



Mechanické vlastnosti vpichovaných netkaných textilií

Bakalářská práce

Studijní program:

B3107 Textil

Studijní obor:

Textilní technologie, materiály a nanomateriály

Autor práce:

Pavel Kabeláč, DiS.

Vedoucí práce:

Ing. Jiří Chaloupek, Ph.D.

Katedra netkaných textilií a nanovláknenných materiálů





Zadání bakalářské práce

Mechanické vlastnosti vpichovaných netkaných textilií

Jméno a příjmení: Pavel Kabeláč, DiS.
Osobní číslo: T18000283
Studijní program: B3107 Textil
Studijní obor: Textilní technologie, materiály a nanomateriály
Zadávací katedra: Katedra netkaných textilií a nanovlákných materiálů
Akademický rok: 2020/2021

Zásady pro vypracování:

1. Seznamte se s problematikou výroby vpichované netkané textilie. Vypracujte rešerši na dané téma. Zaměřte se zejména na mechanické vlastnosti těchto textilií v závislosti na změnách parametrů výroby.
2. Navrhněte experiment, ve kterém vyrobíte sérii různých vzorků vpichované netkané textilie.
3. Na vyrobených vzorcích měřte vybrané mechanické vlastnosti.
4. Diskutujte výsledky a navrhněte další postupy řešení daného problému.

Rozsah grafických prací:
Rozsah pracovní zprávy:
Forma zpracování práce:
Jazyk práce:

dle potřeby dokumentace
40-60 dle potřeby
tištěná/elektronická
Čeština



Seznam odborné literatury:

1. Albrecht,W., Fuchs, H., Kittelmann, W.: Nonwovens Fabrics, Wiley-VCH, Weinheim 2003, ISBN: 3-527-30406-1
2. Russel, S.J. [etc.] : Handbook of nonwovens. Boca Raton, Fla. Cambridge: CRC press ; Woodhead, 2007. ISBN 978-185-5736-030.
3. Jirsák, O., Wadsworth, L.C.: Nonwoven Textiles, Carolina Academic Press, Durham, NC 1999, ISBN 0-89089-978-8

Vedoucí práce:

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

Datum zadání práce:

1. listopadu 2020

Předpokládaný termín odevzdání:

28. května 2021

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

L.S.

Ing. Jiří Chvojka, Ph.D.
vedoucí katedry

V Liberci dne 1. listopadu 2020

Prohlášení

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

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

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

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

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

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

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

6. května 2021

Pavel Kabeláč, DiS.

Poděkování

Rád bych na tomto místě poděkoval vedoucímu mé diplomové práce panu Ing. Jiřímu Chaloupkovi, Ph.D. za věcné připomínky a odbornou pomoc.

Dále bych rád poděkoval paní Ing. Kláře Masnicové za věcné připomínky, konzultace a trpělivost.

Také bych chtěl poděkovat své rodině, která mi umožnila věnovat se studiu.

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá studiem vpichovaných netkaných textilií. V teoretické části byla provedena rešerše zaměřená na výrobu netkaných textilií a jejich mechanické zpevnění vpichováním. Tato část se dále zabývá využitím netkaných textilií ve stavebnictví. V experimentální části byla na vpichovací lince DILO-FT-007 vyrobena netkaná textilie. U takto vyrobených vzorků byla testována pevnost, tažnost podle normy EDANA 20.2-89 a ohybová tuhost podle normy EDANA BENDING LENGTH 502.80. Cílem bylo zjistit, jaký vliv bude mít hustota vpichování na cm^{-2} a typ vpichovacích jehel.

Klíčová slova: netkaná textilie, geotextilie, vpichování, pevnost, tažnost, ohyb

Abstract

This bachelor thesis deals with the study of needled non-wovens. In the theoretical part, a research was carried out with a focus on the production of non-wovens and their mechanical reinforcement by needling. This part also deals with the use of non-wovens in construction sector.

In the experimental part, a non-woven fabric was produced on the DILO-FT-007 needling line. Samples produced in this way were tested for the strength, ductility according to EDANA 20.2-89 and flexural stiffness according to EDANA BENDING LENGTH 502.80.

The aim was to find out what effect the needle-punch density per cm^{-2} and the type of needles used will have.

Keywords: non-woven fabric, geotextile, needling, strength, ductility, ben

Obsah

Poděkování.....	4
Abstrakt.....	5
Abstract.....	5
Obsah.....	7
Seznam obrázků.....	9
Seznam tabulek.....	11
Seznam grafů.....	12
Seznam použitých symbolů a zkratk.....	13
Úvod.....	14
Teoretická část.....	15
1 Materiály na výrobu netkaných textilií.....	15
1.1 Vlákná základní.....	15
1.2 Vlákná speciální.....	15
1.3 Polyesterová vlákna.....	15
1.4 Polypropylenová vlákna.....	16
2 Technologie výroby netkaných textilií.....	17
2.1 Příprava vlákenné vrstvy.....	17
2.1.1 Mykání.....	17
2.2 Kladení vlákenné vrstvy.....	19
2.2.1 Podélné kladení vlákenné vrstvy.....	19
2.2.2 Příčné kladení vlákenné vrstvy.....	20
2.2.3 Kolmé kladení vlákenné vrstvy.....	21
2.3 Zpevnění vlákenné vrstvy vpichováním.....	21
2.3.1 Popis technologie vpichování.....	22
2.3.2 Popis vpichovací jehly.....	24

2.3.3	Vliv parametrů vpichování na výrobek	25
3	Geotextilie	27
3.1	Definice	27
3.2	Dělení	27
3.2.1	Dělení podle funkce.....	28
3.2.2	Dělení podle materiálu	30
3.2.3	Porovnání geotextilií z PET a PP	30
3.3	Deformace tahem – pevnost a tažnost.....	31
3.3.1	Vymezení základních pojmů	31
4	Experiment	33
4.1	Výroba experimentální geotextilie	33
4.2	Testování pevnosti a tažnosti	35
4.3	Výsledky pevnosti,tažnosti a diskuze	36
4.4	Testování ohybové tuhosti	42
4.5	Výsledky ohybové tuhosti a diskuze.....	43
5	Diskuze výsledků.....	45
6	Závěr	46
7	Seznam použité literatury	48
8	Přílohy	52

Seznam obrázků

OBRÁZEK 1: STRUKTURNÍ VZOREC POLYETHYLENTEREFTALÁTU. [5].....	16
OBRÁZEK 2: STRUKTURNÍ VZOREC POLYPROPYLENU [5].....	17
OBRÁZEK 3: SCHÉMA VÁLCOVÉHO MYKACÍHO STROJE, FEEDING ROLLES-PODÁVACÍ VÁLEČKY, STRIPPER-OBRAČEČ, WORKER-PRACOVNÍ VÁLEC, MAIN CYLINDER-HLAVNÍ VÁLEC (TAMBUR), FANCY-VOLANT, DOFFER-SNÍMACÍ VÁLEC, DOFFING COMB-SČESÁVACÍ HŘEBEN. [6].....	18
OBRÁZEK 4: SCHÉMA POSTAVENÍ PRACOVNÍCH POVLAKŮ MYKACÍHO STROJE. [7] ...	18
OBRÁZEK 5: SCHÉMA PODÉLNÉHO KLADENÍ VLÁKENNÉ VRSTVY. 1. MYKACÍ STROJ, 2. PAVUČINA, 3. ODVÁDĚCÍ PÁS. [10].....	19
OBRÁZEK 6: VERTIKÁLNÍ KLADENÍ VLÁKENNÉ VRSTVY. [11].....	20
OBRÁZEK 7: PŘÍČNÉ KLADENÍ VLÁKENNÉ VRSTVY. [12].....	20
OBRÁZEK 8: KOLMÍ KLADEČ SE SKLÁDÁ 1. PAVUČINA, 2. KLADECÍ PILKA, 3. DOPRAVNÍK, 4. KOLMO KLADENÁ VRSTVA, 5. PĚCHOVACÍ LIŠTA, 6. ROŠT, 7. PRACOVNÍ KOTOUČ, 8. KRYT HORKOVZDUŠNÉ KOMORY. [9].....	21
OBRÁZEK 9: SCHÉMA VPICHOVACÍ LINKY. [13].....	22
OBRÁZEK 10: SCHÉMA REDUKCE TLOUŠŤKY VLÁKENNÉ VRSTVY POMOCÍ VÁLEČKŮ. [14].....	22
OBRÁZEK 11: SCHÉMA REDUKCE TLOUŠŤKY VLÁKENNÉ VRSTVY ŠIKMÝM DOPRAVNÍKEM. [14].....	23
OBRÁZEK 12: SCHÉMA VPICHOVACÍHO ZAŘÍZENÍ. [15].....	23
OBRÁZEK 13: POPIS VPICHOVACÍ JEHLY, CRANK – KOLÍNKO, SHANK – STVOL, TAPER – ZÚŽENÍ, INTERMEDIATE BLADE – REDUKOVANÁ ČÁST, WORKING BLADE – PRACOVNÍ ČÁST, BARB – OSTEN, POINT – HROT. [15].....	24
OBRÁZEK 14: MOŽNÉ TVARY ZUBŮ VPICHOVACÍCH JEHEL. [18].....	24
OBRÁZEK 15: TVARY PRŮŘEZŮ VPICHOVACÍCH JEHEL. [18].....	25
OBRÁZEK 16: ZÁVISLOST TLOUŠŤKY A PEVNOSTI VPICHOVANÝCH TEXTILÍ NA PARAMETRECH VPICHOVÁNÍ. [1].....	26
OBRÁZEK 17: PŘEORIENTO VÁNÍ VLÁKEN VPICHOVACÍ JEHLOU. [20].....	26
OBRÁZEK 18: VLIV PRŮŘEZU JEHLY NA PRŮCHOD VLÁKEN NETKANOU TEXTILÍ. [17].....	26
OBRÁZEK 19: SEPARAČNÍ FUNKCE GEOTEXTILIE. [25].....	28
OBRÁZEK 20: FILTRAČNÍ FUNKCE GEOTEXTILIE. [25].....	29
OBRÁZEK 21: DRENÁŽNÍ FUNKCE GEOTEXTILIE. [25].....	29
OBRÁZEK 22: VÝZTUŽNÁ FUNKCE GEOTEXTILIE. [25].....	30
OBRÁZEK 23: ZNÁZORNĚNÍ PRACOVNÍ KŘIVKY DO PŘETRHU. [4].....	32
OBRÁZEK 24: TRANSPORT ROUNA DO VÁLCOVÉ MYKAČKY.....	33
OBRÁZEK 25: PŘÍČNÝ VERTIKÁLNÍ KLADEČ.....	34
OBRÁZEK 26: HROT JEHLY TRISTAR POD MIKROSKOPEM.....	34

OBRÁZEK 27: HROT JEHLY 4-ECOSTAR NAHOŘE, HROT JEHLY 3-AUTOMOTIVE DOLE.	35
OBRÁZEK 28: TRHACÍ STROJ LABTEST 4.050.....	35
OBRÁZEK 29: UPÍNACÍ ČELISTI TRHACÍHO STROJE.....	36
OBRÁZEK 30: MĚŘENÍ OHYBOVÉ TUHOSTI.	42
OBRÁZEK 31: MĚŘENÍ OHYBOVÉ TUHOSTI.	43

Seznam tabulek

TABULKA 1: PRODLOŽENÍ VE SMĚRU MD.....	37
TABULKA 2: PRODLOUŽENÍ VE SMĚRU CD.	38
TABULKA 3: STATISTIKA PRODLOUŽENÍ.....	39
TABULKA 4: PEVNOST VE SMĚRU MD.....	39
TABULKA 5: PEVNOST VE SMĚRU CD.	40
TABULKA 6: STATISTIKA PEVNOSTI.....	41
TABULKA 7: OHYB VE SMĚRU CD.	43
TABULKA 8: OHYB VE SMĚRU MD.	44

Seznam grafů

GRAF 1: PRODLOUŽENÍ VE SMĚRU MD.	37
GRAF 2: PRODLOUŽENÍ VE SMĚRU CD.	38
GRAF 3: PEVNOST VE SMĚRU MD.	40
GRAF 4: PEVNOST VE SMĚRU CD.	40
GRAF 5: OHYB VE SMĚRU CD.	44
GRAF 6: OHYB VE SMĚRU MD.	44

Seznam použitých symbolů a zkratek

cm^{-2}	centimetr čtvereční
g	gram
g.m^{-2}	gram na metr čtvereční
kg	kilogram
m	metr
mm	milimetr
s	sekunda
t[s]	čas
CD	cross mashine direction
ČSN	Česká státní norma
EN	Evropská notma
F[N]	síla
ISO	International organization for standardization
MD	machine direction
PES	polyester
PP	polypropylen
$\varepsilon[\%]$	deformace
$\tau[\text{Pa}]$	napětí smykové
$\sigma[\text{Pa}]$	napětí normálové

Úvod

Netkané textilie se uplatňují v různých průmyslových odvětvích. Míra jejich využití v těchto odvětvích je velmi různorodá a možnosti použití jsou široké. Největší využití netkaných textilií v oblasti obalových materiálů, stavebnictví, zdravotnictví, filtrace, zemědělství a automobilovém průmyslu.

K velkému rozšíření netkaných textilií došlo zejména z ekonomických důvodů. Tyto textilie nabízejí velmi dobrý poměr mezi požadovanými užitnými vlastnostmi, objemem produkce a nízkými výrobními náklady.

Nejrozšířenější vstupní surovinou pro výrobu netkaných textilií jsou syntetická vlákna. Syntetická vlákna se svými vlastnostmi přibližují vláknům přírodním a v některých specifických vlastnostech je i překonávají. Výroba syntetických vláken je jednodušší a provozně levnější než zpracování přírodních vláken. Nejvíce se využívá vláken polypropylenových, polyesterových a polyamidových. Celosvětový objem využití syntetických vláken neustále stoupá. [1] [3] [4]

Při výrobě netkaných textilií využíváme různé technologie výroby a finální úpravy. Výrobní procesy nastavujeme s ohledem na co nejvyšší kvalitu a uživatelské vlastnosti.

Využívání technických textilií sahá k samotným počátkům textilních surovin. Významnou součástí skupiny technických textilií jsou geotextilie.

U geotextilií došlo k masívnímu využívání v druhé polovině minulého století. A to díky zavedení materiálů a technologií umožňující vznik textilií splňujících potřebné mechanické a kvalitativní požadavky. Jejich výroba se stala ekonomicky rentabilní.

