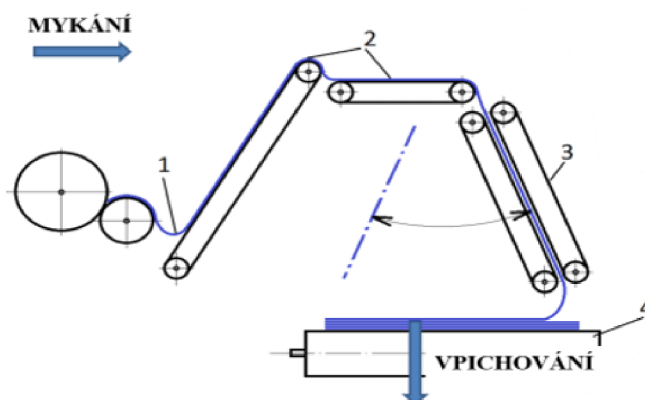
Schematický řez tvořících se vrstev u příčného kladení je znázorněn na obr. 7.



Obr. 7: Schematické znázornění příčného kladení pavučiny [15].

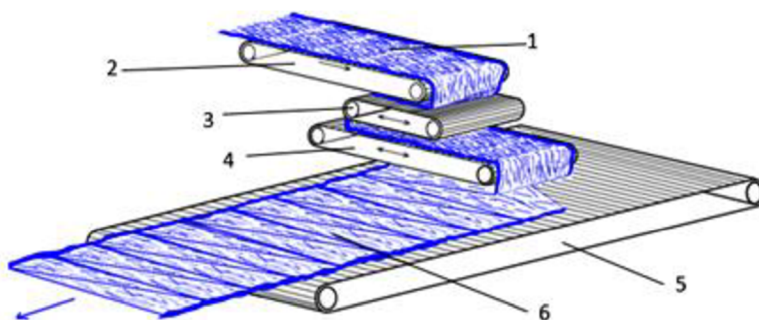
Plošná hmotnost vytvořeného rouna závisí na plošné hmotnosti přiváděné pavučiny, její postupné rychlosti, šířce vytvářeného rouna a rychlosti jeho odvodu [2].

Příčné kladení pavučiny se nejčastěji realizuje pomocí výkyvného vertikálního nebo horizontálního kladeče. Jednotlivé části obou typů jsou schematicky znázorněny na obr. 8 a obr. 9, ze kterých je zřejmý princip činnosti těchto zařízení. Horizontální příčný kladeč se používá u větších šířek pavučiny a vyšších rychlostí.



Obr. 8: Vertikální příčný kladeč pavučiny [15].

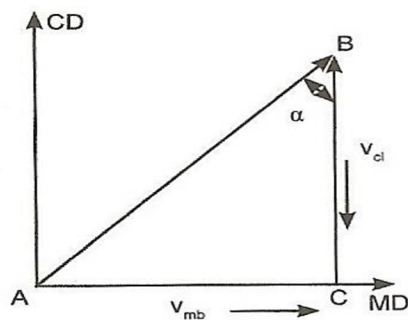
- 1 – pavučina z mykacího stroje, 2 – přiváděcí dopravníky, 3 – dvojice kladečích dopravníků, 4 – odváděcí dopravník



Obr. 9: Horizontální příčný kladeč pavučiny [15].

- 1 – pavučina, 2 – přiváděcí dopravník, 3 – kompenzační dopravník, 4 – ukládací dopravník, 5 – odváděcí dopravník, 6 – příčně vrstvené rouno

Geometrické znázornění úhlu křížení pavučiny u příčného kladení je na obr. 10, velikost úhlu i počet vrstev lze podle [19] vyjádřit vzorci (1) a (2):



Obr. 10: Schematické znázornění úhlu křížení pavučiny [19].

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{v_{mb}}{v_{cl}} \right) \quad (1)$$

$$N = \frac{v_{cl}}{v_{mb}} \quad (2)$$

α ... úhel křížení pavučiny vzhledem k příčnému směru [°]

v_{cl} ... rychlost pohybu kladečního pásu [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$]

v_{mb} ... rychlost pohybu odváděcího pásu ve směru stroje [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$]

N ... počet vrstev

2.3 Zpevnění vláknenné vrstvy

Připravenou vláknennou vrstvu je nutné vhodným způsobem zpevnit. Zvolený způsob zpevnění udává název příslušné technologie výroby i klasifikaci netkaných textilií. Pro zpevňování vláknenné vrstvy se používají tyto základní technologické postupy:

- 1) mechanicky → vpichování, spunlace, proplétání, všívání
- 2) chemicky → impregnace, pěnou, postřikem, bodovým nánosem
- 3) termicky → teplovzdušně, kalandrem, ultrazvukem, infračerveným zářením.

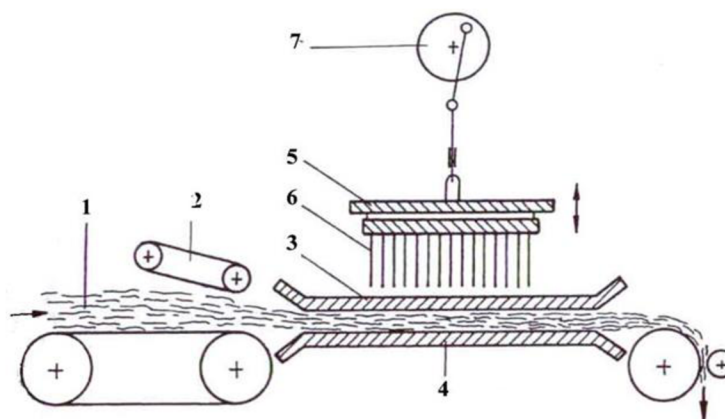
Další technologie zpevňování vláknenné vrstvy mohou být kombinací tří předcházejících.

V následujících kapitolách jsou uvedeny popisy technologie vpichování a termického pojení, které byly použity ve výrobě zkoumaných vzorků.

2.3.1 Technologie vpichování

Vpichování je jedním z nejstarších a dosud nejrozšířenějších způsobů zpevňování vláknenných vrstev. Podstatou této technologie je provázání vláknenné vrstvy vlastními vlákny nebo svazky vláken pomocí speciálních vpichovacích jehel s ostny nebo drážkami, které jsou umístěné v kmitající jehelní desce.

Vláknenná vrstva je přiváděna vstupním zařízením mezi dva děrovací rošty. Otvory v roštích pronikají periodicky vpichovací jehly umístěné v jehelní desce. Ostny jehel zachytávají skupiny vláken, přeorientovávají je kolmo k vrstvě a protahují vrstvou. Vrstva je posunována odtahovými válci po spodním (opěrném) roštu. Při zpětném pohybu soustav jehel zabezpečí vrchní (stírací) rošt vysunutí jehel z vláknenné vrstvy [2]. Princip procesu vpichování je znázorněn na obr. 11.



Obr. 11: Schéma vpichovacího stroje [2].

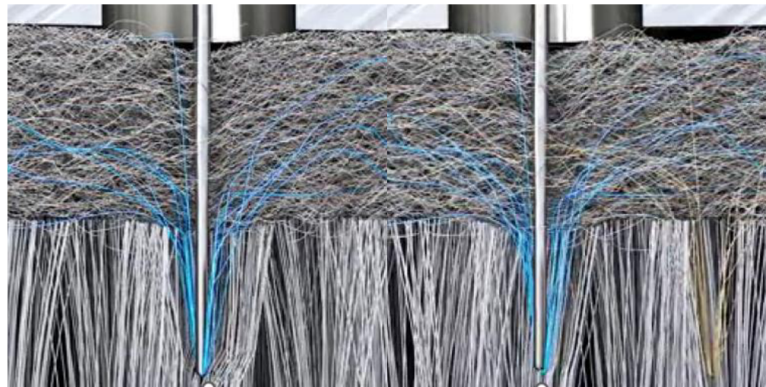
- 1 – vláknenná vrstva, 2 – přiváděcí ústrojí, 3 – stírací rošt, 4 – opěrný rošt,
5 – jehelní deska, 6 – vpichovací jehly, 7 – pohon jehelní desky

V průběhu vpichování dochází k podstatné redukci tloušťky vláknenné vrstvy, k výrazné přeorientaci všech vláken a ke změnám délky i šířky útvaru.

Soudržnost vpichovaných textilií spočívá na tření mezi vlákny. Působením jehly dochází k pružné deformaci vlákna, po uvolnění nastává jeho relaxace. Pozice ostatních vláken ve svazku brání vlákně dosáhnout původního tvaru. Síla, která je dána pružností vlákna vyvolává třecí síly mezi vlákny. Při deformaci se vlákna přeorientují ve směru působící síly. Přitom jsou zvětšovány jejich vzájemné třecí plochy a síla, kterou jsou k sobě přitlačována [2].

Pro vpichované netkané textilie se za vazný bod považuje základní stavební jednotka tvořená svazkem vláken držící pohromadě vlivem třecích sil [15].

Na následujícím obr.12 je zachycen detail procesu vpichování.



Obr. 12: Proces vpichování [15].

Před vstupem výchozí vlákenné vrstvy do vpichovacího stroje se redukuje její tloušťka tak, aby měla menší rozměr, než je vzdálenost roštů. Regulace požadované tloušťky se provádí pomocí konstrukce přiváděcího zařízení nebo použitím předvpichovacího stroje, který zabezpečuje rovnoměrné ztenčení vlákenné vrstvy.

2.3.2 Parametry vpichování

Na strukturu a vlastnosti vpichovaných textilií mají vliv tyto hlavní parametry: hustota vpichování a hloubka vpichu. Výsledek vpichování je ovlivněn i dalšími parametry, zejména typem, rozměry a způsobem rozmístění vpichovacích jehel a také vlastnostmi vláken a vlákenných vrstev.

Hustota vpichování

Počet vpichů na jednotku plochy textilie vyjadřuje vzorec (3):

$$v_p = \frac{a \cdot f \cdot p}{v} \quad (3)$$

v_p ... počet vpichů na jednotku plochy [m^{-2}]

a ... celkový počet jehel na 1 metr vpichovací desky ve všech řadách

f ... frekvence desky [s^{-1}]

p ... počet průchodů textilie strojem

v ... rychlost průchodu (odvádění) textilie strojem [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]

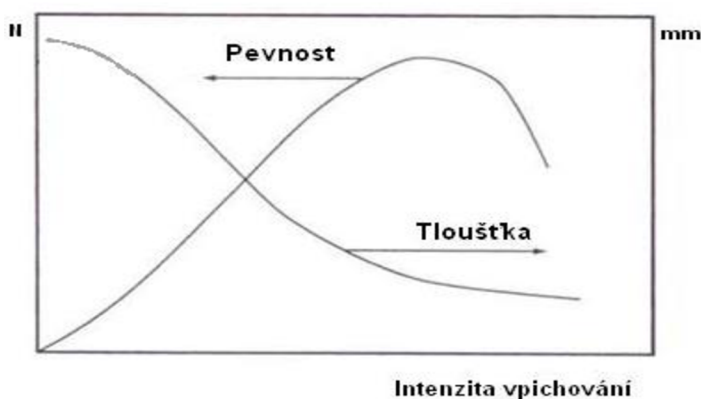
Kumulativní hustota vpichů se pohybuje v rozmezí přibližně 100 až 1000 vpichů na jeden čtvereční centimetr plochy, v závislosti na požadované hustotě, hmotnosti textilie, složení vláken a fyzikálních vlastnostech konečného výrobku [17].

Míra zpevnění vlákně vrstvy roste s počtem vpichů na jednotku plochy vrstvy. Vyšší hustota vpichování způsobuje větší pevnost (do jisté míry), větší rozměrové změny výrobku, větší poškození vláken, menší tloušťku nebo menší prodyšnost výrobku [15].

Hloubka vpichu

Je vzdálenost špiček jehel od pracovní plochy opěrného roštu v dolní úvrati pohybu jehel. Hloubka vpichu se řídí tloušťkou vkládané vlákně vrstvy a pohybuje se v rozmezí 5–25 mm. Závislost pevnosti textilie na hloubce vpichu vykazuje stejný průběh jako je u hustoty vpichování [2].

Na obr. 13 je znázorněna typická závislost pevnosti a tloušťky vpichovaných textilií na intenzitě vpichování.



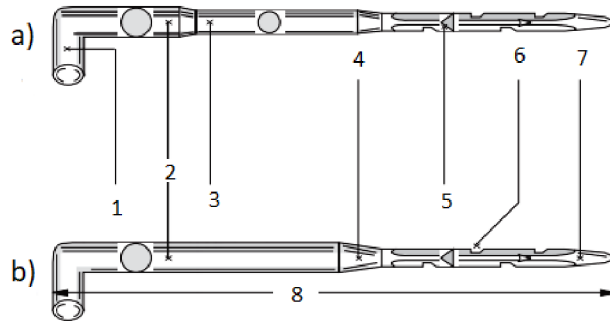
Obr. 13: Závislost pevnosti a tloušťky vpichovaných textilií na intenzitě vpichování (hustotě a hloubce vpichů) [15].

Vpichovací jehly

Jsou dalším důležitým parametrem, který má vliv na intenzitu vpichování. Sleduje se typ jehel a způsob rozmístění na jehelní desce, ale také rozměry jehel a tvar jejich jednotlivých částí. Existuje široká škála typů a konstrukcí jehel, výběr pro konkrétní výrobu závisí na typu a jemnosti vláken, na typu vpichovacího stroje, také na požadovaných vlastnostech textilie.

Pracovní část u klasických jehel má zpravidla průřez tvaru rovnostranného trojúhelníku, na jednotlivých hranách jsou vpichovací ostny. Jejich rozměry, vzájemné vzdálenosti a vzdálenosti od hrotu jehly jsou závislé na typu jehly a provozu vpichovacího stroje. Kromě trojúhelníkového průřezu mohou mít čepele tvar hvězdicovitý nebo kapkovitý, které umožňují zvýšit efektivitu vpichování nebo se používají pro speciální účely [17].

Existují v podstatě dvě hlavní skupiny jehel – plstící a vzorovací (strukturální), které se liší hlavně tvarem a rozměry. Na obr. 14 jsou patrné jednotlivé části typické plstící jehly.



Obr. 14: Popis plstící jehly: a) dvojitá redukce, b) jednoduchá redukce [20].

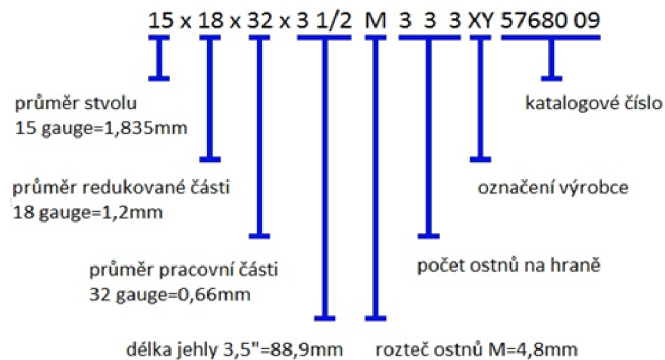
1 – kolénko, 2 – stvol, 3 – redukováná část, 4 – zúžení,
5 – pracovní čepel, 6 – osten, 7 – hrot, 8 – délka jehly

Vzorovací jehly mohou být podle provedení vidličkové nebo korunkové, viz obr. 15. Vidličkové jehly mají na konci kulaté pracovní části zářez ve tvaru vidličky, lze nimi dosahovat například barevné vzorování textilie. Korunkové jehly mají na trojhranné pracovní části jeden velký osten blízko hrotu jehly, používají se v případech, kdy je žádoucí nízká hloubka vpichu [20].



Obr. 15: Strukturální jehly: a) korunková, b) vidličková [20].

Vpichovací jehly se dle mezinárodních zvyklostí označují alfanumerickým kódem, popisujícím jehlu. Průměry jsou udávány v jednotkách „gauge“, délky pak v palcích nebo písmenným kódem. Poslední skupinou je oborové nebo katalogové číslo výrobce. Příklad značení jehly s redukováným stvolem popisuje obr. 16.



Obr. 16: Příklad značení jehly s redukováným stvolem [15].

Vlákna a vlákenné vrstvy

Jsou další okolnosti, které mají vliv na vlastnosti vpichované textilie. Při volbě vhodného vlákna se posuzují zejména vlastnosti geometrické (jemnost, délka, průřez), povrchové (drsnost, povrchová úprava) a mechanické (pevnost, pružnost, relaxační vlastnosti, odolnost vůči namáhání). U vlákenné vrstvy se kromě orientace vláken sleduje její hustota, tloušťka nebo homogenita [15].

2.3.3 Charakteristika a sortiment vpichovaných textilií

Vpichované textilie se vyznačují rozsáhlou škálou plošných hmotností, od 30 do 3000 g · m⁻², lze regulovat jejich objemovou hmotnost a ovlivnit jejich anizotropní vlastnosti. Mají malou pružnost a poměrně vysokou plastickou deformovatelnost [15].

S vývojem vlákenných surovin, vpichovacích strojů a jehel, včetně nových technologických postupů se neustále rozšiřuje uplatnění vpichovaných textilií jak pro technické, tak i pro spotřební účely. Do tohoto širokého sortimentu výrobků patří geotextilie, textilie v automobilovém průmyslu, oděvní a obuvnické vložkové materiály, bytové a nábytkářské textilie, filtrační textilie zejména pro průmyslovou filtraci kapalin a plynů, tepelně a zvukově izolační materiály, podklady pro výrobu syntetických usní, podlahové krytiny nebo různé technické plsti.

2.3.4 Termické způsoby zpevnování vlákenných vrstev

U tohoto způsobu se vlákenné vrstvy zpevňují různými typy pojiv ve formě pevných polymerů nebo kopolymerů. Pojivo může mít podobu prášku, pasty, mřížky, fólie nebo může být vlákenná vrstva připravena ze směsi základních a pojivých vláken. Termoplastická pojiva musí mít nižší teplotu tání, než je základní materiál vlákenné vrstvy.

Podle formy pojiva se volí způsob nanášení, např. se pojivá vlákna promísí s nepojivými do vlákenné vrstvy nebo se pojivo v podobě prášku nebo pasty nanáší na vlákennou vrstvu nebo pavučinu. Další způsob spočívá v tom, že se vlákenná vrstva pojí s plošným útvarem jako je mřížka nebo fólie. Potom dochází k tavení pojiva zvýšením teploty vrstvy, formování pojících míst a následuje zpevnění pojiva ochlazením.

Podle chemického hlediska se využívají pojiva typu homopolymerů s nižší teplotou tání nebo různé kopolymery. Volba typu polymeru, resp. kopolymeru se řídí požadavky na tepelnou a chemickou odolnost výrobků a na míru zpevnění, která je dána zejména

adhezí pojiva k základním vláknům. Adheze je kritickou veličinou z hlediska mechanických vlastností výrobků a z hlediska jejich odolnosti v praní nebo chemickém čištění. U tepelně spojených textilií je adheze podstatná zejména vzhledem k relativně malé ploše styku pojiva s vlákny ve srovnání s textiliemi spojenými chemicky. Menší plocha styku je dána podmínkami tvorby pojících míst, zejména vysokou viskozitou tavenin polymerů.

Obecně platí, že adheze mezi různými polymery je tím vyšší, čím jsou si tyto polymery chemicky podobnější. Pro spojení polyesterových vláken jsou proto výhodnější kopolyestery. Kopolyamidy mají dobrou adhezi k většině základních vláken díky přítomnosti polárních skupin. Pro zpevnění výrobků, které nejsou určeny k chemickému čištění či praní se obvykle volí levnější polypropylen [2].

Hodnoty teplot tání a skelného přechodu pro nejvíce používaná termoplastická vlákna jsou uvedeny v tab. 2.

Tab. 2: Teploty tání a skelného přechodu pro běžná termoplastická vlákna [17].

Typ vlákna	Teplota skelného přechodu T_g [°C]	Teplota tání T_m [°C]
Polyvinylchlorid PVC	81	200 – 215
Polyamid PA	50	210 – 230
Polyester PET	69	245 – 265
Polypropylen PP	-18	160 – 175
Polyethylen PE (s nízkou hustotou)	-110	115

Nejčastěji používanou formou pojiva jsou monokomponentní nebo bikomponentní vlákna s nízkou teplotou tání. Tato vlákna, zejména v technologii teplovzdušného spojení, musí mít některé specifické vlastnosti:

- vhodnou teplotu tání (v závislosti na tepelnou odolnost základních vláken nebo finálního produktu)
- odolnost vůči tepelné a tepelně-oxidační degradaci při teplotě spojení
- nízkou sráživost za tepla
- nízkou viskozitu taveniny (vysoká viskozita brání přeformování taveniny do pojících míst)
- dobrou adhezi k základním vláknům
- nízký obsah a vhodný typ povrchové preparace (preparace snižuje adhezi).

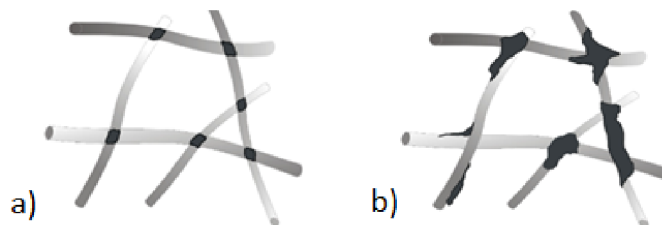
Uvedené požadavky platí přiměřeně i pro základní vlákna, zejména z hlediska tepelné odolnosti, sráživosti a obsahu preparace a olejů. Míra znečištění povrchu může být omezujícím faktorem zpracovatelnosti zejména sekundárních vlákenných surovin [2].

Pojiva, používaná při termickém způsobu zpevňování vlákenné vrstvy, zahrnují krystalická pojivová vlákna, dvousložková pojivová vlákna a prášky. Při použití krystalických pojivových vláken nebo prášků se pojivo zcela roztaví a vytvoří roztavené kapičky v celém průřezu netkané textilie. K pojení dochází v těchto bodech po ochlazení.

V případě bikomponentních vláken se nejčastěji používají vlákna typu C/S (jádro/plášť) s těmito kombinacemi polymerů [17]:

- jádro PET, teplota tání 250 °C / plášť coPET, teplota tání 110–220 °C
- jádro PET, teplota tání 250 °C / plášť PE, teplota tání 130 °C
- jádro PP, teplota tání 175 °C / plášť PE, teplota tání 130 °C

Pojivem je plášť, jádro je nosným vláknem. Tavná část bikomponentního vlákna se taví a vytváří bodový spoj mezi dvěma bikomponentními vlákny nebo bikomponentním vláknem a základním vláknem, které má vyšší teplotu tání. Dochází k tvorbě spojů, které mají v případě pojení bikomponentním vláknem bodovou strukturu. Při pojení termoplastickými vlákny, práškem, mřížkou nebo fólií se může vytvořit aglomerační struktura, obě jmenované struktury jsou na obr. 17 [21].



Obr. 17: Typické tvary pojících míst tepelně pojených NT [21].
a) bodová struktura, b) aglomerační struktura

Samotná příprava vlákenné vrstvy ze směsi základních a pojivých vláken začíná jejich promísením v mísících komorách, mykacích čechradlech nebo mykacích strojích. Stupeň zpevnění vlákenné vrstvy, podmíněný optimálním využitím pojiva, je závislý na vzájemném promísení základních a pojivých vláken a na jejich ojednocení. Dostatečného stupně ojednocení a promísení vlákenných surovin se obvykle dosahuje dvojicí mykacích strojů, mezi nimiž je materiál transportován příčným kladečem [2].

Vlastní termické pojení vlákných vrstev se provádí následujícími způsoby:

- a) kalandrem
- b) teplovzdušné pojení
- c) ultrazvukem
- d) infračerveným zářením.

2.3.5 Teplovzdušné pojení

Při tomto způsobu pojení se zpracovává nejčastěji směšová vlákná vrstva připravená ze základních a pojivých vláken. Další možnosti představuje použití fólie nebo mřížky z termoplastického polymeru, vložené mezi dvě vrstvy ze základních vláken. Podmínkou teplovzdušného pojení je propustnost zpracovávané vlákné vrstvy pro vzduch, a proto v případě použití fólie je nutná její perforace, například zařazením operace vpichování.

Vlákná vrstva s pojivem prochází horkovzdušnou pojící komorou s cirkulujícím horkým vzduchem, jehož teplota je na hodnotě postačující k roztavení pojiva. Teplo je tak velmi rychle transportováno k povrchu všech vláken a k ohřevu vrstvy dojde mimořádně rychle. Nejpomalejším dějem při ohřevu vlákných vrstev je obecně transport tepla soustavou vláken a vzduchu, která má nízkou tepelnou vodivost. Čas potřebný k ohřátí vrstvy na teplotu pojení je při teplovzdušném pojení okolo 10 s. Tepelný přenos je popsán rovnicí (4) [2].

$$Q = \lambda \cdot \frac{\Delta T}{l} \quad (4)$$

Q ... teplo prošlé jednotkou plochy za jednotku času [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$] = [$\text{J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$]

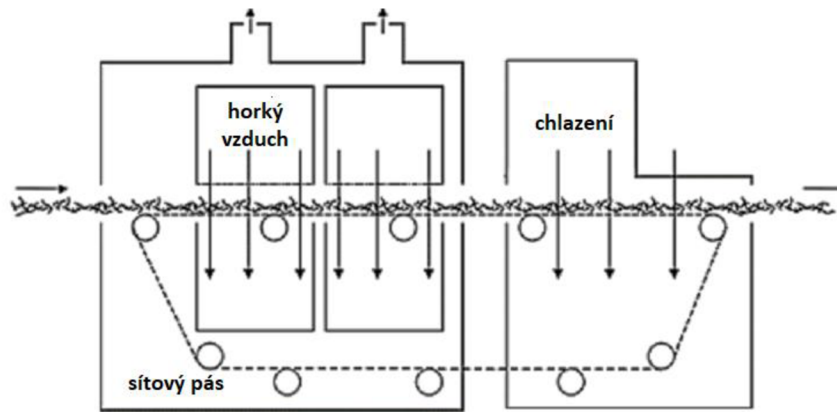
λ ... součinitel tepelné vodivosti materiálu [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]

ΔT ... teplotní rozdíl mezi dvěma teplosměnnými plochami [K]

l ... vzdálenost teplosměnných ploch [m]

Technologie teplovzdušného pojení je náročná na výběr vhodného pojiva, protože relativně malá plocha styku dvou různých polymerů pojiva a vlákna vyžaduje pro dostatečné zpevnění dobrou soudržnost obou složek textilie.

Samotný proces teplovzdušného pojení probíhá v pojících komorách. Používají se komory s horizontálním síťovým pásem, jejíž schéma je na obr. 18, nebo bubnové stroje s jedním, dvěma nebo více perforovanými bubny [2].



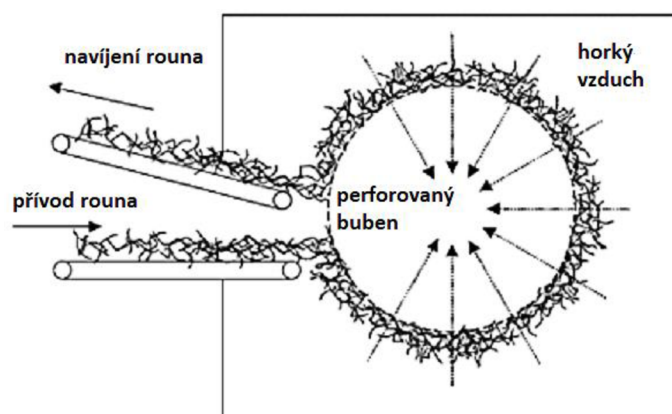
Obr. 18: Horkovzdušná komora s horizontálním sítovým pásem [21].

Horký vzduch je přiváděn ventilátorem do vnitřku komory a proháněn vláknennou vrstvou, dochází k rychlému přenosu tepla a prakticky přes celou vrstvu. Vzduch nasávaný přes sací komoru se vrací do hořákové komory k ohřátí a opětovnému použití. U některých způsobů lze použít systém obtoku vzduchu k udržení ohřivače na provozní teplotě, to způsobuje zkrácení doby zotavení na minimum a snižuje náklady na energii. Tato metoda vede k velmi účinnému a rychlému přenosu energie.

Teplota vzduchu je nastavena nad teplotu tavení přidaných vláken taveniny, takže roztavený vláknitý polymer se připojí k ostatním vláknům a propojí je. V případě dvousložkových vláken používaných jako tavenina je vnější obal vlákna pouze roztaven, tím dostává netkaná textilie lepší stabilitu. Čím vyšší je rychlost vzduchu, tím lepší a rychlejší je přenos tepla ze vzduchu do vláken [21].

Teplovzdušné pojení s perforovaným bubnem je technologie, kdy horký vzduch proudí netkanou textilií a otvory v perforovaném bubnu. Proudění vzduchu netkanou textilií umožňuje mnohem rychlejší a rovnoměrnější přenos tepla a minimalizuje deformaci textilie [21].

Schéma teplovzdušného pojení za použití perforovaného bubnu je na obr. 19.



Obr. 19: Teplovzdušné pojení s perforovaným bubnem [21].

Po roztavení se pojivo přeskupuje a formuje spoje mezi vlákny v závislosti na viskozitě taveniny, povrchovém napětí mezi základními vlákny a pojivem a vzájemném uspořádání vláken ve vrstvě. Důležitým faktorem procesu teplovzdušného pojení je rychlost proudění ohřevného vzduchu a propustnosti vrstvy, tzn. mírou mechanického působení vzduchu na vrstvu a tím vyvolanými pohyby vláken [2].

2.3.6 Charakteristika a sortiment termicky pojených textilií

Vlastnosti výrobků získaných technologií teplovzdušného pojení jsou závislé na typu a procentuálním podílu vláken s nízkou teplotou tání, na provozních parametrech procesu vytváření pásu a podmínkách během procesu tepelného pojení, také na typu a zastoupení odpadních nebo recyklovaných vláken. Konečný produkt může být podélně rozříznut a poté je buď navinut do rolí, nebo příčně řezán na panely, které jsou stohovány v automatické stohovací jednotce [21].

Teplovzdušné pojení umožňuje výrobu velmi široké škály textilií z hlediska plošné hmotnosti ($0,01\text{--}2\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$) a objemové hmotnosti ($5\text{--}300\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$), tloušťkou 2–280 mm, šířkou do 4 000 mm. Kapacita výroby dosahuje hodnot $300\text{--}2\,500\text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}$. Tím je dána i značná šíře sortimentu zahrnující většinu typů vyráběných netkaných textilií včetně vysoce objemných tepelně a hlukově izolačních materiálů v oděvním nebo automobilovém průmyslu.

Tyto výrobky bývají objemné, měkké, pevné, roztažitelné, absorbující a prodyšné. Pokud se použije následné kalandrování sloužící ke zvýšení pojícího efektu vlivem tlaku, obvykle dochází ke snížení objemnosti výrobku [2], [21].

Netkané textilie vyrobené technologií teplovzdušného pojení nacházejí uplatnění v různých oblastech:

- bytový textil – rub koberců, čalounění, ochrana matrace
- automobilová tepelná izolace
- automobilová zvuková izolace – přívod vzduchu, přepážkové jednotky, tunel hnacího ústrojí, vložka kapoty, palubní a přístrojová deska
- čistící ubrousky pro průmyslové aplikace
- ochranný obalový materiál
- stavební materiály – tepelná a zvuková izolace.

3 Vlastnosti netkaných textilií

Každý z technologických kroků výroby netkané textilie má vliv na její finální vlastnosti. To znamená, že jsou závislé na vlastnostech použitých vláken, na použitém způsobu přípravy vlákenné vrstvy a zvolené technologii její zpevnění i na konečné úpravě textilie.

Vlastnosti plošných textilií lze podle [22] rozdělit do těchto skupin:

Mechanické vlastnosti – pevnost v tahu a tažnost, pevnost při protržení

Vlastnosti tvaru (geometrie) – tloušťka, plošná hmotnost, objemová hmotnost, pórovitost

Stálost tvaru – srážlivost, tuhost v ohybu, splývavost, mačkavost

Vlastnosti povrchu – lesk, otěr, klouzavost, žmolkovitost, zátrhovost, oděr

Propustnosti – propustnost vzduchu, vodní páry, vody, tepla

Mohou se posuzovat i další vlastnosti, například pružnost, tvárnost, houževnatost, nehořlavost nebo zpracovatelnost, které vyplývají ze specifického použití netkaných textilií.

V následujících kapitolách budou popsány vlastnosti netkaných textilií, které jsou předmětem zkoumání této práce, tj. pevnost a tažnost, tuhost v ohybu a prodyšnost.

3.1 Mechanické vlastnosti netkaných textilií

Vlastnosti textilií, které se projevují v jejich chování vzhledem k působení vnějších sil, se označují jako mechanické vlastnosti. Podle působení vnějších sil se rozlišuje namáhání na tah, tlak, ohyb, smyk a krut.

Pro hodnocení kvality textilních materiálů a jejich využití mají význam zejména pevnost a tažnost, které se považují za vlastnosti základní. Při popisu mechanických vlastností textilií se používají tyto základní veličiny, tzv. ultimativní charakteristiky [23]:

- pevnost (síla do přetrhu) F [N]
- napětí do přetrhu σ [Pa]
- protažení do přetrhu Δl [mm]
- tažnost (relativní deformace do přetrhu) ε [%]
- relativní pevnost F_r [$\text{N} \cdot \text{tex}^{-1}$]

3.1.1 Pevnost a tažnost

Mírou silového mechanického působení v pevných látkách je napětí, tzn. síla působící na jednotku plochy. Rozlišuje se napětí normálové σ , působící kolmo na plochu a tečné napětí τ , které působí ve směru tečny k ploše. Působením napětí na pevné látky dochází ke změnám jejich tvaru, k deformaci. Podle způsobu působení se rozlišuje pět základních jednoduchých deformací: tahem, tlakem, ohybem, smykem a kroucením. Deformace se popisují relativní změnou v délce ve směru působení síly (podélné deformace), ve směru kolmém (příčné deformace) nebo změnou úhlu pravoúhlého obrazce, která vznikne při deformaci ve smyku [24].

Normálové napětí

Popisuje stav tělesa zatíženého vnějším silovým působením a vyjadřuje vztah mezi silou a plochou, na kterou daná síla působí. Je definováno vztahem (5).

$$\sigma = \frac{F}{S} \quad (5)$$

σ ... normálové napětí [Pa]

F ... síla působící kolmo na plochu příčného řezu o obsahu S [N]

S ... plocha příčného řezu [m²]

Hookeův zákon

Vyjadřuje lineární závislost normálového napětí na relativním prodloužení látky, které nastává při deformaci tahem, zákon lze zapsat vzorcem (6):

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad (6)$$

σ ... normálové napětí [Pa]

E ... modul pružnosti v tahu (Youngův modul) [Pa], materiálová konstanta

ε ... relativní prodloužení (bezrozměrná veličina)

Čím je vyšší hodnota modulu pružnosti E , tím je vyšší tuhost zkoušeného materiálu.

Relativní prodloužení je definováno vztahem (7):

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l - l_0}{l_0} \quad (7)$$

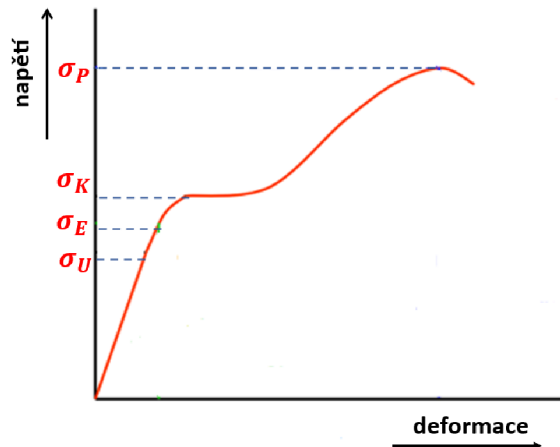
ε ... relativní prodloužení (bezrozměrná veličina)

Δl ... prodloužení [mm]

l_0 ... původní délka [mm]

l ... délka po prodloužení [mm]

Průběh mechanické deformace materiálů lze znázornit tzv. deformační křivkou, kterou je vlastně graf závislosti normálového napětí σ , vyvolávající deformaci, na relativním prodloužení ε . Pro deformační křivku se používá také název tahová nebo pracovní křivka. Křivka může být rovněž vyjádřena v hodnotách tahové síly F a prodloužení Δl . Typický tvar deformační křivky je na obr. 20.



Obr. 20: Deformační křivka, závislost mezi napětím a deformací pevné látky [25].

Deformační křivka prochází body charakterizující pružnost a pevnost materiálu, její průběh vymezuje oblasti vratné (elastické) a nevratné (plastické) deformace. Veličiny, které charakterizují úroveň deformace daného materiálu jsou:

Mez úměrnosti ε_U je maximální hodnota normálového napětí, při kterém ještě platí lineární závislost napětí na deformaci, podle Hookeova zákona.

Mez pružnosti ε_E je maximální hodnota normálového napětí, při které je deformace tahem nebo tlakem ještě pružná (elastická). To znamená, že po ukončení vnějších deformačních sil získává látka původní tvar. Je to hodnota napětí tvořící přechod mezi deformacemi pružnými a plastickými.

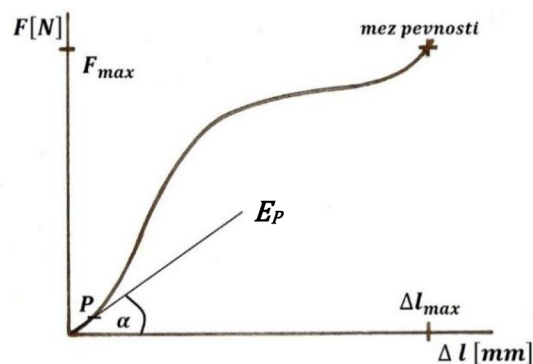
Mez kluzu ε_K je nejmenší normálové napětí, při němž nastává deformace materiálu, aniž by stoupala zatěžující síla. Materiál se vnitřně zpevňuje, takže k další deformaci je třeba zvýšit napětí. Mez kluzu charakterizuje přechod mezi elastickou a elasticko-plastickou oblastí deformační křivky.

Mez pevnosti ε_P je maximální hodnota napětí, nad kterou dochází k porušení soudržnosti materiálu, k jeho destrukci [25], [26].

Deformace, která je popisována Hookeovým zákonem a vyjádřena Youngovým modulem pružnosti platí pro strojnické materiály. U textilií se používá pojem počáteční

tangentový modul E_P , který je definován jako první derivace funkce, jejíž grafem je tahová křivka textilie. Takto definovaný modul pružnosti lze geometricky interpretovat jako směrnici tečny k tahové křivce v jejím počátku, hodnota směrnice je rovna $tg \alpha$, úhel α lze změřit. Bod, ve kterém tato tečna opouští tahovou křivku je definován jako mez pružnosti [23].

Počáteční tangentový modul E_P a souřadnice bodu přetrhu (mez pevnosti) označované jako pevnost a tažnost jsou charakteristickými hodnotami pro tahovou křivku plošných textilií, viz obr. 21. Tahové křivky sledované v obou na sebe kolmých směrech textilie se výrazně liší, tento jev je způsoben anizotropií [27].



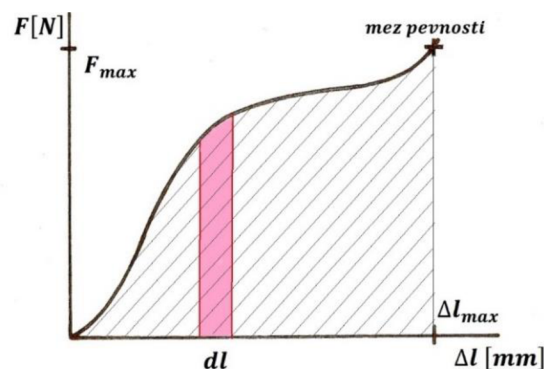
Obr. 21: Tahová křivka plošné textilie [22].

E_P – počáteční tangentový modul, P – mez pružnosti, [23].

Deformační práce W

Plocha ohraničená osou prodloužení a deformační křivkou $F/\Delta l$ je definována jako deformační práce W [J] vnější síly F [N]. Tato plocha vyjadřuje hodnotu určitého integrálu (8) [23].

$$W = \int_0^{\Delta l_{max}} F dl \quad (8)$$



Obr. 22: Pracovní křivka a deformační práce [28].

3.1.2 Tuhost v ohybu

„Tuhost v ohybu je fyzikální veličina, popisující odpor textilie proti deformaci (ohýbání) vnějším zatížením. Toto vnější zatížení je způsobeno osamělou silou nebo spojitým obtížením vyvolaným plošnou hmotností“ [27].

Definice tuhosti v ohybu podle [29]: „Tuhost – odolnost plošné textilie vůči ohýbání. Je to schopnost materiálu reagovat momentem vnitřních sil soudržnosti proti namáhání momentem vnějších sil způsobujících deformaci. Vyjadřuje se jako ohybový moment M_o v $mN \cdot cm$.“

Ohybová tuhost textilie je závislá na jejím materiálovém složení, způsobu výroby a na finálních úpravách. Znalost ohybové tuhosti textilie je důležitá z hlediska jejího použití, vysoká tuhost je požadována například u některých oděvních či bytových textilií nebo u obuvnických materiálů, ale také u textilií pro technické účely. Odpor textilie proti ohýbání úzce souvisí se splývavostí [27].

3.2 Prostup vzduchu – prodyšnost

Prodyšnost je vlastnost textilie, u které se posuzuje množství prošlého vzduchu textilií. K prostupu vzduchu textilií dochází na základě rozdílných tlaků na protějších stranách textilie, kdy vzduch textilií prochází ve směru od tlaku vyššího k nižšímu s cílem jejich rozdíl snížit. Velikost prodyšnosti je závislá na množství a velikosti pórů, které umožňují prostup vzduchu z jedné strany textilie na druhou.

Podle normy ČSN EN ISO 9237 [30] je prodyšnost definována „jako rychlost proudu vzduchu procházejícího kolmo na zkušební vzorek při specifikovaných podmínkách pro zkušební plochu, tlakový spád a dobu“.

Prodyšnost je při konkrétním tlakovém spádu dána vztahem (9) [30]:

$$R = \frac{q_V}{A} \cdot k \quad (9)$$

R ... prodyšnost [$m \cdot s^{-1}$]

q_V ... objemové množství prostoupeného vzduchu [$m^3 \cdot s^{-1}$]

A ... plocha vzorku, kterou prochází vzduch [m^2]

k ... koeficient převodu jednotek

Hodnoty prodyšnosti se z jednotek objemového množství prostoupeného vzduchu plošnou textilií za čas přepočítávají na jednotky rychlosti proudu vzduchu. Například při převodu jednotek [$l \cdot dm^{-2} \cdot min^{-1}$] na jednotky [$mm \cdot s^{-1}$] je koeficient převodu $k = 1,67$.

Prodyšnost textilie je významně závislá na její pórovitosti, která je podle [31] definována jako podíl objemu pórů vyplněných vzduchem, k celkovému objemu vláknenného útvaru (10):

$$p = \frac{V_p}{V_c} = \frac{V_{vzd}}{V_c} \quad (10)$$

p ... pórovitost [%] nebo bezrozměrná veličina, $p \in (0,1)$

V_p ... objem póru [m^3]

V_{vzd} ... objem vzduchu [m^3]

V_c ... celkový objem textilie [m^3]

S pórovitostí textilie úzce souvisí její zaplnění, které je dáno poměrem objemu vláken k celkovému objemu textilie (11):

$$\mu = \frac{V_{vlk}}{V_c} \quad (11)$$

μ ... zaplnění [%] nebo bezrozměrná veličina, $\mu \in (0,1)$

V_{vlk} ... objem vláken [m^3]

V_c ... celkový objem textilie [m^3]

Z porovnání definic (10) a (11) vyplývá vztah mezi pórovitostí a zaplněním (12):

$$p = \frac{V_{vzd}}{V_c} = \frac{V_c - V_{vlk}}{V_c} = 1 - \frac{V_{vlk}}{V_c} = 1 - \mu \quad (12)$$

Úpravou vztahu (11) lze zaplnění textilie vyjádřit pomocí měrné hmotnosti (hustoty) vláken a objemové měrné hmotnosti plošné textilie (13):

$$\mu = \frac{\rho_t}{\rho_{vlk}} \quad (13)$$

μ ... zaplnění

ρ_t ... objemová měrná hmotnost textilie [$kg \cdot m^{-3}$]

ρ_{vlk} ... hustota vláken [$kg \cdot m^{-3}$]

Následuje odvození předcházejícího vztahu (13). Vychází z předpokladu, že hmotnost vzduchu v textílii je vzhledem k jeho hustotě zanedbatelná. Protože se celkový objem rovná objemu textílie, byl symbol V_c nahrazen symbolem V_t .

$$\mu = \frac{V_{vlk}}{V_c} = \frac{V_{vlk}}{V_t} = \frac{\frac{m_{vlk}}{\rho_{vlk}}}{\frac{m_t}{\rho_t}} = \frac{m_{vlk} \cdot \rho_t}{m_t \cdot \rho_{vlk}} = \frac{m_{vlk} \cdot \rho_t}{(m_{vlk} + m_{vzd}) \cdot \rho_{vlk}} = \frac{\rho_t}{\rho_{vlk}}$$

kde μ je zaplnění, V_{vlk} objem vláken [m^3], V_c celkový objem [m^3], V_t objem textílie [m^3], m_{vlk} hmotnost vláken [kg], m_{vzd} hmotnost vzduchu [kg], m_t hmotnost textílie [kg], ρ_{vlk} hustota vláken [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$] a ρ_t je objemová měrná hmotnost textílie [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$].

Objemová měrná hmotnost textílie je definována vztahem (14):

$$\rho_V = \frac{m}{V} = \frac{m}{S \cdot h} = \frac{\rho_S}{h} \quad (14)$$

ρ_V ... objemová měrná hmotnost [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]

m ... hmotnost plošné textílie [kg]

V ... objem plošné textílie [m^3]

S ... plocha plošné textílie [m^2]

h ... tloušťka plošné textílie [m]

ρ_S ... plošná měrná hmotnost [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$]

Poznámka: Symboly pro objemovou měrnou hmotnost ρ_V nebo pro plošnou měrnou hmotnost ρ_S používá [22] nebo [27].

Prodyšnost je významnou užitnou vlastností textílií, podle oblasti užití je požadována různá hodnota prodyšnosti. U oděvů je prodyšnost hlavním přispěvatelem komfortu při užívání, důležitá je u textílií odolných proti povětrnostním vlivům, například u outdoorového oblečení. Významná je také u technických textílií uplatňovaných v různých oblastech, je kritickým funkčním prvkem airbagů, padáků, plachet, stanů, markýz, filtrů nebo sáčků do vysavačů [32].

Experimentální část

V experimentální části této práce jsou uvedeny postupy výroby zkoumaných textilií podle zadaných parametrů, výběr jejich jednotlivých vzorků pro testování a následné zjišťování jejich vlastností. Hodnoty příslušných měření jsou statisticky zpracovány, výsledky zobrazeny pomocí tabulek a grafů, v závěru je proveden rozbor a vyhodnocení vlivů různých parametrů na vlastnosti těchto textilií.

4 Výroba zkoumaných textilií

Předmětem testování jsou netkané textilie připravené rozdílnými technologickými postupy a použitím různých vláknenných materiálů. Porovnávají se vlastnosti takto získaných textilií z hlediska vlivu výrobních a materiálových parametrů. Popis použitých technologií je uveden v kapitolách 2.2 a 2.3, v kapitole 3 jsou popsány sledované vlastnosti textilií, tzn. pevnost a tažnost, tuhost v ohybu a prodyšnost.

Zkoumané textilie byly vyrobeny v laboratoři poloprovozu Katedry netkaných textilií a nanovláknenných materiálů Fakulty textilní TUL. Vyrobené textilie se navzájem liší poměrem použitých syntetických vláken a použitým způsobem zpevňování vláknenné vrstvy. Jedná se o tři typy netkaných textilií s dále popsanými parametry.

4.1 Parametry zkoumaných textilií

Přehled materiálového složení, použitých postupů výroby a symboly pro jednotlivé zkoumané textilie je uveden v tab. 3 a tab. 4.

Tab. 3: Vlákenný materiál.

Typ textilie	Použitá vlákna
PES_Vp	polyesterová vlákna PES jemnost 6,7 dtex, délka 60 mm
PES+bico_Vp	směs s hmotnostním podílem 80 % vláken PES, 20 % vláken bico polyesterová vlákna PES jemnost 6,7 dtex, délka 60 mm
PES+bico_Vp+Te	bico: bikomponentní vlákna typu C/S – jádro/plášť, PES/ coPES jemnost 2,2 dtex, délka 53 mm teplota tání pláště 130 °C

Tab. 4: Použité technologie výroby.

Typ textilie	Technologie pojení	
PES_Vp	vpichování použité jehly: RX 15x18x38x3 R222 hustota vpichování (počet vpichů na cm ²): 100, 150, 200, 250, 300, 350 hloubka vpichů: 6 mm	
PES+bico_Vp		
PES+bico_Vp+Te		termické pojení teplota ohřevu: 140 °C doba ohřevu: 2 minuty

Výsledkem použití různých vláknenných materiálů, různých způsobů zpevnění vláknenného rouna a různou hustotou vpichování se získalo 18 sad textilií s různými parametry, tzn. tři hlavní typy textilií, každá po šesti různých hodnotách vpichů.

4.2 Postup výroby zkoumaných textilií

Vzorky všech tří typů textilií byly vyrobeny na vpichovací lince DILO-FT-007, složené z několika vzájemně propojených strojů: rozvolňovací a mykací stroj, příčný kladeč, vpichovací stroj, odváděcí, řezací a navíjecí ústrojí, obr. 23.



Obr. 23: Výrobní linka DILO-FT-007.

Proces výroby na této lince začíná vkládáním vláknenného materiálu do rozvolňovacího a dávkovacího zařízení prostřednictvím vstupního dopravníku. Rozvolněný materiál v podobě vláknenných vloček je dále dopravován aerodynamickou cestou do mísící komory, obr. 24. Promísená vlákna jsou následně z mísící komory transportována dopravníkem do válcového mykacího stroje.

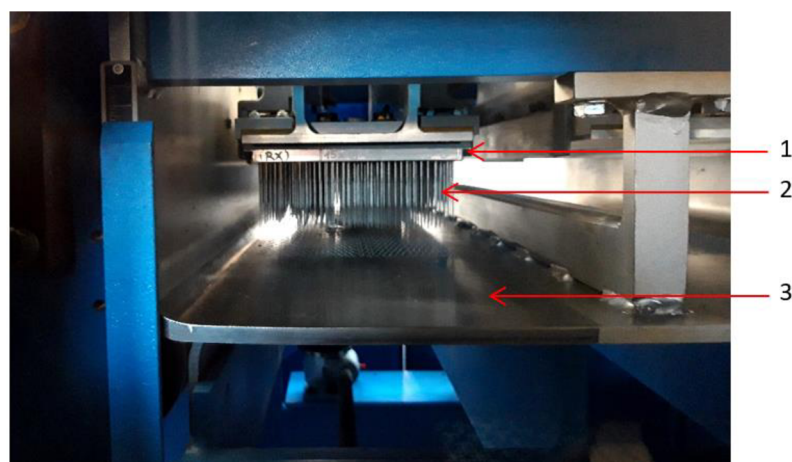


Obr. 24: Mísící komora a dopravník vlákněných vloček k mykacímu stroji.

V mykacím stroji, obr. 25, dochází k ojednocení a jednosměrné orientaci vláken, cílem je vytvoření homogenní pavučiny. Vlákenná pavučina se dalším dopravníkem transportuje k vertikálnímu kladeči, kde je kladena příčně. Takto vytvořená vlákněná vrstva je přepravena do vpichovacího stroje, obr. 26. Výsledná netkaná textilie je odváděna k navíjecímu ústrojí.



Obr. 25: Mykací stroj (vlevo) a příčný vertikální kladeč s dopravníkem ke vpichovacímu stroji (vpravo).



Obr. 26: Vpichovací stroj s jednou jehelní deskou.
1 – jehelní deska, 2 – vpichovací jehly, 3 – stírací rošť

Jedna z textilií obsahující směs vláken PES a bico, byla po procesu vpichování ještě navíc zpevněna teplovzdušným pojením. Teplovzdušná komora a finální textilie pro třetí řadu vzorků jsou zdokumentovány na obr. 27.



Obr. 27: Teplovzdušná komora a zpevněná finální textilie pro třetí řadu vzorků.

5 Testování zkoumaných textilií

Předmětem testování byly tři různé typy netkaných textilií, popis všech jejich materiálových i výrobních parametrů je podrobně zaznamenán v kapitole 4. Textilie PES_Vp byla vyrobena z vláken PES a pojena pouze vpichováním. Textilie PES+bico_Vp obsahovala směs vláken PES a bico, pojena pouze vpichováním. Textilie PES+bico_Vp+Te obsahovala směs vláken PES a bico, pojena vpichováním a teplovzdušně.

Cílem této práce bylo zjišťování, zda a jakým způsobem mohou různé technologické postupy výroby a různé materiálové složení netkané textilie ovlivnit její vlastnosti. Práce byla zaměřena na zkoumání pevnosti a tažnosti, ohybové tuhosti a prodyšnosti.

Testování uvedených vlastností odpovídá normám EDANA [33], [34].

5.1 Metody zpracování a vyhodnocení naměřených hodnot

Hodnoty, získané měřením parametrů charakterizujících sledovanou vlastnost, byly zpracovány statistickými metodami a výsledky zaznamenány formou tabulek a grafů. U každé vlastnosti se z naměřených hodnot určila střední hodnota, směrodatná odchylka, variační koeficient a interval spolehlivosti s hladinou spolehlivosti $1 - \alpha = 0,95$.

Vzorce pro výpočty uváděných statických veličin:

Střední hodnota (aritmetický průměr):

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (15)$$

Výběrová směrodatná odchylka:

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (16)$$

Variační koeficient:

$$v = \frac{s}{\bar{x}} \quad (17)$$

Interval spolehlivosti:

$$\left(\bar{x} - t_{n-1}(1 - \alpha/2) \cdot \frac{s}{\sqrt{n}} ; \bar{x} + t_{n-1}(1 - \alpha/2) \cdot \frac{s}{\sqrt{n}} \right) \quad (18)$$

\bar{x} ... aritmetický průměr

x_i ... i -tá hodnota

n ... počet hodnot

s ... výběrová směrodatná odchylka

v ... variační koeficient

$t_{n-1}(1 - \alpha/2)$... kvantil Studentova rozdělení

α ... hladina významnosti

5.2 Základní charakteristiky zkoumaných textilií

K základním charakteristikám plošných textilií patří plošná měrná hmotnost, tloušťka a objemová měrná hmotnost. Znalost těchto parametrů byla nutným předpokladem pro určení hodnot veličin popisujících vlastnosti, které jsou hlavním předmětem zkoumání této práce.

Pro měření plošné hmotnosti a tloušťky byly vzorky odebrány z role netkané textilie nejméně 10 cm od pevného okraje a rovnoměrně v diagonálním směru. Objektivita měření byla dána použitím shodných vzorků pro zjišťování plošné hmotnosti i tloušťky. Norma EDANA 60.1-75 vyžaduje teplotu 20 ± 2 °C a relativní vlhkost 65 ± 2 %. Objemová měrná hmotnost se získala výpočtem z plošné měrné hmotnosti a odpovídající tloušťky.

5.2.1 Plošná měrná hmotnost

Plošná měrná hmotnost textilie vyjadřuje její hmotnost na jednotku plochy, je definována vztahem (19):

$$\rho_s = \frac{m}{S} = \frac{m}{l \cdot b} \quad (19)$$

ρ_s ... plošná hmotnost [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$] nebo [$\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$]

m ... hmotnost [kg] plošné textilie o ploše S [m^2]

l ... délka vzorku [m]

b ... šířka vzorku [m]

Na stanovení plošné hmotnosti netkané textilie se používá gravimetrická metoda. Z plošné textilie se vyříznou vzorky s rozměrech $l \times b$, zváží se a po statistickém zpracování naměřených hmotností se vypočítá hodnota plošné hmotnosti podle vztahu (19) [27].

Pro vlastní měření, které bylo v souladu s normou EDANA 40.3-90, se připravily vzorky o ploše 500 cm^2 , konkrétně s rozměry $20 \text{ cm} \times 25 \text{ cm}$. Celkem bylo připraveno šest sad pro každý typ textilie vzhledem k šesti hodnotám hustoty vpichování, tzn. 18 sad po pěti vzorcích. Měření proběhlo v laboratoři KNT Textilní fakulty TUL, použité váhy zn. T-Scale, model QHW-3++, s přesností $0,02 \text{ g}$.

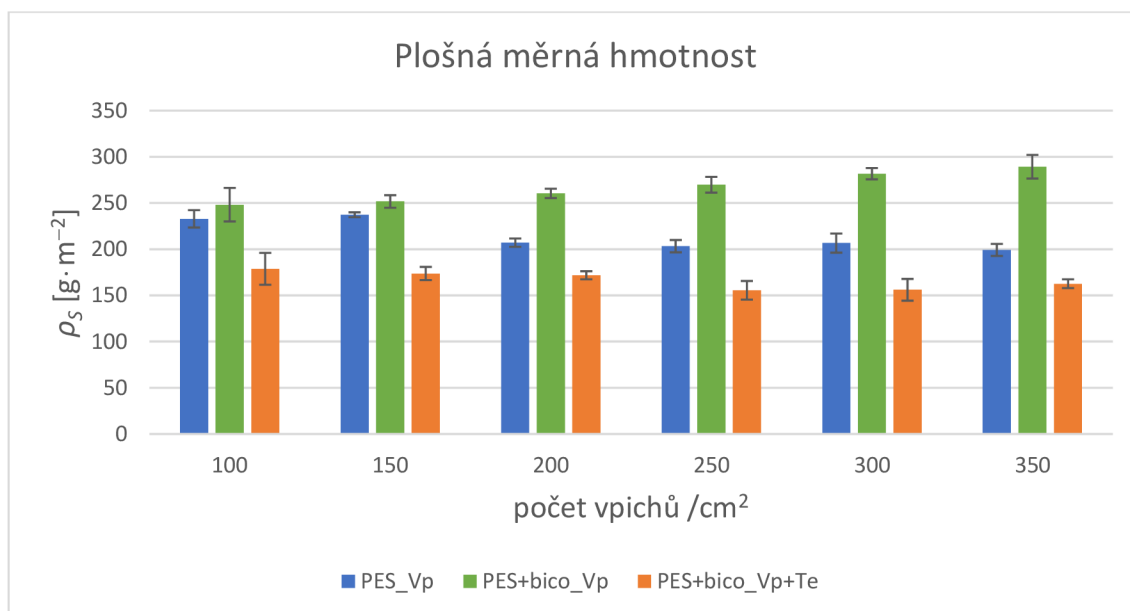
Následně byly provedeny výpočty hmotnosti na jednotku plochy každého zkušebního vzorku, příslušných středních hodnot v $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ a dalších statistických veličin. Všechny zjištěné hodnoty jsou uvedeny v následující tab. 5 a odpovídajícímu grafu na obr. 28. Podle výsledků měření a zpracování hodnot lze sledovat závislost plošné měrné hmotnosti na materiálovém složení a způsobu výroby jednotlivých textilií.

Z grafu závislosti plošné měrné hmotnosti na hustotě vpichování pro jednotlivé textilie i z hodnot v tab. 5 vyplývá následující zjištění.

Hodnoty plošné měrné hmotnosti textilie se zvyšují v pořadí PES+bico_Vp+Te, PES_Vp, PES+bico_Vp. S rostoucím počtem vpichů se snižuje plošná hmotnost textilií PES_Vp a PES+bico_Vp+Te. Opačný trend lze pozorovat u textilie PES+bico_Vp, kde se plošná hmotnost s rostoucím počtem vpichů zvyšuje. Vzhledem k intervalům spolehlivosti je toto zvýšení statisticky méně významné, protože při rozsahu vpichování $100\text{--}200$ nebo $250\text{--}350$ vpichů na cm^2 se odpovídající intervaly překrývají.

Tab. 5: Hodnoty plošné měrné hmotnosti.

Počet vpichů	Počet vzorků	Aritmetický průměr ρ_S [g·m ⁻²]	Směrodatná odchylka ρ_S [g·m ⁻²]	Variační koeficient [%]	95% Interval spolehlivosti ρ_S [g·m ⁻²]
PES_Vp					
100	5	232,88	7,59	3,26	(223,46 ; 242,30)
150	5	237,28	2,14	0,90	(234,62 ; 239,94)
200	5	207,12	3,63	1,75	(202,62 ; 211,62)
250	5	203,28	5,38	2,65	(196,60 ; 209,96)
300	5	206,64	8,35	4,04	(196,28 ; 217,00)
350	5	199,20	5,22	2,62	(192,72 ; 205,69)
PES+bico_Vp					
100	5	248,16	14,60	5,88	(230,03 ; 266,29)
150	5	251,68	5,48	2,18	(244,88 ; 258,48)
200	5	260,40	4,05	1,56	(255,37 ; 265,43)
250	5	269,76	6,87	2,55	(261,23 ; 278,29)
300	5	281,72	4,93	1,75	(275,60 ; 287,84)
350	5	289,24	10,28	3,55	(276,48 ; 302,00)
PES+bico_Vp+Te					
100	5	178,80	13,88	7,76	(161,57 ; 196,03)
150	5	173,68	5,76	3,32	(166,53 ; 180,83)
200	5	171,80	3,52	2,05	(167,43 ; 176,17)
250	5	155,52	8,15	5,24	(145,41 ; 165,63)
300	5	156,08	9,49	6,08	(144,30 ; 167,86)
350	5	162,64	3,81	2,34	(157,91 ; 167,37)



Obr. 28: Graf závislosti plošné měrné hmotnosti na hustotě vpichování.

5.2.2 Tloušťka

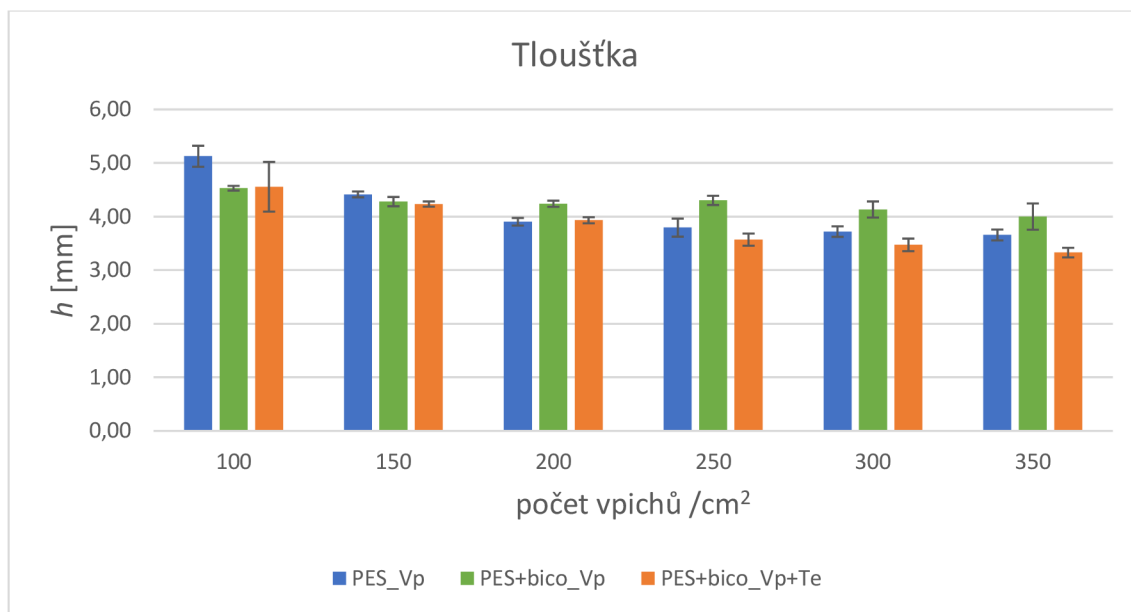
Tloušťka plošné textilie je definována jako kolmá vzdálenost mezi lícem a rubem textilie za předepsaného zatížení. Měření tloušťky se provádí na pevné podložce, kde na plošnou textilií dosedá závaží o definované hmotnosti a vytváří tak měrný tlak, který vymezi tloušťku. Odečtení se provede po čase, kdy nastane rovnováha mezi reakcí textilie a měrným tlakem [22].

Měření tloušťky vzorků zkoumaných textilií vycházelo z normy EDANA 30.4-89, podle které je tloušťka netkaných textilií určena měřením vzdálenosti mezi referenční deskou, na které netkaná textilie spočívá, a paralelní přítlačnou deskou, která vyvíjí stanovený tlak na testovanou oblast.

Samotné měření bylo provedeno tloušťkoměrem SOMET CZ, 94871480. Během měření byla opatrně spouštěna horní přítlačná deska, dokud se nedotkla zkušebního vzorku, po časovém intervalu 30s byla následně odečtena hodnota tloušťky měřeného vzorku. Zjištěné hodnoty tloušťky a jejich statistické zpracování jsou zaznamenány v tab. 6 a graficky znázorněny na obr. 29.

Tab. 6: Hodnoty tloušťky.