Pokrok ve výrobě chemických vláken, především syntetických, umožnil uplatnění technických textilií ve stavebnictví. Díky těmto vláknům došlo k velkému rozšíření textilní surovinové základny. Vlákna jsou pružná, odolná v ohybu a oděru, stálá k působení mikro vegetace a vlhkosti, mají velkou pevnost a velké množství dalších specifických vlastností.

Syntetická vlákna nahradila v plném rozsahu vlákna přírodní, která se obtížně specificky zpracovávají, mají malou variabilitu výroby a jsou výrazně dražší. Syntetická vlákna umožnila rozšíření sortimentu geotextilií a jejich nové a neobvyklé využití.

Postupně se geotextilie stávají stavebním popřípadě konstrukčním prvkem v oborech, v kterých se s nimi nepracovalo. Jedná se například o jejich využití při zalesnění, regulaci vodních toků, krajinných úpravách a samozřejmě při výstavbě domů, budování železniční a silniční infrastruktury. Stali se nepostradatelným konstrukčním prvkem.

K prvním využitím ve stavebnictví došlo v padesátých letech Robertem Barettem, který geotextilie používal při výrobě prefabrikovaných betonových mořských hrází a následně při zpevňování břehů právě pomocí těchto betonových bloků. Barrett používal nejčastěji tkané textilie z umělých vláken, které byly tkané do mřížky s relativně velkým množstvím ok. Využití geotextilií zažívá v posledních třech desetiletích velký rozvoj. [1] [2] [4]

Předmětem experimentu v bakalářské práci je, zjistit jak počet vpichů na cm^{-2} a druh vpichovacích jehel ovlivní pevnost, tažnost dle EDANA 20.2-89 a ohybovou tuhost u netkané textilie podle normy EDANA BENDING LENGTH 502.80. Geotextilie bude vyrobena na vpichovací lince DILO-FT-007 z polyesterových (PET) vláken. Z tohoto důvodu se v rámci bakalářské práce věnuje pouze výrobě netkaných textilií na vpichovacích linkách z polyesterových vláken. Ostatní výrobní procesy a suroviny nebudou popisovány.

Teoretická část

1 Materiály na výrobu netkaných textilií

1.1 Vlákna základní

Základními vlákny zde rozumíme běžně masově vyráběné vlákenné suroviny pro textilní průmysl, zejména ve formě stříží. Kromě toho se pro výrobu netkaných textilií mohou vlákna při výrobě zvlášť upravovat. Například intenzivněji tvarovat s cílem dosažení vyšší objemnosti výrobků, speciální povrchovou úpravou a podobně. Významnou součástí surovinové základny jsou sekundární vlákenné suroviny pocházející z technologických odpadů. Vzniklých ve všech stupních zpracování vláken v textilním a oděvním průmyslu a ze sběrových textilií. [1] [4]

1.2 Vlákna speciální

Vyrábějí se nejčastěji z běžných vláknotvorných polymerů. Speciálními vlákny jsou například vlákna příčně profilovaná. Bikomponentní a více komponentní vlákna, která jsou složena z výše a níže tající polymerní složky. Vlákna modifikovaná ve hmotě, při výrobě jsou do polymeru před jeho zvlákňováním přidávána různá aditiva. Skleněná vlákna vyráběná z

E-skla. Vlákna čedičová mají podobné vlastnosti jako vlákna skleněná, jejich výroba je ekonomicky výhodnější. Silikátová vlákna se od skleněných vláken liší vyšší tepelnou a chemickou odolností, pevností a modulem. [1] [4]

1.3 Polyesterová vlákna

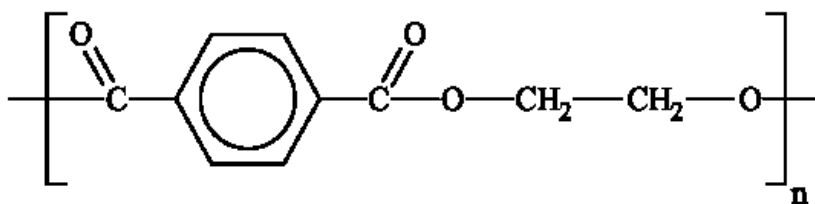
Polyesterová vlákna jsou definována jako vlákna s obsahem 85 % a více hmotnostních procent esterů aromatických kyselin zejména kyseliny tereftalátové (PET vlákna).

Polyetyléntereftalát se připravuje dvěma základními postupy. Přímou esterifikací kyseliny tereftalátové a etylenglikolu, tento proces vyžaduje vysokou čistotu surovin. Druhý způsob je předesterifikace DMT (dimetyltereftalátu), DMT lze snadno čistit rekrystalizací a destilací.

PET vlákna obsahují v polymerních řetězcích benzenová jádra a metylenové skupiny a na obrázku 1 je strukturní vzorec. Zvlákňují se z taveniny do šachty a následně se dlouží. Zvlákňujeme pouze lineární polymer.

Polyesterová vlákna mají dobré zpracovatelské vlastnosti, mechanické vlastnosti, vysoký modul, pružnost, pevnost, tažnost a dobrou schopnost zotavení. Dobře odolávají chemikáliím, a to i dlouhodobě. S výjimkou silných kyselin a zásad. Degradují vlivem UV záření. [1] [4]

V této práci byla použita vlákna z polyetyléntereftalátu (PET), jedná se o termoplast. Vlákna byla ve formě stříže.

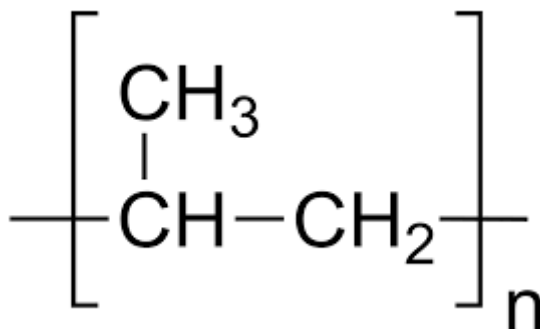


Obrázek 1: strukturní vzorec polyetyléntereftalátu. [5]

1.4 Polypropylenová vlákna

PP vlákna patří do skupiny polyolefinových vláken a na obrázku 2 je strukturní vzorec. Pro zvlákňování je vhodný pouze izotaktický polypropylen. Ten se vyrábí koordinací stereo specifickou polymerací propenu za přítomnosti Ziegler-Nattových katalyzátorů. Tím vzniká pravidelné prostorové uspořádání methylových skupin a je možné vytvářet trojrozměrné útvary. Jedná se stejně jako u PET o termoplast. [4]

PP vlákna mají vyšší modul pružnosti, mají výbornou odolnost vůči chemikáliím. Kromě dlouhodobého působení olejů. Jsou málo rozpustná v organických rozpouštědlech, ne navlhávají, odolná proti oděru. Nevýhodou je špatná odolnost vůči UV záření a malá tuhost. [1] [4]



Obrázek 2: strukturní vzorec polypropylenu [5]

2 Technologie výroby netkaných textilií

Při výrobě netkaných textilií se využívá vlákenné suroviny běžně využívané v textilním průmyslu. Je možné zvlákňovat přímo z polymeru, nebo můžeme využít přírodních vláken jako např. (juta, kokos). Další z možností je zpracování druhotné textilní suroviny, popřípadě výčesky z česacích strojů. [1]

2.1 Příprava vlákenné vrstvy

Výroba vlákenné vrstvy je složena z mnoha technologických operací. Na začátku technologie je příprava vlákenných surovin.

Otevření balíků, rozvolňování, promíchávání a skladování, mísení různých vláken, čištění, preparace, čechrání a dávkování.

Následuje tvorba vlákenné pavučiny. V této práci bude popsána tvorba vlákenné pavučiny mechanickým způsobem, mykáním. Ostatní postupy budou v této práci pominuty. [1] [3]

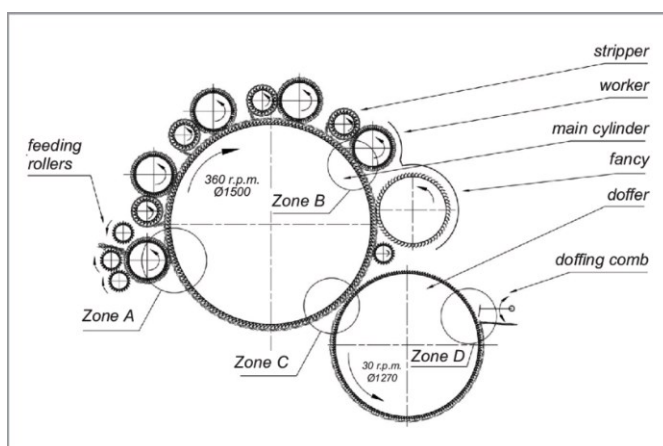
2.1.1 Mykání

Jedná se o mechanický způsob přípravy vlákenné pavučiny. Využívá mykacích strojů, popřípadě mykacích zařízení vyvinutých speciálně pro výrobu netkaných textilií. K mykání se využívají víčkové (bavlnářské) a válcové (vlnářské) mykací

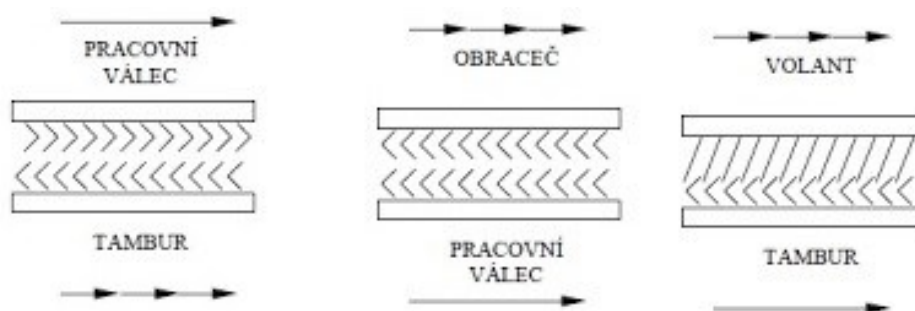
stroje. Více rozšířené je používání válcových mykacích zařízení z důvodu vyššího výkonu oproti víčkovým mykacím zařízením.

Na obrázku 3 vidíme základ válcového mykacího stroje. Je tvořen soustavou válců s pilkovými nebo drátěnými povlaky. Na obrázku 4 jsou hroty pracovních povlaků na jednotlivých válcích a jejich vzájemné postavení na mykání (tambur – pracovní válec), na snímání (obraceč – pracovní válec), nebo povytažení (volant – tambur). Válce mají protisměrně postavené povrchy a pohybují se rozdílnou obvodovou rychlostí. [1] [7]

Podstatou funkce mykacího zařízení, je postupné ojednocování a napřimování vláken. Dochází k urovnání vláken do podélného směru. Na výstupu v mykacího stroje vzniká vlákenná pavučina, která má anizotropní uspořádání. [1] [8]



Obrázek 3: schéma válcového mykacího stroje, feeding rolles-podávací válečky, stripper-obraceč, worker-pracovní válec, main cylinder-hlavní válec (tambur), fancy-volant, doffer-snímací válec, doffing comb-sčesávací hřeben. [6]



Obrázek 4: schéma postavení pracovních povlaků mykacího stroje. [7]

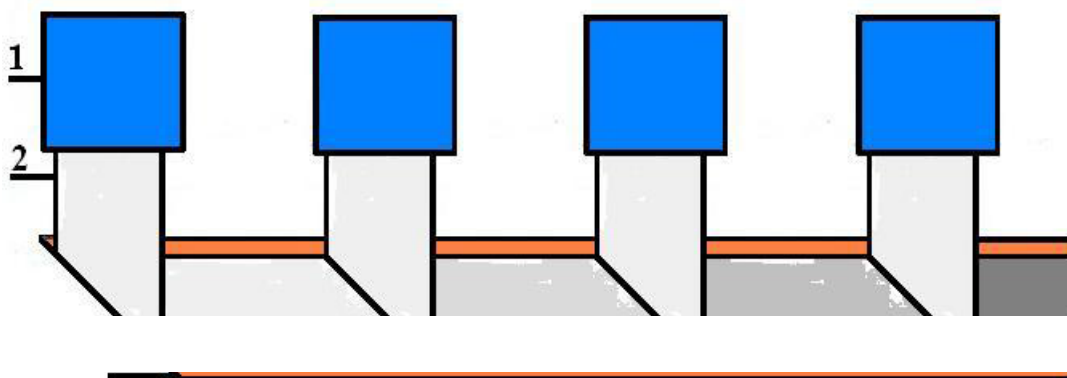
Drátěné povlaky mykacích válců se liší typem a tloušťkou drátů, tvarem a počtem na jednotku plochy potahu.

Pilkové pracovní povrchy jsou více používány z důvodů jejich vyšší životnosti. Dělíme je na povlaky vinuté do drážky na povrchu mykacích válců a na povlaky samosvorné. Účinnost mykacího stroje stoupá s počtem drátků nebo hrotů na jednotku plochy. [1] [8]

2.2 Kladení vláknenné vrstvy

2.2.1 Podélné kladení vláknenné vrstvy

Vláknenná pavučina je vedena přímo ke zpevňujícímu zařízení, vyrobená vláknenná pavučina ($5-30 \text{ g.m}^{-2}$). Získáváme lehkou netkanou textilií. Při požadavku na větší plošnou hmotnost lze uspořádat několik mykacích strojů za sebou. Pavučiny jsou na obrázku 5, podélně vrstveny a dochází k násobení plošné hmotnosti. Takovým uspořádáním lze získat netkanou textilií do plošné hmotnosti 100 g.m^{-2} . [1] [9]



Obrázek 5: schéma podélného kladení vláknenné vrstvy. 1. mykací stroj, 2. pavučina, 3. odváděcí pás. [10]

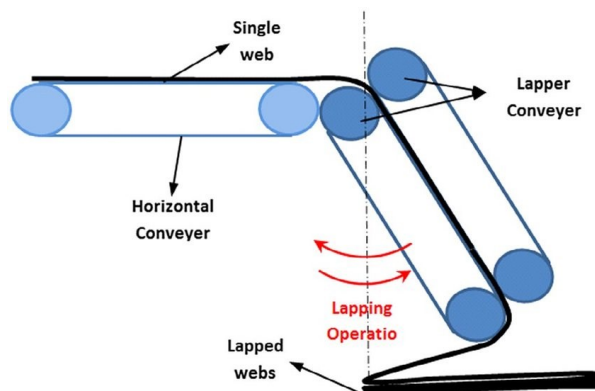
Využívanějším způsobem kladení vláknenné vrstvy je příčné kladení pavučiny na odváděcí pás.