Počet vpichů	Počet vzorků	Aritmetický průměr h [mm]	Směrodatná odchylka h [mm]	Variační koeficient [%]	95% Interval spolehlivosti h [mm]
PES_Vp					
100	5	5,13	0,16	3,09	(4,93 ; 5,32)
150	5	4,41	0,04	1,00	(4,36 ; 4,47)
200	5	3,90	0,07	1,46	(3,83 ; 3,97)
250	5	3,79	0,14	3,58	(3,63 ; 3,96)
300	5	3,72	0,08	2,13	(3,62 ; 3,82)
350	5	3,66	0,08	2,24	(3,55 ; 3,76)
PES+bico_Vp					
100	5	4,53	0,04	0,78	(4,49 ; 4,57)
150	5	4,28	0,07	1,63	(4,19 ; 4,37)
200	5	4,24	0,05	1,09	(4,18 ; 4,30)
250	5	4,30	0,07	1,61	(4,22 ; 4,39)
300	5	4,13	0,12	2,92	(3,98 ; 4,28)
350	5	4,00	0,20	4,93	(3,75 ; 4,25)
PES+bico_Vp+Te					
100	5	4,56	0,37	8,20	(4,09 ; 5,02)
150	5	4,23	0,04	0,92	(4,19 ; 4,28)
200	5	3,93	0,05	1,16	(3,88 ; 3,99)
250	5	3,57	0,09	2,57	(3,46 ; 3,68)
300	5	3,47	0,09	2,71	(3,36 ; 3,59)
350	5	3,33	0,07	2,16	(3,24 ; 3,42)



Obr. 29: Graf závislosti tloušťky na hustotě vpichování.

U všech tří zkoumaných textilií se s rostoucí hustotou vpichování jejich tloušťka zmenšuje, přitom nejmenších hodnot tloušťky dosahuje textilie PES+bico_Vp+Te. Pro počet vpichů 100 a 150 má textilie PES_Vp největší tloušťku v porovnání s ostatními, pro počet vpichů od 200 do 350 má největší tloušťku textilie PES+bico_Vp. Variabilita hodnot je nízká, výjimkou jsou hodnoty tloušťky u textilie PES+bico_Vp+Te pro hustotu 100 vpichů na cm². Z grafu na obr. 29 je zřejmé, že na redukci tloušťky netkané textilie má vliv hustota vpichování i termické pojení. Výsledky měření jsou ve shodě s teoretickými předpoklady a poznatky o závislosti tloušťky na hustotě vpichování.

5.2.3 Objemová měrná hmotnost

Tato veličina je definována jako hmotnost plošné textilie na jednotku objemu. Vyjadřuje se pomocí plošné hmotnosti a tloušťky, je dána vztahem (20) jehož odvození je uvedeno v kapitole 3.2.

$$\rho_v = \frac{\rho_s}{h} \quad (20)$$

ρ_v ... objemová měrná hmotnost [kg·m⁻³]

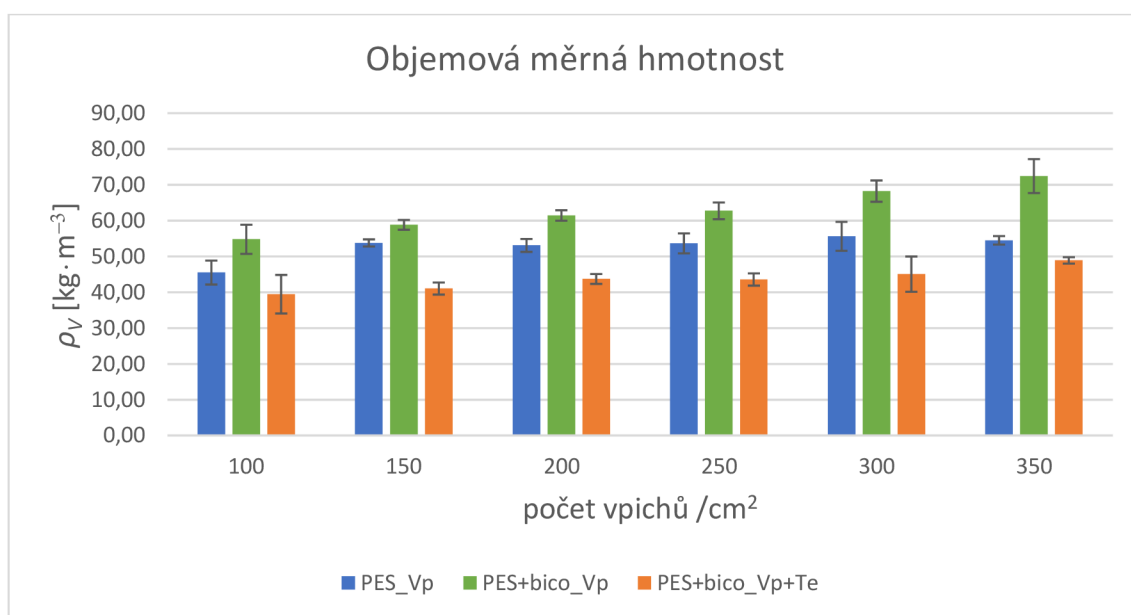
ρ_s ... plošná hmotnost [kg·m⁻²]

h ... tloušťka plošné textilie [m]

Výsledky výpočtů hodnot objemové měrné hmotnosti a jejich statistické zpracování jsou zapsány v tab. 7, z těchto hodnot je vytvořen graf na obr. 30.

Tab. 7: Hodnoty objemové měrné hmotnosti.

Počet vpichů	Počet vzorků	Aritmetický průměr ρ_V [kg·m ⁻³]	Směrodatná odchylka ρ_V [kg·m ⁻³]	Variační koeficient [%]	95% Interval spolehlivosti ρ_V [kg·m ⁻³]
PES_Vp					
100	5	45,49	2,69	5,92	(42,15 ; 48,84)
150	5	53,76	0,80	1,49	(52,77 ; 54,76)
200	5	53,07	1,45	2,72	(51,27 ; 54,86)
250	5	53,63	2,25	4,19	(50,84 ; 56,42)
300	5	55,60	3,25	5,85	(51,56 ; 59,64)
350	5	54,49	0,96	1,76	(53,30 ; 55,68)
PES+bico_Vp					
100	5	54,79	3,28	5,98	(50,72 ; 58,85)
150	5	58,81	1,11	1,88	(57,43 ; 60,18)
200	5	61,42	1,17	1,91	(59,96 ; 62,88)
250	5	62,72	1,87	2,99	(60,39 ; 65,04)
300	5	68,23	2,40	3,51	(65,26 ; 71,20)
350	5	72,42	3,81	5,26	(67,69 ; 77,16)
PES+bico_Vp+Te					
100	5	39,45	4,33	10,99	(34,07 ; 44,83)
150	5	41,02	1,36	3,32	(39,33 ; 42,71)
200	5	43,70	1,10	2,52	(42,33 ; 45,07)
250	5	43,55	1,38	3,18	(41,83 ; 45,26)
300	5	45,04	3,97	8,80	(40,11 ; 49,96)
350	5	48,87	0,73	1,48	(47,97 ; 49,77)



Obr. 30: Graf závislosti objemové měrné hmotnosti na hustotě vpichování.

Hodnoty objemové měrné hmotnosti textilií jsou závislé na odpovídajících hodnotách plošné měrné hmotnosti a tloušťky dané textilie. Všechny zkoumané textilie vykazují nárůst objemové měrné hmotnosti vzhledem k rostoucí hustotě vpichování, pouze v případě PES_Vp hodnoty kolísají, ale odchylky nejsou ve vztahu k celkovému trendu významné, což potvrzují 95% intervaly spolehlivosti. Nárůst objemové měrné hmotnosti při rostoucí hustotě vpichování si lze vysvětlit tím, že hodnoty tloušťky klesají více než odpovídající hodnoty plošné hmotnosti. U textilie PES+bico_Vp je nárůst objemové měrné hmotnosti největší, protože se na těchto hodnotách podílí kromě zmenšující se tloušťky i zvětšující se plošná hmotnost s rostoucí hustotou vpichování.

5.3 Testování mechanických vlastností a prodyšnosti

Mechanické vlastnosti netkaných textilií mají zásadní význam z hlediska výroby i použití, patří proto k obvyklým ukazatelům. Tato práce se zaměřuje na testování pevnosti a tažnosti, tuhosti v ohybu a zkoumá také vliv materiálového složení a technologie výroby na prodyšnost textilií.

5.3.1 Testování pevnosti a tažnosti

Pro testování pevnosti a tažnosti bylo z každého typu textilií připraveno 12 sad po pěti vzorcích. Počet sad odpovídal sledovaným parametrům, tzn. šesti různým počtům vpichů – 100, 150, 200, 250, 300, 350 na cm^2 a měření pevnosti textilie ve dvou směrech, podélném a příčném. Podélný směr (MD) je směr stroje a příčný směr (CD) je kolmý ke směru stroje.

Jednotlivé vzorky byly připraveny v souladu s normou EDANA TENSILE STRENGTH 20.2-89 [33]. Z každé sady textile se odebralo pro měření pět vzorků tvaru obdélníku o rozměrech 50 mm \times 160 mm.

Měření pevnosti a tažnosti se realizovalo v laboratoři Katedry netkaných textilií Fakulty textilní TUL na přístroji výrobce LABORTECH s. r. o., typ LabTest 2.050, jehož hlavní části jsou popsány na obr. 31.

Přístroj je vybaven jednou dolní (pevnou) a jednou horní (posuvnou) čelistí. Měřený vzorek netkané textilie byl upnut do čelistí a následně zahájen proces napínání. Upínací délka byla 100 mm a rychlost pohybu čelistí $100 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$. Naměřené hodnoty byly přenášeny do počítačového systému přístroje včetně grafického znázornění. Test byl prováděn s pěti vzorky pro daný počet vpichů a typu textilie, ve směru CD i MD.

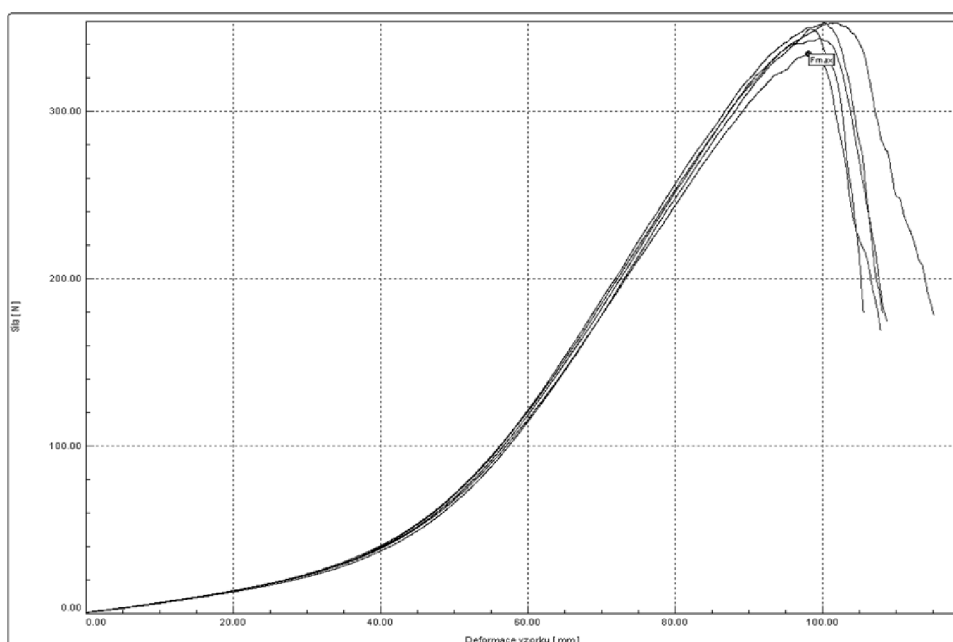


Obr. 31: Přístroj LabTest 2.050.

1 – příčník, 2 – pohon pro posuvné čelisti včetně senzorů, 3 – horní upínací čelist posuvná, 4 – spodní upínací čelist pevná, 5 – nouzový vypínač, 6 – kontrolní světlo

5.3.2 Vyhodnocení pevnosti a tažnosti

Výsledky měření přístrojem Labtest 2.050 byly zaznamenány prostřednictvím hodnot maximální síly v přetruhu F_{max} [N], prodloužení A_{max} [mm] a deformační práce W [J], zobrazena byla také příslušná tahová křivka. Význam těchto sledovaných veličin je popsán v kapitole 3.1.1. Na obr. 32 je příklad tahové křivky textilie PES_Vp, všechny další tahové křivky jsou uvedeny v přílohách 1 až 3.

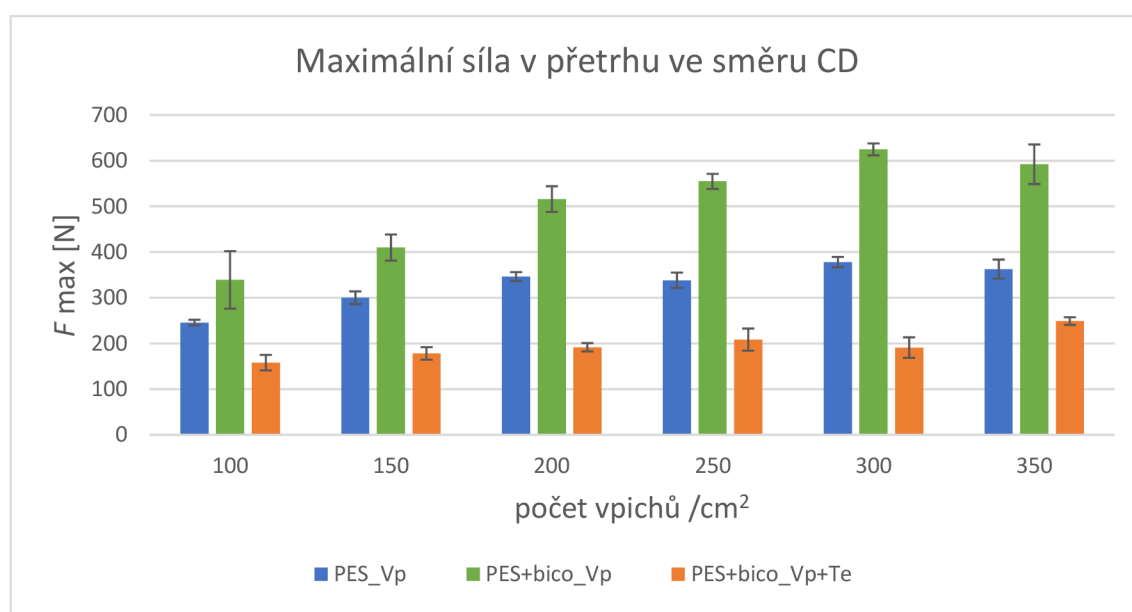


Obr. 32: Tahová křivka textilie PES_Vp, 200 v_p/cm², směr CD.

Statistika hodnot maximální síly v přetrhu pro příčný směr je uvedena v tab. 8 a pro podélný směr v tab. 9. Grafické porovnání těchto hodnot pro příčný směr je na obr. 33 a pro podélný směr na obr. 34.

Tab. 8: Hodnoty maximální síly v přetrhu ve směru CD.

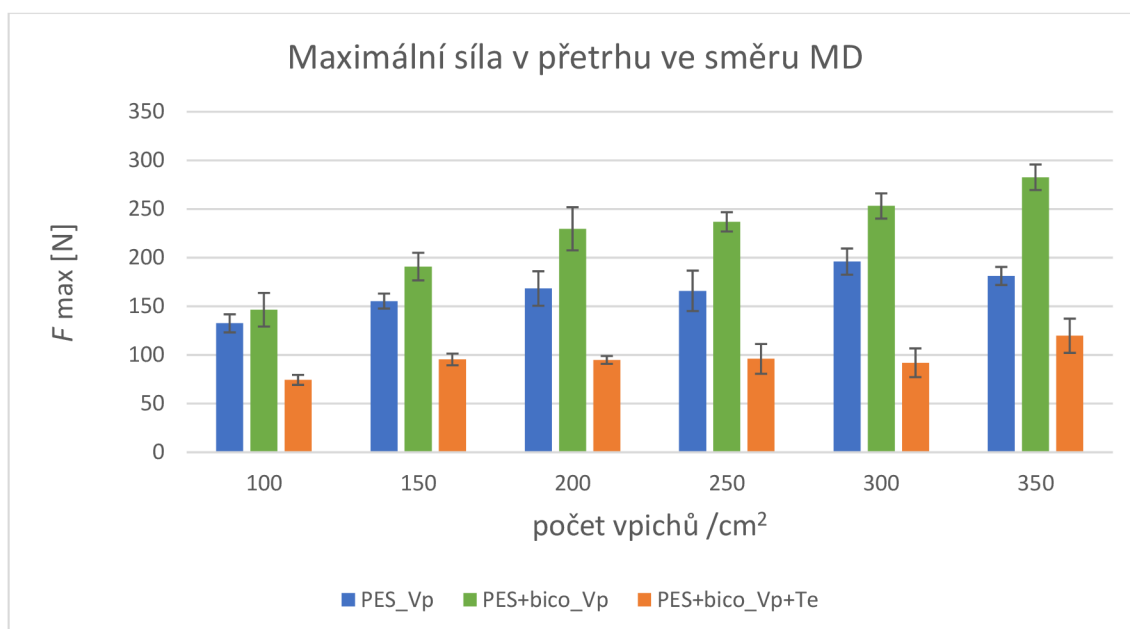
Počet vpichů	Počet vzorků	Aritmetický průměr F_{max} [N]	Směrodatná odchylka F_{max} [N]	Variační koeficient [%]	95% Interval spolehlivosti F_{max} [N]
PES_Vp					
100	5	245,71	4,90	2,00	(239,63 ; 251,80)
150	5	300,10	11,13	3,71	(286,28 ; 313,92)
200	5	346,32	7,83	2,26	(336,59 ; 356,04)
250	5	338,16	13,57	4,01	(321,32 ; 355,00)
300	5	378,09	9,15	2,42	(366,73 ; 389,45)
350	5	362,61	16,90	4,66	(341,63 ; 383,59)
PES+bico_Vp					
100	5	339,02	50,75	14,97	(276,00 ; 402,04)
150	5	409,81	23,09	5,64	(381,14 ; 438,48)
200	5	515,97	22,61	4,38	(487,89 ; 544,05)
250	5	554,66	13,36	2,41	(538,07 ; 571,24)
300	5	624,80	10,52	1,68	(611,74 ; 637,86)
350	5	592,27	34,88	5,89	(548,97 ; 635,57)
PES+bico_Vp+Te					
100	5	157,98	13,66	8,64	(141,02 ; 174,94)
150	5	178,09	11,02	6,19	(164,41 ; 191,77)
200	5	191,58	7,39	3,86	(182,40 ; 200,75)
250	5	208,28	19,56	9,39	(183,99 ; 232,56)
300	5	190,87	18,09	9,48	(168,41 ; 213,32)
350	5	249,01	6,73	2,70	(240,65 ; 257,37)



Obr. 33: Graf závislosti maximální síly v přetrhu ve směru CD.

Tab. 9: Hodnoty maximální síly v přetrhu ve směru MD.

Počet vpichů	Počet vzorků	Aritmetický průměr F_{max} [N]	Směrodatná odchylka F_{max} [N]	Variační koeficient [%]	95% Interval spolehlivosti F_{max} [N]
PES_Vp					
100	5	132,49	7,51	5,67	(123,17 ; 141,81)
150	5	155,42	6,19	3,98	(147,73 ; 163,10)
200	5	168,33	14,30	8,49	(150,58 ; 186,09)
250	5	165,97	16,74	10,09	(145,19 ; 186,75)
300	5	195,96	10,83	5,53	(182,50 ; 209,41)
350	5	181,20	7,52	4,15	(171,86 ; 190,53)
PES+bico_Vp					
100	5	146,47	13,91	9,50	(129,20 ; 163,74)
150	5	190,86	11,46	6,00	(176,63 ; 205,08)
200	5	229,64	17,86	7,77	(207,47 ; 251,81)
250	5	236,82	7,98	3,37	(226,90 ; 246,73)
300	5	253,12	10,45	4,13	(240,14 ; 266,10)
350	5	282,64	10,55	3,73	(269,54 ; 295,74)
PES+bico_Vp+Te					
100	5	74,36	4,14	5,57	(69,22 ; 79,50)
150	5	95,39	4,83	5,07	(89,39 ; 101,39)
200	5	94,90	3,24	3,42	(90,87 ; 98,92)
250	5	95,96	12,33	12,85	(80,65 ; 111,27)
300	5	91,98	5,67	6,16	(84,95 ; 99,02)
350	5	119,79	13,02	10,86	(103,63 ; 135,95)

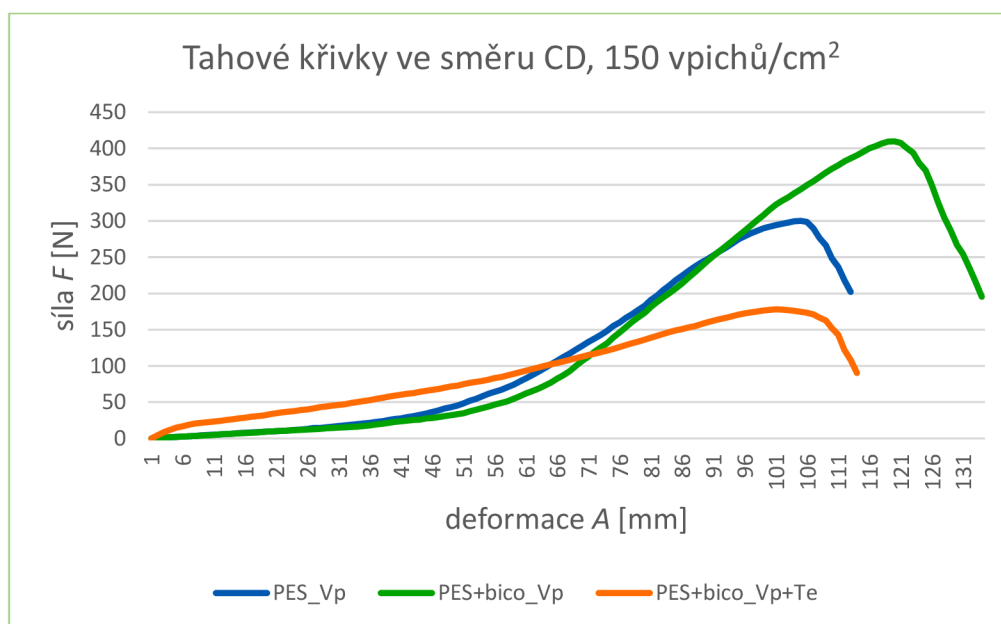


Obr. 34: Graf závislosti maximální síly v přetrhu ve směru MD.

V příčném směru mají všechny tři textilie vyšší pevnost než ve směru podélném, poměr odpovídajících hodnot maximální síly v přetrhu je přibližně 2 : 1. Pro oba směry roste pevnost v řadě PES+bico_Vp+Te, PES_Vp, PES+bico_Vp při každé hodnotě hustoty vpichování.

Všechny tři textilie vykazují s rostoucí hustotou vpichování rostoucí hodnoty maximální síly v přetrhu v příčném i podélném směru, největší nárůst lze pozorovat u textilie PES+bico_Vp v podélném směru.

Přítomnost bikomponentního vlákna pozitivně ovlivňuje pevnost textilie, tím lze vysvětlit vyšší pevnost textilie PES+bico_Vp oproti textilií PES_Vp, neboť obě byly vyrobeny pouze vpichováním. Textilie PES+bico_Vp má současně vyšší pevnost než PES+bico_Vp+Te, to může být způsobeno změnou orientace části vláken ve směru namáhání, které nastává v průběhu zkoušky větším zatížením. Možnost napřímení vláken u textilie PES+bico_Vp+Te je omezena fixací části vláken v důsledku termického pojení. Mechanické namáhání působí odlišně na spoje vytvořené pouze vpichováním a na spoje vzniklé navíc termicky.



Obr. 35: Průměrné tahové křivky ve směru CD pro 150 vp/cm².

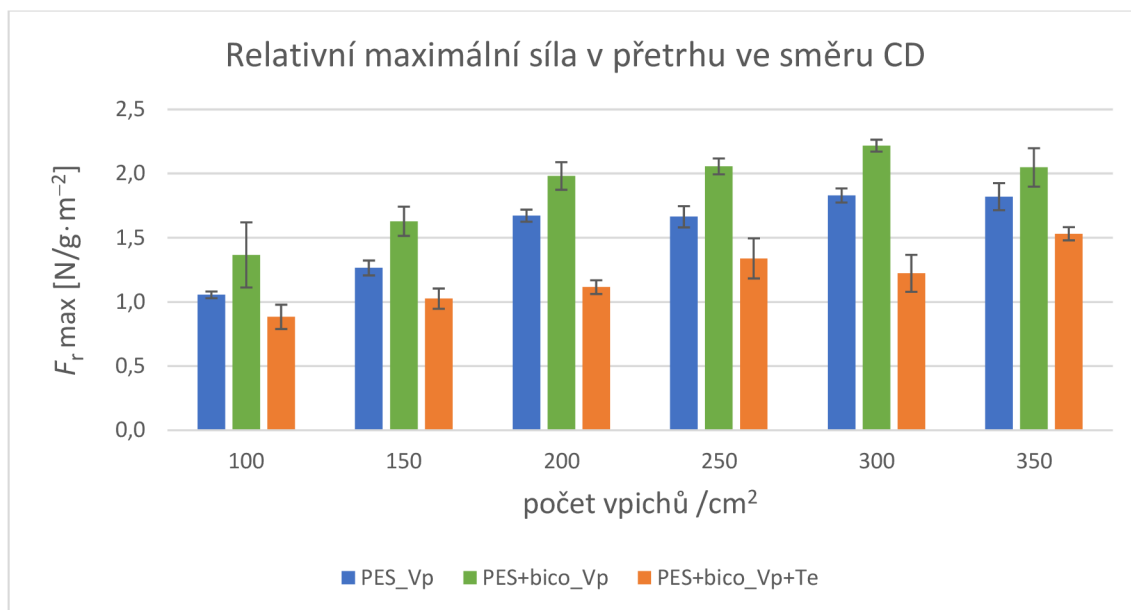
Z obr. 35 je patrný rozdílný tvar průměrných tahových křivek. Porovnáním počátečního tangentového modulu E_P všech tří textilií je zřejmé, že největší je u textilie termicky pojené. Obě textilie bez termického pojení mají tento modul značně menší, a přitom jsou moduly těchto dvou textilií podobné. Podobnost tvaru v počátku křivek textilií PES_Vp a PES+bico_Vp znamená, že tyto dvě textilie mají hned od počátku vyšší

přírůstek prodloužení na rozdíl od textilie PES+bico_Vp+Te, která má od počátku vyšší přírůstek síly. Tahové křivky také potvrzují, že hodnoty maximální síly v přetrhu rostou od PES+bico_Vp+Te po PES+bico_Vp.

Pro větší objektivitu porovnání a rozlišení pevnosti jednotlivých textilií byl zvolen přepočet hodnot maximální síly v přetrhu na relativní hodnoty, byla zohledněna odpovídající plošná hmotnost. Tato veličina je uvedena pod názvem relativní maximální síla v přetrhu, její hodnoty jsou podílem hodnot maximální síly v přetrhu a hodnot odpovídající plošné hmotnosti daného vzorku. Tyto vypočtené hodnoty jsou statisticky zpracovány a uvedeny v tab. 10 pro příčný směr a v tab. 11 pro směr podélný, příslušné grafy jsou na obr. 36 a 37.

Tab. 10: Hodnoty relativní maximální síly v přetrhu ve směru CD.

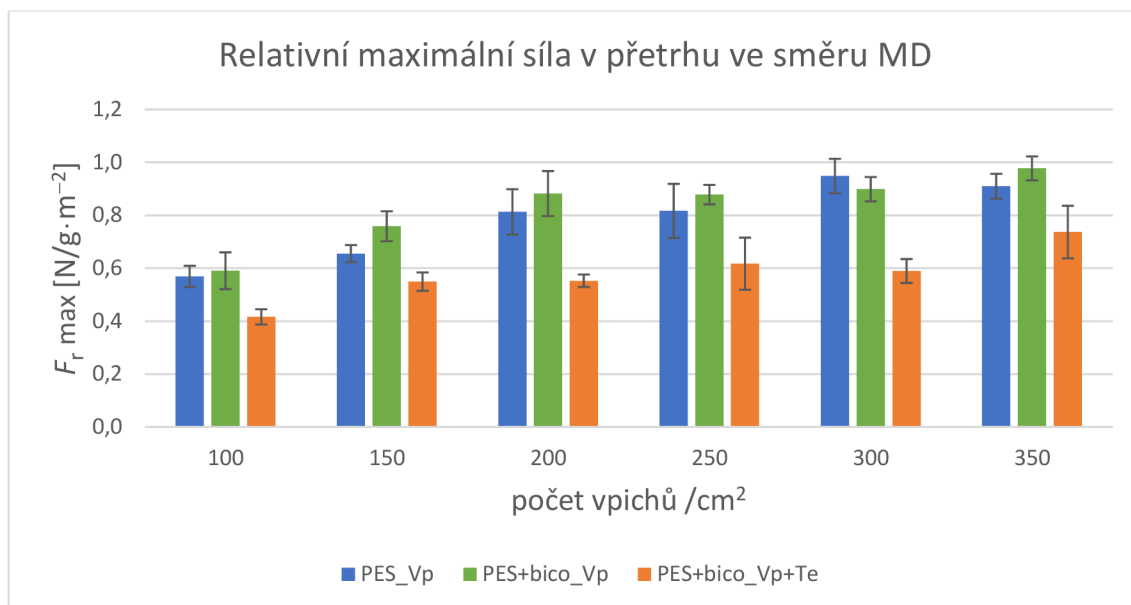
Počet vpichů	Počet vzorků	Aritmetický průměr $F_r \max$ [N/g·m ⁻²]	Směrodatná odchylka $F_r \max$ [N/g·m ⁻²]	Variační koeficient [%]	95% Interval spolehlivosti $F_r \max$ [N/g·m ⁻²]
PES_Vp					
100	5	1,06	0,02	2,00	(1,03 ; 1,08)
150	5	1,27	0,05	3,71	(1,21 ; 1,32)
200	5	1,67	0,04	2,26	(1,63 ; 1,72)
250	5	1,66	0,07	4,01	(1,58 ; 1,75)
300	5	1,83	0,04	2,42	(1,78 ; 1,89)
350	5	1,82	0,09	4,66	(1,72 ; 1,93)
PES+bico_Vp					
100	5	1,37	0,21	14,97	(1,11 ; 1,62)
150	5	1,63	0,09	5,64	(1,51 ; 1,74)
200	5	1,98	0,09	4,38	(1,87 ; 2,09)
250	5	2,06	0,05	2,41	(2,00 ; 2,12)
300	5	2,22	0,04	1,68	(2,17 ; 2,26)
350	5	2,05	0,12	5,89	(1,90 ; 2,20)
PES+bico_Vp+Te					
100	5	0,88	0,08	8,65	(0,79 ; 0,98)
150	5	1,03	0,06	6,19	(0,95 ; 1,10)
200	5	1,12	0,04	3,86	(1,06 ; 1,17)
250	5	1,34	0,13	9,39	(1,18 ; 1,50)
300	5	1,22	0,12	9,48	(1,08 ; 1,37)
350	5	1,53	0,04	2,70	(1,48 ; 1,58)



Obr. 36: Graf závislosti relativní maximální síly v přetruhu ve směru CD.

Tab. 11: Hodnoty relativní maximální síly v přetruhu ve směru MD.

Počet vpichů	Počet vzorků	Aritmetický průměr $F_r \max$ [N/g·m ⁻²]	Směrodatná odchylka $F_r \max$ [N/g·m ⁻²]	Variační koeficient [%]	95% Interval spolehlivosti $F_r \max$ [N/g·m ⁻²]
PES_Vp					
100	5	0,57	0,03	5,67	(0,53 ; 0,61)
150	5	0,66	0,03	3,98	(0,62 ; 0,69)
200	5	0,81	0,07	8,50	(0,73 ; 0,90)
250	5	0,82	0,08	10,09	(0,71 ; 0,92)
300	5	0,95	0,05	5,53	(0,88 ; 1,01)
350	5	0,91	0,04	4,15	(0,86 ; 0,96)
PES+bico_Vp					
100	5	0,59	0,06	9,50	(0,52 ; 0,66)
150	5	0,76	0,05	6,00	(0,70 ; 0,82)
200	5	0,88	0,07	7,78	(0,80 ; 0,97)
250	5	0,88	0,03	3,37	(0,84 ; 0,92)
300	5	0,90	0,04	4,13	(0,85 ; 0,95)
350	5	0,98	0,03	3,73	(0,93 ; 1,02)
PES+bico_Vp+Te					
100	5	0,42	0,02	5,57	(0,39 ; 0,45)
150	5	0,55	0,03	5,06	(0,52 ; 0,58)
200	5	0,55	0,02	3,42	(0,53 ; 0,58)
250	5	0,62	0,08	12,85	(0,52 ; 0,72)
300	5	0,59	0,04	6,16	(0,54 ; 0,63)
350	5	0,74	0,08	10,86	(0,64 ; 0,84)



Obr. 37: Graf závislosti relativní maximální síly v přetrhu ve směru MD.

Hodnoty relativní maximální síly v přetrhu zachovávají trend, který byl pozorován u hodnot maximální síly v přetrhu. To znamená, že pevnost vyjádřena relativní maximální silou v přetrhu je větší ve směru CD než ve směru MD a roste v řadě PES+bico_Vp+Te, PES_Vp, PES+bico_Vp. Podobný je také vliv hustoty vpichování, s počtem vpichů se relativní pevnost u každé textilie zvyšuje.

Odlišný je ale nárůst pevnosti mezi jednotlivými textiliemi. Pro hodnoty maximální síly v přetrhu je poměr PES+bico_Vp+Te : PES_Vp : PES+bico_Vp ~ 1 : 1,7 : 2,5 a pro hodnoty relativní maximální síly v přetrhu jsou rozdíly menší, přibližně 1 : 1,3 : 1,5. Vliv plošné hmotnosti na relativní pevnost je tedy pozorovatelný zejména u textilií s obsahem bikomponentních vláken.

Dalším ukazatelem, charakterizujícím odolnost textilie vůči namáhání je tažnost, viz kapitolu 3.1.1. V tab. 12 a tab. 13 jsou uvedeny statisticky zpracované výsledky měření, tažnost je vyjádřena maximálním prodloužením vzorků v přetrhu, A_{max} . Odpovídající grafy pro oba směry jsou na obr. 38 a obr. 39.

Z těchto grafů i hodnot v tabulkách vyplývají následující poznatky. Tažnost, vyjádřena hodnotou maximálního prodloužení, je ve směru CD menší než ve směru MD, poměr CD : MD ~ 1 : 1,2–1,5. Tento trend lze pozorovat napříč všemi hodnotami hustoty vpichování i všemi textiliemi. Přitom se tažnost všech tří textilií v obou směrech s počtem vpichů zmenšuje. Výjimkou je textilie PES+bico_Vp+Te, která v podélném směru

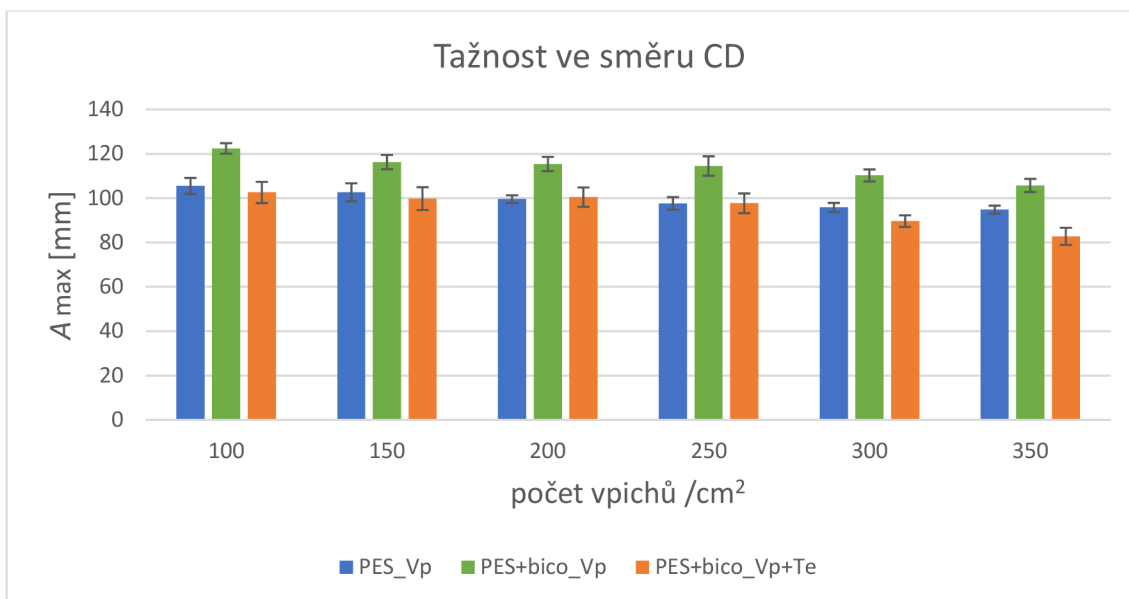
vykazuje téměř konstantní hodnoty maximálního prodloužení. Ve směru MD jsou mezi jednotlivými textiliemi větší rozdíly tažnosti než ve směru CD.

V příčném směru je tažnost textilií PES_Vp a PES+bico_Vp+Te vyrovnaná pro hustoty vpichování od 100 do 250 vpichů na cm², pro hodnoty 300 a 350 vpichů na cm² se tažnost textilie PES+bico_Vp+Te snižuje. Textilie PES+bico_Vp dosahuje v porovnání se zbývajících dvěma textiliemi největších hodnot maximálního prodloužení.

Intervaly spolehlivosti potvrzují, že v podélném směru má nejmenší tažnost textilie PES+bico_Vp+Te, která se s počtem vpichů prakticky nemění. Největší tažnost vykazuje textilie PES+bico_Vp, přičemž hodnoty maximálního prodloužení s počtem vpichů klesají. Tento trend je významný při porovnání tažnosti pro hustoty 100–200 a potom pro 250–350 vpichů na cm².

Tab. 12: Hodnoty maximálního prodloužení v přetrhu ve směru CD.

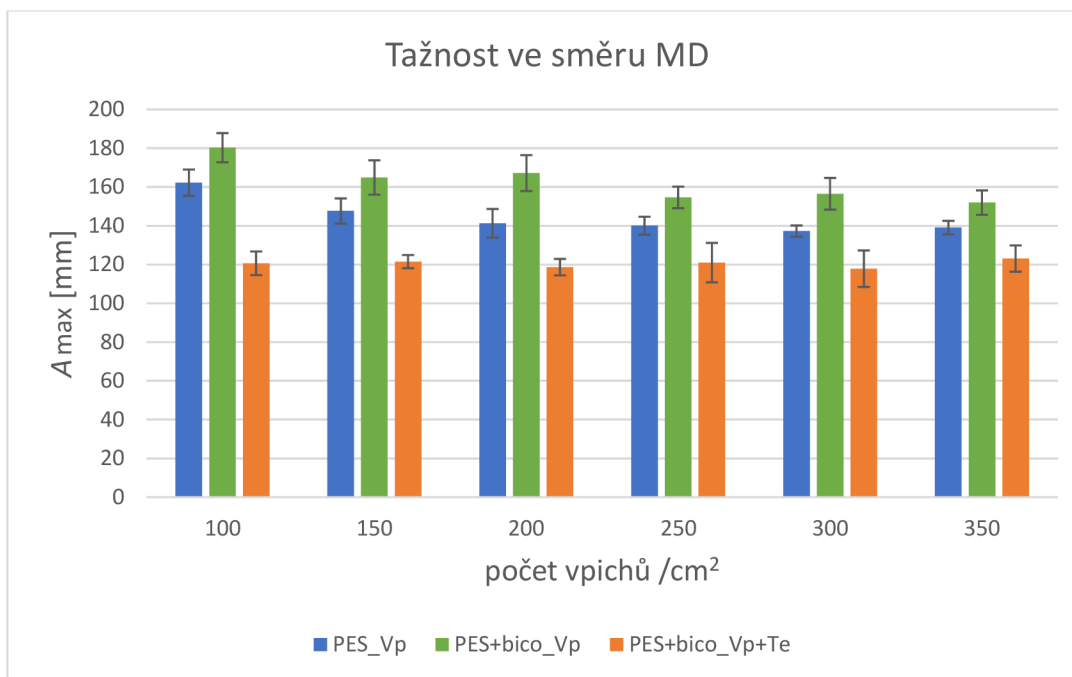
Počet vpichů	Počet vzorků	Aritmetický průměr A _{max} [mm]	Směrodatná odchylka A _{max} [mm]	Variační koeficient [%]	95% Interval spolehlivosti A _{max} [mm]
PES_Vp					
100	5	105,49	2,90	2,75	(101,89 ; 109,09)
150	5	102,62	3,27	3,19	(98,56 ; 106,69)
200	5	99,54	1,40	1,41	(97,80 ; 101,28)
250	5	97,60	2,29	2,34	(94,76 ; 100,45)
300	5	95,78	1,66	1,73	(93,72 ; 97,84)
350	5	94,82	1,44	1,52	(93,03 ; 96,61)
PES+bico_Vp					
100	5	122,40	1,92	1,56	(120,02 ; 124,77)
150	5	116,25	2,59	2,23	(113,03 ; 119,47)
200	5	115,38	2,75	2,39	(111,96 ; 118,80)
250	5	114,48	3,52	3,07	(110,11 ; 118,85)
300	5	110,23	2,18	1,98	(107,52 ; 112,94)
350	5	105,71	2,37	2,25	(102,76 ; 108,66)
PES+bico_Vp+Te					
100	5	102,55	3,85	3,76	(97,77 ; 107,34)
150	5	99,79	4,14	4,15	(94,65 ; 104,92)
200	5	100,44	3,50	3,49	(96,09 ; 104,79)
250	5	97,68	3,57	3,66	(93,24 ; 102,12)
300	5	89,62	2,13	2,37	(86,97 ; 92,26)
350	5	82,75	3,10	3,75	(78,90 ; 86,60)



Obr. 38: Graf závislosti prodloužení ve směru CD.

Tab. 13: Hodnoty maximálního prodloužení v přetruhu ve směru MD.

Počet vpichů	Počet vzorků	Aritmetický průměr A_{max} [mm]	Směrodatná odchylka A_{max} [mm]	Variační koeficient [%]	95% Interval spolehlivosti A_{max} [mm]
PES_Vp					
100	5	162,23	5,46	3,37	(155,44 ; 169,01)
150	5	147,60	5,23	3,54	(141,11 ; 154,09)
200	5	141,28	5,93	4,20	(133,91 ; 148,64)
250	5	140,01	3,75	2,68	(135,36 ; 144,66)
300	5	137,23	2,35	1,71	(134,31 ; 140,14)
350	5	139,05	2,82	2,02	(135,56 ; 142,55)
PES+bico_Vp					
100	5	180,27	6,08	3,37	(172,72 ; 187,82)
150	5	164,90	7,14	4,33	(156,04 ; 173,77)
200	5	167,15	7,47	4,47	(157,87 ; 176,42)
250	5	154,62	4,48	2,89	(149,06 ; 160,18)
300	5	156,48	6,58	4,21	(148,30 ; 164,65)
350	5	151,92	5,07	3,33	(145,63 ; 158,21)
PES+bico_Vp+Te					
100	5	120,64	4,92	4,08	(114,54 ; 126,75)
150	5	121,51	2,74	2,25	(118,12 ; 124,91)
200	5	118,65	3,41	2,87	(114,43 ; 122,89)
250	5	120,98	8,17	6,75	(110,84 ; 131,13)
300	5	117,84	7,58	6,43	(108,44 ; 127,25)
350	5	123,09	5,47	4,45	(116,29 ; 129,88)

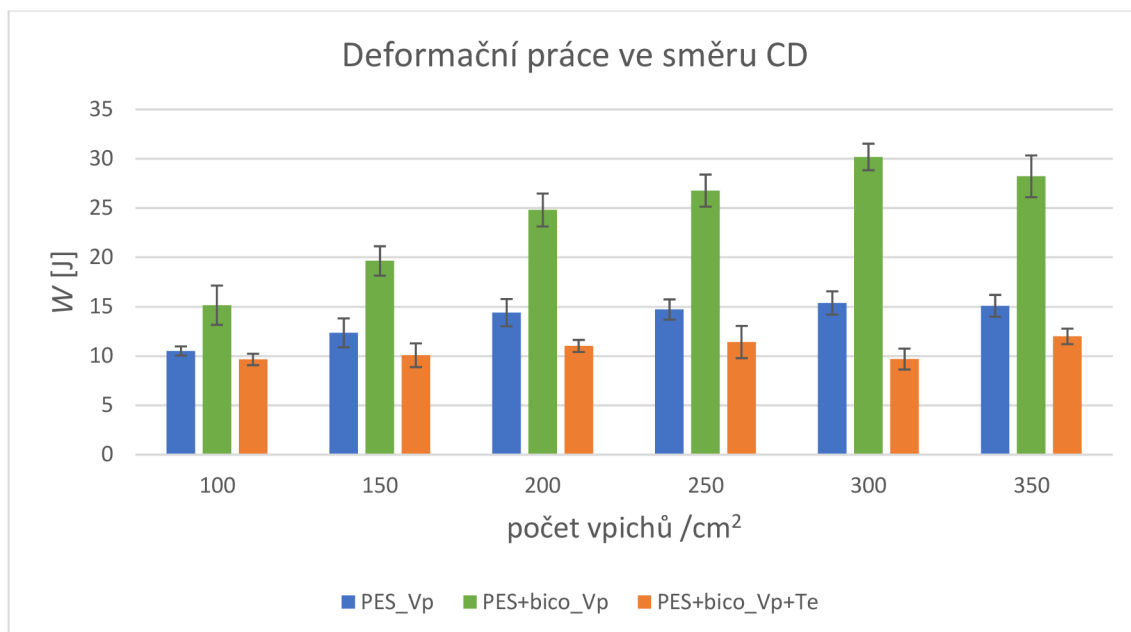


Obr. 39: Graf závislosti prodloužení ve směru MD.

Hodnoty deformační práce W [J] jsou zapsány v tab. 14 pro příčný směr a v tab. 15 pro směr podélný. Grafy sestavené z těchto hodnot jsou na obr. 40 a 41.

Tab. 14: Hodnoty deformační práce ve směru CD.

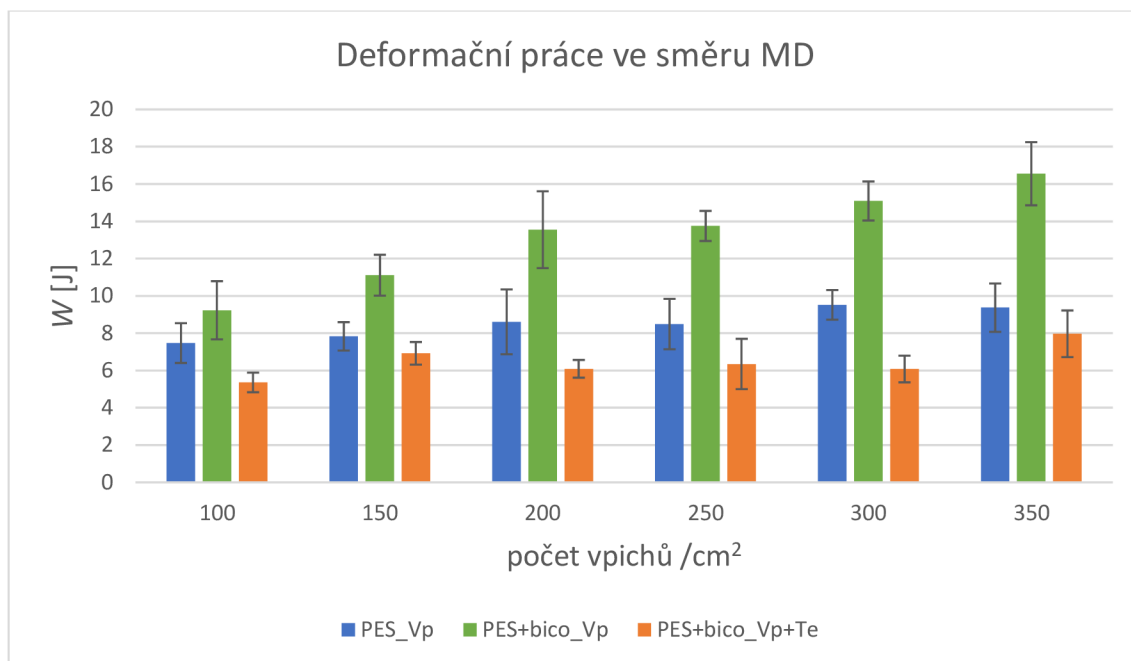
Počet vpichů	Počet vzorků	Aritmetický průměr W [J]	Směrodatná odchylka W [J]	Variační koeficient [%]	95% Interval spolehlivosti W [J]
PES_Vp					
100	5	10,51	0,37	3,54	(10,05 ; 10,97)
150	5	12,35	1,18	9,56	(10,89 ; 13,82)
200	5	14,40	1,11	7,72	(13,02 ; 15,78)
250	5	14,71	0,83	5,62	(13,69 ; 15,74)
300	5	15,38	0,95	6,18	(14,20 ; 16,56)
350	5	15,09	0,89	5,87	(13,99 ; 16,19)
PES+bico_Vp					
100	5	15,15	1,60	10,59	(13,16 ; 17,14)
150	5	19,64	1,20	6,10	(18,16 ; 21,13)
200	5	24,80	1,35	5,44	(23,12 ; 26,47)
250	5	26,77	1,31	4,90	(25,14 ; 28,40)
300	5	30,18	1,09	3,60	(28,84 ; 31,54)
350	5	28,22	1,71	6,04	(26,11 ; 30,34)
PES+bico_Vp+Te					
100	5	9,65	0,47	4,87	(9,06 ; 10,23)
150	5	10,08	0,97	9,64	(8,87 ; 11,29)
200	5	11,02	0,49	4,50	(10,41 ; 11,63)
250	5	11,42	1,32	11,54	(9,78 ; 13,06)
300	5	9,68	0,85	8,80	(8,63 ; 10,74)
350	5	11,99	0,63	5,28	(11,20 ; 12,78)



Obr. 40: Graf závislosti deformační práce ve směru CD.

Tab. 15: Hodnoty deformační práce ve směru MD.

Počet vpichů	Počet vzorků	Aritmetický průměr W [J]	Směrodatná odchylka W [J]	Variační koeficient [%]	95% Interval spolehlivosti W [J]
PES_Vp					
100	5	7,47	0,86	11,49	(6,40 ; 8,54)
150	5	7,83	0,61	7,85	(7,06 ; 8,59)
200	5	8,61	1,40	16,25	(6,87 ; 10,35)
250	5	8,49	1,09	12,82	(7,14 ; 9,85)
300	5	9,52	0,64	6,72	(8,72 ; 10,31)
350	5	9,37	1,04	11,13	(8,07 ; 10,66)
PES+bico_Vp					
100	5	9,23	1,26	13,98	(7,43 ; 10,55)
150	5	11,11	0,88	7,94	(10,02 ; 12,21)
200	5	13,55	1,66	12,24	(11,49 ; 15,61)
250	5	13,75	0,65	4,73	(12,95 ; 14,56)
300	5	15,09	0,84	5,59	(14,05 ; 16,14)
350	5	16,55	1,36	8,23	(14,86 ; 18,24)
PES+bico_Vp+Te					
100	5	5,36	0,42	7,89	(4,83 ; 5,88)
150	5	6,92	0,49	7,06	(6,31 ; 7,52)
200	5	6,09	0,39	6,31	(5,61 ; 6,57)
250	5	6,35	1,09	17,10	(5,00 ; 7,70)
300	5	6,08	0,58	9,48	(5,37 ; 6,80)
350	5	7,97	1,01	12,65	(6,72 ; 9,22)



Obr. 41: Graf závislosti deformační práce ve směru MD.

Rozdíly v hodnotách deformační práce jsou dobře viditelné na tahových křivkách, obr. 32, 35. Hodnoty rostou v řadě PES+bico_Vp+Te, PES_Vp, PES+bico_Vp a jsou větší ve směru CD než ve směru MD, poměr hodnot CD : MD $\sim 1,5-2 : 1$. U podélného směru mají hodnoty vyšší variabilitu.

S rostoucím počtem vpichů lze sledovat rostoucí trend deformační práce v obou směrech u všech tří textilií. Vzhledem k intervalům spolehlivosti není tento trend statisticky významný pro textilie PES_Vp a PES+bico_Vp+Te. Nárůst deformační práce v závislosti na hustotě vpichování je největší u textilie PES+bico_Vp, z tohoto pohledu se tato textilie jeví jako nejvíce mechanicky odolná.

5.3.3 Testování tuhosti v ohybu

Na zjišťování tuhosti v ohybu existuje více metod, které se podle [22] rozdělují na statické a dynamické. Statické metody jsou v principu založené na odečtení úhlu ohybu proužku zkoumaného vzorku textilie a podávají informaci o její okamžité tuhosti.

Jednou z těchto metod je Cantilever test, kde je úhel vytvořený horizontálním směrem a spojnicí počátku a konce vetknuté textilie pevně definovaný, jeho velikost je $\theta = 41,5^\circ$ a je pevně nastaven na nakloněné rovině měřicího přístroje.

Pro zjištění ohybové tuhosti zkoumaných textilií byl, v souladu s normou EDANA BENDING LENGTH 50.2-80, použit postup, který vychází z principu Cantilever testu.

Tuhost v ohybu se vypočítá z délky ohybu podle vzorce (21), délka ohybu je rovna přesahující délce [33].

$$G = g \cdot C^3 \cdot 10^{-3} \quad (21)$$

G ... ohybová tuhost [$\text{mg} \cdot \text{m}$]

g ... plošná hmotnost [$\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$]

C ... ohybová délka [cm]

Poznámka k převodu jednotek:

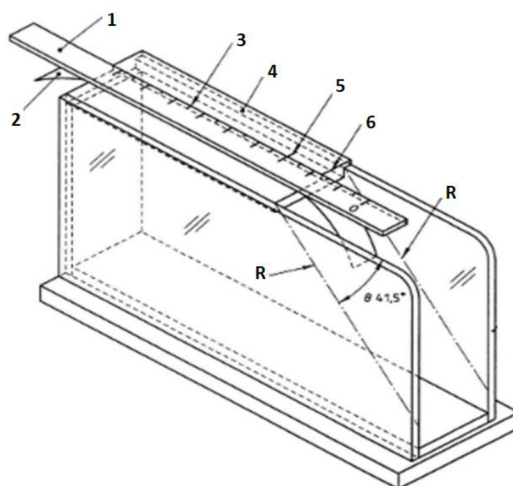
$$\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{cm}^3 = \text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot 10^{-6} \cdot \text{m}^3 = \text{g} \cdot \text{m} \cdot 10^{-6} = 10^{-3} \cdot \text{g} \cdot \text{m} \cdot 10^{-3} = \text{mg} \cdot \text{m} \cdot 10^{-3}$$

Poznámka k symbolu pro plošnou hmotnost:

Pro plošnou hmotnost je obvykle používán symbol ρ_S [22], [27].

Pro vlastní měření ohybové délky byly připraveny vzorky o rozměrech 25×200 mm. Jejich celkový počet byl 180 – pro tři různé typy netkaných textilií, šest různých počtů vpichů, ve dvou směrech CD a MD, vše po pěti vzorcích na každé měření.

Hodnota přesahující délky, která je rovna délce ohybu, byla měřena na přístroji schematicky znázorněném na obr. 42.



Obr. 42: Schéma přístroje pro měření ohybové délky [33].

- 1 – pravítko se stupnicí, 2 – testovaný vzorek textilie, 3 – stupnice,
4 – plošina, 5 – značka, 6 – přední okraj plošiny, R – rysky

Vlastní měření přesahující délky spočívalo v tom, že se obdélníkový proužek textilie podepřel na horizontální plošině ve směru kolmém k jednomu jejímu okraji a vysouval se ve směru své délky tak, že stále větší část přesahovala a ohýbala se vlastní vahou. Vysouvání probíhalo do té doby, než se okraj vzorku dotknul rysky, která svírala

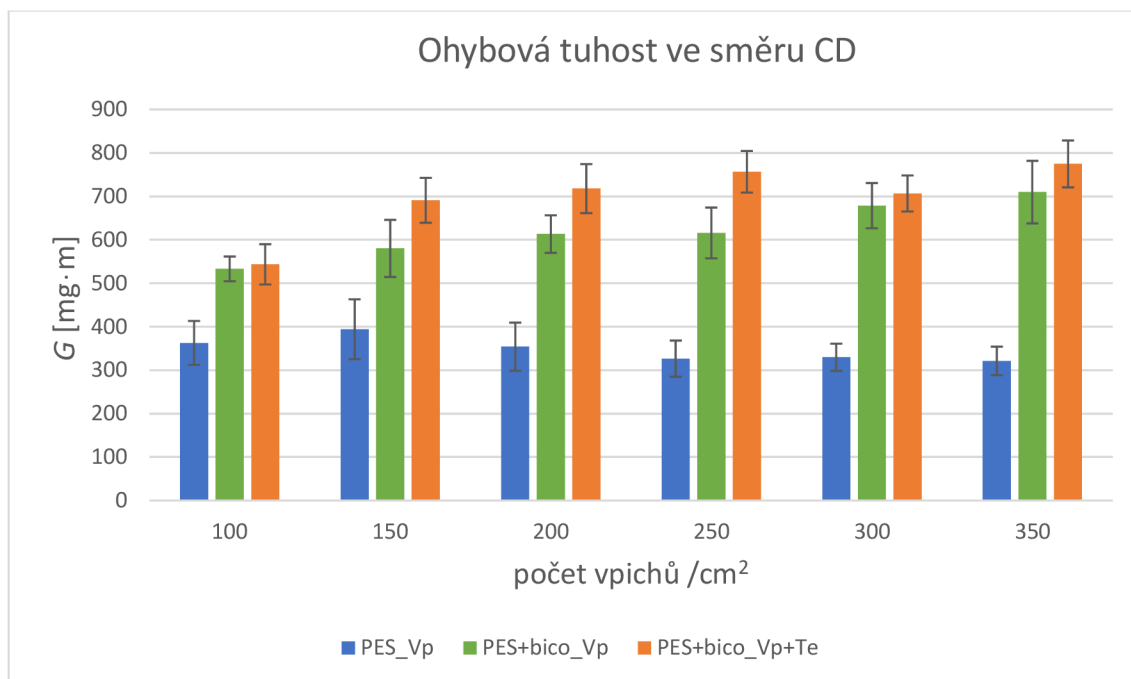
s horizontální rovinou úhel 41,5°. Na stupnici přístroje se odečetla přesahující délka proužku textilie. Měření se opakovalo s každým jednotlivým vzorkem, na lící straně.

5.3.4 Vyhodnocení tuhosti v ohybu

Všechna naměřená data byla statisticky zpracována, příslušné výsledky jsou představeny v tabulkové a grafické podobě. Statistické zpracování hodnot plošné měrné hmotnosti je uvedené v tab. 5, kapitola 5.2.1. Výsledné hodnoty pro tuhost v ohybu získané výpočtem z odpovídající plošné hmotnosti a ohybové délky jsou zpracovány a zaznamenány v tab. 16 a 17, jejich grafický popis je uveden na obrázcích 43 a 44.

Tab. 16: Hodnoty ohybové tuhosti ve směru CD.

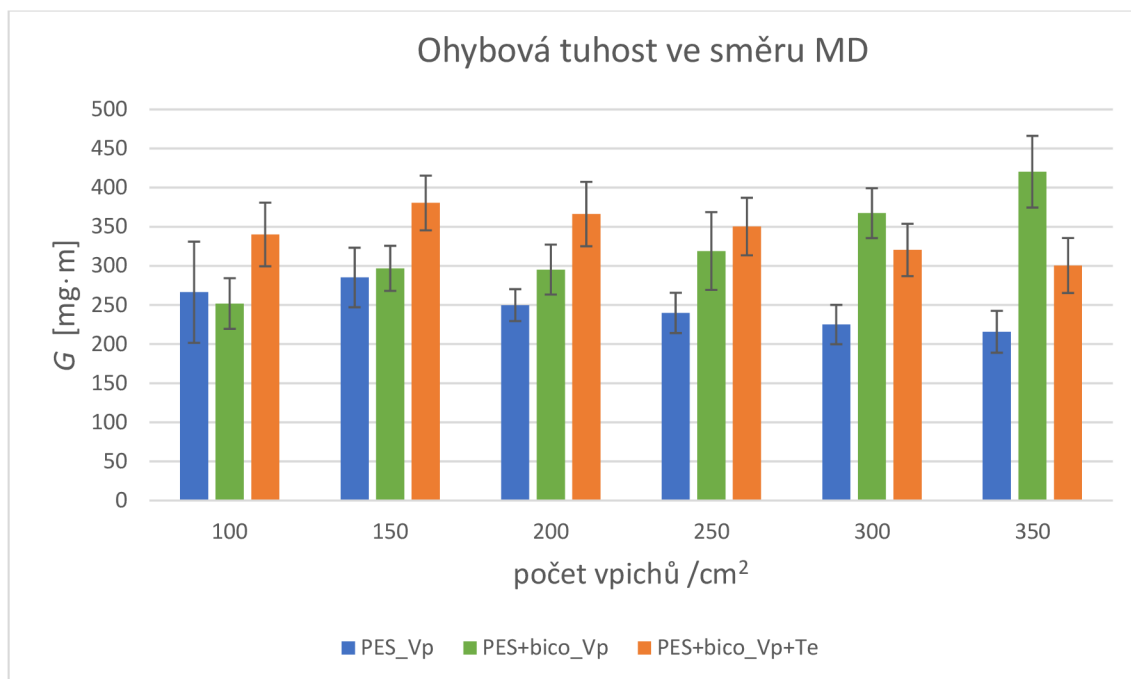
Počet vpichů	Počet vzorků	Aritmetický průměr G [mg·m]	Směrodatná odchylka G [mg·m]	Variační koeficient [%]	95% Interval spolehlivosti G [mg·m]
PES_Vp					
100	5	362,81	40,66	11,21	(312,32 ; 413,30)
150	5	394,05	55,51	14,09	(325,13 ; 462,97)
200	5	354,06	44,58	12,59	(298,70 ; 409,42)
250	5	326,47	33,47	10,25	(284,91 ; 368,02)
300	5	329,77	25,15	7,63	(298,54 ; 361,00)
350	5	321,28	26,42	8,22	(288,47 ; 354,08)
PES+bico_Vp					
100	5	532,99	22,95	4,31	(504,49 ; 561,49)
150	5	580,17	52,98	9,13	(514,39 ; 645,95)
200	5	613,16	34,75	5,67	(570,01 ; 656,31)
250	5	615,74	47,08	7,65	(557,29 ; 674,20)
300	5	678,53	41,89	6,17	(626,52 ; 730,54)
350	5	709,76	58,02	8,18	(637,71 ; 781,81)
PES+bico_Vp+Te					
100	5	543,51	37,31	6,87	(497,18 ; 589,84)
150	5	690,94	41,58	6,02	(639,31 ; 742,57)
200	5	717,73	45,43	6,33	(661,33 ; 774,14)
250	5	756,53	38,56	5,10	(708,65 ; 804,42)
300	5	706,66	33,36	4,72	(665,25 ; 748,08)
350	5	774,58	43,45	5,61	(720,62 ; 828,53)



Obr. 43: Graf závislosti ohybové tuhosti ve směru CD.

Tab. 17: Hodnoty ohybové tuhosti ve směru MD.

Počet vpichů	Počet vzorků	Aritmetický průměr G [mg·m]	Směrodatná odchylka G [mg·m]	Variační koeficient [%]	95% Interval spolehlivosti G [mg·m]
PES_Vp					
100	5	266,29	52,12	19,57	(201,57 ; 331,01)
150	5	285,09	30,65	10,75	(247,04 ; 323,15)
200	5	249,77	16,42	6,57	(229,38 ; 270,15)
250	5	239,86	20,69	8,63	(214,17 ; 265,55)
300	5	224,98	20,25	9,00	(199,84 ; 250,13)
350	5	215,72	21,52	9,98	(189,00 ; 242,45)
PES+bico_Vp					
100	5	251,83	26,06	10,35	(219,48 ; 284,19)
150	5	296,84	23,23	7,83	(268,00 ; 325,69)
200	5	295,23	25,71	8,71	(263,32 ; 327,15)
250	5	318,96	40,05	12,56	(269,23 ; 368,69)
300	5	367,34	25,65	6,98	(335,49 ; 399,18)
350	5	420,41	36,93	8,77	(374,56 ; 466,26)
PES+bico_Vp+Te					
100	5	340,11	32,73	9,62	(299,48 ; 380,75)
150	5	380,37	28,17	7,41	(345,39 ; 415,35)
200	5	366,19	33,18	9,06	(325,00 ; 407,39)
250	5	350,28	29,61	8,45	(313,52 ; 387,05)
300	5	320,31	26,97	8,42	(286,82 ; 353,79)
350	5	300,46	28,31	9,42	(265,31 ; 335,60)



Obr. 44: Graf závislosti ohybové tuhosti ve směru MD.

Tuhost v ohybu je jednoznačně větší ve směru CD než ve směru MD, to platí pro každou zkoumanou textilii i pro každou hustotu vpichování. Obě textilie obsahující bikomponentní vlákna vykazují větší ohybovou tuhost než textilie, která obsahuje pouze vlákno PES. Hodnoty ohybové tuhosti jsou větší u textilie pojené termicky v porovnání s textilií pojenou pouze vpichováním, výjimka nastává u počtu vpichů 300 a 350 v podélném směru. To může být způsobeno odpovídajícími hodnotami plošné hmotnosti, která se kromě ohybové délky promítá do výpočtu ohybové tuhosti.

Následuje vyhodnocení tuhosti v ohybu pro každý směr samostatně. Posuzuje se podle hustoty vpichování a podle typu textilie.