2.2.2 Příčné kladení vláknenné vrstvy

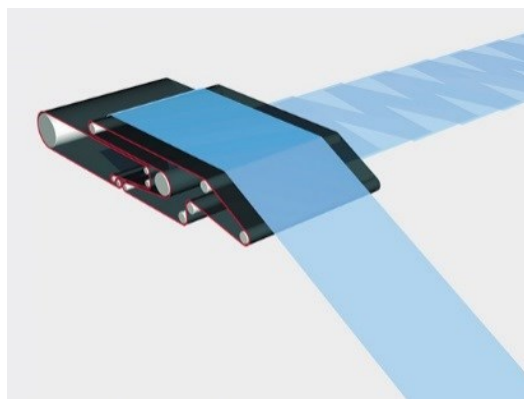
Od mykacího zařízení je pavučina odváděna dopravníkem k příčnému kladeči. Používáme dva typy kladečů.

Vertikální kladeč na obrázku 6 se skládá z přiváděcího dopravníku pavučiny a dvou výkyvných pásů ukládajících pavučinu v šikmých skladech na odváděcí dopravník. Na obrázku 7 vidíme druhý typ příčného kladeče, který se skládá z přiváděcího dopravníku pavučiny, výkyvného dopravníku a výkyvného kompenzačního dopravníku.

Úhel křížení pavučiny v příčně kladeném vláknenném rounu je určen rychlostí odváděcího dopravníku. Plošná hmotnost rouna závisí na plošné hmotnosti přiváděné pavučiny, její rychlosti. Šíři vytvářeného rouna a rychlosti jeho odvádění. [1] [9]



Obrázek 6: vertikální kladení vláknenné vrstvy. [11]

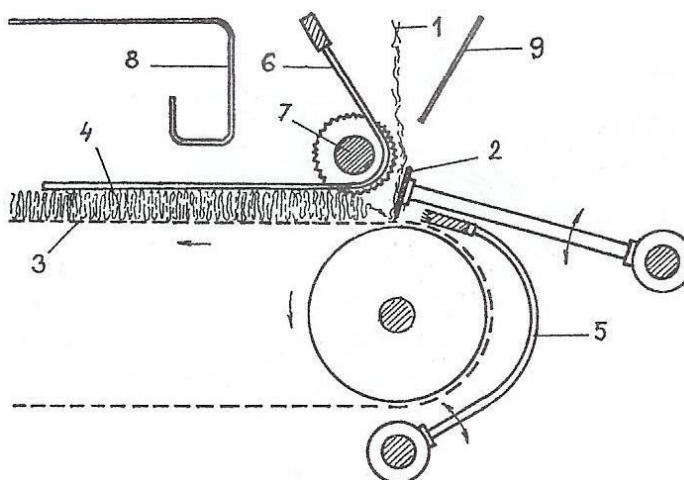


Obrázek 7: příčné kladení vláknenné vrstvy. [12]

2.2.3 Kolmé kladení vlákně vrstvy

Jedná se o nejnovější průmyslově využívanou mechanickou technologii kladení vlákně vrstvy. Byla vyvinuta na katedře netkaných textilií VŠST v Liberci v letech 1988–1992. [1]

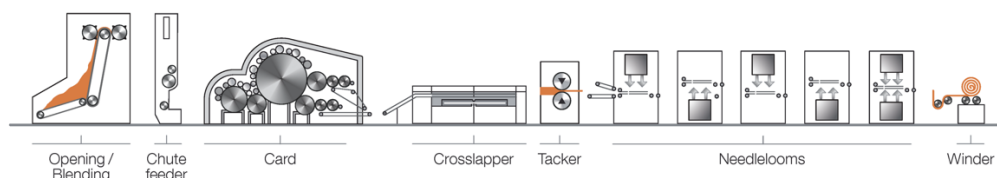
Cílem kolmé kladení je vytvořit vlákně vrstvu odolnější vůči stlačení. Přiváděná pavučina je skládána do vrstvy tvořené kolmými sklady. Na obrázku 8 vidíme, jak se vlákna orientují kolmo k rovině textilie. [1]



Obrázek 8: kolmí kladeč se skládá 1. pavučina, 2. kladečí pilka, 3. dopravník, 4. kolmo kladená vrstva, 5. pýchovací lišta, 6. rošt, 7. pracovní kotouč, 8. kryt horkovzdušné komory. [9]

2.3 Zpevnění vlákně vrstvy vpichováním

Vpichování bylo vyvinuto v minulém století jako náhrada plstění. Jedná se o nejrozšířenější způsob zpevnění vlákně vrstvy. Jeho podstatou je provázání vlákně vrstvy přeorientováním části vláken za pomoci vpichovacích jehel. [1] [3] [8]



Obrázek 9: schéma vpichovací linky. [13]

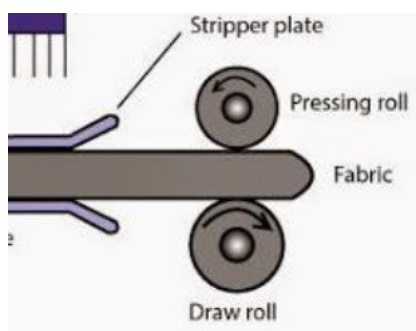
2.3.1 Popis technologie vpichování

Vláknenná vrstva je přiváděcím zařízením transportována mezi dva perforované rošty. Otvory v roštech periodicky pronikají vpichovací jehly osazené v jehelní desce.

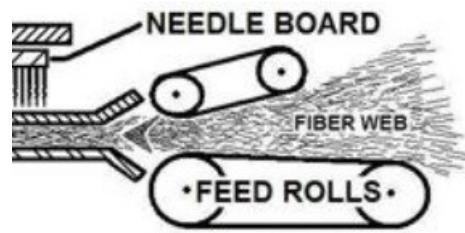
Úkolem přiváděcího zařízení je kontinuálně redukovat výšku výchozí vláknenné vrstvy, na menší rozměr, než je vzdálenost perforovaných roštů bez vzniku nestejnóměrnosti.

Toto se řeší buď konstrukcí přiváděcího zařízení. Může být použito soustavy válců, zobrazeno na obrázku 10. Nebo je využito šikmých pásových dopravníků zobrazených na obrázku 11, popřípadě se využívá vibrující rošt.

Další možnost je využití předvpichovacího stroje. Ten se vyznačuje menším počtem vpichovacích jehel na úzké vpichovací desce a větší vzdáleností roštů. Toto uspořádání zajistí rovnoměrné ztenčení vláknenné vrstvy před vstupem do vpichovacího zařízení. Tato technologie je dražší. [1] [3] [8] [13]



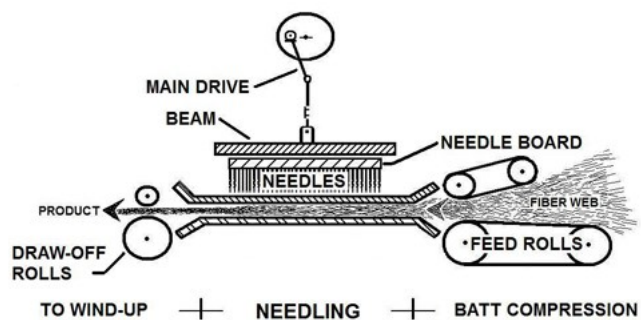
Obrázek 10: schéma redukce tloušťky vláknenné vrstvy pomocí válečků. [14]



Obrázek 11: schéma redukce tloušťky vlákenné vrstvy šikmým dopravníkem. [14]

Stlačená vlákenná vrstva je posunována po spodním (opěrném) perforovaném roštu. Vrchním roštem je stlačena proti spodnímu roštu a vlákennou vrstvou prochází soustava jehel. Jehly procházejí i spodním perforovaným roštem. Vlákna jsou transportována pomocí zubů na vpichovacích jehlách a vázána do netkané textilie. Dochází k přeorientování skupin vláken, tření mezi vlákny a zvyšování pevnosti netkané textilie. Přeorientování vláken je kolmo k vrstvě a vlákna se protahují celou šíří vlákenné vrstvy. Při zpětném pohybu soustavy jehel zabezpečí vrchní (stírací) rošt vysunutí jehel z vlákenné vrstvy.

Zpevnění vlákenné vrstvy závisí na počtu vpichů na jednotku plochy. Produkce vpichovacího stroje závisí na počtu jehel v jehelné desce, frekvenci jehelné desky a odváděcí rychlosti tkaniny. Frekvence jehelní desky se pohybuje mezi 800–2200 zdvihy za minutu. Na obrázku 12 vidíme schéma vpichovacího zařízení. [1] [3] [8] [14]

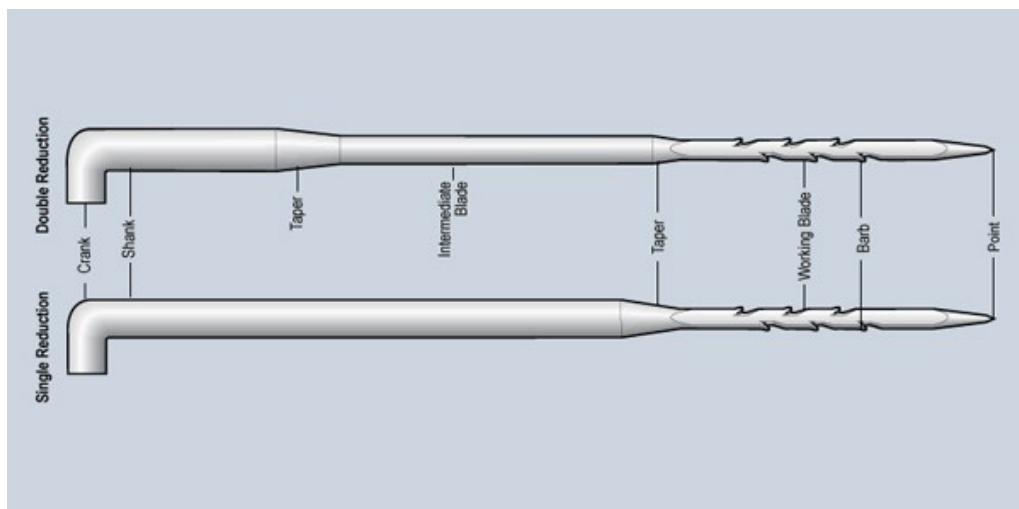


Obrázek 12: schéma vpichovacího zařízení. [15]

2.3.2 Popis vpichovací jehly

Důležitou součástí vpichovacího zařízení je vpichovací jehla. Jehla je složena z několika částí, jak je patrné z obrázku 13. Jednotlivé části jehly mají svůj účel.

Kolínko slouží k uchycení jehly do jehelní desky a také určuje polohu pracovní části jehly vůči vlákenné vrstvě. Stvol brání jehle ve stranovém pohybu. Pracovní část je opatřena ostny, popřípadě zuby různých tvarů, které vidíme na obrázku 14. Ty přeorientoávají vlákna při procesu vpichování. Jehla při průchodu vlákenným materiálem nesmí způsobovat poškození vláken. [1] [3] [8] [13] [19]



Obrázek 13: popis vpichovací jehly, crank – kolínko, shank – stvol, taper – zúžení, intermediate blade – redukovaná část, working blade – pracovní část, barb – ostn, point – hrot. [15]



Obrázek 14: možné tvary zubů vpichovacích jehel. [18]

Jehla je volena v závislosti na materiálu vláken a požadovaných vlastnostech konečného produktu. Důležité vlastnosti jehly jsou, délka jehly, délka pracovní části, tvar pracovní části, rozložení a tvar ostnů, popřípadě zubů na pracovní části jehly.

Jehlu popisujeme: 15x18x30x3 1/ě RB NKU, kdy první tři číslice udávají průměr stvolu, redukované části a pracovní části v gaude (kolikrát se daný rozměr vejde do anglického palce). Další číslice udává délku jehly v palcích, písmena RB označují vzdálenost ostnů a poslední písmena značí výšku ostnů. [1] [3] [8] [13] [19]



Obrázek 15: tvary průřezů vpichovacích jehel. [18]

2.3.3 Vliv parametrů vpichování na výrobek

Parametry ovlivňující finální netkanou textilii jsou. Počet vpichů na jednotku plochy tento parametr získáme ze vzorce 1.

Typ použité jehly, tvar průřezu jehly, množství a tvar ostnů nebo zubů na jehle. Počet jehel na jehelní desce.

Hloubka vpichu, ta se udává jako vzdálenost špičky jehly od horního okraje opěrného roštu. Udává se v milimetrech a pohybuje se v rozmezí 5–25 mm.

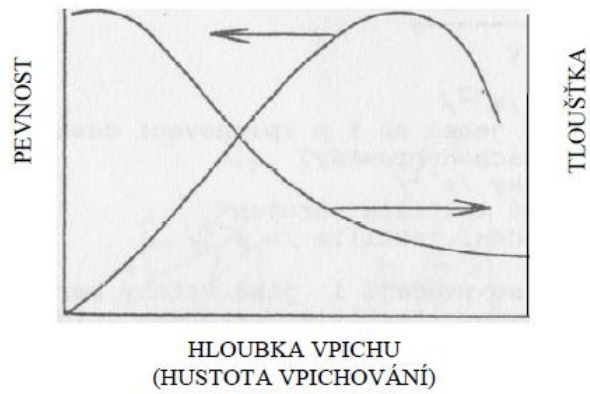
Vhodnou kombinací parametrů vpichování ovlivňují pevnost, tažnost, a to ve všech směrech MD/CD. [1] [3] [8] [13] [19]

Vzorec pro výpočet vpichů na jednotku plochy

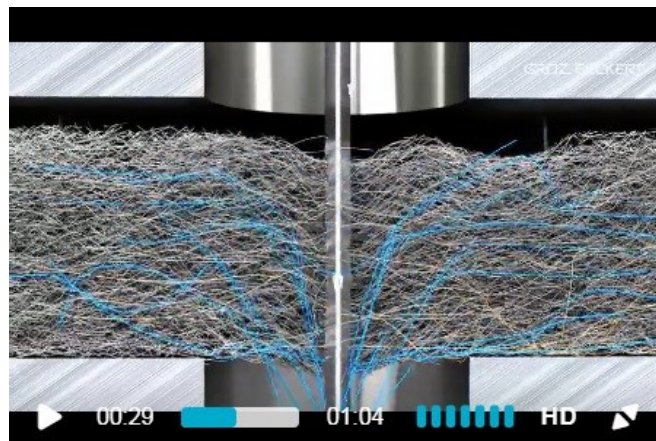
$$V_p = \frac{a \cdot f \cdot p}{v} \quad (1)$$

V_p označuje počet vpichů na m^{-2} . Písmeno **a** popisuje počet jehel v 1 m jehelní desky ve všech řadách, **f** je frekvence desky za 1 s, **p** označuje počet průchodů textilie strojem a **v** označuje rychlost odvádění textilie m/s.