V příčném směru vykazuje textilie PES_Vp nejmenší a textilie PES+bico_Vp+Te největší ohybovou tuhost. U textilie PES_Vp lze pozorovat klesající trend hodnot ohybové tuhosti v závislosti na rostoucím počtu vpichů, ale rozdíly nejsou vzhledem k překrývajícím se intervalům spolehlivosti statisticky významné. Obě textilie obsahující bikomponentní vlákna vykazují rostoucí tendenci středních hodnot ohybové tuhosti s hustotou vpichování. U textilie zpevněné pouze vpichováním je tato tendence významná mezi hodnotami tuhosti pro 100 a potom pro 300 až 350 vpichů na cm². Textilie zpevněná vpichováním i termicky projevuje významné zvýšení tuhosti pro každý počet vpichů v porovnání s počtem 100 vpichů na cm².

Nejmenší rozdíly ohybové tuhosti ve směru CD pro jednotlivé textilie lze sledovat při hustotě 100 vpichů na cm^2 a největší vzájemné rozdíly jsou patrné u hustot 150 až 250 vpichů na cm^2 . Při vyšší hustotě vpichování se zmenšuje rozdíl v tuhosti mezi textilií PES+bico_Vp a PES+bico_Vp+Te.

V podélném směru má nejmenší ohybovou tuhost textilie PES_Vp. Při sledování závislosti na zvyšujícím se počtu vpichů vykazuje tato textilie klesající trend ohybové tuhosti, statisticky významný je pokles mezi počtem 150 a 350 vpichů na cm^2 . U textilie PES+bico_Vp lze sledovat nárůst ohybové tuhosti s rostoucím počtem vpichů, tento je významný pro hustotu 300 a 350 vpichů na cm^2 v porovnání s hustotou 100 nebo 150 vpichů na cm^2 . Hodnoty ohybové tuhosti u textilie PES+bico_Vp+Te mají kolísavý charakter, významný je pokles mezi 150 a 350 vpichy na cm^2 . Z porovnání hodnot ohybové tuhosti jednotlivých textilií při konstantním počtu vpichů vyplývá, že největší rozdíl mezi textiliemi je při hustotě 350 vpichů na cm^2 . Pro hustotu 150 až 250 vpichů na cm^2 rostou střední hodnoty v pořadí PES_Vp, PES+bico_Vp, PES+bico_Vp+Te, pro hustotu 300 a 350 vpichů na cm^2 se pořadí mění na PES_Vp, PES+bico_Vp+Te, PES+bico_Vp.

5.3.5 Testování prodyšnosti

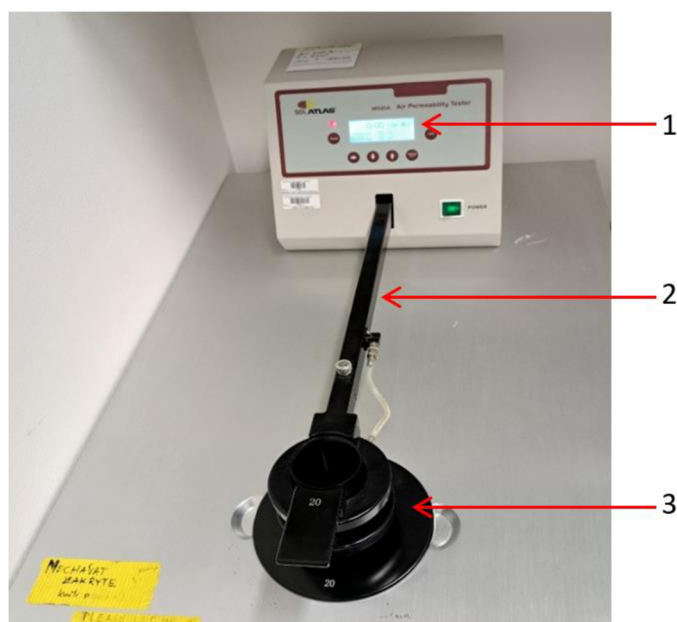
Prodyšnost – prostup vzduchu plošnou textilií nastává při vytvoření tlakového spádu na obou stranách textilie, která má nenulovou hodnotu pórovitosti (kapitola 3.2). Prodyšnost vypovídá o tom, kolik vzduchu projde přes póry uvnitř textilie, proto se považuje pórovitost za strukturální ekvivalent prodyšnosti [22].

Měření prodyšnosti může probíhat staticky nebo dynamicky. U statického měření jsou textilní materiály hodnoceny při konstantním tlaku a po celou dobu měření prochází vzduch jedním směrem konstantní rychlostí. Dynamické měření umožňuje sledovat strukturální změny textilie, které mohou nastat v průběhu měření [35].

Přesné podmínky a postupy měření jsou definovány normami. Prodyšnost textilií, vyrobených pro účely této práce, byla měřena podle normy EDANA AIR PERMEABILITY 140.1-81 [33], která vychází ze statického měření prodyšnosti.

Samotné měření prodyšnosti se provádělo na přístroji SDL Atlas M021A, kterým lze stanovit vzduchovou propustnost různých druhů plošných textilií včetně textilií netkaných. Tento přístroj umožňuje 8 volitelných měrných jednotek a pracuje v souladu

s uváděnou normou EDANA 140.1-81, která doporučuje testovací hlavu o ploše 20 cm². Hlavní části přístroje jsou popsány na obr. 45.



Obr. 45: Přístroj SDL Atlas M021A.

1 – display, 2 – upínací rameno, 3 – testovací hlava

Podstatou zkoušky prodyšnosti je měření množství vzduchu, který prostupuje přes zkoušenou textilií při specifikovaných podmínkách pro zkušební plochu vzorku a tlakový spád. Stacionární stav předpokládá klimatizovaný vzorek a měření za normalizovaných podmínek (teplota 20 ± 2 °C a vlhkost 65 ± 2 %).

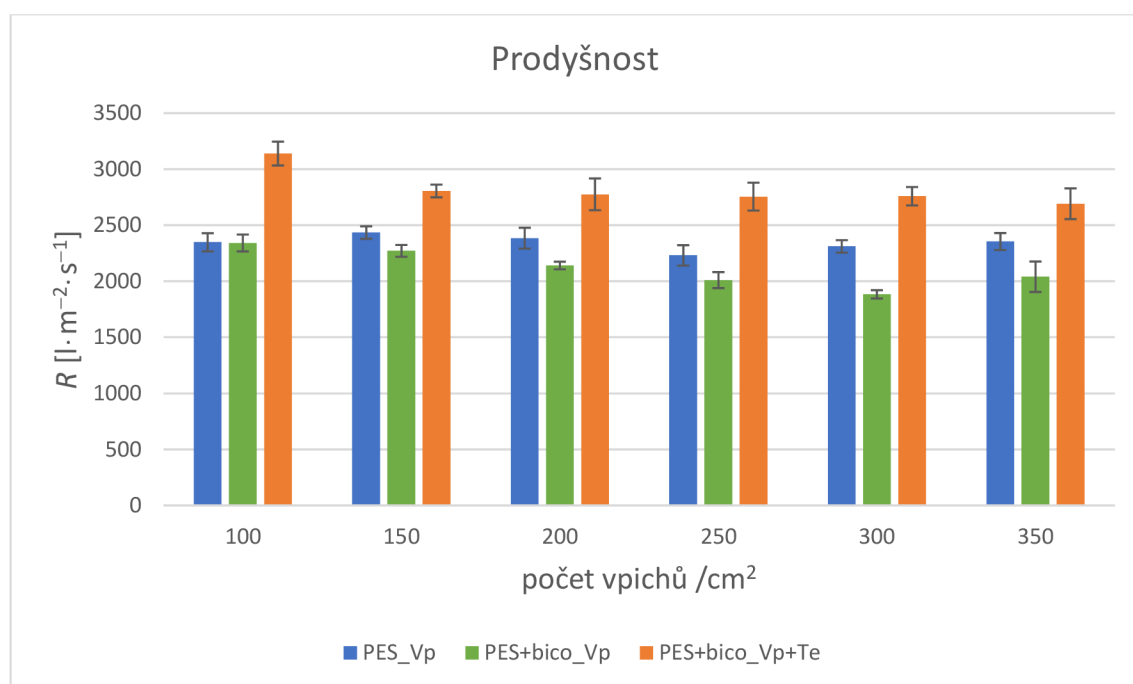
Vlastní měření prodyšnosti začínalo upnutím zkušební vzorku přes otvor testovací hlavy o ploše 20 cm² stlačením upínacího ramene, které automaticky spustilo vakuové čerpadlo. Při tlakovém spádu $\Delta p = 196$ Pa se po několika sekundách zobrazila na displeji přístroje hodnota prodyšnosti v předem zvolené měrné jednotce, [$l \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$]. Hodnoty prodyšnosti v jednotkách [$l \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$] a [$mm \cdot s^{-1}$] jsou shodné. Každé měření se opakovalo s pěti zkušebními vzorky, všechny s rozměry 100 mm × 100 mm.

Výsledky měření prodyšnosti jsou po statistickém zpracování zapsány v tab. 18 a jejich grafické vyjádření je zobrazeno na obr. 46.

5.3.6 Vyhodnocení prodyšnosti

Tab. 18: Hodnoty prodyšnosti.

Počet vpichů	Počet vzorků	Aritmetický průměr R [$\text{l}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$]	Směrodatná odchylka R [$\text{l}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$]	Variační koeficient [%]	95% Interval spolehlivosti R [$\text{l}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$]
PES_Vp					
100	5	2348,02	65,32	2,78	(2266,91 ; 2429,13)
150	5	2434,86	44,81	1,84	(2379,22 ; 2490,50)
200	5	2384,76	75,06	3,15	(2291,56 ; 2477,96)
250	5	2231,12	73,37	3,29	(2140,02 ; 2322,22)
300	5	2311,28	45,12	1,95	(2255,25 ; 2367,31)
350	5	2354,70	61,36	2,61	(2278,51 ; 2430,89)
PES+bico_Vp					
100	5	2341,34	60,67	2,59	(2266,00 ; 2416,68)
150	5	2271,20	42,58	1,88	(2218,33 ; 2324,07)
200	5	2140,94	27,44	1,28	(2106,87 ; 2175,01)
250	5	2010,68	57,37	2,85	(1939,45 ; 2081,91)
300	5	1883,76	29,87	1,59	(1846,67 ; 1920,85)
350	5	2040,74	109,13	5,35	(1905,24 ; 2176,24)
PES+bico_Vp+Te					
100	5	3139,60	85,97	2,74	(3032,86 ; 3246,34)
150	5	2805,60	45,74	1,63	(2748,81 ; 2862,39)
200	5	2775,54	114,12	4,11	(2633,84 ; 2917,24)
250	5	2755,50	100,20	3,64	(2631,09 ; 2879,91)
300	5	2758,84	66,17	2,40	(2676,68 ; 2841,00)
350	5	2692,04	110,40	4,10	(2554,96 ; 2829,12)



Obr. 46: Graf závislosti prodyšnosti na hustotě vpichování.

Obě textilie pojené pouze vpichováním mají nižší hodnoty prodyšnosti než textilie, která je pojena vpichováním i teplovzdušně. Při sledování rozdílů prodyšnosti pro daný počet vpichů mezi jednotlivými textiliemi je zřejmé, že nejmenší prodyšnost vykazuje textilie PES+bico_Vp a největší PES+bico_Vp+Te.

S rostoucí hustotou vpichování se prodyšnost zmenšuje. U textilie PES_Vp je statisticky významný pokles prodyšnosti ze 150 vpichů na 250 a 300 vpichů na cm², u textilie PES+bico_Vp klesá prodyšnost od hustoty 100 nebo 150 vpichů k 200 až 300 vpichů na cm². Pro textili PES+bico_Vp+Te je prodyšnost největší pro 100 vpichů, pro další počty vpichů na cm² se příslušné intervaly spolehlivosti překrývají, hodnoty mají vyšší variabilitu.

Z předcházejícího vyplývá, že na změnu prodyšnosti má vliv teplovzdušné pojení a také obsah vláken různých jemností a složení. Příměs jemnějších bico vláken u textilie pojené pouze vpichováním se projevila méně než u textilie stejného složení, která byla pojena i teplovzdušně. Teplovzdušné pojení má za následek nárůst prodyšnosti, což může být způsobeno změnou uspořádání struktury, např. vytvořením nových vazných bodů.

Výsledky měření potvrzují předpoklady o vztahu mezi prodyšností a dalšími charakteristikami zkoumaných textilií. Textilie PES+bico_Vp+Te, která vykazuje největší prodyšnost, má zároveň nejmenší plošnou měrnou hmotnost, tloušťku i objemovou měrnou hmotnost. Nejméně prodyšná je textilie PES+bico_Vp, která má největší hodnoty plošné měrné hmotnosti, tloušťky a objemové měrné hmotnosti.

Závěr

V předložené diplomové práci jsou uvedeny výsledky zkoumání mechanických vlastností a prodyšnosti netkaných textilií v závislosti na parametrech materiálového složení, vpichování a termického pojení. Na základě naměřených veličin, charakterizujících uvedené vlastnosti, byla provedena analýza vlivu daných parametrů na finální vlastnosti textilií. Cílem bylo vyhodnotit tuto závislost a posoudit, který ze sledovaných parametrů má vliv na vlastnosti zkoumaných textilií.

V teoretické části práce jsou předloženy informace o významu netkaných textilií a jejich podílu na vývoji v textilním průmyslu. Podrobněji jsou popsány technologie výroby, které se zkoumanými textiliemi souvisí. Větší pozornost je věnována procesu vpichování a teplovzdušného pojení a jsou zde představeny i poznatky o vláknech, včetně vlastností polyesterových a bikomponentních vláken.

V experimentální části je uveden popis výroby rouna s různým obsahem základních a pojivých vláken a postup jeho zpevňování vpichováním a teplovzdušným pojením. Stěžejními jsou kapitoly, ve kterých jsou uvedeny výsledky měření jednotlivých charakteristik zkoumaných vlastností včetně statistického zpracování, jejich vyjádření formou tabulek a příslušných grafů. U každé vlastnosti je připojena diskuse výsledků. Všechny naměřené hodnoty jsou zpracovány na hladině významnosti $\alpha = 0,05$.

Pro realizaci experimentu byly vyrobeny tři typy textilií s označením PES_Vp, PES+bico_Vp, PES+bico_Vp+Te, které mají rozdílný obsah vláken a různý způsob zpevnění vlákenného rouna. Přesnější údaje o parametrech jednotlivých textilií jsou popsány v kapitole 4.1. Testování bylo zaměřeno na pevnost a tažnost, tuhost v ohybu a prodyšnost. Sledovaly se i základní charakteristiky, jako je tloušťka, plošná měrná hmotnost a objemová měrná hmotnost.

Pevnost všech textilií je větší ve směru CD než MD a s rostoucí hustotou vpichování se zvyšuje. V obou směrech má největší pevnost textilie s příměsí jemnějšího bico vlákna, která je pojena pouze vpichováním, textilie stejného složení ale pojena navíc teplovzdušně, dosahuje nejmenší pevnosti. Rozdíly v hodnotách maximální síly v přetrhu mezi jednotlivými textiliemi jsou větší než u hodnot relativní maximální síly v přetrhu, která je podílem maximální síly v přetrhu a odpovídající plošné hmotnosti. Vliv plošné hmotnosti na relativní pevnost je pozorovatelný zejména u textilií s obsahem bikomponentních vláken.

Nejvyšší tažnost se projevuje u textilie PES+bico_Vp v podélném směru při počtu vpichů 100 na cm² a nejmenší u PES+bico_Vp+Te v příčném směru při počtu vpichů 350 na cm². Textilie bez obsahu bikomponentních vláken je v hodnotách tažnosti mezi dvěma textiliemi tato vlákna obsahující. Rostoucí trend tažnosti lze sledovat od směru CD k MD, klesající trend od 100 vpichů k 350 vpichům na cm².

Hodnoty deformační práce korespondují s hodnotami maximální síly v přetrhu, největší je u textilie PES+bico_Vp v příčném i podélném směru.

Ohybová tuhost je větší ve směru CD než MD. Obě textilie s obsahem jemnějšího bico vláken mají větší ohybovou tuhost v porovnání s textilií obsahující pouze základní PES vlákno. Teplovzdušné pojení způsobuje další nárůst ohybové tuhosti, výjimkou je případ pro počet vpichů 300 a 350 na cm² v podélném směru, kde se více projevuje vliv plošné hmotnosti. Při hustotě 350 vpichů na cm² lze sledovat největší a nejmenší ohybovou tuhost napříč všemi hodnotami, nejmenší je u textilie PES_Vp v podélném směru a největší ohybovou tuhost má textilie PES+bico_Vp+Te v příčném směru.

Prodyšnost je závislá na obsahu vláken i způsobu pojení vlákenného rouna. Z textilií se stejným obsahem vláken má větší prodyšnost ta, která byla pojena nejen vpichováním, ale také teplovzdušně. Tato textilie je více prodyšná ve všech hodnotách hustoty vpichování i v porovnání s textilií bez obsahu bico vláken.

Všechny sledované vlastnosti zkoumaných textilií souvisí s jejich tloušťkou a plošnou měrnou hmotností, tzn. i objemovou měrnou hmotností. Zde jsou potvrzeny předpoklady, že pevnost roste a tažnost klesá s nárůstem objemové měrné hmotnosti. S nárůstem objemové měrné hmotnosti klesá také prodyšnost. U ohybové tuhosti není tento vztah takto jednoznačný, protože se na hodnotách ohybové tuhosti početně podílí plošná měrná hmotnost, na které je závislá i objemová měrná hmotnost.

Na uváděná zjištění o závislosti vlastností netkaných textilií na parametrech jejich složení a způsobu výroby by mohla navázat další práce, která by sledovala například způsob rozložení pojiva u termicky pojené textilie. Další možností studia vlivu parametrů na výsledné vlastnosti netkané textilie by mohlo být rozšíření stávajících tří textilií o další, které by měly jiný poměr základních a pojivých vláken.

Seznam použité literatury

- [1] *Definice netkaných textilií ISO a CEN* [online]. EDANA [cit. 2023-04-12].
Dostupné z: <https://www.edana.org/nw-related-industry/what-are-nonwovens>
- [2] JIRSÁK, Oldřich a Klára KALINOVÁ. 2003. *Netkané textilie* [online]. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 129 s. [cit. 2023-04-12]. Dostupné z: <https://nanoed.tul.cz/mod/resource/view.php?id=547&forceview=1>
- [3] Produkce vybraných průmyslových výrobků. *Netkané textilie a výrobky z nich (kromě oděvů)* [online]. Veřejná databáze. Český statistický úřad, 2022. [cit. 2023-04-12]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/documents/10180/142756970/1501402105b.pdf/b3d7f75f-b8e5-41b1-8af5-bf7c71a2f85d?version=1.1>
- [4] International Fiber Journal|INDA Media [online]. [cit. 2023-04-12]. Dostupné z: <https://fiberjournal.com/a-view-of-the-north-american-nonwovens-market-and-material-consumption/>
- [5] MILITKÝ, Jiří. *Textilní vlákna: klasická a speciální*. [2. vydání]. V Liberci: Technická univerzita, 2012. ISBN 978-80-7372-844-1.
- [6] *Příručka textilního odborníka. Část 2*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1981.
- [7] Netkané textilie v každodenním životě [online]. EDANA [cit. 2023-04-12].
Dostupné z: <https://www-edana-org.translate.goog/nw-related-industry/nonwovens-in-daily-life?xtrsl=en&xtrtl=cs&xtrhl=cs&xtrpto=sc>
- [8] DOSTALOVÁ, Mírka a Mária KŘIVÁNKOVÁ. *Základy textilní a oděvní výroby* [online]. Vyd. 3., upravené. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2004. ISBN 80-7083-831-0. [cit. 2023-04-12]. Dostupné z: https://elearning.tul.cz/pluginfile.php/179583/mod_resource/content/1/skripta_2004.pdf
- [9] HLADÍK, Vladimír. *Textilní vlákna*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1970.
- [10] KEBL, František. *Technologie chemických vláken*. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1977. Řada chemické literatury.
- [11] MILITKÝ, Jiří. *Modifikovaná polyesterová vlákna*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1984.

- [12] DAS, Dipayan a Behnam POURDEYHIMI, ed. *Composite nonwoven materials: structure, properties and applications*. Amsterdam: The Textile Institute, 2014. Woodhead publishing series in textiles, number 155. ISBN 978-0-85709-770-5.
- [13] FOLTÝN, Jan. *Příruční tabulky pro chemiky – vláknaře*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1975.
- [14] *Příručka textilního odborníka. Část 1*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1981.
- [15] *Mechanická technologie výroby NT* [online]. Liberec: Technická univerzita v Liberci. Katedra netkaných textilií a nanovlákněných materiálů TUL, Fakulta textilní [cit. 2023-04-12]. Dostupné z: <https://elearning.tul.cz/course/view.php?id=8307>
- [16] JIRÁSKOVÁ, Petra. *Textilní technologie I* [online]. Liberec: Technická univerzita v Liberci [cit. 2023-04-12]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/204694152-Textilni-technologie-i-2017.html>
- [17] RUSSELL, S. J., ed. *Handbook of nonwovens*. Cambridge: Woodhead, 2007. Woodhead publishing in textiles. ISBN 978-1-85573-603-0.
- [18] KRČMA, Radko. *Netkané textilie*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1962. Řada textilní literatury.
- [19] KARTHIK, T., R. RATHINAMOORTHY a C. Prabha KARAN. *Nonwovens: process, structure, properties and applications*. New Delhi: Woodhead Publishing India Pvt, 2016. Woodhead Publishing India in textiles. ISBN 978-93-85059-12-4.
- [20] ALBRECHT, Wilhelm, FUCHS, Hilmar, KITTELMANN, Walter. *Nonwoven Fabrics*. Weinheim: Wiley-VCH, 2003. ISBN 3-527-30406-1.
- [21] KALINOVÁ, Klára. *Thermal and chemical technologies of nonwovens production* [online]. Liberec 2006: Technická univerzita v Liberci [cit. 2023-04-12]. Dostupné z: <https://slideplayer.com/slide/10161289/>
- [22] STANĚK, Jaroslav. *Nauka o textilních materiálech*. Sv. 1., Část 4. Vlastnosti délkových a plošných textilií. Liberec: Vysoká škola strojní a textilní v Liberci, 1988.
- [23] KOVAČIČ, Vladimír. *Textilní zkušebnictví*. Díl I. Liberec: Technická univerzita, 2004. ISBN 80-7083-824-8.
- [24] SODOMKA, Lubomír. *Struktura, vlastnosti, diagnostika a nové technologie oddělování, spojování a pojení textilií*. Liberec: Technická univerzita, Fakulta textilní, 2002. ISBN 80-7083-645-8.

- [25] Kratochvíl Bohumil: Základy fyziky a chemie pevných látek II. [online]. Version 1.0. Praha : VŠCHT Praha, 1990 [cit. 2023-04-12]. P. 144. Dostupné z: http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_isbn-80-7080-055-0/pages-img/obalka-1.html
- [26] MEVALD, Josef. *Pružnost a pevnost pro textilní inženýry*. 2. vyd. Liberec: Vysoká škola strojní a textilní v Liberci, 1984.
- [27] KOVAČIČ, Vladimír. *Textilní zkušebnictví*. Díl II. Liberec: Technická univerzita, 2004. ISBN 80-7083-825-6.
- [28] MILITKÝ, Jiří a Jiří VANÍČEK. *Vlastnosti vláken*. 9. přednáška [online] Liberec: Technická univerzita v Liberci. Katedra textilních materiálů TUL, Fakulta textilní. [cit. 2023-04-12]. Dostupné z: <https://elearning.tul.cz/course/view.php?id=7203>
- [29] ČSN 80 0858 *Zkoušení tuhosti a pružnosti plošných textilií*. Praha: Český normalizační institut, 1974.
- [30] ČSN EN ISO 9237 (80 0817) *Textilie – Zjišťování prodyšnosti plošných textilií*. Praha: Český normalizační institut, 1996.
- [31] NECKÁŘ, Bohuslav. *Morfologie a strukturní mechanika obecných vláknenných útvarů*. [online]. Liberec: Technická univerzita v Liberci, Textilní fakulta, 1998. ISBN 80-7083-318-1. [cit. 2023-04-12], dostupné z: <https://elearning.tul.cz/course/view.php?id=5250>
- [32] Přístroj SDL Atlas M021A Air Permeability. [online], [cit. 2023-04-12], dostupné z: <https://sdlatlas.com/products/air-perm-air-permeability-tester>
- [33] Normy EDANA. EDANA RECOMMENDED TEST METHODS NONWOVENS. Brusel 1990. Dostupné v Laboratoři Katedry netkaných textilií a nanovláknenných materiálů Fakulty textilní Technické univerzity v Liberci.
- [34] ASSOCIATION OF THE NONWOVEN FABRICS INDUSTRY a EUROPEAN DISPOSABLES AND NONWOVENS ASSOCIATION. Harmonized test methods nonwovens and related industries 2012. Association of the Nonwoven Fabrics Industry, 2015. [online], [cit. 2023-04-12], dostupné z: <https://dspace.tul.cz/handle/15240/9100>
- [35] VESELÁ, Daniela. Experimentální metoda pro hledání souvislostí mezi prodyšností a strukturální změnou textilie. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2016. Autoreferát disertační práce. Technická univerzita v Liberci. Školitel Zdeněk Kůs. [online], [cit. 2023-04-12], dostupné z: <https://www.ft.tul.cz/document/1320>

Seznam tabulek

Tab. 1: Základní vlastnosti PET vláken	23
Tab. 2: Teploty tání a skelného přechodu pro běžná termoplastická vlákna	34
Tab. 3: Vláknenný materiál	46
Tab. 4: Použité technologie výroby	47
Tab. 5: Hodnoty plošné měrné hmotnosti	52
Tab. 6: Hodnoty tloušťky.....	53
Tab. 7: Hodnoty objemové měrné hmotnosti	55
Tab. 8: Hodnoty maximální síly v přetrhu ve směru CD	58
Tab. 9: Hodnoty maximální síly v přetrhu ve směru MD	59
Tab. 10: Hodnoty relativní maximální síly v přetrhu ve směru CD	61
Tab. 11: Hodnoty relativní maximální síly v přetrhu ve směru MD	62
Tab. 12: Hodnoty maximálního prodloužení ve směru CD.....	64
Tab. 13: Hodnoty maximálního prodloužení ve směru MD.....	65
Tab. 14: Hodnoty deformační práce ve směru CD	66
Tab. 15: Hodnoty deformační práce ve směru MD	67
Tab. 16: Hodnoty ohybové tuhosti ve směru CD	70
Tab. 17: Hodnoty ohybové tuhosti ve směru MD	71
Tab. 18: Hodnoty prodyšnosti	75

Seznam obrázků

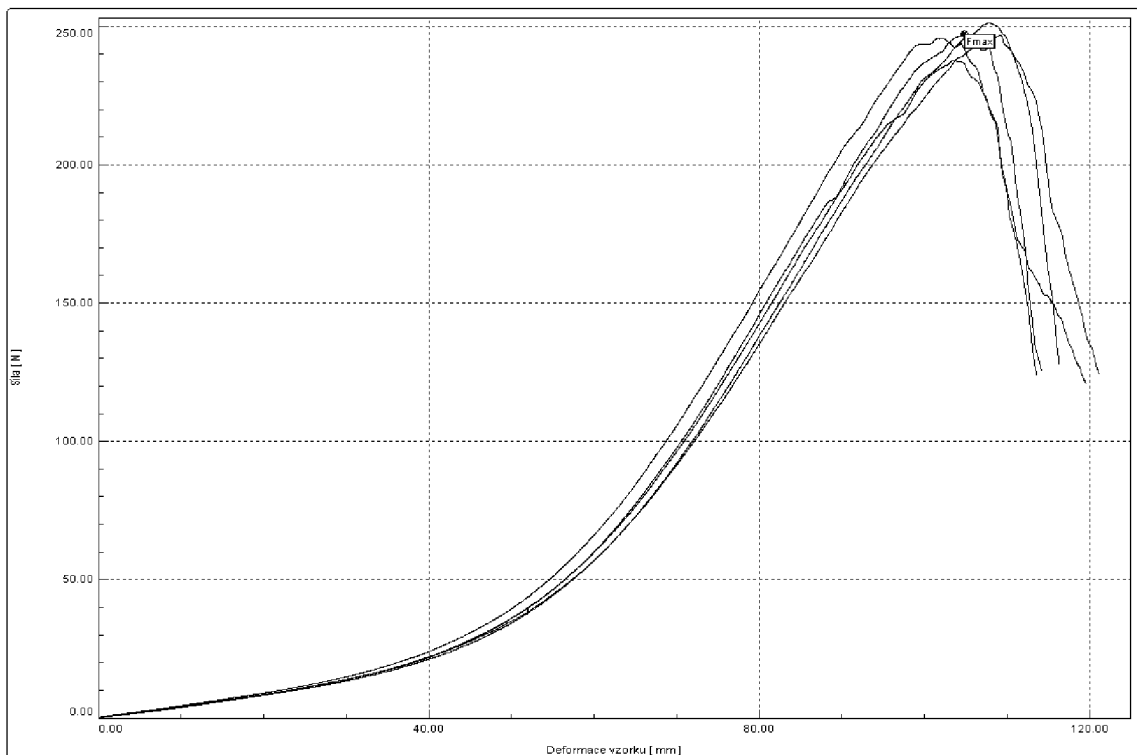
Obr. 1: Vývoj produkce netkaných textilií v ČR v období 1993–2020	15
Obr. 2: Zastoupení základních typů vláken ve výrobě NT v roce 2021 v Severní Americe.....	17
Obr. 3: Schéma průřezu hlavních typů bikomponentních vláken	21
Obr. 4: Podíl syntetických vláken používaných ve výrobě NT v roce 2021 v Severní Americe.....	21
Obr. 5: Mykací uzel válcového stroje.....	25
Obr. 6: Různé způsoby výroby vláknenné pavučiny mykáním	26
Obr. 7: Schématické znázornění příčného kladení pavučiny.....	27
Obr. 8: Vertikální příčný kladeč pavučiny.....	27
Obr. 9: Horizontální příčný kladeč pavučiny	27
Obr. 10: Schematické znázornění úhlu křížení pavučiny	28
Obr. 11: Schéma vpichovacího stroje	29
Obr. 12: Proces vpichování	30
Obr. 13: Závislost pevnosti a tloušťky vpichovaných textilií na intenzitě vpichování ..	31
Obr. 14: Popis plstící jehly	32
Obr. 15: Strukturální jehly	32
Obr. 16: Příklad značení jehly s redukováným stvolem	32
Obr. 17: Typické tvary pojících míst tepelně spojených NT	35
Obr. 18: Horkovzdušná komora s horizontálním síťovým pásem	37
Obr. 19: Teplovzdušné pojení s perforovaným bubnem.....	37
Obr. 20: Deformační křivka, závislost mezi napětím a deformací pevné látky.....	41
Obr. 21: Tahová křivka plošné textilie	42
Obr. 22: Pracovní křivka a deformační práce:	42
Obr. 23: Výrobní linka DILO-FT-007	47
Obr. 24: Mísící komora a dopravník vláknenných vloček k mykacímu stroji	48
Obr. 25: Mykací stroj a příčný vertikální kladeč s dopravníkem ke vpich. stroji	48
Obr. 26: Vpichovací zařízení s jednou jehelní deskou	48
Obr. 27: Teplovzdušná komora a zpevněná finální textilie pro třetí řadu vzorků	49
Obr. 28: Graf závislosti plošné měrné hmotnosti na hustotě vpichování	52
Obr. 29: Graf závislosti tloušťky na hustotě vpichování	54
Obr. 30: Graf závislosti objemové měrné hmotnosti na hustotě vpichování.....	55
Obr. 31: Přístroj LabTest 2.050	57
Obr. 32: Tahová křivka textilie PES_Vp, 200 v _p /cm ² , směr CD	57
Obr. 33: Graf závislosti maximální síly v přetrhu ve směru CD	58

Obr. 34: Graf závislosti maximální síly v přetrhu ve směru MD	59
Obr. 35: Průměrné tahové křivky ve směru CD pro $150 \nu_p/\text{cm}^2$	60
Obr. 36: Graf závislosti relativní maximální síly v přetrhu ve směru CD	62
Obr. 37: Graf závislosti relativní maximální síly v přetrhu ve směru MD	63
Obr. 38: Graf závislosti prodloužení ve směru CD	65
Obr. 39: Graf závislosti prodloužení ve směru MD	66
Obr. 40: Graf závislosti deformační práce ve směru CD	67
Obr. 41: Graf závislosti deformační práce ve směru MD	68
Obr. 42: Schéma přístroje pro měření ohybové délky	69
Obr. 43: Graf závislosti ohybové tuhosti ve směru CD	71
Obr. 44: Graf závislosti ohybové tuhosti ve směru MD	72
Obr. 45: Přístroj SDL Atlas M021A	74
Obr. 46: Graf závislosti prodyšnosti na hustotě vpichování	75

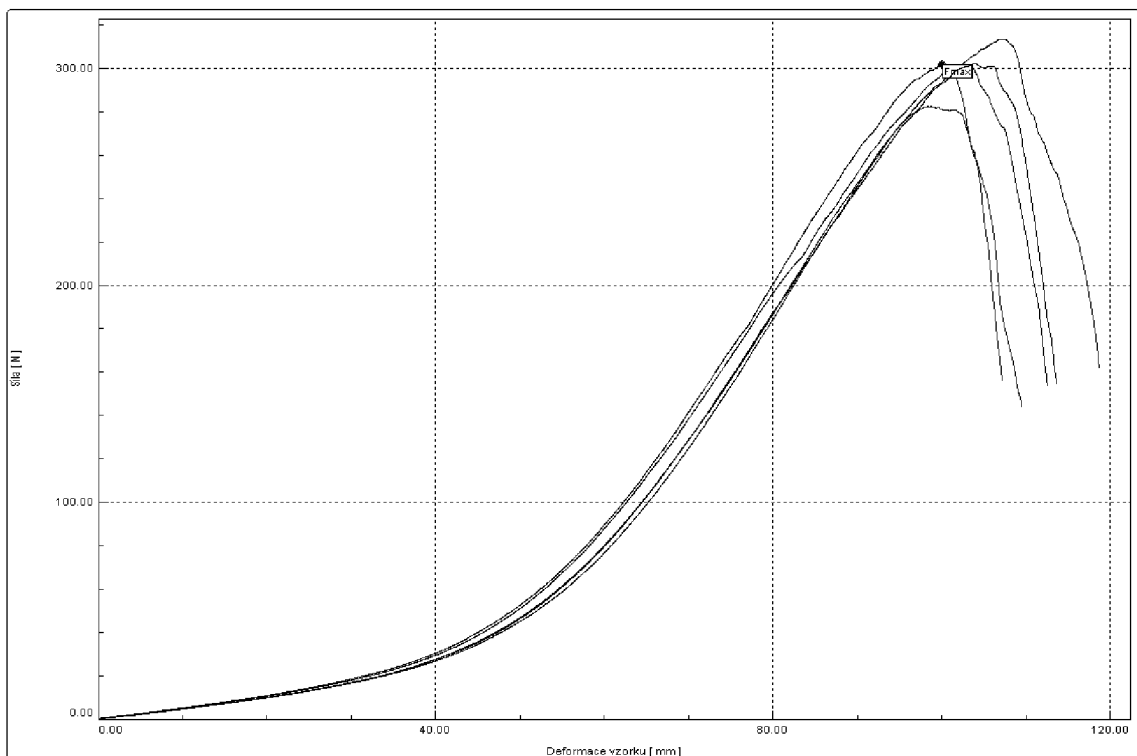
Seznam příloh

Příloha 1 Tahové křivky textilie PES_Vp	86
Příloha 2 Tahové křivky textilie PES+bico_Vp	92
Příloha 3 Tahové křivky textilie PES+bico_Vp+Te	98

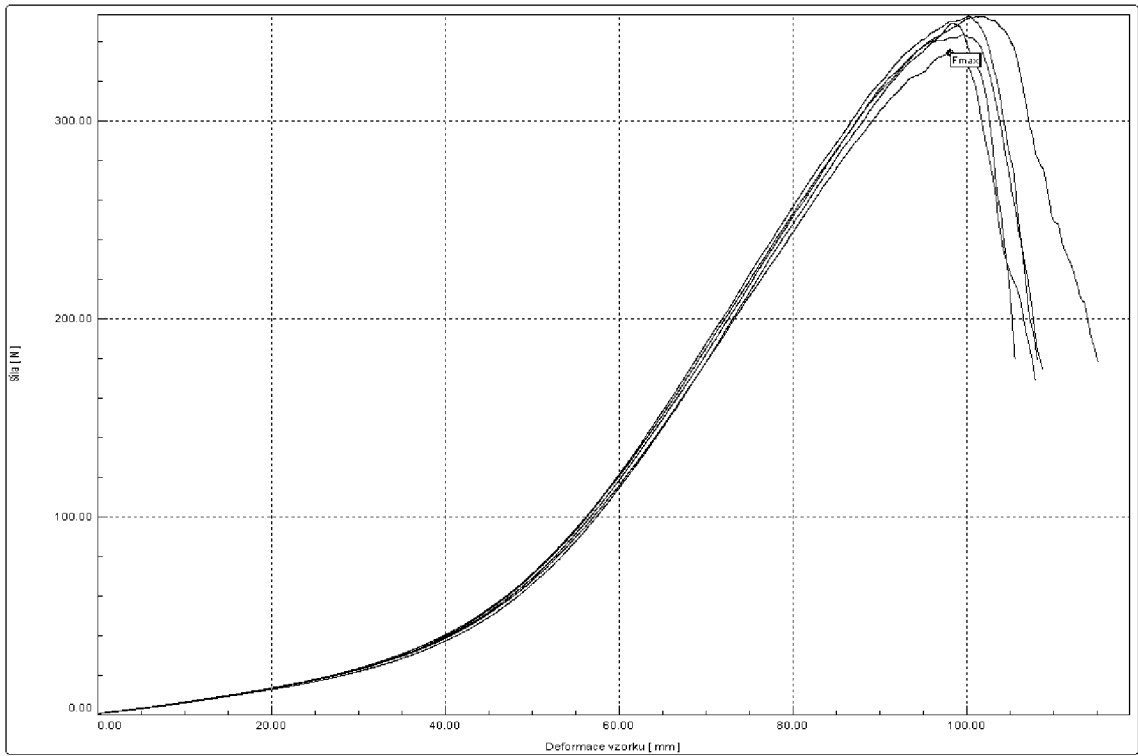
Tahové křivky textilie PES_Vp



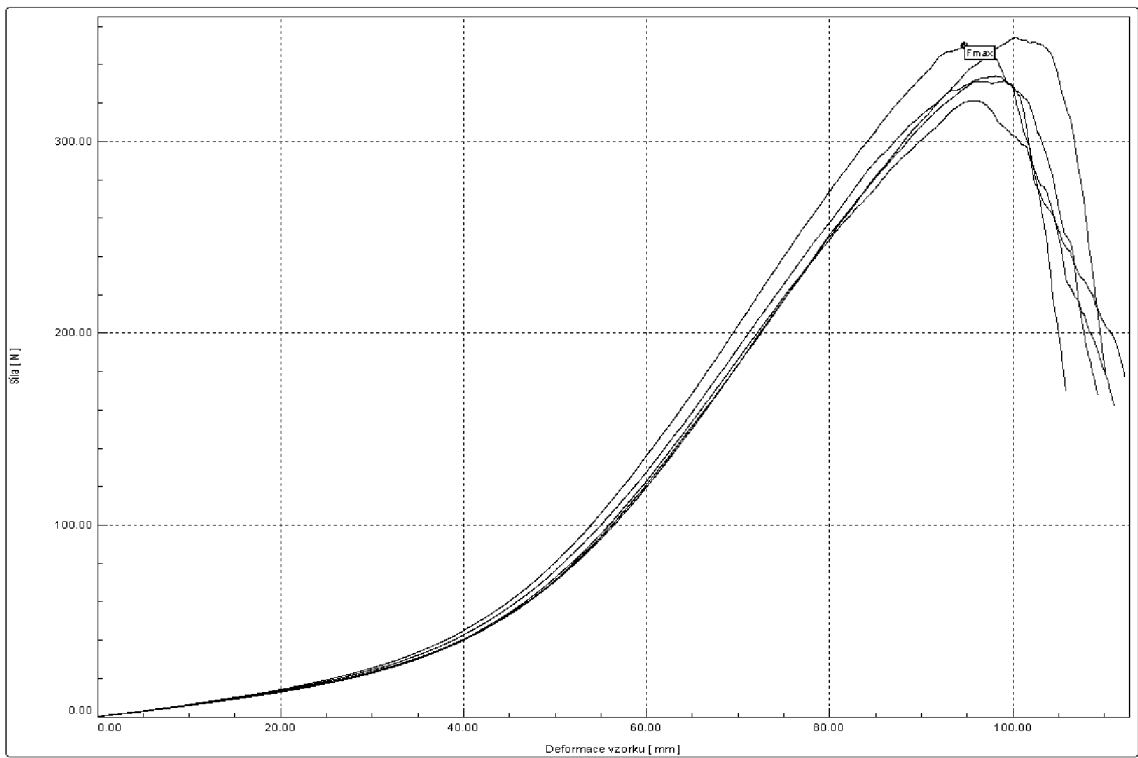
Textilie PES_Vp, směr CD, 100 vpichů/cm².



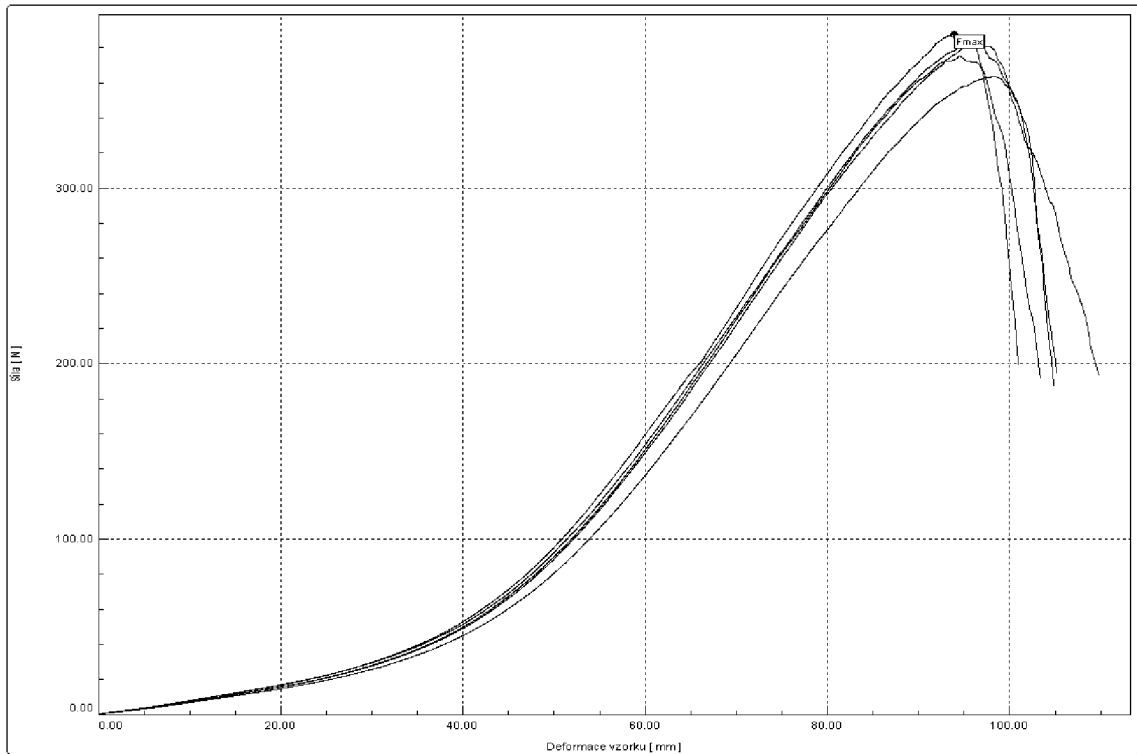
Textilie PES_Vp, směr CD, 150 vpichů/cm².



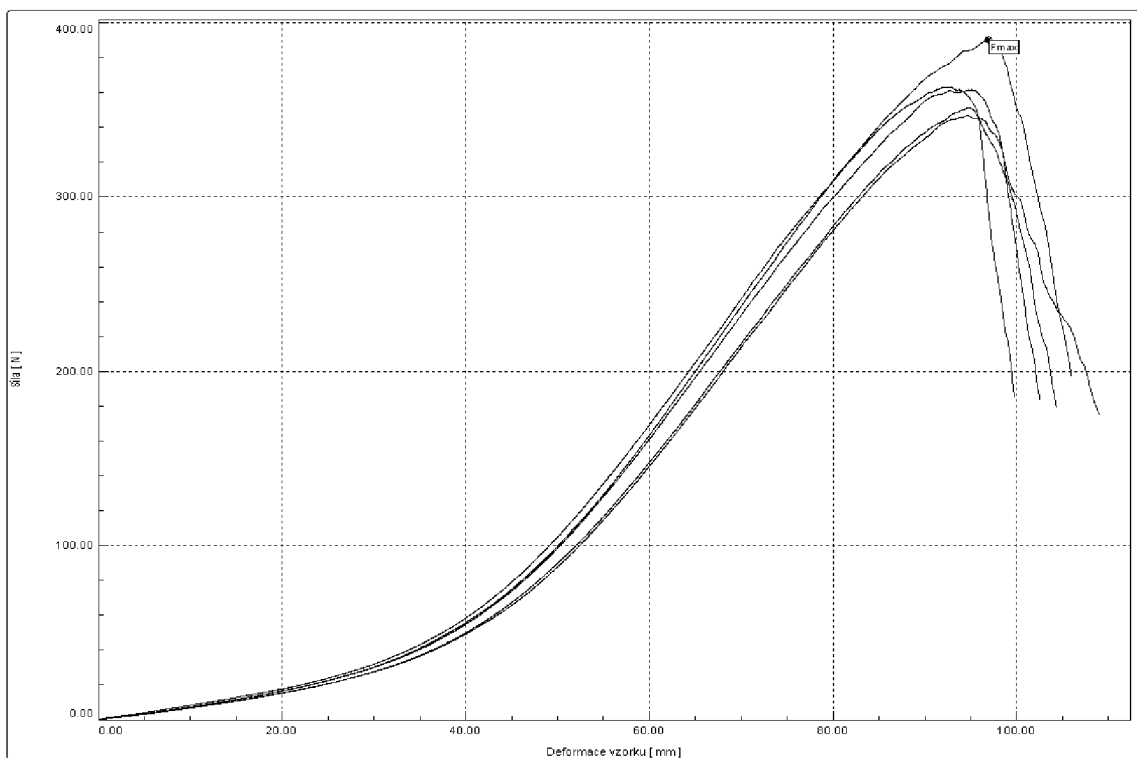
Textilie PES_Vp, směř CD, 200 vpichů/cm².



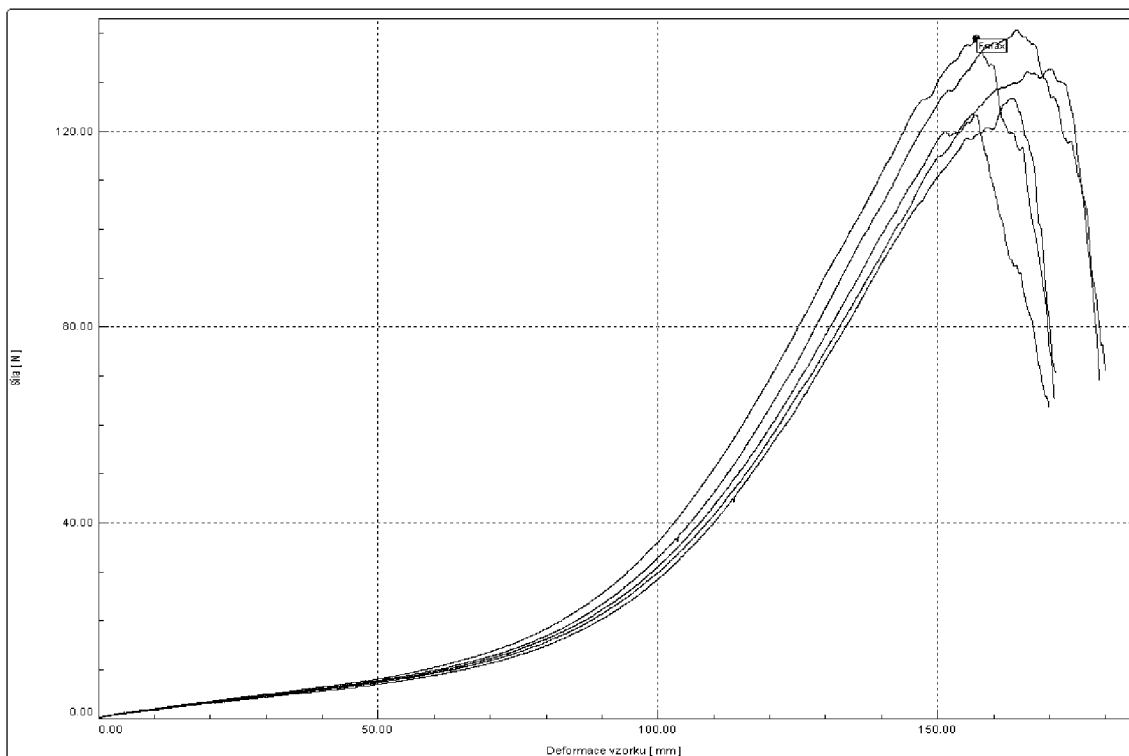
Textilie PES_Vp, směř CD, 250 vpichů/cm².



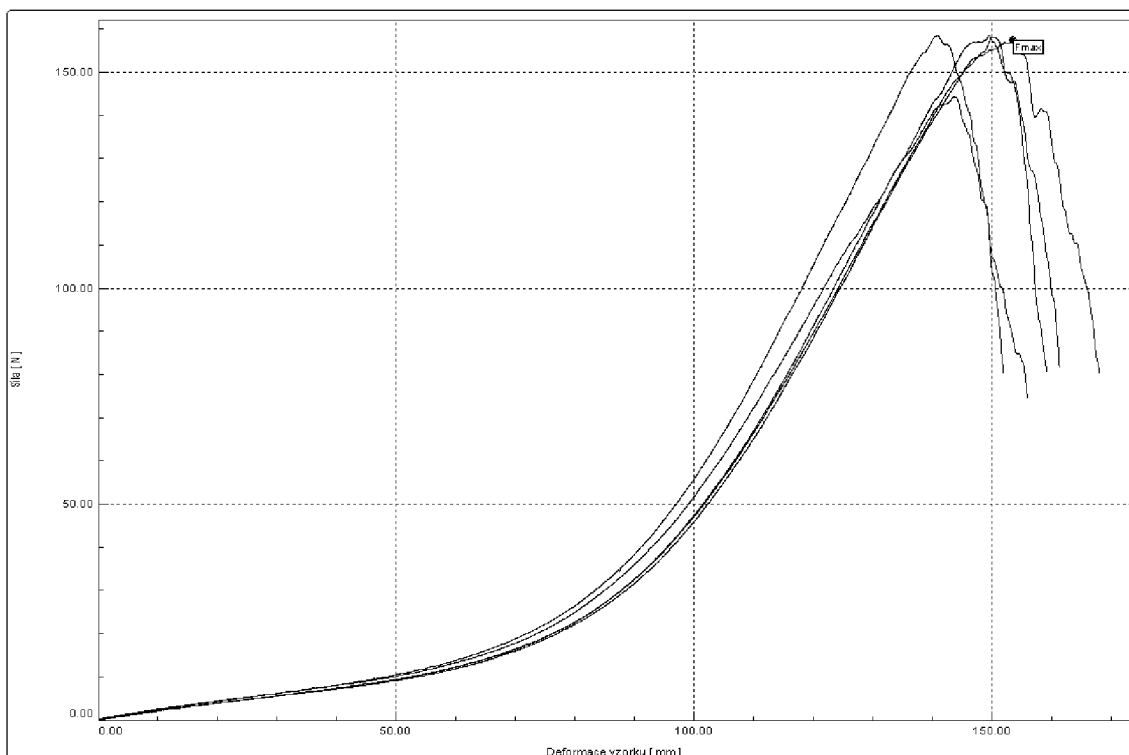
Textilie PES_Vp, směr CD, 300 vpichů/cm².



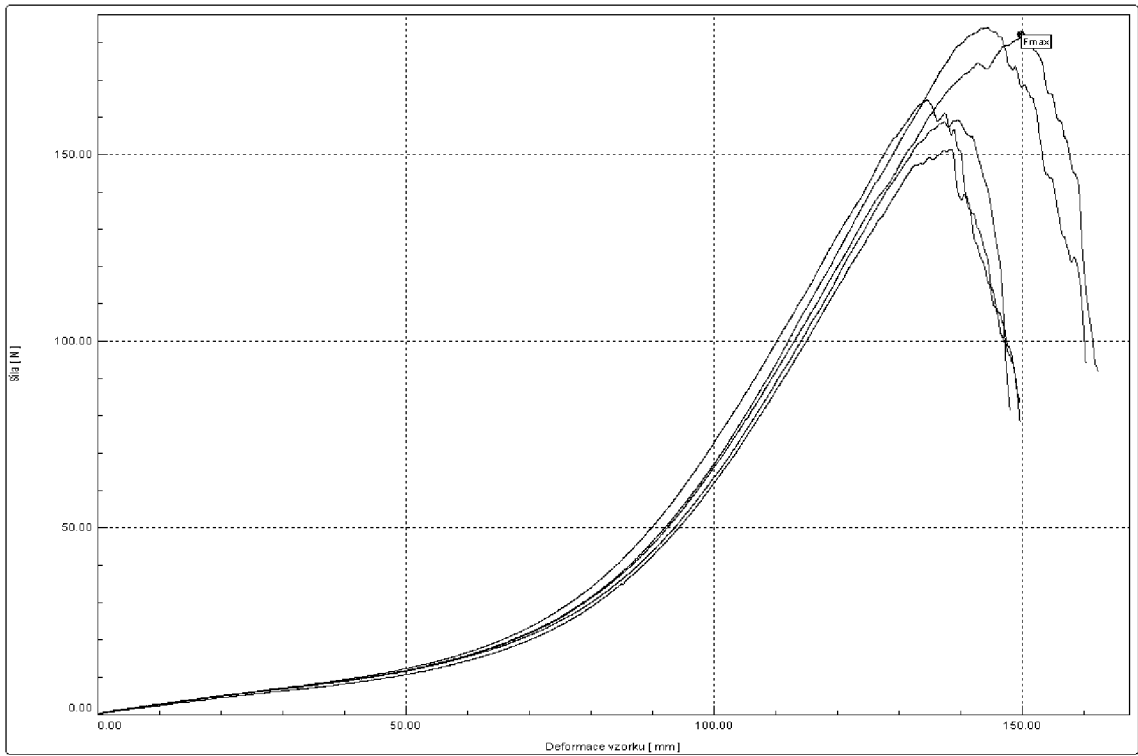
Textilie PES_Vp, směr CD, 350 vpichů/cm².



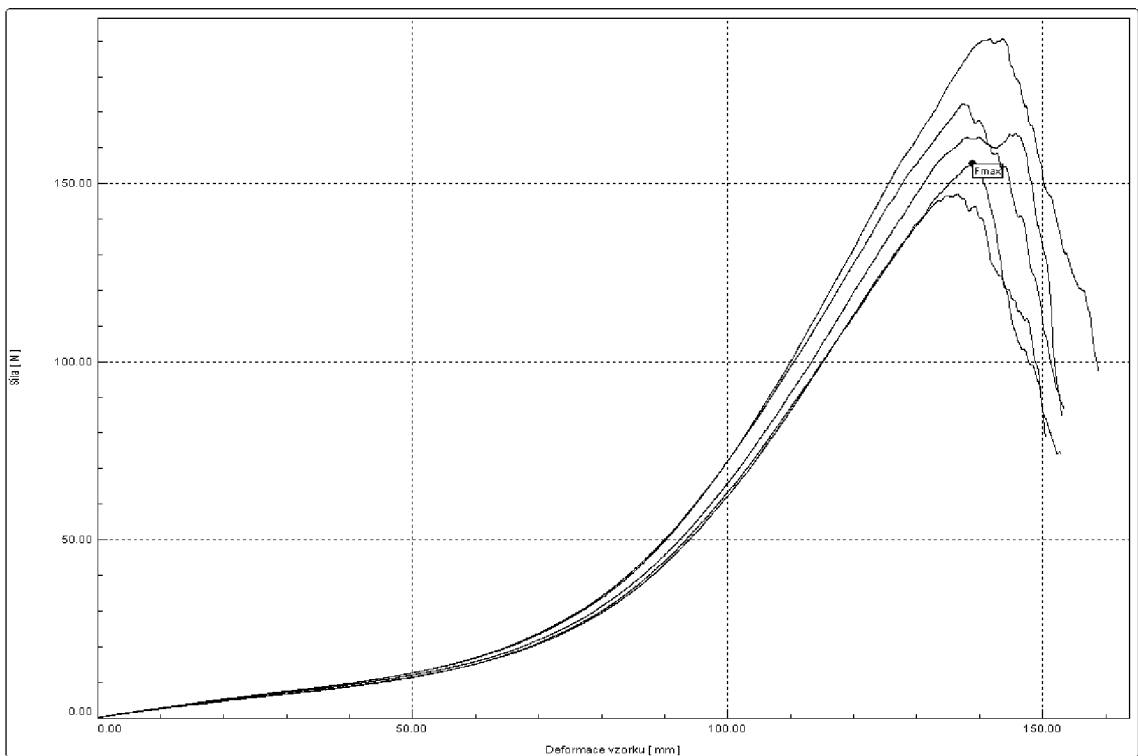
Textilie PES_Vp, směr MD, 100 vpichů/cm².



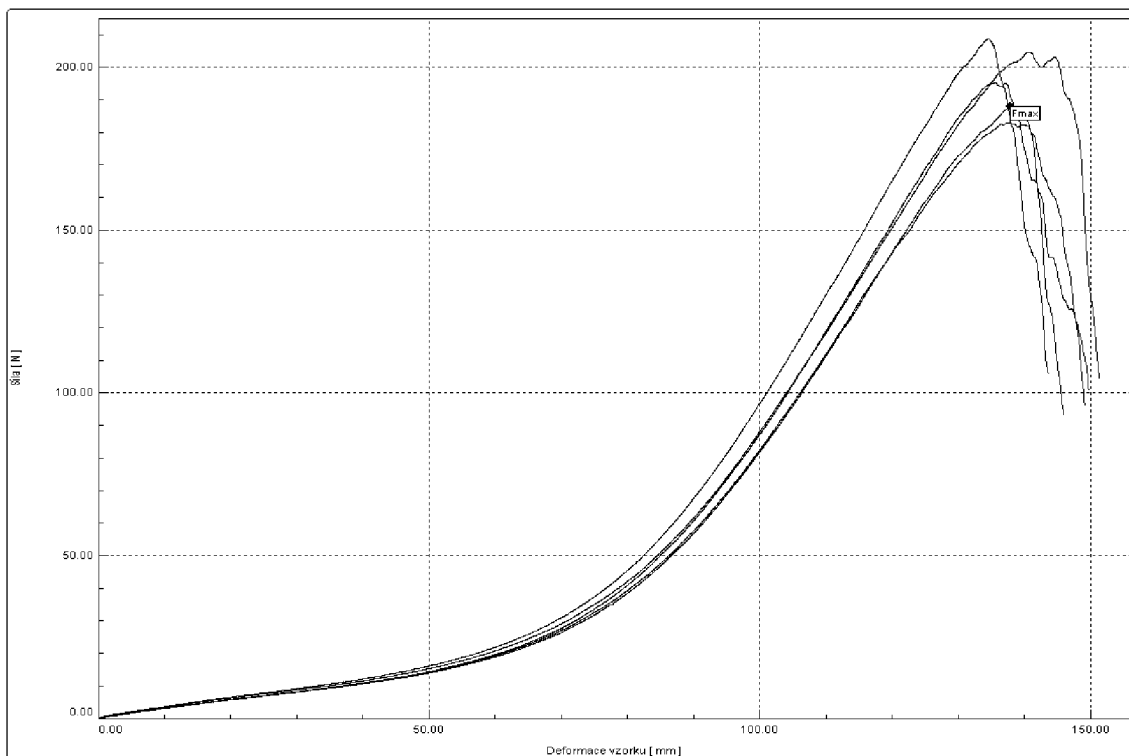
Textilie PES_Vp, směr MD, 150 vpichů/cm².



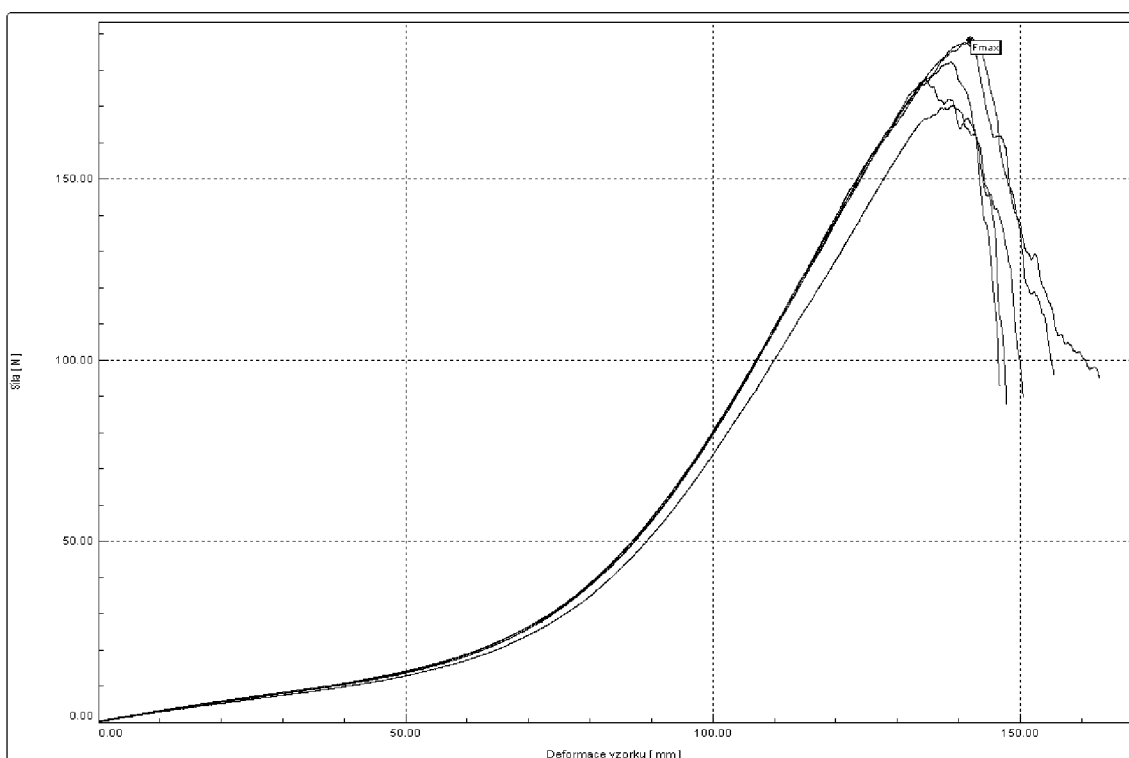
Textilie PES_Vp, směr MD, 200 vpichů/cm².



Textilie PES_Vp, směr MD, 250 vpichů/cm².

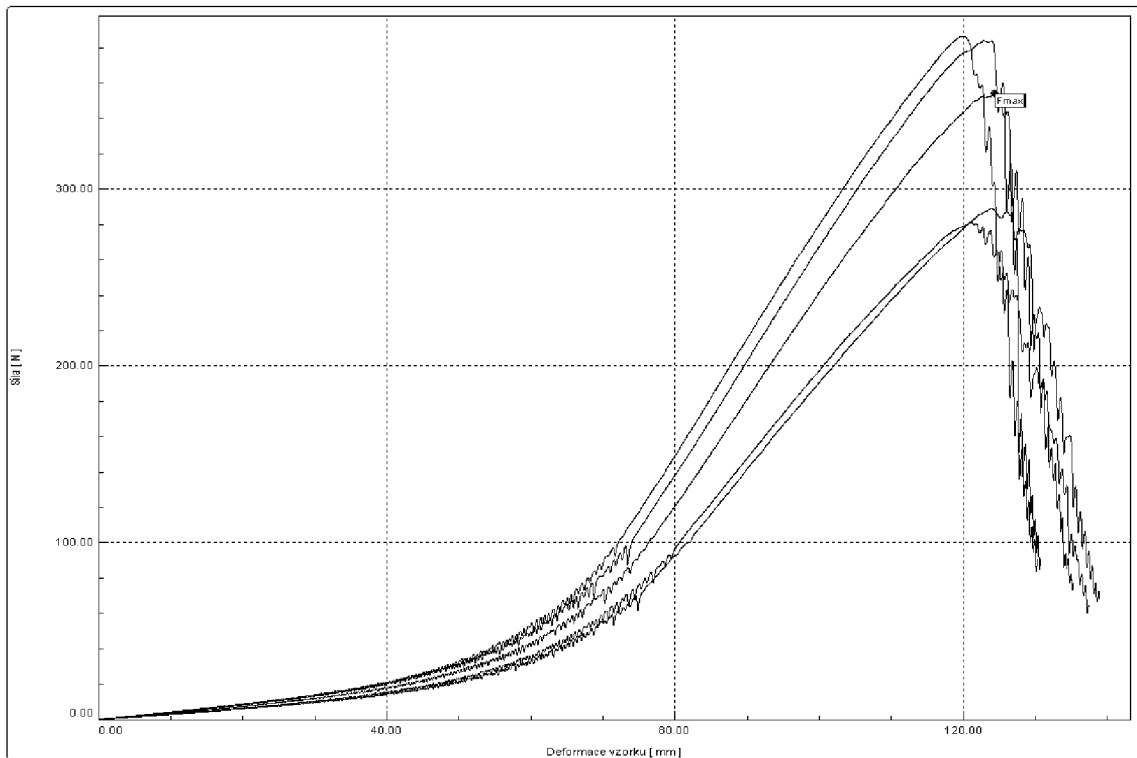


Textilie PES_Vp, směr MD, 300 vpichů/cm².