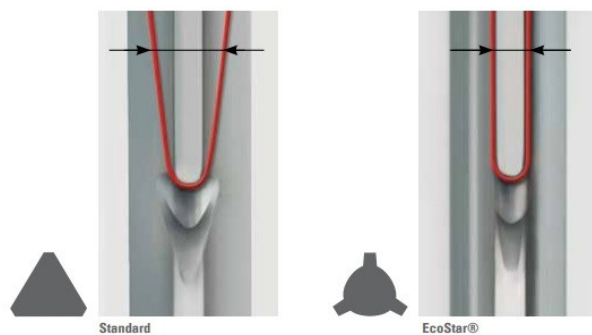
Na obrázku 16 vidíme závislost pevnosti netkané textilie na hloubce a hustotě vpichů na cm^2 .



Obrázek 16: závislost tloušťky a pevnosti vpichovaných textilií na parametrech vpichování. [1]



Obrázek 17: přeorientování vláken vpichovací jehlou. [20]



Obrázek 18: vliv průřezu jehly na průchod vláken netkanou textilií. [17]

3 Geotextilie

3.1 Definice

Podrobné názvosloví geosyntetik řeší ČNS EN ISO 10318 „Geosyntetika – Termíny a definice“. V této práci budu pracovat pouze s pojmem Geotextilie a netkaná geotextilie. Ostatní pojmy nebudou do rozsahu této práce zahrnuty.

„Geotextilie – plošný, propustný, polymerní (syntetický) nebo přírodní textilní materiál, který může být netkaný, pletený nebo tkaný. Používaný ve styku se zeminou, nebo jinými materiály při zemních a stavebních pracích“. [23]

„Geotextilie netkané – technická textilie vyrobená z nekonečných vláken, případně řezaných vláken (stříže) pojená mechanicky (vpichováním, proplétáním, prošíváním), teplem, chemicky apod.“ [23]

Začátky používání geotextilií sahají do padesátých let minulého století, kdy první výrobky byly aplikovány v Holandsku do zemních hrázi v rámci projektu ochrany pevniny před záplavami.

Jedná se o výrobky, které v posledních letech zaznamenávají velký rozvoj a uplatňují se v mnoha oblastech stavebnictví. Dopravní stavby, vodní stavby, podzemní stavby a skládky.

Geotextilní výrobky stále častěji doplňují nebo nahrazují tradiční technologie a umožňují nová a lepší řešení stavebních konstrukcí, především v oblasti zemních konstrukcí. Kde oddělují jednotlivé konstrukční vrstvy v zemním tělese stavby.

Geotextilní tubusy se začaly experimentálně používat k zpevňování pobřeží, budování přístavů a vlnolamů.

Při aplikaci technických podmínek pro použití geotextilií v tělese stavby je nutné respektovat normy ČSN ISO 73 6133 A ČSN EN ISO 14475.

Tahovou pevnost a průtažnost řeší norma ČSN EN ISO 10319 (806125). [2] [4] [21] [22] [23] [24]

3.2 Dělení

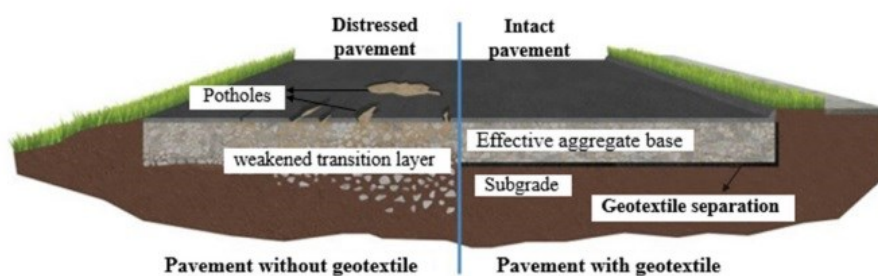
Prvním krokem při návrhu konstrukce, ve které má být geotextilní výrobek použit, je stanovit jeho funkci.

3.2.1 Dělení podle funkce

3.2.1.1 Separační funkce

Použití geotextilií je vhodné tam, kde je potřeba zajistit separaci dvou a více různých materiálů v zemi konstrukci stavby, jak vidíme na obrázku 19. Oddělení podkladních materiálů v konstrukci vozovky (kámen) od podloží stavby (hlína, písek).

Nebo separace materiálů o různé zrnitosti nebo složení (hrubozrnná vrstva od jemnozrnné) tím zabráníme jejich promísení a následné degradaci jednotlivých konstrukčních vrstev. A následnému rozpadu konstrukce stavebního tělesa. [2] [4] [21] [22] [23]

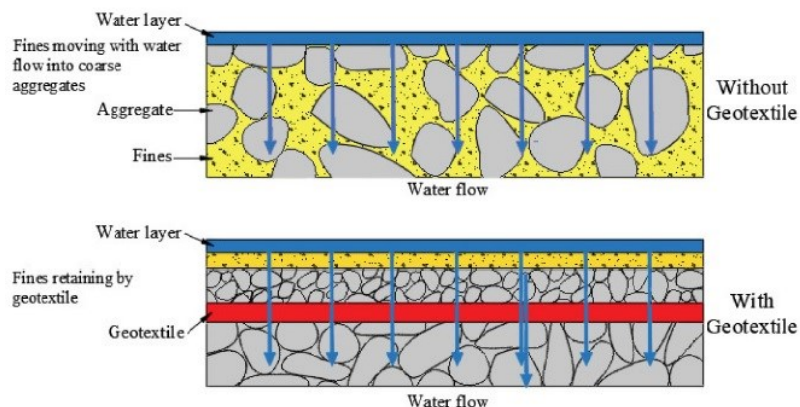


Obrázek 19: separační funkce geotextilie. [25]

3.2.1.2 Filtrační funkce

Tato funkce zabraňuje pohybu pevných částic přes geotextilií ve směru proudu kapaliny. Na obrázku 20 vidíme, jak použitím geotextilie zabráníme transportu jemných částic a degradaci konstrukčních prvků stavby.

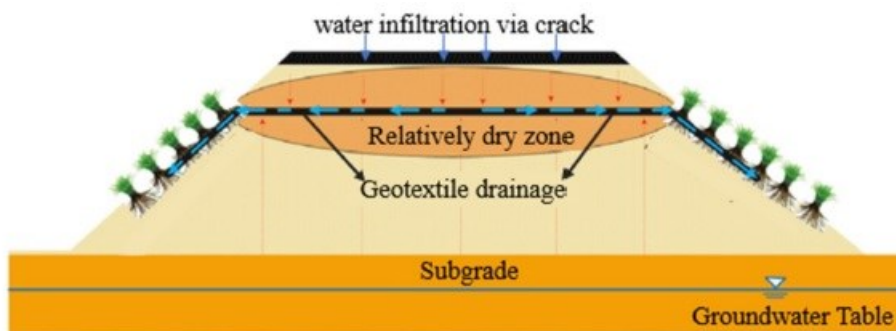
Geotextilie propustí velké množství například podzemní vody z podloží, ale účinně brání pohybu pevných částic podloží. Které by mohli znehodnotit horní vrstvy konstrukce tělesa stavby. A tím brání jeho znehodnocení. Toto se využívá při zhotovování podkladních vrstev komunikací, při půdních rekultivacích a obnově znečištěných vodních toků. [2] [4] [21] [22] [23] [25]



Obrázek 20: filtrační funkce geotextilie. [25]

3.2.1.3 Drenážní funkce

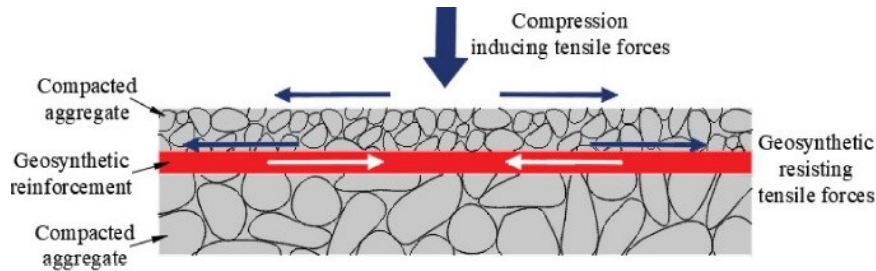
Geotextilie mají dobrou schopnost odvodu vody. Toho se využívá k usměrnění odvodu vody z okolního prostředí v rovině výrobku. Drenážní prvek se skládá z nepropustného jádra a jeho funkcí je svedení vody do trubky a odtok vody z tělesa stavby jak vidíme na obrázku 21. [2] [4] [21] [22] [23] [25]



Obrázek 21: drenážní funkce geotextilie. [25]

3.2.1.4 Výztužná funkce

Díky dobrým tahovým pevnostem, které tyto výrobky vykazují, se používají i jako výztuže. Vložením geotextilie do konstrukce systému, jak je patrné z obrázku 22. Dojde ke zvýšení pevnosti a odolnosti, také se zlepší stabilita a sníží se deformace v zemním tělese stavby. Jejich kompozice v systému umožňuje použití málo vhodných materiálů do zemního tělesa stavby. [2] [4] [21] [23] [25]



Obrázek 22: výztužná funkce geotextilie. [25]

3.2.2 Dělení podle materiálu

Geotextilie můžeme vyrábět z různých materiálů například z polypropylenu (PP), polyesteru (PET), polyetylenu (PE), polyamidu (PA), aramidu (AR).

Geotextilie vyráběná z polyesterových (PET) vláken se vyznačuje vysokou pevností, odolností proti kyselinám. Má vysokou odolnost vůči běžnému zemnímu prostředí, zejména proti působení vlhkosti, hnilobám a plísním.

Pozor musíme dát u kontaminovaných půd obsahujících silné alkálie, ty způsobují rychlé stárnutí PET hydrolyzou. Při použití při výstavbě skládek odpadů musíme brát na zřetel působení tepla. Vysoké teploty působí stejně jako silné alkálie.

Při správném použití je životnost geotextilie prakticky neomezená. Největší hrozba poškození je od UV záření. Proto je nutné geotextilii po položení do konstrukce stavby ihned zahrnout. Nebo použít výrobek, který má zvýšenou odolnost proti působení UV záření. PET vlákna jsou spolu s PP vlákny nejpoužívanějším konstrukčním prvkem geotextilií. [2] [4] [21] [23] [25]

3.2.3 Porovnání geotextilií z PET a PP

Množství vyrobených geotextilií z PET stále stoupá. Jedním z důvodů je společenský tlak na recyklaci surovin. V tomto směru je upřednostňován PET před PP. PP má lepší komplexnější vlastnosti oproti PES. Například chemickou odolnost.

Trvanlivost PET geotextilií v alkalickém prostředí se testuje podle normy ČSN EN 12447. Tento test se týká výrobků, u kterých se zvažuje použití do zemních konstrukcí s životností 25 let a více.

V prostředí s pH 9 a vyšším, se nechráněná PES geotextilie nepoužívá, neboť může dojít k degradaci. Zejména v konstrukcích, kde bylo k úpravě zeminy použito vápno. Popřípadě dojde k použití geotextilie na „čerstvé“ betonové konstrukci. Tomuto jevu lze zabránit pokrytím polyesteru materiálem odolným proti působení alkálií např. PVC.

Při použití geotextilie z PP tento problém odpadá. Výhodou PP geotextilií je jejich větší objem při stejné hmotnosti jako u PET. Toto je způsobeno nižší hustotou PP oproti PET.

Geotextilie z PET mají menší tažnost a větší pevnost než geotextilie z PP. Mají výrazně lepší creep vlastnosti při 40% zatížení než PP.

Nejvhodnější využití netkaných geotextilií ve stavebnictví je v těchto funkcích, filtrační, separační a ochranná. [3] [4] [25]

3.3 Deformace tahem – pevnost a tažnost

3.3.1 Vymezení základních pojmů

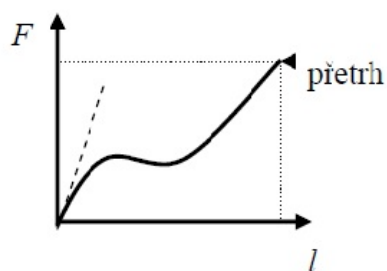
Pevnost a tažnost jsou mechanické vlastnosti, kterými popisujeme schopnost těles změnit tvar, popřípadě i objem působením vnějších sil. Toto nazýváme deformací, vnější síla vyvolává v tělese napětí podle vzorce $\sigma = \frac{F}{S}$. (2)

Jestliže je rozložení síly F [N] v ploše namáhaného průřezu S [m²] rovnoměrné, působí v něm dva druhy napětí. Normálové σ , působí kolmo na plochu průřezu. A napětí smykové τ působící v rovině plochy průřezu.

Odpor materiálu k deformaci charakterizuje modul. Jedná se o poměr aplikovaného napětí a deformace podle vzorce $\frac{\varepsilon}{\sigma}$. (3)

Obecně platí, že pevnost materiálu je definována jako největší konvenční napětí, při kterém dojde k rozdělení materiálu na dvě části. A tažnost je největší protažení, při kterém je dosaženo přetrhu vzorku. [2] [4]

Při deformaci v tahu sledujeme vztah mezi silou a protažením. Jak vidíme na obrázku 23, působí-li na vzorek netkané textilie postupně rostoucí síla F , dochází k růstu prodloužení l , až do bodu přetrhu. Na souřadnicích bodu přetrhu F a l se nachází bod maximální pevnosti a tažnosti. Tato závislost se vyjadřuje graficky a nazývá se pracovní křivkou.



Obrázek 23: znázornění pracovní křivky do přetrhu. [4]

4 Experiment

V experimentální části bylo cílem porovnat změnu vlastností netkané textilie v závislosti na typu vpichovacích jehel a hustotě vpichů na cm^{-2} . Za tímto účelem byla vyrobena netkaná textilie z polyesterových (PET) vláken FILL WELL 093. S jemností 5,3dtex a délce 60mm.

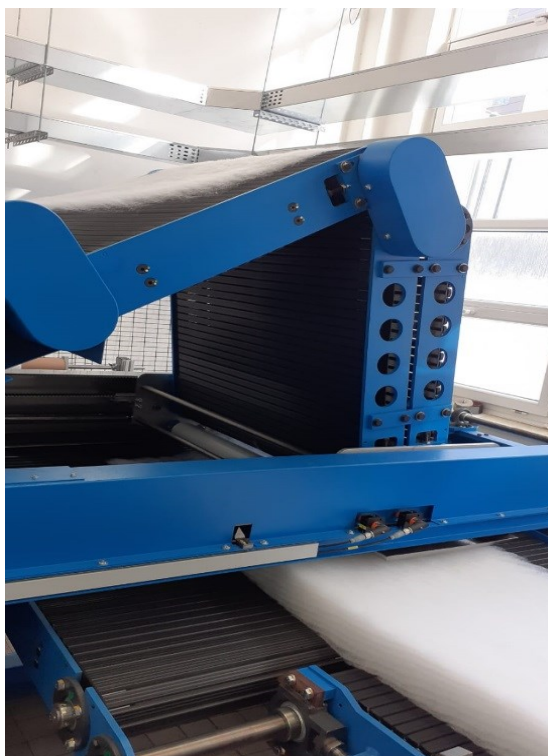
4.1 Výroba experimentální geotextilie

V první části experimentu probíhala na vpichovací lince DILO-FT-007, která se skládá z několika vzájemně propojených technologických celků. Po otevření balíku s vlákny se vlákna vloží do rozvolňovacího a dávkovacího zařízení. Dojde k rozvolnění vláknenných vloček a mísení v aerodynamických komorách. Promísená a očištěná vlákna jsou, kladena na pásový dopravník vzniká rouno na obrázku 24.



Obrázek 24: transport rouna do válcové mykačky.

Rouno je transportováno do válcového mykacího zařízení, kde dojde k napřímení a o jednocení vláken. Z vláken je vytvořena pavučina, která je dopravníkem přivedena k příčnému vertikálnímu kladeči. Jak vidíme na obrázku 25 pavučina je příčně kladena na pásový dopravník a transportována do vpichovacího zařízení.



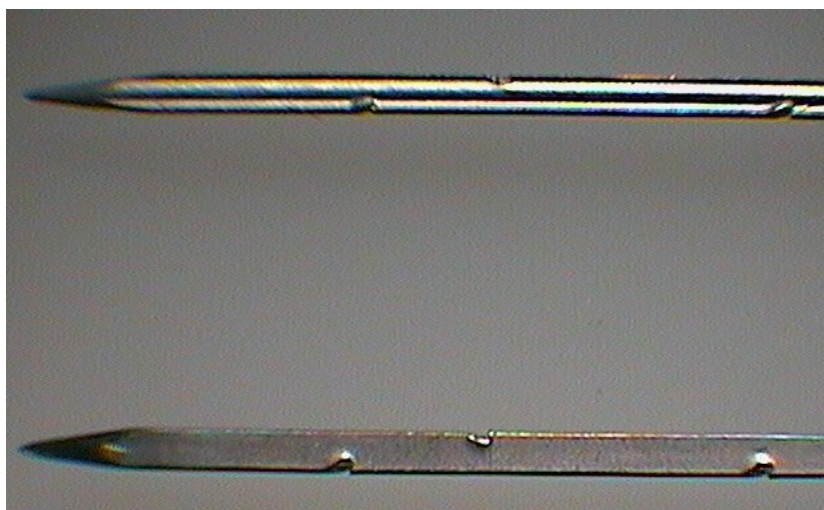
Obrázek 25: příčný vertikální kladeč.

Vpichovací zařízení má dvě jehelní desky. První jehelní deska byla osazena jedním typem jehel TriStar 15x16x36x3, kterou vidíme na obrázku 26 z mikroskopu.



Obrázek 26: hrot jehly TriStar pod mikroskopem.

Druhá jehelní deska byla osazena dvěma typy jehel. Na pravé straně 4-EcoStar 15x18x40x3, na levé straně 3-Automotive 15x18x38x3 na obrázku 27. Byly vyrobeny čtyři netkané textilie o hustotě vpichů 200, 250, 300 a 350 vpichů na cm^{-2} . Ostatní parametry zůstali nezměněny.

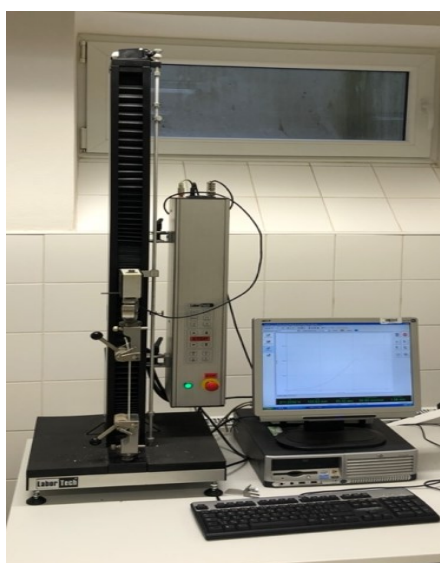


Obrázek 27: hrot jehly 4-Ecostar nahoře, hrot jehly 3-Automotive dole.

4.2 Testování pevnosti a tažnosti

Z jednotlivých vzorků netkaných textilií byly připraveny vzorky pro měření pevnosti a tažnosti podle normy EDANA 20.2-89. Jedna sada vzorků po pěti kusech ve směru CD a jedna sada vzorků po pěti kusech ve směru MD. Vzorky měly šířku 50 mm a délku 200 mm. Celkem se testovalo šestnáct sad vzorků.

Sady vzorků byly testovány na pevnost a tažnost v laboratoři Katedry netkaných textilií na trhacím stroji LabTest 4.050 na obrázku 28.



Obrázek 28: trhací stroj LabTest 4.050.

Přístroj je vybaven jednou pevnou a jednou posuvnou samosvornou čelistí vidíme na obrázku 29. Pruh netkané textilie byl upnut do samosvorných kleští a byl zahájen proces napínání.

Upínací délka byla 100 mm a rychlost pohybu čelistí byla 100 mm/min. Naměřené hodnoty byly přenášeny do počítačového systému včetně grafického znázornění. Test byl pro přesnost prováděn pětkrát u každého vzorku netkané textilie. Naměřené hodnoty jsou součástí přílohy této práce.



Obrázek 29: upínací čelisti trhacího stroje.

4.3 Vyhodnocení pevnosti,tažnosti

Trhací zkoušky netkaných textilií byly provedeny dle normy EDANA 20.2-89. Pro testování byly připraveny vzorky o rozměrech 200x50mm, rychlost posuvu čelistí byla 100 mm/min a vzdálenost čelistí byla 100 mm.

Při testu byly sledovány parametry maximální pevnosti v tahu F_{max} [N] a prodloužení při přetrhu A_{max} [mm].

Testované vzorky byly zkoušeny v podélném (MD) a příčném směru (CD), v každém směru bylo testováno pět vzorků. Naměřená data byla statisticky vyhodnocena.

Byl hodnocen aritmetický průměr,

$$\text{výběrový rozptyl } s^2 = \frac{1}{n-1} (x_i - \bar{x}). \quad (4)$$

$$\text{Směrodatná odchylka } s = \sqrt{s^2}. \quad (5)$$

$$\text{Variační koeficient } v = \frac{s}{\bar{x}} \cdot 10^2. \quad (6)$$

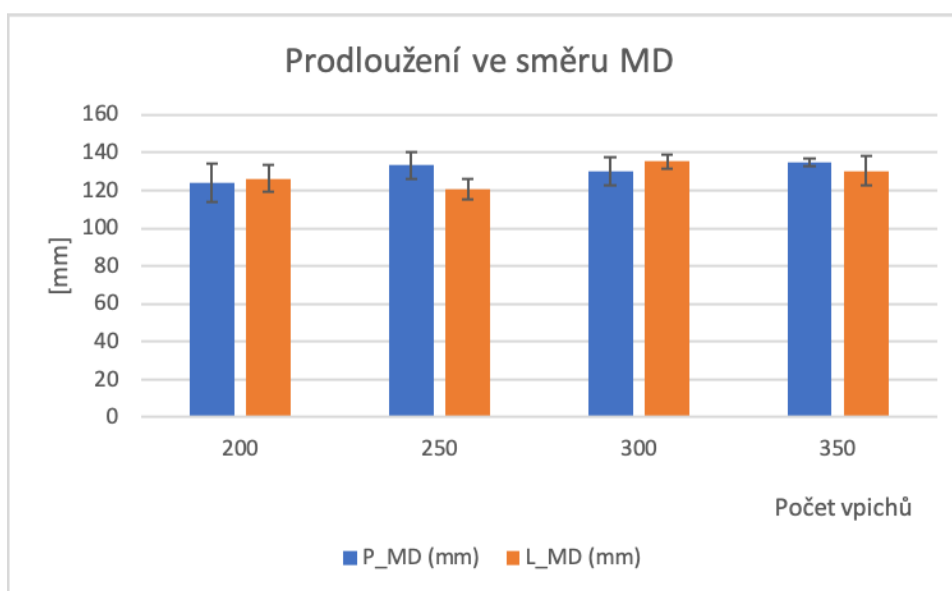
$$\text{95\% interval spolehlivosti } IS = \bar{x} \pm t(n-1) \cdot \frac{s}{\sqrt{n}}. \quad (7)$$

V tabulkách 1, 2, 4 a 5 jsou uvedeny hodnoty testovaných parametrů. Za každou tabulkou následuje graf s průměrnými křivkami zkoušených netkaných textilií.

V tabulkách 3 a 6 jsou statisticky shrnuty naměřené hodnoty prodloužení a pevnosti u zkoušených netkaných textilií.

Tabulka 1: prodloužení ve směru MD.

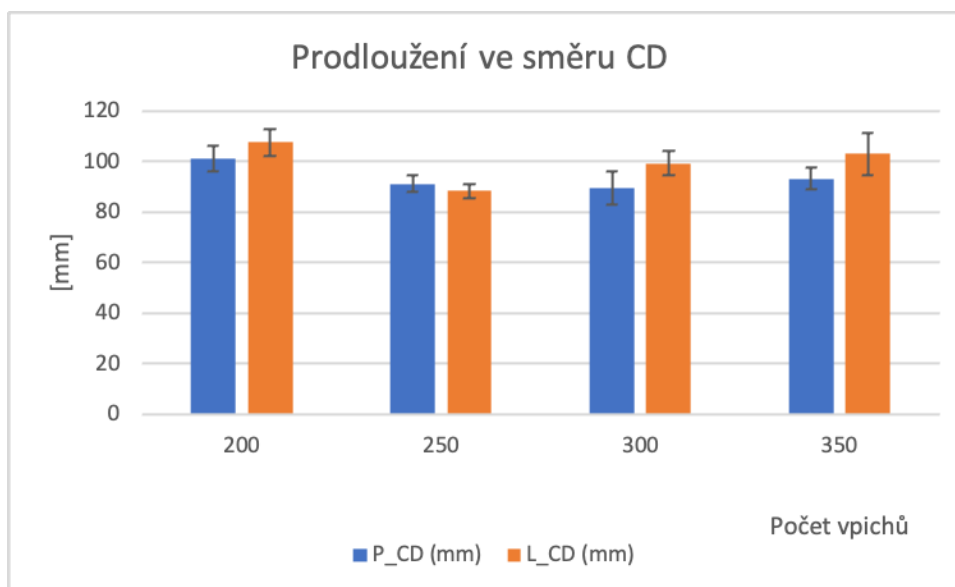
Počet vpichů	P_MD [mm]	L_MD [mm]	Směrodatná odchylka P_MD	Směrodatná odchylka L_MD
200	124,24	126,35	10,21	7,18
250	133,29	120,52	7,09	5,28
300	130,09	135,17	7,5	3,95
350	134,58	130,2	2	7,85



Graf 1: prodloužení ve směru MD.

Tabulka 2: prodloužení ve směru CD.

Počet vpichů	P_CD [mm]	L_CD [mm]	Směrodatná odchylka P_CD	Směrodatná odchylka L_CD
200	101,07	107,73	5,01	5,33
250	91,21	88,3	3,24	2,86
300	89,47	99,33	6,4	4,84
350	93,29	103,08	4,26	8,46



Graf 2: prodloužení ve směru CD.

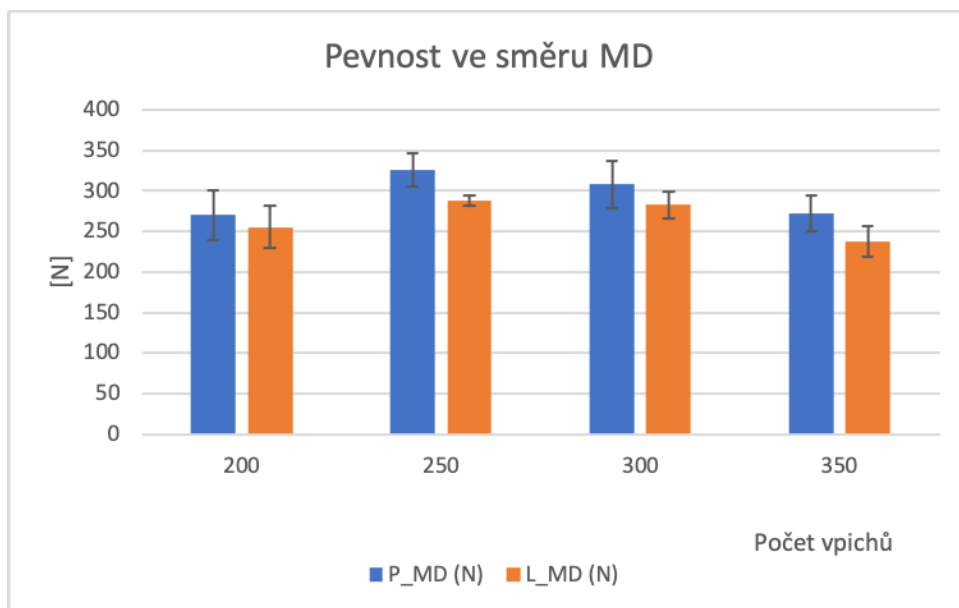
Z grafů vyplývá, že použitím jehel typu 3-Automotive osazených na levé straně byla vyrobena netkaná textilie s mírně vyšší tažností než u jehel typu 4-EcoStar osazených na pravé straně. Kromě NT zpevněné 250 vpichy je tento trend opačný. U této NT se také projevil nejmenší rozptyl měření a to na pravé i levé straně. Prodloužení bylo větší ve směru MD než ve směru CD.

Tabulka 3: statistika prodloužení.