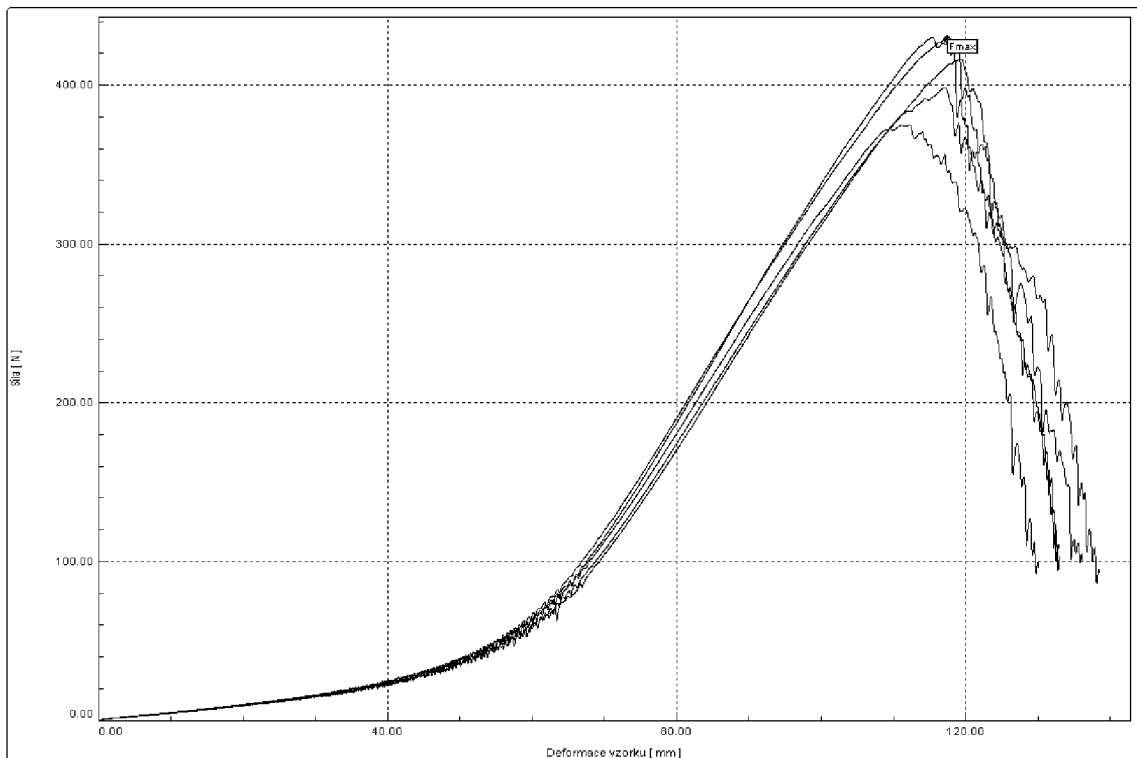


Textilie PES_Vp, směr MD, 350 vpichů/cm².

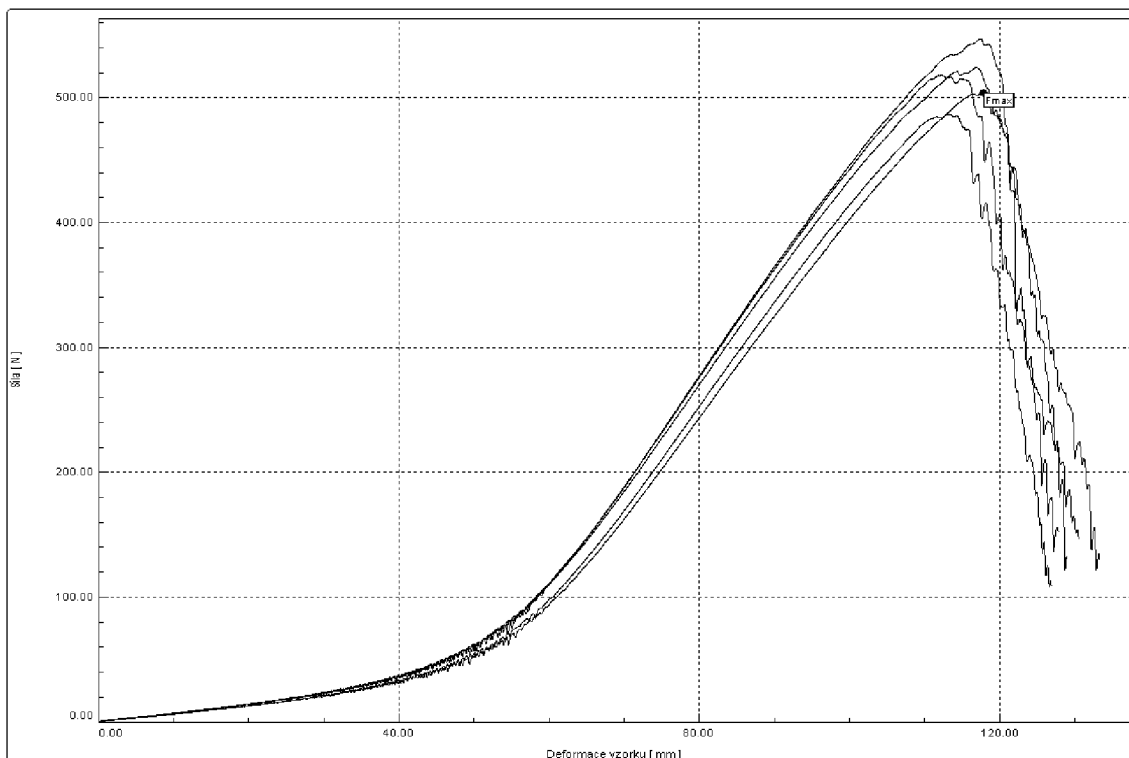
Tahové křivky textilie PES+bico_Vp



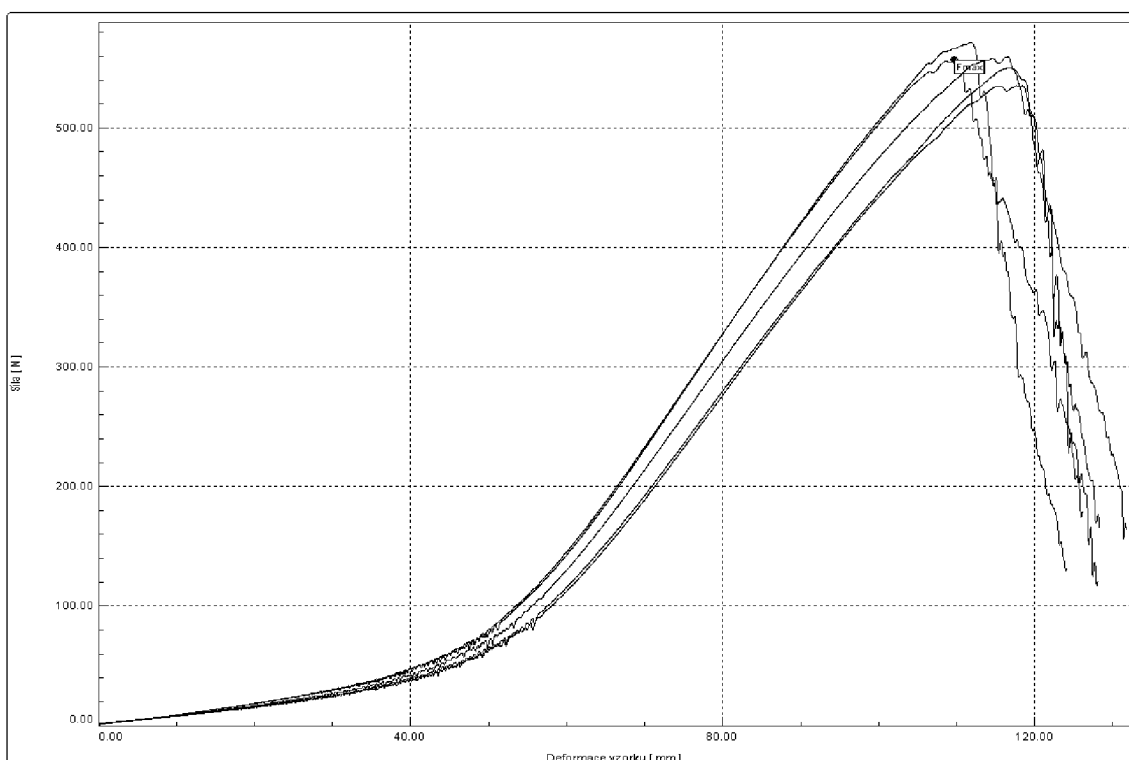
Textilie PES+bico_Vp, směr CD, 100 vpichů/cm².



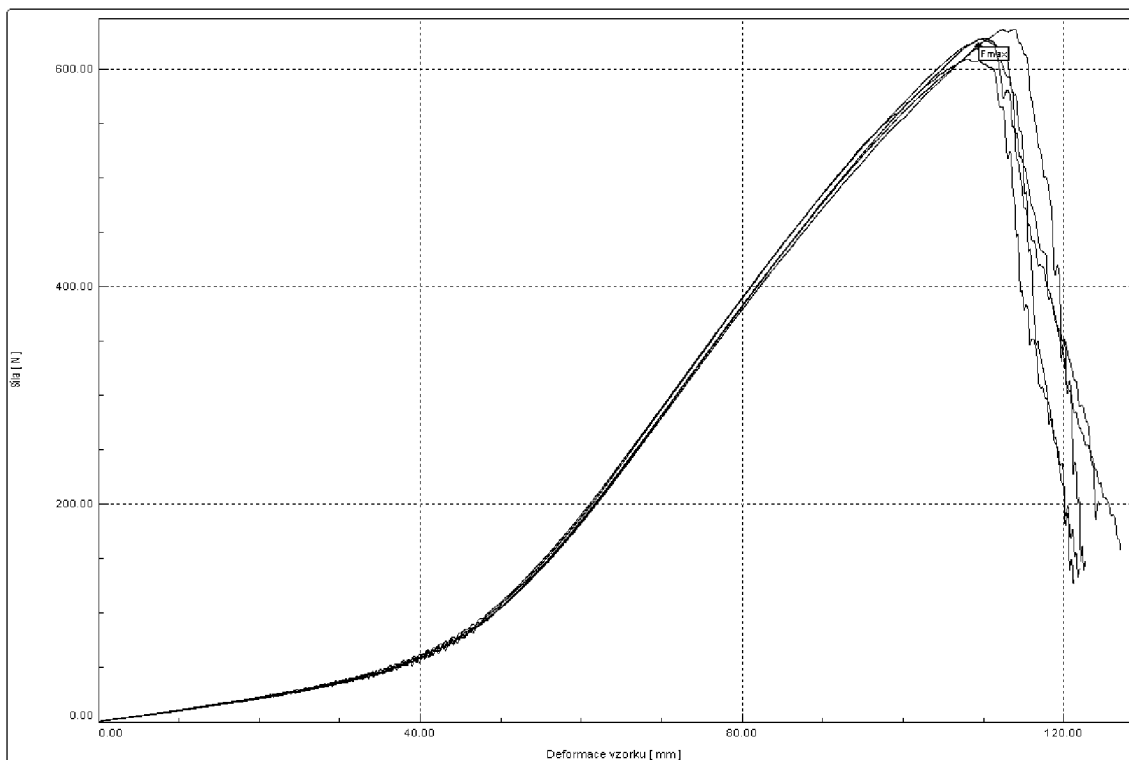
Textilie PES+bico_Vp, směr CD, 150 vpichů/cm².



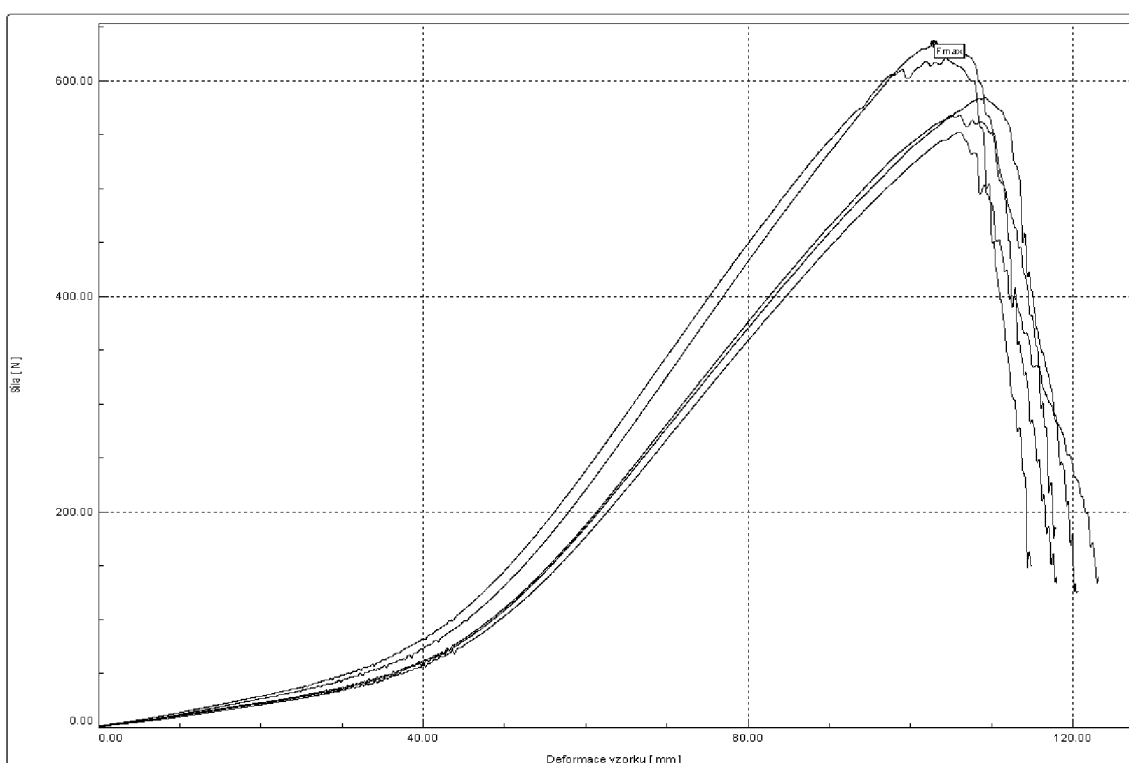
Textilie PES+bico_Vp, směr CD, 200 vpichů/cm².



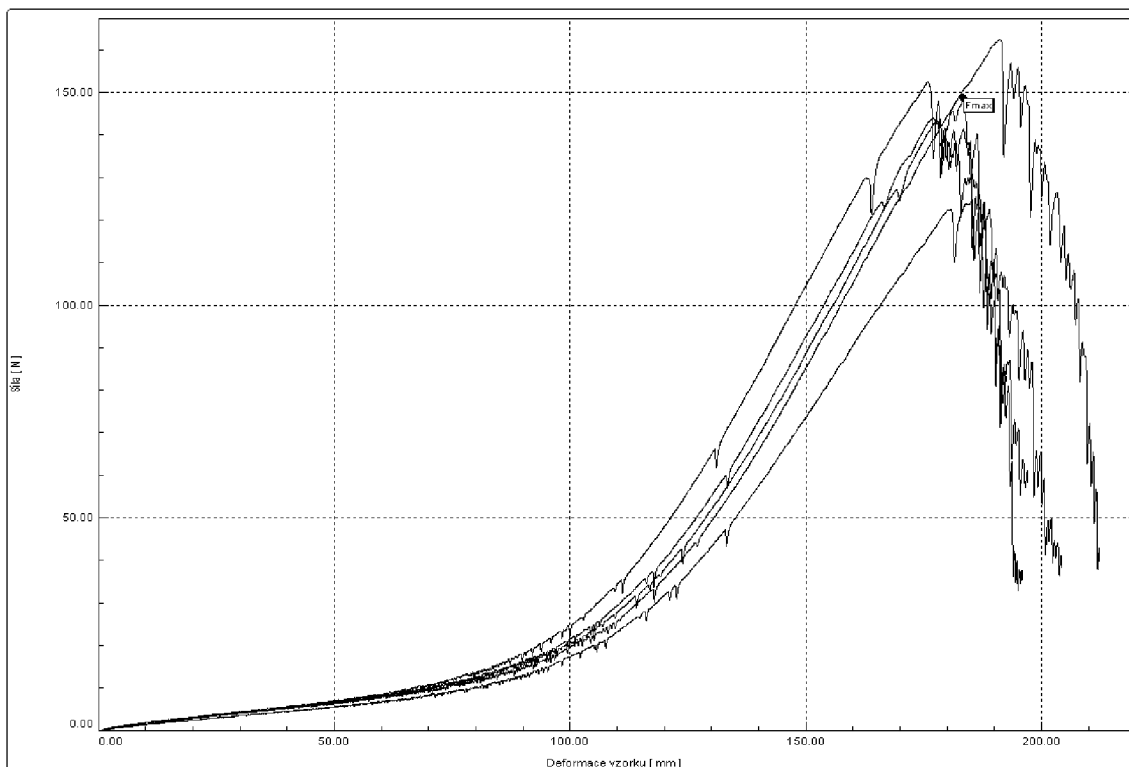
Textilie PES+bico_Vp, směr CD, 250 vpichů/cm².



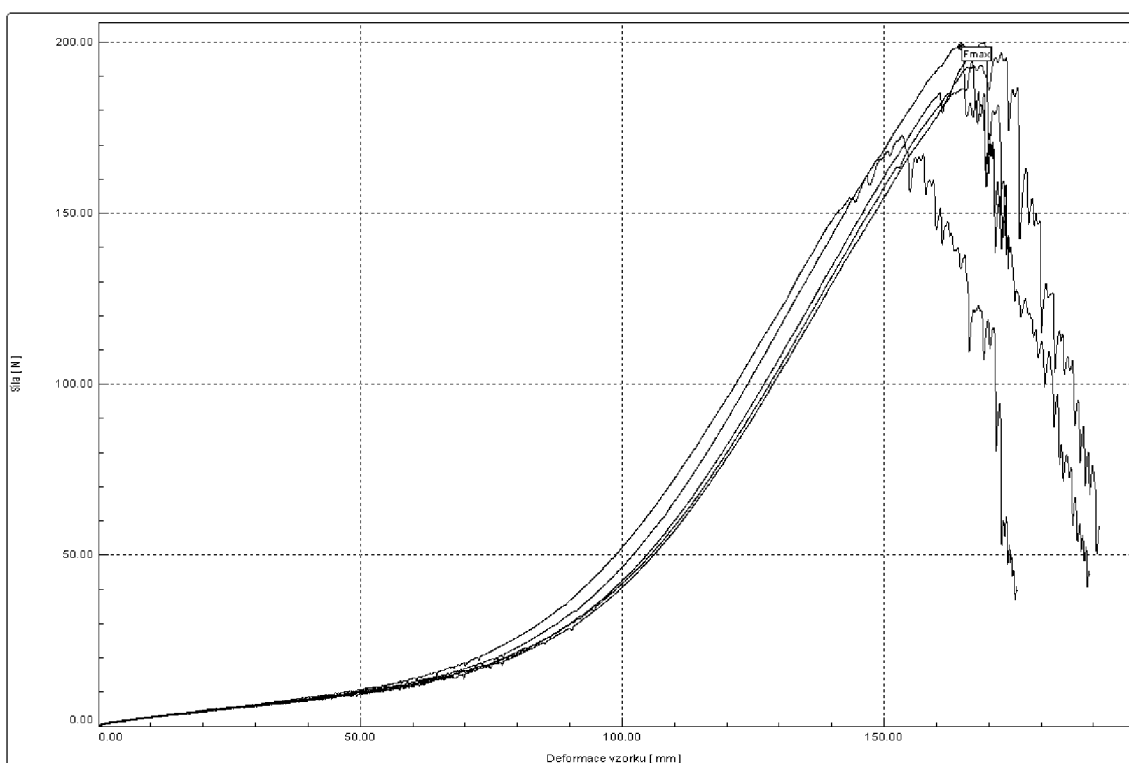
Textilie PES+bico_Vp, směr CD, 300 vpichů/cm².



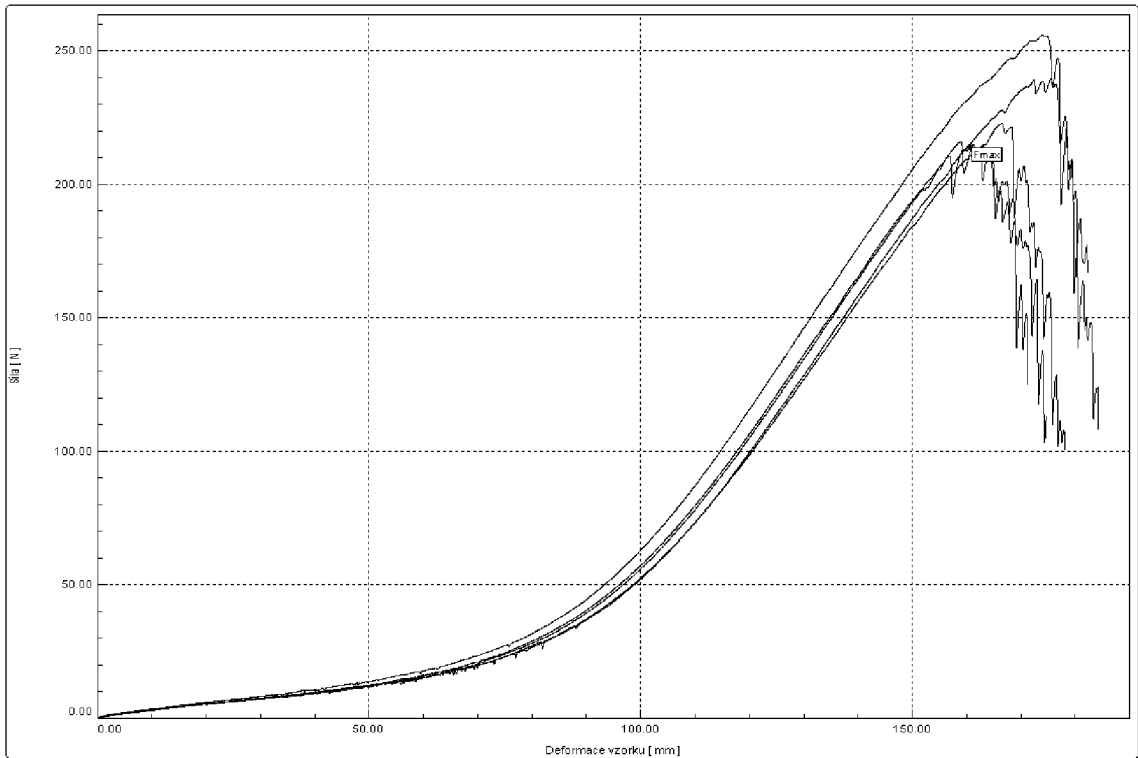
Textilie PES+bico_Vp, směr CD, 350 vpichů/cm².



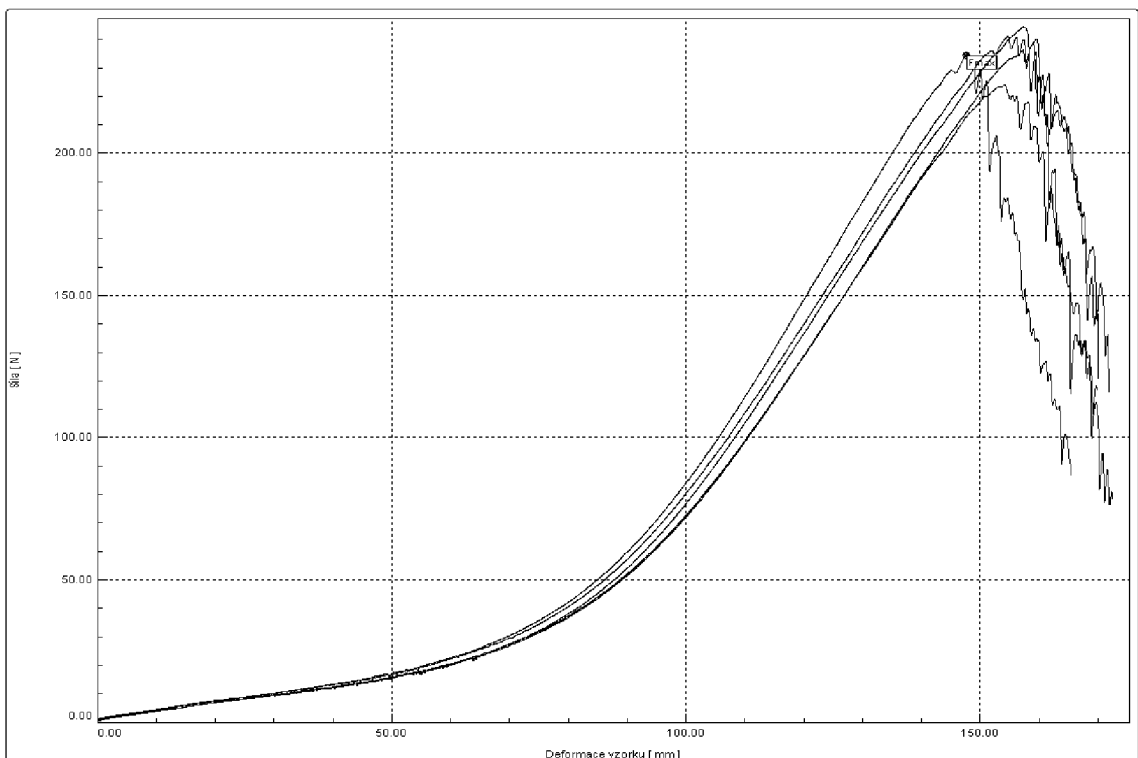
Textilie PES+bico_Vp, směr MD, 100 vpichů/cm².



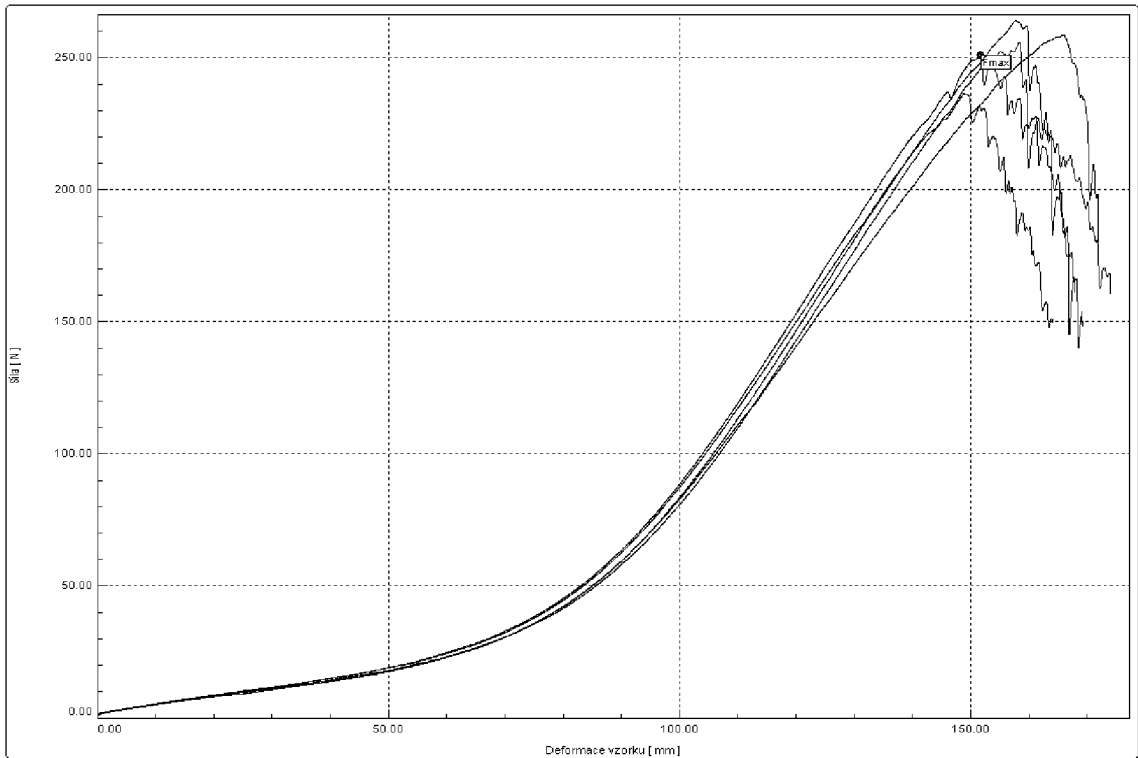
Textilie PES+bico_Vp, směr MD, 150 vpichů/cm².



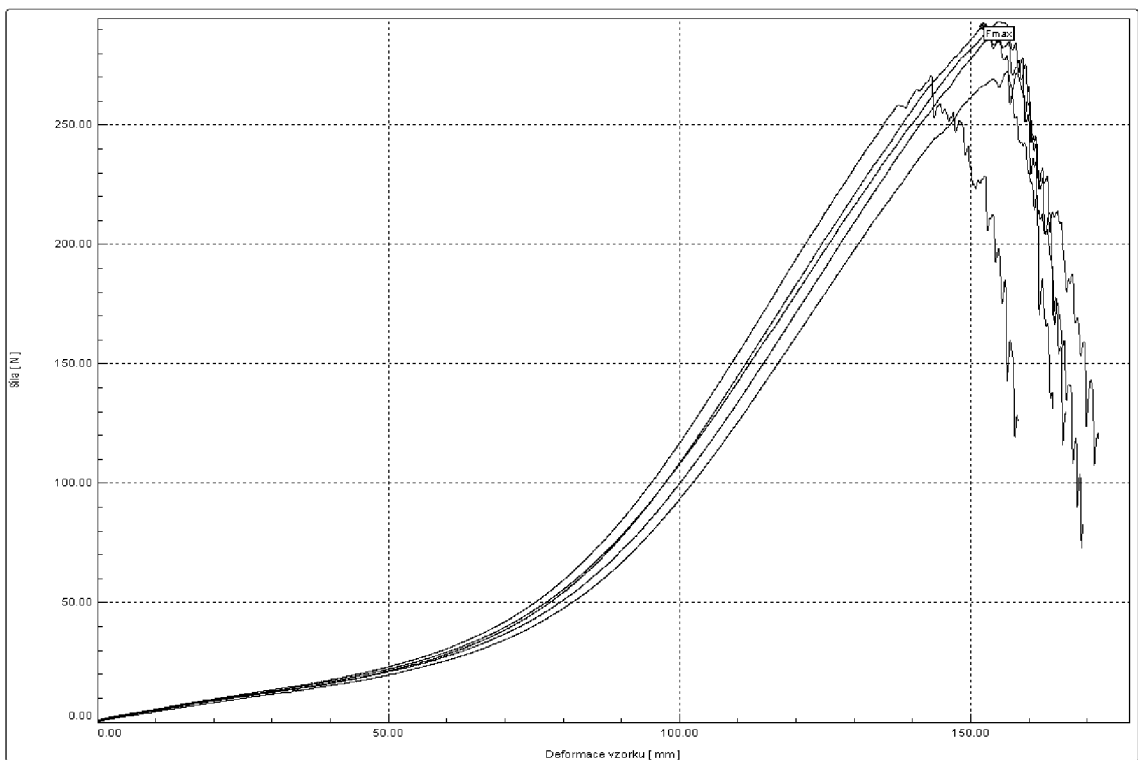
Textilie PES+bico_Vp, směr MD, 200 vpichů/cm².



Textilie PES+bico_Vp, směr MD, 250 vpichů/cm².