Vzorek	Počet vzorků	Průměr [mm]	Směrodatná odchylka[mm]	Variační koeficient [%]	IS 95 % [mm]
200 L MD	5	126,35	7,18	5,7	⟨117,4;135,3⟩
200 P MD	5	124,24	10,21	8,22	⟨111,5; 136,9⟩
200 L CD	5	107,73	5,33	4,95	⟨101,1; 114,4⟩
200 P CD	5	101,07	5,01	4,96	⟨94,8; 107,4⟩
250 L MD	5	120,52	5,28	4,38	⟨113,9; 127,1⟩
250 P MD	5	133,29	7,09	5,32	⟨124,5; 142,1⟩
250 L CD	5	88,03	2,86	3,25	⟨84,5; 91,6⟩
250 P CD	5	91,21	3,24	3,55	⟨87,2; 95,2⟩
300 L MD	5	135,17	3,95	2,96	⟨130,3; 140,1⟩
300 P MD	5	130,09	7,5	5,77	⟨120,8; 139,4⟩
300 L CD	5	99,33	4,84	4,87	⟨93,3; 105,4⟩
300 P CD	5	89,47	6,4	7,15	⟨81,5; 97,4⟩
350 L MD	5	130,2	7,85	6	⟨120,4; 140⟩
350 P MD	5	134,58	2	1,45	⟨132,1; 137,1⟩
350 L CD	5	103,08	8,46	8,2	⟨92,6; 113,6⟩
350 P CD	5	93,29	4,26	4,57	⟨88; 98,6⟩

Tabulka 4: pevnost ve směru MD.

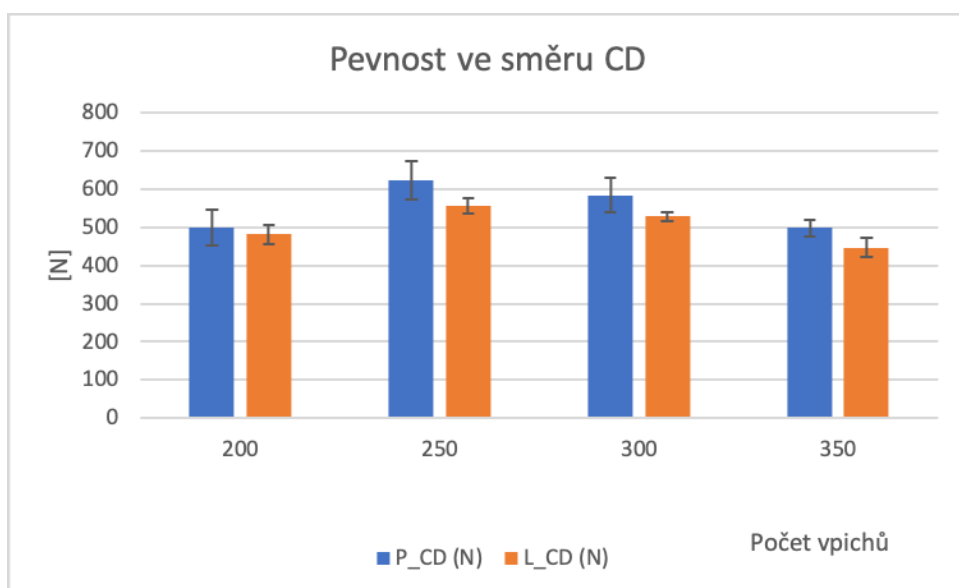
Počet vpichů	P_MD [N]	L_MD [N]	Směrodatná odchylka P_MD	Směrodatná odchylka L_MD
200	270,28	255,73	30,98	26,65
250	326,26	288,07	20,15	6,72
300	308,49	282,95	29,13	16,43
350	272,47	237,73	21,48	19,35



Graf 3: pevnost ve směru MD.

Tabulka 5: pevnost ve směru CD.

Počet vpichů	P_CD [N]	L_CD [N]	Směrodatná odchylka	
			P_CD	L_CD
200	499,47	481,37	45,79	23,73
250	622,83	555,31	50,84	20,04
300	584,43	529,26	44,34	12,1
350	498,82	446,67	22,47	24,66



Graf 4: pevnost ve směru CD.

Z grafů je patrné, že pravá strana zpevněná vypichovacími jehlami typu 4-EcoStar vykazuje vyšší pevnost, než levá strana zpevněná vypichovacími jehlami typu 3-Automotive. Pevnost roste lineárně v hodnotách 200 a 250 vpichů na cm⁻². Následně v hodnotách 300 a 350 vpichů na cm⁻² klesá. Tento trend je patrný jak ve směru MD, tak ve směru CD. A platí pro stranu L i stranu P.

Směr CD má vyšší pevnost než směr MD. Toto je způsobené orientací vláken v rounu, kdy ve směru CD jsou vlákna orientována podélně a tak lépe přenáší sílu a je plně využita jejich pevnost.

Jehly použité na pravé straně zpevňují netkanou textilií více, a to v obou směrech CD/MD, ale netkané textilie vykazují vyšší variabilitu naměřených hodnot. A to jak ve směru CD, tak ve směru MD.

Rozdíl v naměřených hodnotách pravé a levé strany je statisticky významný jak potvrzují hodnoty IS 95 %.

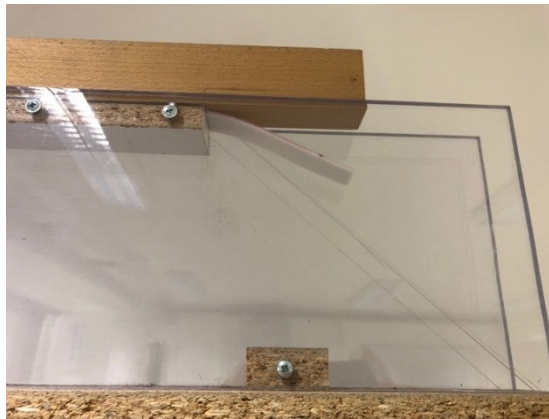
Tabulka 6: statistika pevnosti.

Vzorek	Počet vzorků	Průměr [N]	Směrodatná Odchylka [N]	Variační koeficient [%]	IS 95 % [N]
200 L MD	5	255,73	26,65	10,41	⟨222,6; 288,9⟩
200 P MD	5	270,28	30,98	11,46	⟨231,8; 308,8⟩
200 L CD	5	481,37	23,73	4,93	⟨451,9; 510,9⟩
200 P CD	5	499,47	45,79	9,17	⟨442,5; 556,4⟩
250 L MD	5	288,07	6,72	2,33	⟨279,7; 296,4⟩
250 P MD	5	326,26	20,15	6,18	⟨301,1; 351,3⟩
250 L CD	5	555,31	20,04	3,67	⟨530; 580,7⟩
250 P CD	5	622,83	50,84	8,16	⟨559,6; 686⟩
300 L MD	5	282,95	16,43	5,81	⟨262,5; 303,4⟩
300 P MD	5	308,49	29,13	9,44	⟨272,3; 344,7⟩
300 L CD	5	529,29	12,1	2,29	⟨514,3; 544,3⟩
300 P CD	5	584,43	44,34	7,59	⟨529,3; 639,6⟩
350 L MD	5	237,73	19,35	8,14	⟨213,7; 261,8⟩
350 P MD	5	272,47	21,48	7,88	⟨245,8; 299,2⟩
350 L CD	5	446,67	24,66	5,52	⟨416,1; 477,3⟩
350 P CD	5	498,82	22,47	4,5	⟨470,9; 526,8⟩

4.4 Testování ohybové tuhosti

V druhé části měření jsem testoval ohybovou tuhost netkaných textilií v laboratoři Katedry netkaných textilií. Podle normy EDANA BENDING LENGTH 502.80 byla připravena jedna sada vzorků po pěti kusech ve směru CD a jedna sada vzorků po pěti kusech ve směru MD. Vzorky měly šířku 25 mm a délku 250 mm. Celkem se testovalo šestnáct sad vzorků.

Testování se provádělo podle normy EDANA BENDING LENGTH 502.80, jedná se o metodu měření ohybové tuhosti netkané textilie. Při měření se každý ze vzorků netkané textilie vloží do zařízení a zatíží se měřicí lištou na obrázku 30.



Obrázek 30: měření ohybové tuhosti.

Ta se posouvá do doby, než se vzorek měřené netkané textilie vlastní vahou ohne a protne rysku pod úhlem $41,5^\circ$ na obrázku 31. Délka převisu se odečte z měřítka, takto získáme ohybovou délku. Ohybovou délku přepočteme na ohybovou tuhost podle vzorce $G = 0,10 \times g \times C^3 \text{ mg} \times \text{cm}$. (8)



Obrázek 31: měření ohybové tuhosti.

4.5 Vyhodnocení ohybové tuhosti

Zkouška ohybové tuhosti netkaných textilií byla provedena dle normy EDANA BENDING LENGTH 502. Pro testování jsem si připravil vzorky o rozměrech 250x25mm.

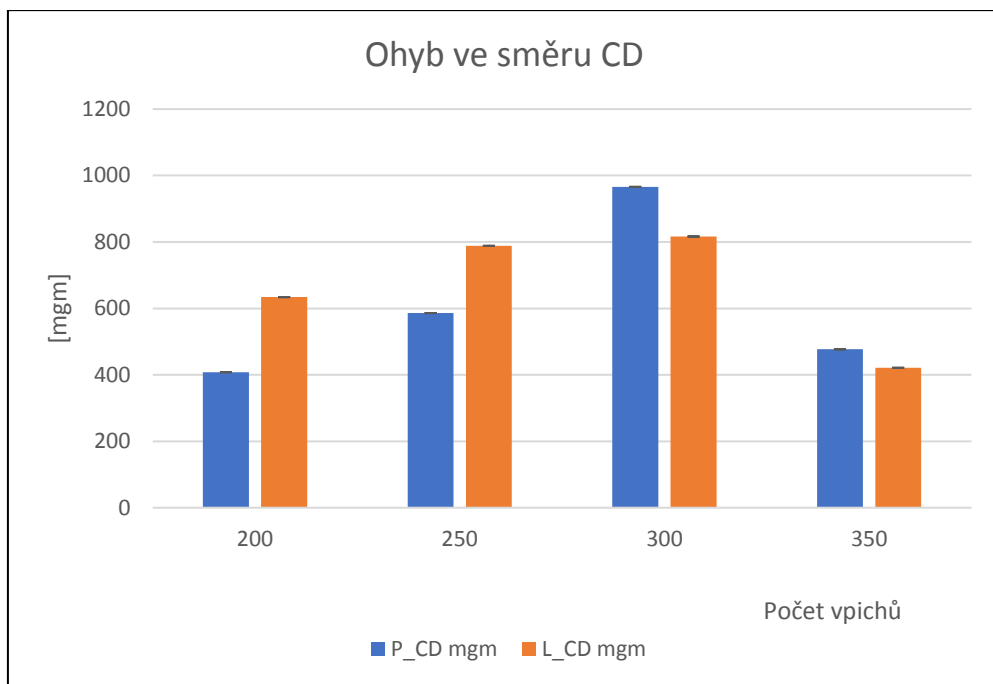
Při testu byly sledovány parametry ohybová tuhost G [mgm], plošná měrná hmotnost g [$g.m^2$] a ohybová délka C [cm].

Testované vzorky byly zkoušeny v podélném (MD) a příčném směru (CD), v každém směru bylo testováno pět vzorků. Naměřená data byla statisticky vyhodnocena (průměrná hodnota, směrodatná odchylka, variační koeficient, interval spolehlivosti).

V tabulkách 7 a 8 jsou uvedeny hodnoty testovaných parametrů včetně směrodatné odchylky měření. Za každou tabulkou následuje graf s průměrnými křivkami zkoušených netkaných textilií.

Tabulka 7: ohyb ve směru CD.

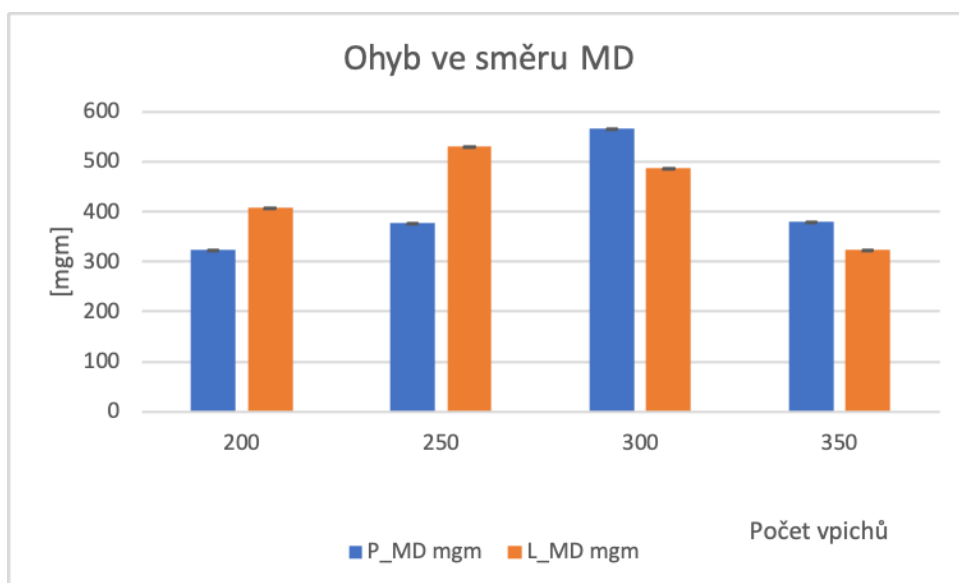
Počet vpichů	P_CD mgm	L_CD mgm	Směrodatná odchylka	Směrodatná odchylka
			P_CD	L_CD
200	407,8	633,8	0,048	0,068
250	585,9	788,4	0,024	0,017
300	965,9	816,4	0,068	0,014
350	476,7	421,3	0,099	0,074



Graf 5: ohyb ve směru CD.

Tabulka 8: ohyb ve směru MD.

Počet vpichů	P_MD mgm	L_MD mgm	Směrodatná odchylka	Směrodatná odchylka
			P_MD	L_MD
200	322,8	407,8	0,076	0,003
250	377,9	531,5	0,197	0,003
300	565,7	486,9	0,021	0,095
350	380,2	323,8	0,25	0,053



Graf 6: ohyb ve směru MD.

Z grafů je patrné, že jehly typu 3-Automotive osazené na levé straně zpevnily netkanou textilií tak, že v konečném výsledku měla vyšší ohybovou tuhost. Což znamená, že byla méně splývavá než netkaná textilie zpevněná jehlami 4-EcoStar osazenými na pravé straně.

Tento trend platí při počtu 200 a 250 vpichů na cm^{-2} , ale u počtu 300 a 350 vpichů na cm^{-2} se tento trend obrátil.

Z výsledků měření vyplývá, že netkaná textilie zpevněná jehlami osazenými na levé straně vykazuje menší směrodatnou odchylku.

5 Diskuze výsledků

Z naměřených hodnot vyplývá, že nejlepších hodnot pevnosti je dosaženo při počtu 250 vpichů na cm^{-2} . Pevnost roste jak ve směru CD, tak ve směru MD a tento trend platí pro všechny typy vpichovacích jehel.