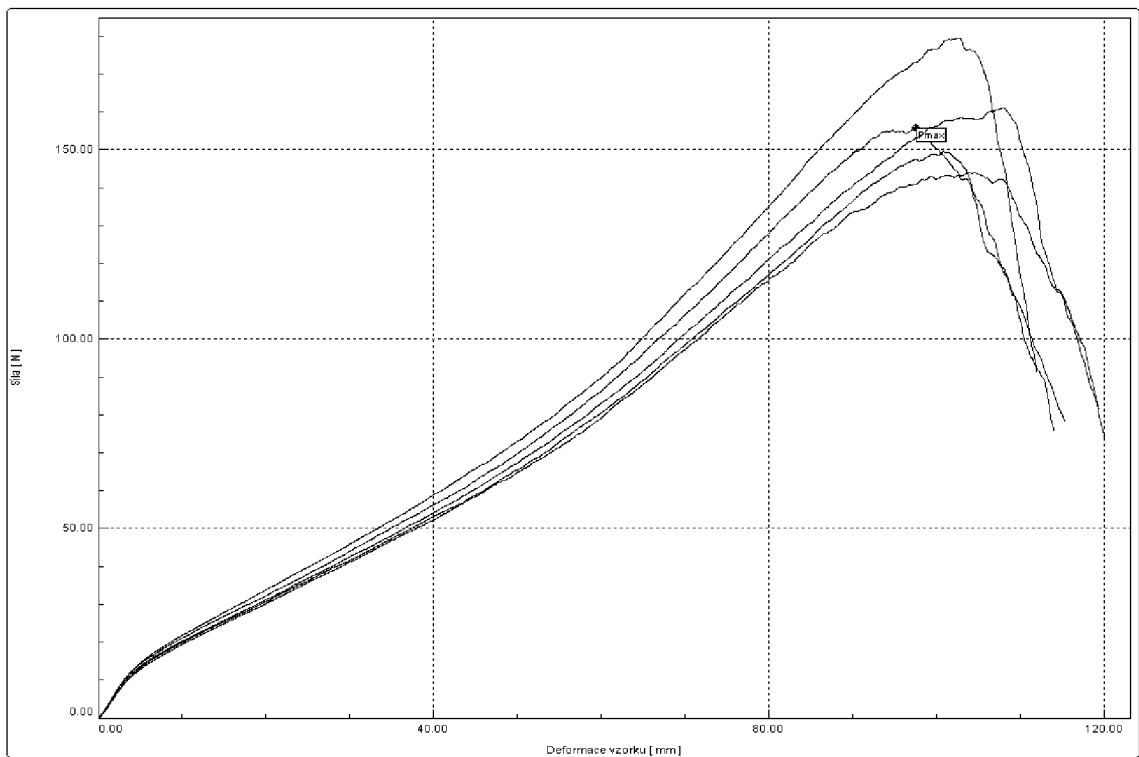


Textilie PES+bico_Vp, směr MD, 300 vpichů/cm².

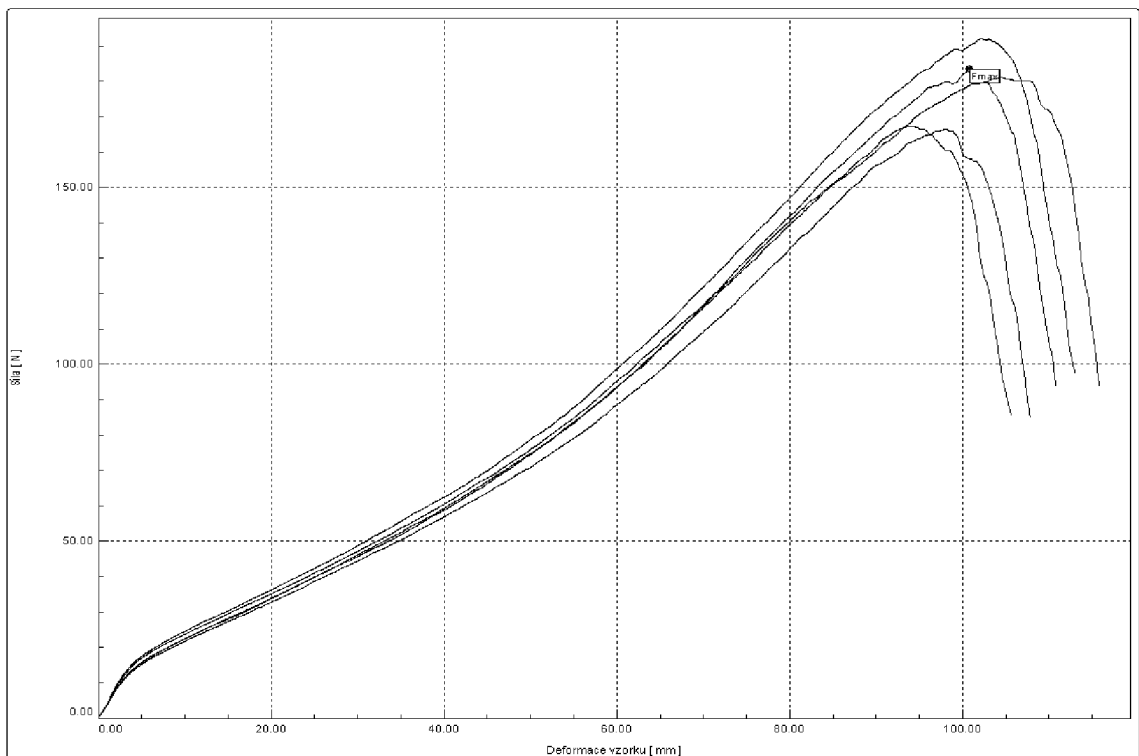


Textilie PES+bico_Vp, směr MD, 350 vpichů/cm².

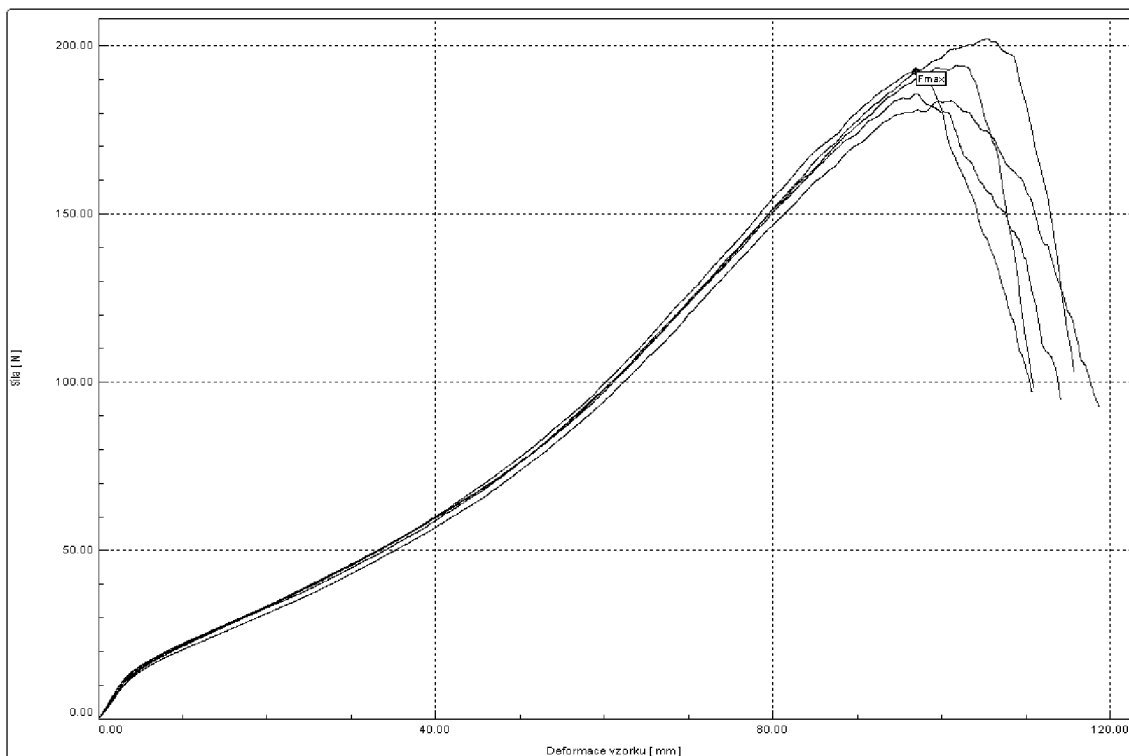
Tahové křivky textilie PES+bico_Vp+Te



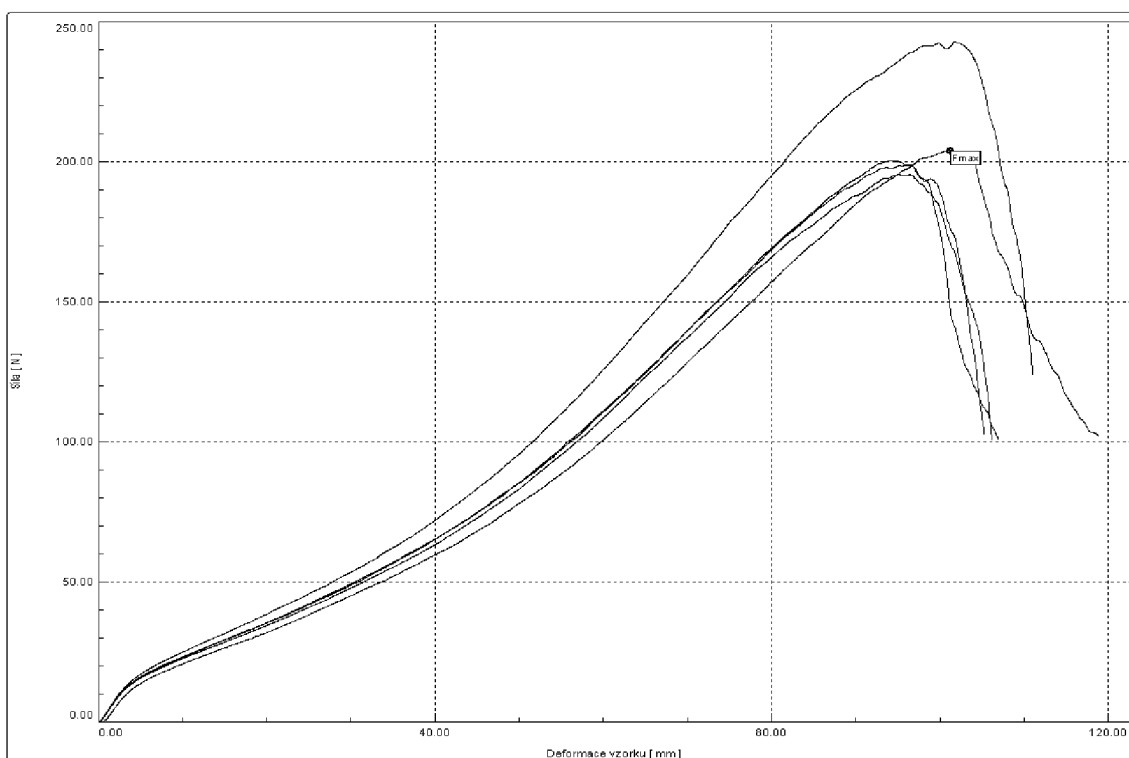
Textilie PES+bico_Vp+Te, směr CD, 100 vpichů/cm².



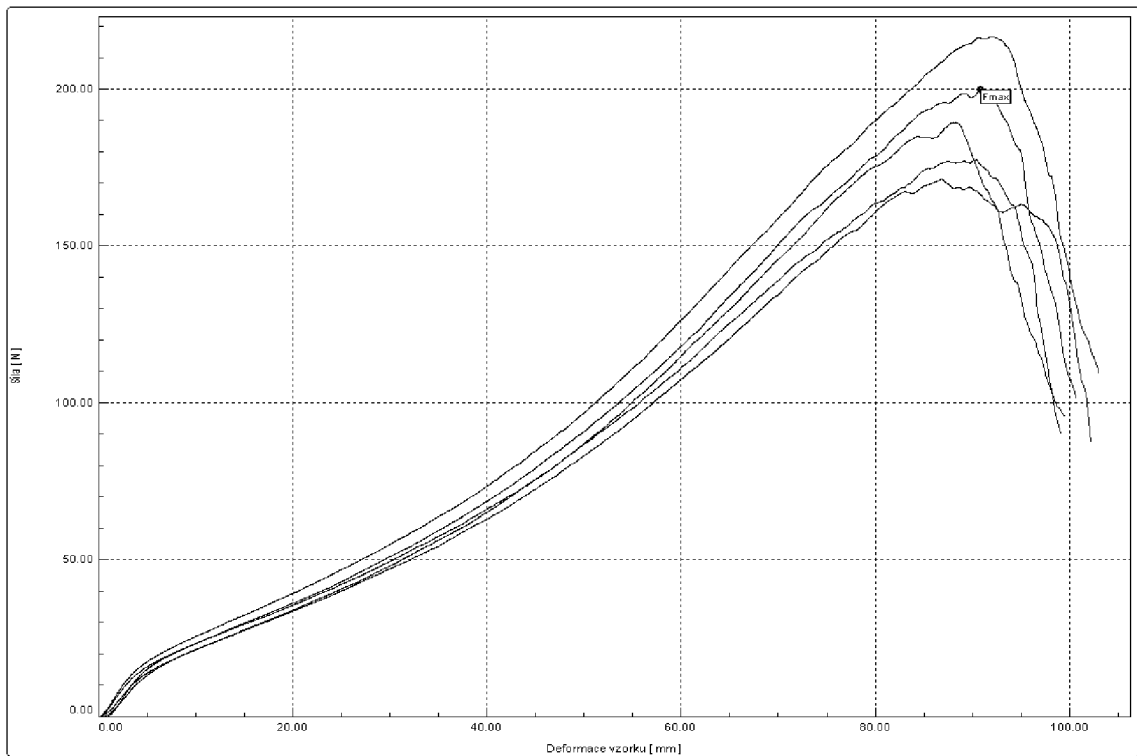
Textilie PES+bico_Vp+Te, směr CD, 150 vpichů/cm².



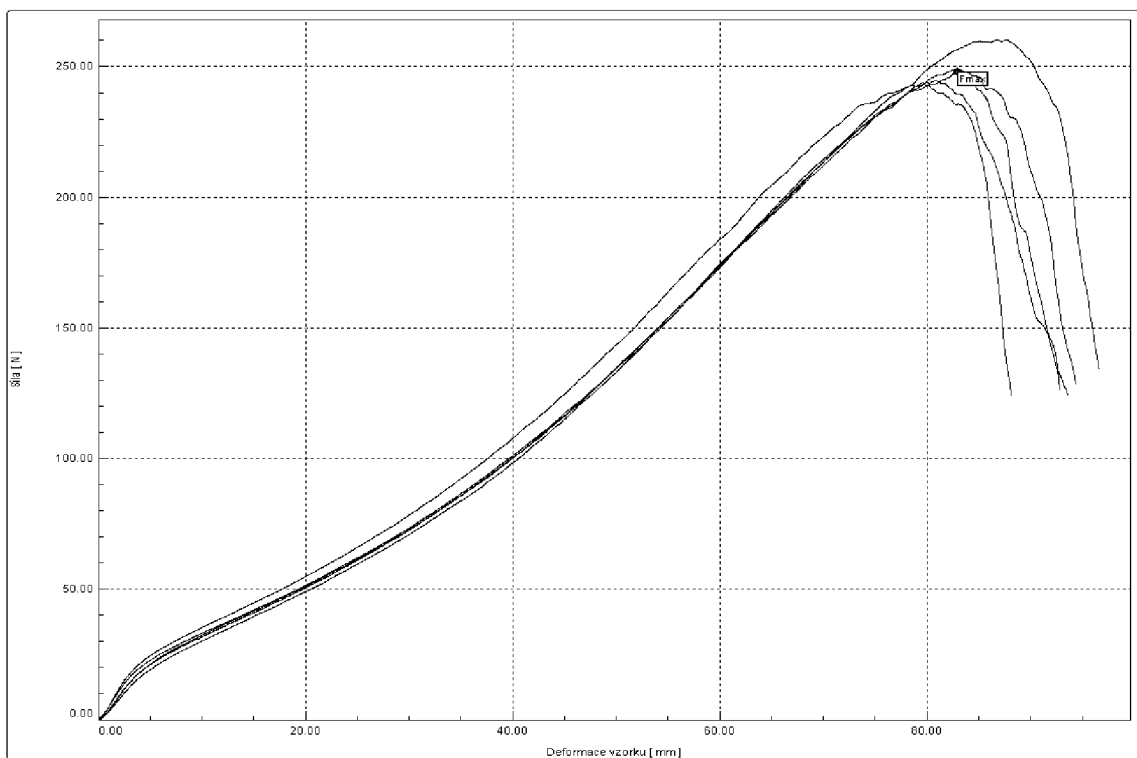
Textilie PES+bico_Vp+Te, směr CD, 200 vpichů/cm².



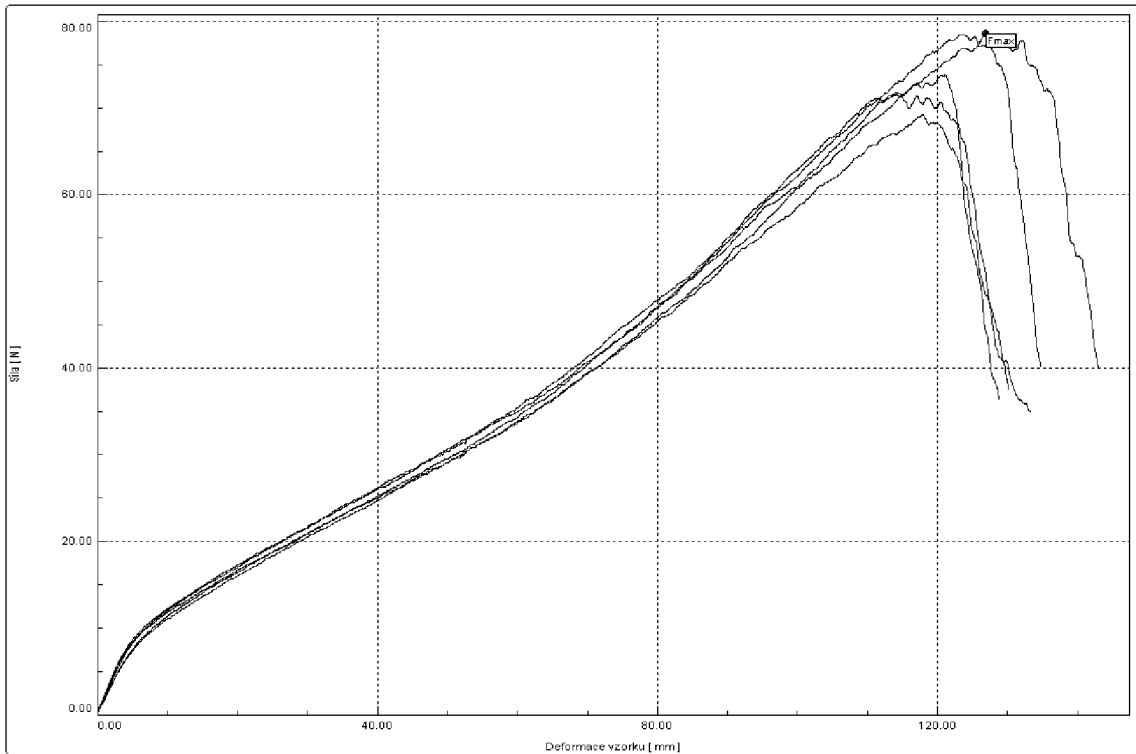
Textilie PES+bico_Vp+Te, směr CD, 250 vpichů/cm².



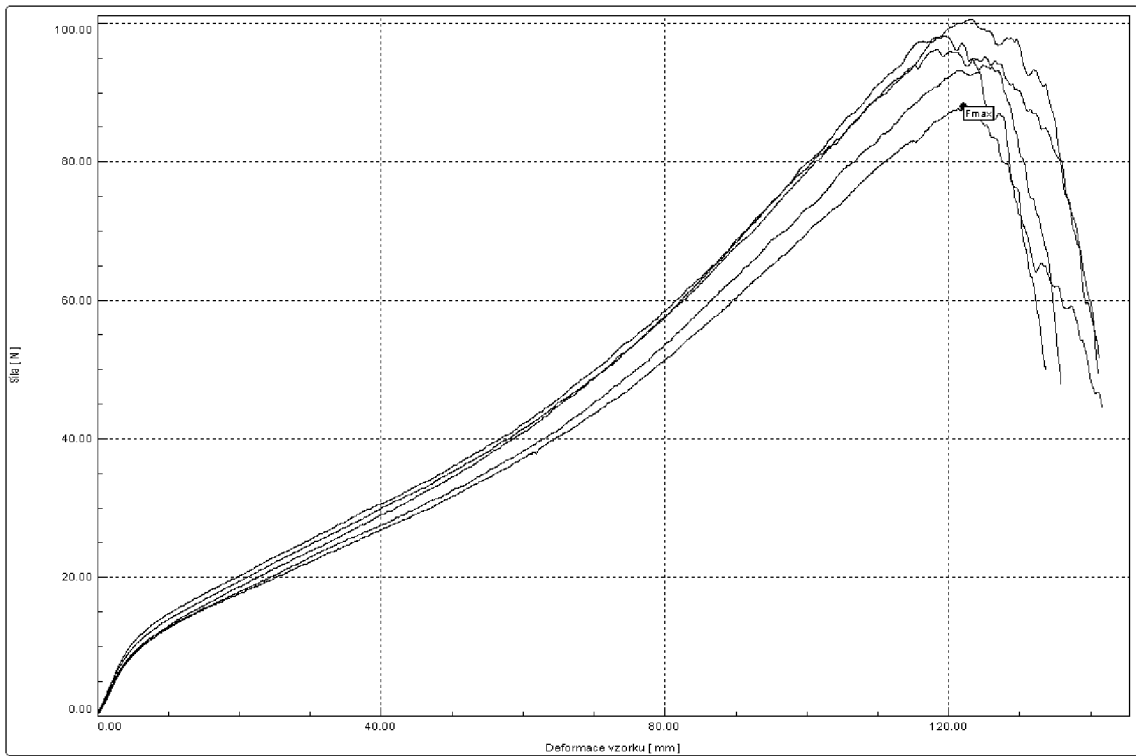
Textilie PES+bico_Vp+Te, směr CD, 300 vpichů/cm².



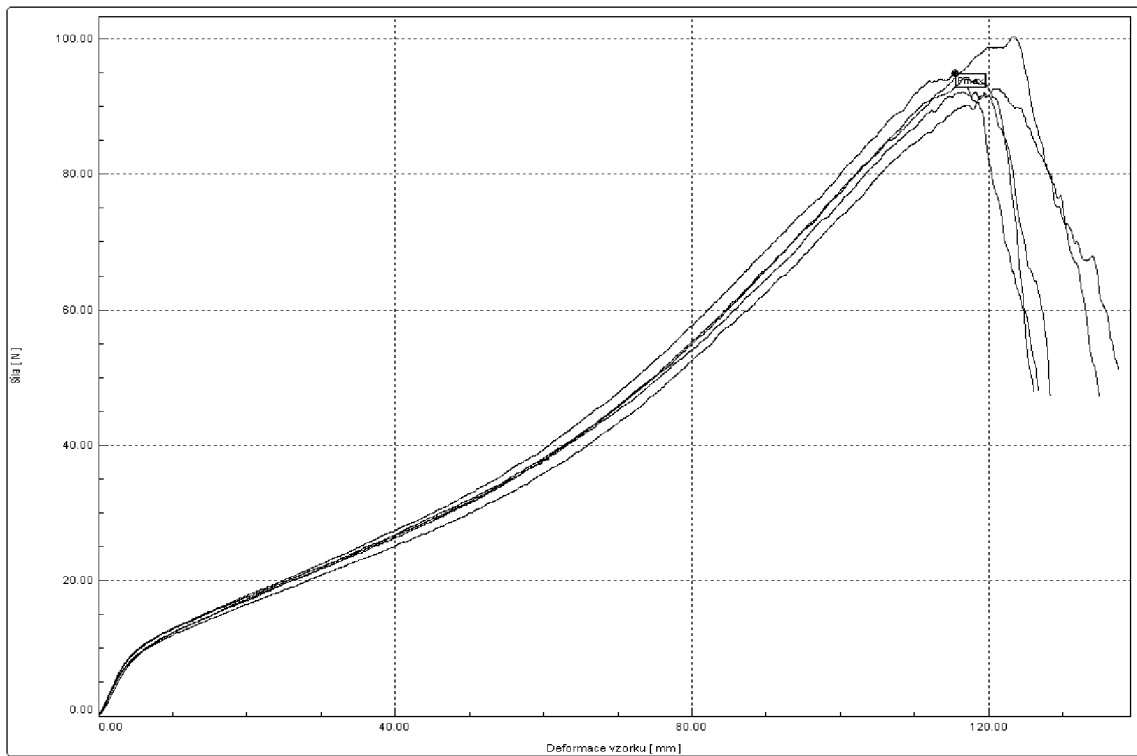
Textilie PES+bico_Vp+Te, směr CD, 350 vpichů/cm².



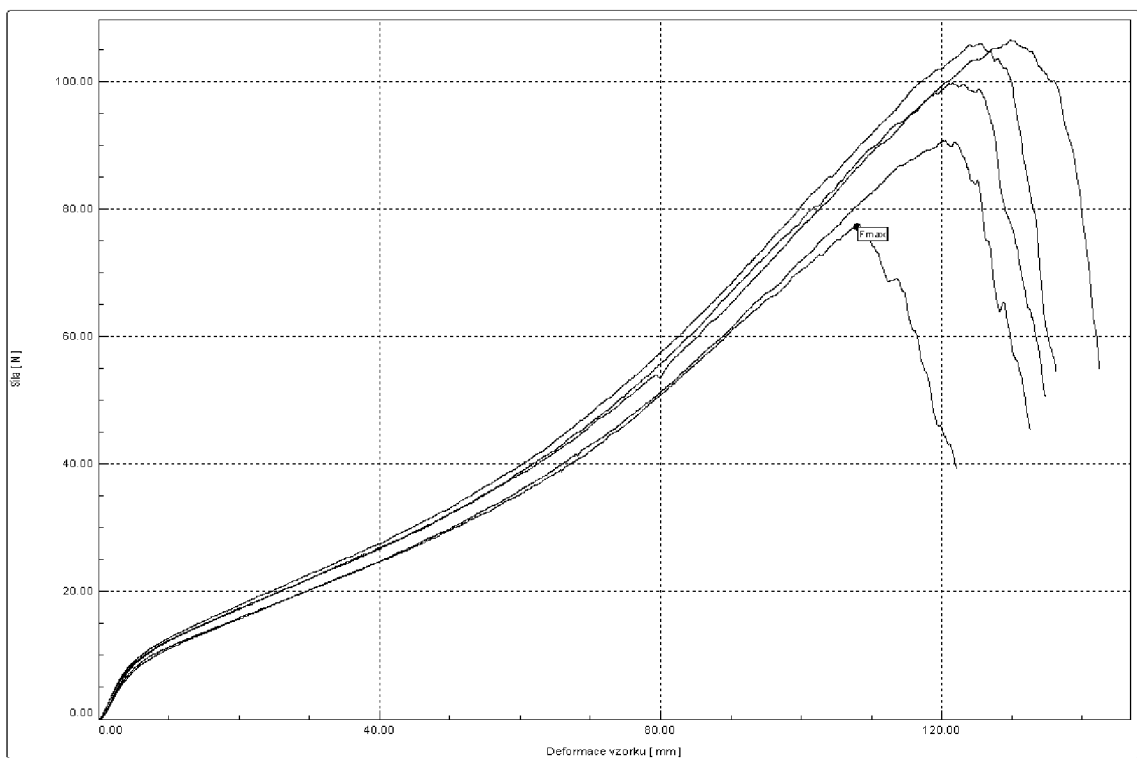
Textilie PES+bico_Vp+Te, směr MD, 100 vpichů/cm².



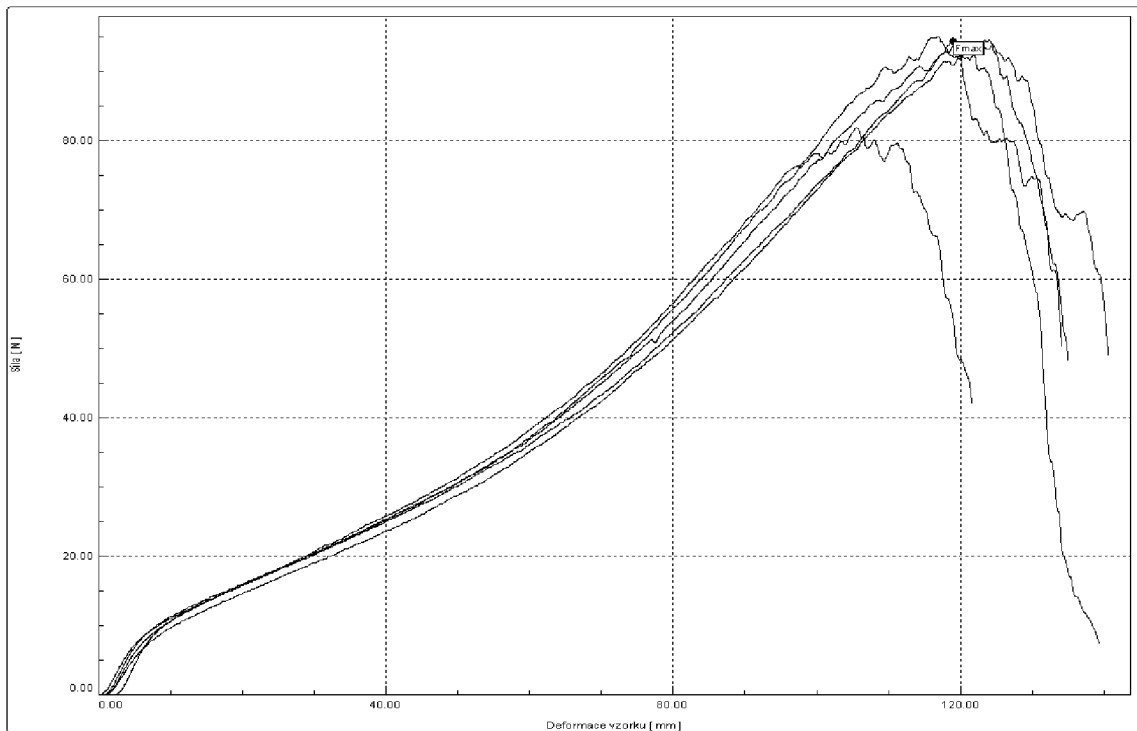
Textilie PES+bico_Vp+Te, směr MD, 150 vpichů/cm².



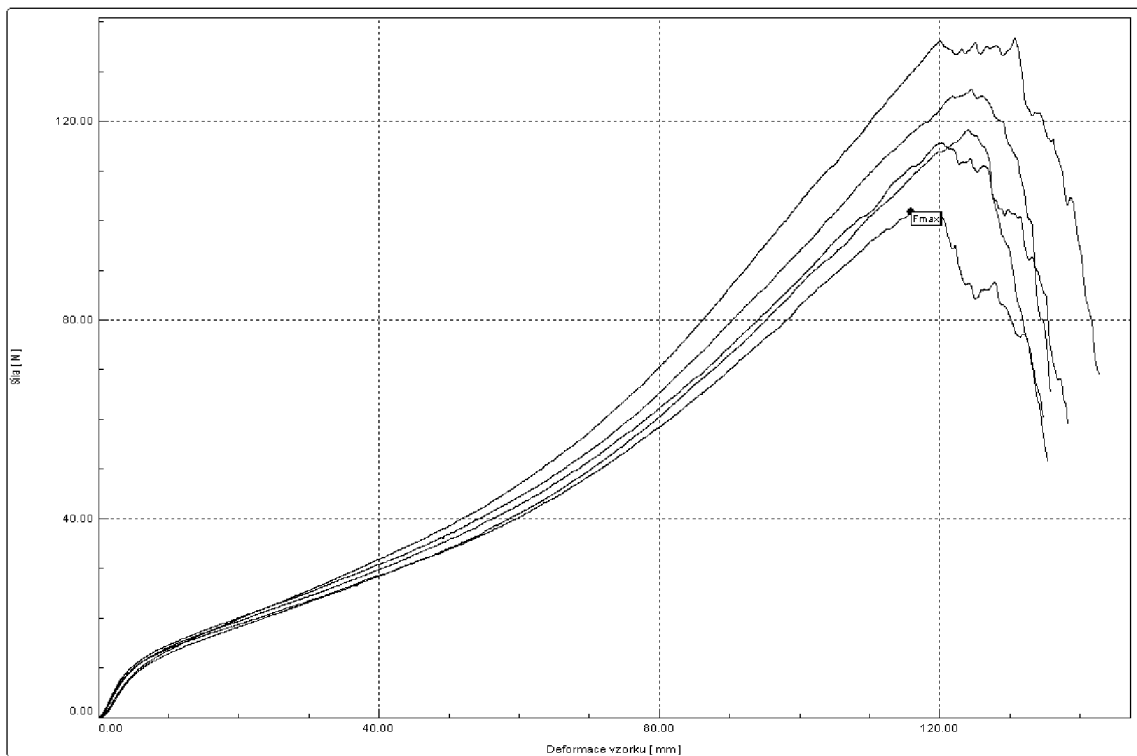
Textilie PES+bico_Vp+Te, směr MD, 200 vpichů/cm².



Textilie PES+bico_Vp+Te, směr MD, 250 vpichů/cm².



Textilie PES+bico_Vp+Te, směr MD, 300 vpichů/cm².



Textilie PES+bico_Vp+Te, směr MD, 350 vpichů/cm².