Pevnost roste lineárně a nad výše uvedenou hodnotou vpichů dochází k jejímu poklesu. Trend poklesu je také lineární, ale pevnost netkané textilie zpevněné 300 vpichy na cm^{-2} je větší než u netkané textilie zpevněné 200 vpichy na cm^{-2} , a to v obou směrech CD/MD.

Z průběhu testů vychází hodnota 250 vpichů na cm^{-2} jako mezní hodnota. Nad touto hodnotou je množství přeorientovaných vláken vypichovacími jehlami tak velké, že dojde k poklesu pevnosti. Z tohoto zjištění vyplývá, že optimální hladina pevnosti testovaných netkaných textilií leží mezi hodnotou 250–300 vpichů na cm^{-2} .

Vpichovací jehly 4-EcoStar osazené na pravé straně dokáží při stejném počtu vpichů lépe zpevnit netkanou textilií, než jehly 3-Automotive osazené vlevo. Textilie zpevněná jehlami 4-EcoStar osazenými na pravé straně, ale vykazuje větší variabilitu dat při měření pevnosti. To znamená, že textilie zpevněné tímto typem jehel vykazovaly v pěti měřených vzorcích větší odchylky pevnosti než netkané textilie zpevněné jehlami 3-Automotive osazenými na levé straně při shodném počtu měření.

Jehly typu 3-Automotive jsou schopné zpevnit netkanou textilií s menšími odchylkami v pevnosti. Z toho plyne, že produkovaly kvalitnější netkanou textilií, než jehly 4-EcoStar. Tento trend je možné pozorovat jak pro směr CD tak MD.

Tyto závěry potvrzují i výsledky měření prodloužení, kde netkaná textilie zpevněná jehlami 3-Automotive vykazuje větší tažnost. Naměřená směrodatná odchylka je také nižší.

U ohybové tuhosti je patrné, že jehly typu 3-Automotive osazené na levé straně zpevnily netkanou textilií tak, že v konečném výsledku měla vyšší ohybovou tuhost. Byla tedy méně splývavá než netkaná textilie zpevněná jehlami 4-EcoStar osazenými na pravé straně.

Tento trend platí při počtu 200 a 250 vpichů na cm^{-2} , ale u počtu 300 a 350 vpichů na cm^{-2} se tento trend obrátil.

I u tohoto měření se potvrdilo, že netkaná textilie zpevněná jehlami osazenými na levé straně vykazuje menší směrodatnou odchylku.

Závěrem lze říci, že jehly 3-Automotive jsou z pohledu kvality výrobku vhodnější pro použitá vlákna. Vykazují sice menší schopnost zpevnění netkané textilie, ale mají vyšší schopnost udržet stejné hodnoty pevnosti a tažnosti. V celé délce a šířce výrobku, a to jak ve směru CD, tak MD. Tím vytvářejí kvalitativně lepší netkanou textilií s menšími odchylkami ve sledovaných parametrech.

6 Závěr

Tato bakalářská práce se zabývá studiem vpichovaných netkaných textilií. Byl zkoumán vliv vpichovacích jehel a hustota vpichů na cm^{-2} na pevnost, tažnost a ohybovou tuhost u vyrobených netkaných textilií.

V teoretické části byla provedena rešerše zaměřená na popis technologie výroby vpichovaných netkaných textilií. Detailně byl popsán proces mykání, kladení vlákenné vrstvy a její zpevnění pomocí technologie vpichování. Využití takto vyrobených netkaných textilií ve stavebnictví, pro různé technologické účely.

V experimentální části byla vyrobena netkaná textilie a zpevněna různou hustotou vpichování 200, 250, 300 a 350 vpichů na cm^{-2} . Detailněji popsán experimentální vpichovací stroj včetně typů jehel a jejich osazení na jehelních deskách. Dále byla popsána metodika testování netkaných textilií na pevnost, tažnost a ohybovou tuhost.

Z naměřených dat se podařilo potvrdit závislost pevnosti, tažnosti a ohybové tuhosti na hustotě vpichů na cm^{-2} .

Vpichovací jehly použité v experimentu ovlivnily odlišným způsobem měřené hodnoty. Větších pevností bylo dosaženo u jehel použitých na pravé straně, ale jehly použité na levé straně vykazují menší odchylky v měřených datech.

Bylo by zajímavé dále zkoumat a vypracovat experiment proč dochází u netkané textilie zpevněné jehlami typu 4-EcoStar k výrazně větší odchylce v měřených hodnotách. V porovnání s netkanou textilií zpevněnou jehlami 3-Automotive.

7 Seznam použité literatury

- [1] JIRSÁK, Oldřich a Klára KALINOVÁ. Netkané textilie [online]. Liberec: Technická univerzita, 2003 [cit. 2021-03-17]. ISBN isbn80-7083-746-2.
- [2] SVOBODA, Luboš. Stavební Hmoty [online]. 4rd edition. Praha: Dům "U staré podkovy", 2018 [cit. 2021-03-15]. ISBN ISBN 978-80-260-4972-2.
- [3] RUSSELL, S. J. Handbook of nonwovens [online]. Woodhead Publishing Limited, 2007 [cit. 2021-03-17]. ISBN 978-1-85573-603-0.
- [4] MILITKÝ, Jiří. Textilní vlákna: klasická a speciální. V Liberci: Technická univerzita, c2012. ISBN 978-80-7372-844-1.
- [5] ŠUTA, Miroslav. Chemické látky v životním prostředí a zdraví. Brno: ZO ČSOP Veronica, 2008. ISBN isbn978-80-87308-00-4.
- [6] DANIELCZYK, Piotr. Parametric optimization with the use of numerically efficient finite element models. Advances in Mechanical Engineering [online]. 2015, 7(11) [cit. 2021-03-23]. ISSN 1687-8140.
- [7] TUL Netkané textilie: Pracovní postavení válců při mykání [online]. In: . [cit. 2021-03-16]. Dostupné z: https://nanoed.tul.cz/pluginfile.php/1008/mod_resource/content/2/Netkan%C3%A9%20textilie-technologie1.pdf
- [8] ALBRECHT, W., Hilmar FUCHS, Walter KITTELMANN a J. LÜNENSCHLOSS. Nonwoven fabrics. [New, updated, extended ed.]. Weinheim: Wiley-VCH, 2003. ISBN 3-527-30406-1.

- [9] ALBRECHT, W., Hilmar FUCHS, Walter KITTELMANN a J. LÜNENSCHLOSS. Nonwoven fabrics. [New, updated, extended ed.]. Weinheim: Wiley-VCH, 2003. ISBN 3-527-30406-1.
- [10] RESLOVÁ, Jana. VLIV PROSTŘEDÍ PŮSOBÍCÍHO NA GEOTEXTILIE S OHLEDEM NA JEJICH MECHANICKÉ VLASTNOSTI: Diplomová práce. *Tul.cz* [online]. 2016, 2016 [cit. 2021-3-17]. Dostupné z: <https://dspace.tul.cz/handle/15240/25061>
- [11] Příčný kladeč. In: ResearchGate [online]. [cit. 2021-03-20]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/figure/Cross-lapping-of-webs_fig7_321028459
- [12] Příčný kladeč: Nonwoven Belts. In: Forbo Movement Systems [online]. [cit. 2021-03-20]. Dostupné z: <https://www.forbo.com/movement/en-cn/nonwoven-clothing/nonwoven-belts/p9gomb>
- [13] ANDRITZ, Linka na geotextilie. <https://www.andritz.com/nonwoven-textile-en> [online]. [cit. 2021-03-16]. Dostupné z: <https://www.andritz.com/nonwoven-textile-en/technologies/needlepunch/nexline-needlepunch-access-range>
- [14] Textile Apex: Vpichování [online]. [cit. 2021-03-16]. Dostupné z: <https://textileapex.blogspot.com/2014/09/needle-punching-method-nonwoven.html>
- [15] Delavare valley: Vpichování. <http://www.dvc500.com/index.html> [online]. [cit. 2021-03-16]. Dostupné z: <http://www.dvc500.com/needle-punched-fabrics.html>
- [16] Andritz, předvpichování, komprese mezi pásovými dopravníky. In: Andritz [online]. [cit. 2021-03-21]. Dostupné z: <https://www.andritz.com/products-en/group/nonwoven-textile/needlepunch/excelle-range/pre-needlelooms>
- [17] Groz-Beckert [online]. [cit. 2021-03-15]. Dostupné z: <https://www.groz-beckert.com/de/produkte/felting/filznadeln/>

[18] Úhel vlákna na vpichovací jehle. In: <https://www.groz-beckert.com> [online]. [cit. 2021-03-22]. Dostupné z: https://www.groz-beckert.com/mm/media/de/web/pdf/EcoStar_felting_needle.pdf

[19] MIDHA, Vinay Kumar. Bulk and Physical Properties of Needle punched Nonwoven Fabrics. In: ResearchGate [online]. National Institute of Technology, 2005, 30.06.2005 [cit. 2021-03-22]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/263657929_Bulk_and_Physical_Properties_of_Needle_punched_Nonwoven_Fabrics

[20] Animace ohnisková plstěná jehla [online]. In: . [cit. 2021-03-22]. Dostupné z: <https://www.groz-beckert.com/de/produkte/felting/filznadeln/>

[21] SHIN, Eun Chul, Jeong Ku KANG, Sung Hwan KIM a Jeong Jun PARK. Construction technology of environmental sustainable shore and harbor structures using stacked geotextile tube. KSCE Journal of Civil Engineering [online]. 2016, **20**(6), 2095-2102 [cit. 2021-03-21]. ISSN 1226-7988.

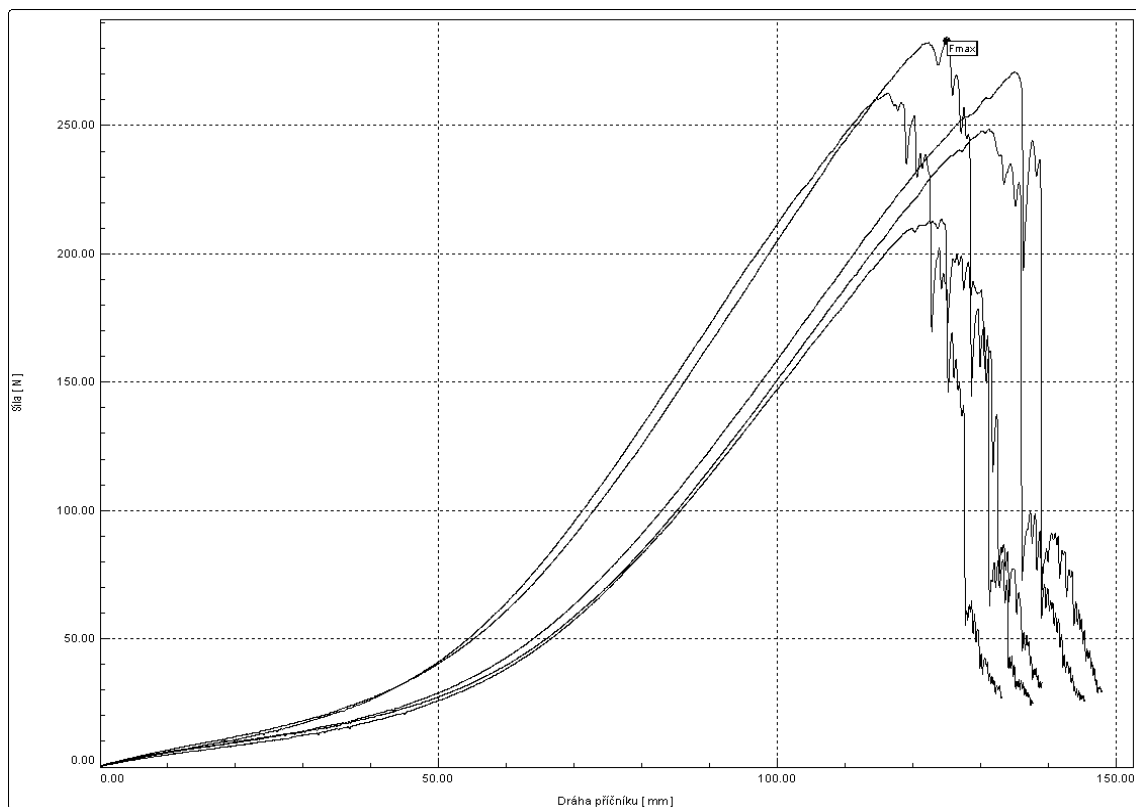
[22] SANYAL, Tapobrata. Jute Geotextiles and their Applications in Civil Engineering [online]. Singapore: Springer Singapore, 2017 [cit. 2021-03-22]. Developments in Geotechnical Engineering. ISBN 978-981-10-1931-9.

[23] ČESKÁ REPUBLIKA. Geosyntetika v zemním tělese pozemních komunikací: Technické podmínky. In: . Praha: Ministerstvo Dopravy, 2008, ročník 2008, 1003/08-910-IPK/1. Dostupné také z: http://www.pjpk.cz/data/USR_001_2_8_TP/TP_97.pdf

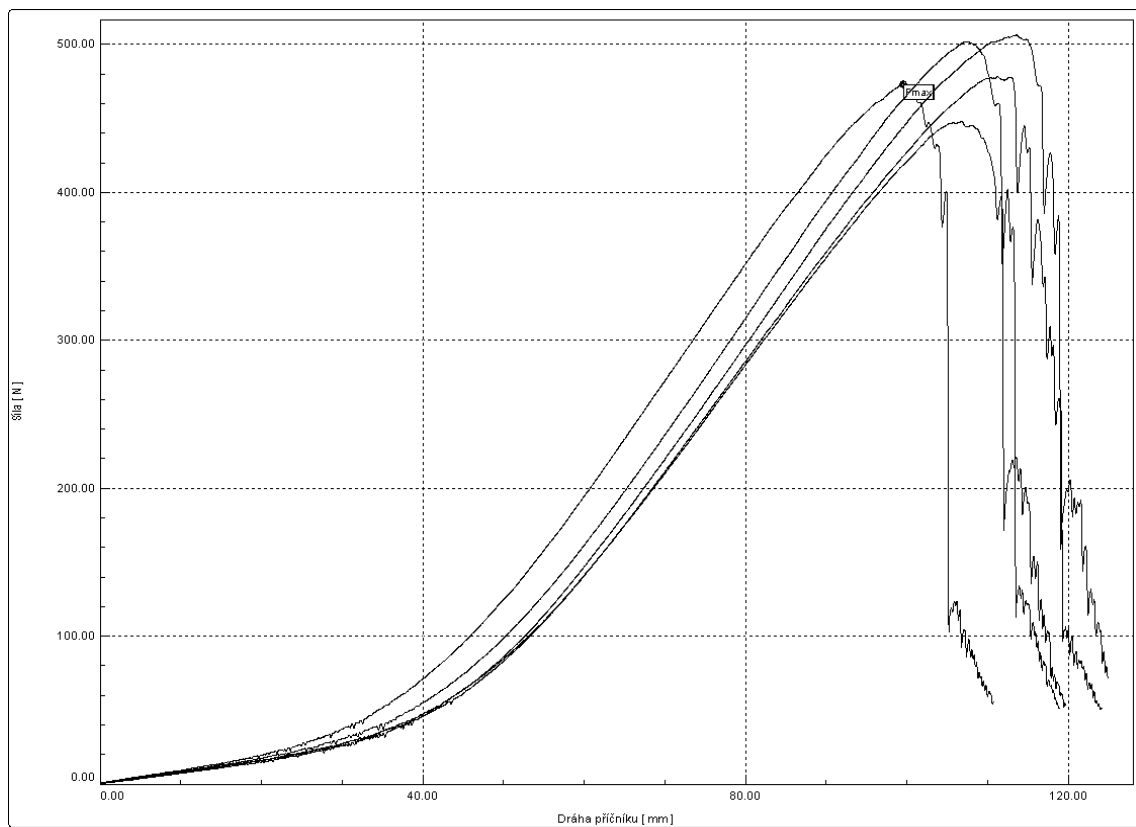
[24] LIN, Jia-Horng, Jing-Chzi HSIEH, Wen-Hao HSING, Yi-Jun PAN, Chien-Teng HSIEH, Hsueh-Jen TAN, Jia-Hsun LI a Ching-Wen LOU. Applications of geotextiles made of PET-filament-based nonwoven fabrics. Fibers and Polymers [online]. 2016, **17**(11), 1955-1962 [cit. 2021-03-23]. ISSN 1229-9197.

[25] WU, Hao, Chongkai YAO, Chenghan LI, Miao MIAO, Yujian ZHONG, Yuquan LU a Tong LIU. Review of Application and Innovation of Geotextiles in Geotechnical Engineering. Materials[online]. 2020, **13**(7) [cit. 2021-03-23]. ISSN 1996-1944.

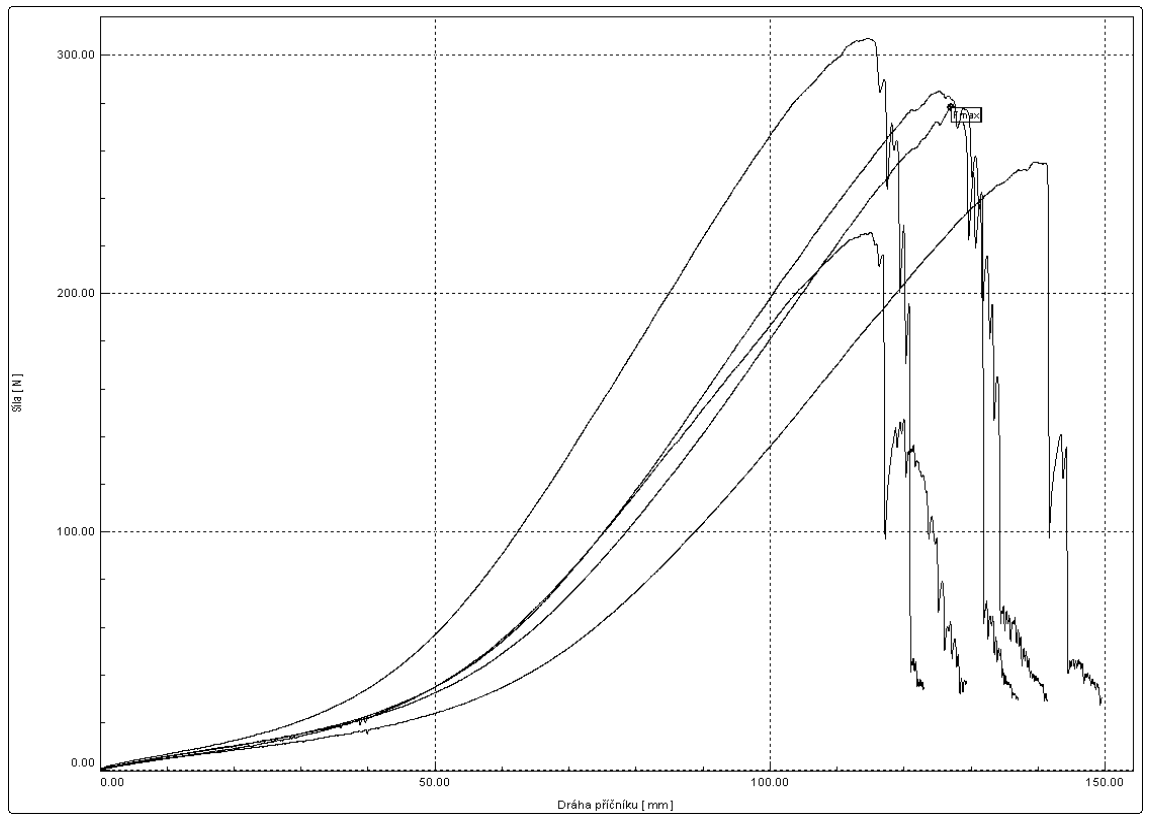
8 Přílohy



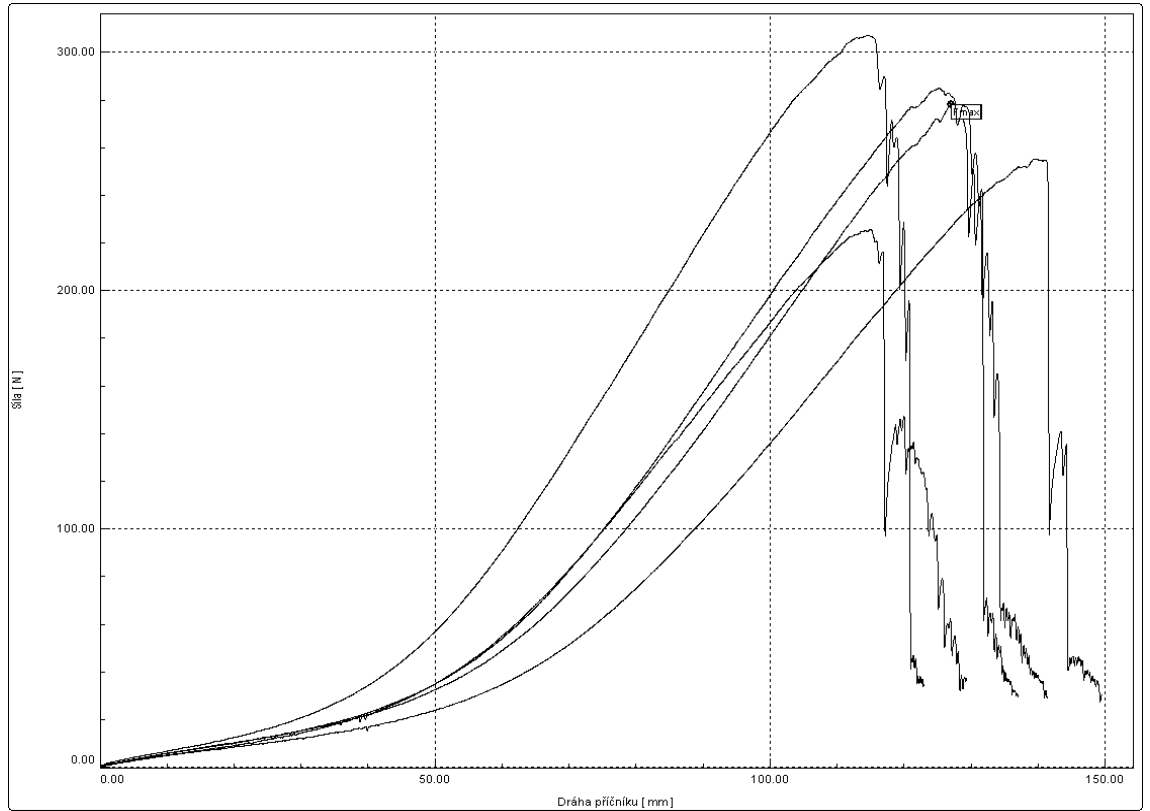
Graf 1: 200L_MD.



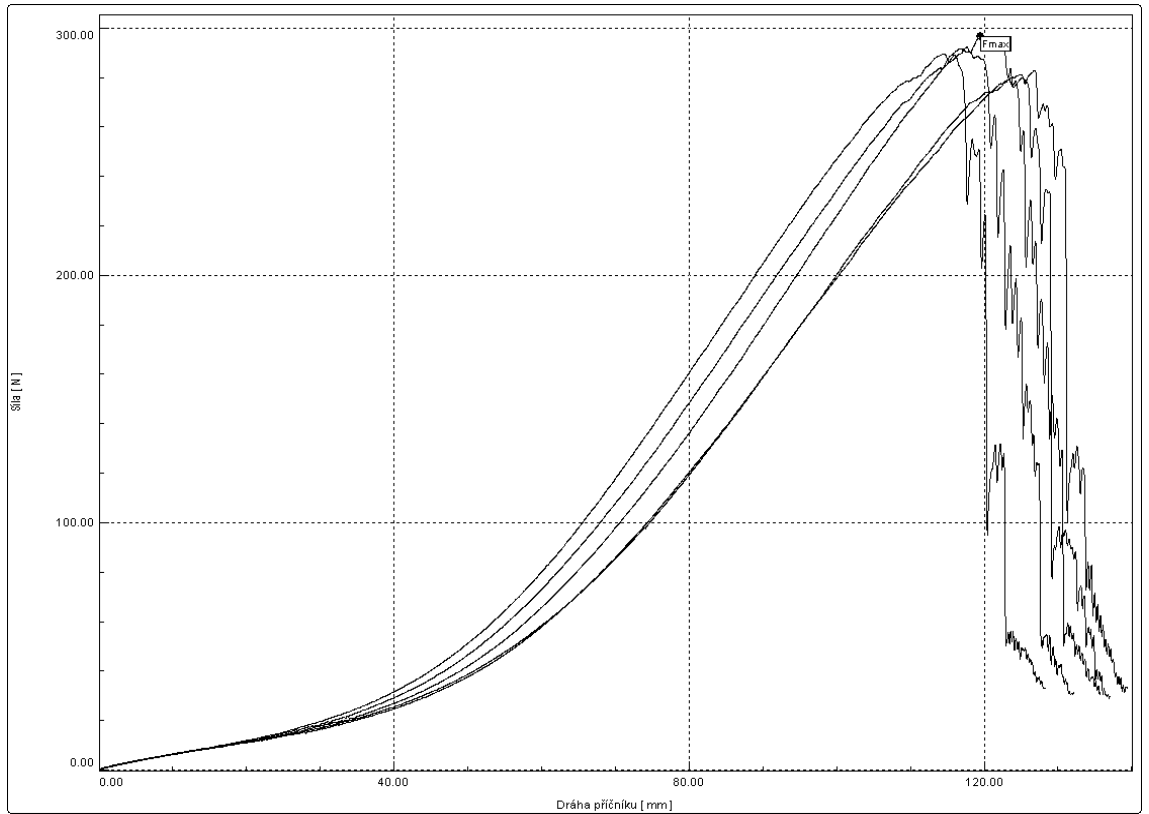
Graf 2: 200 L_CD.



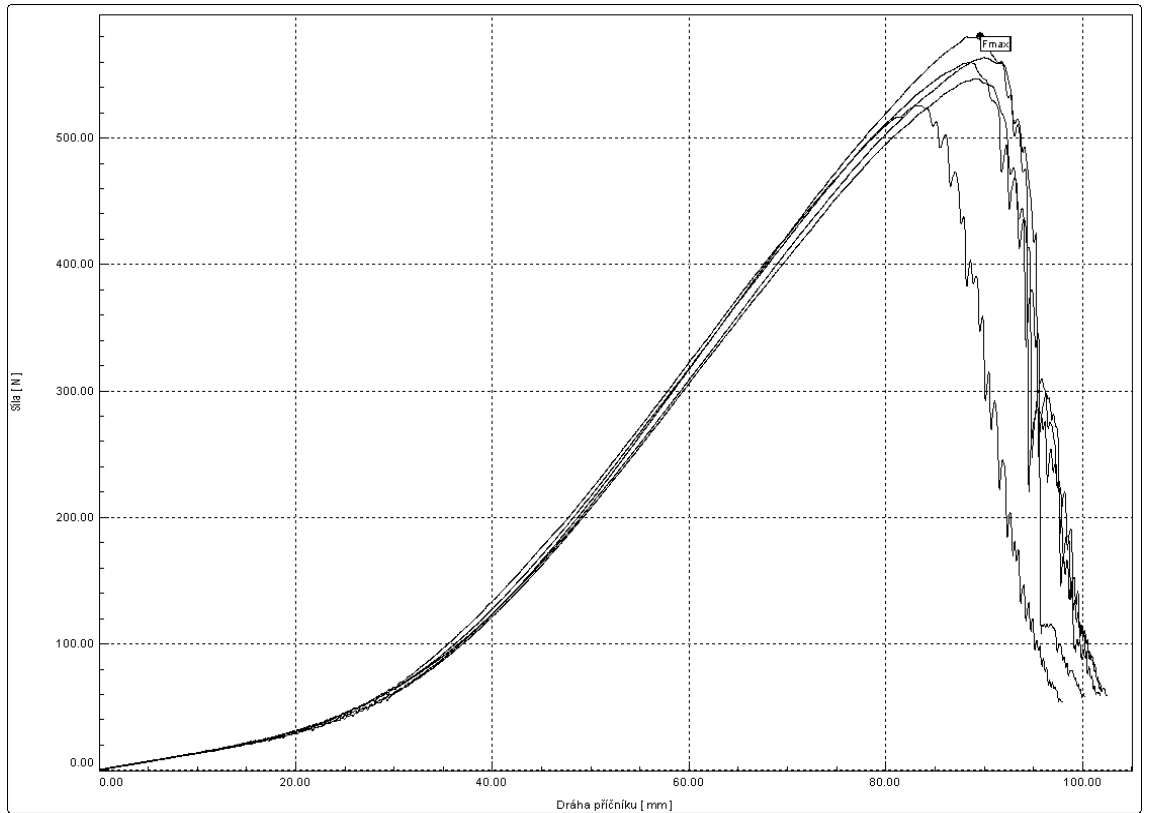
Graf 3: 200 P_MD.



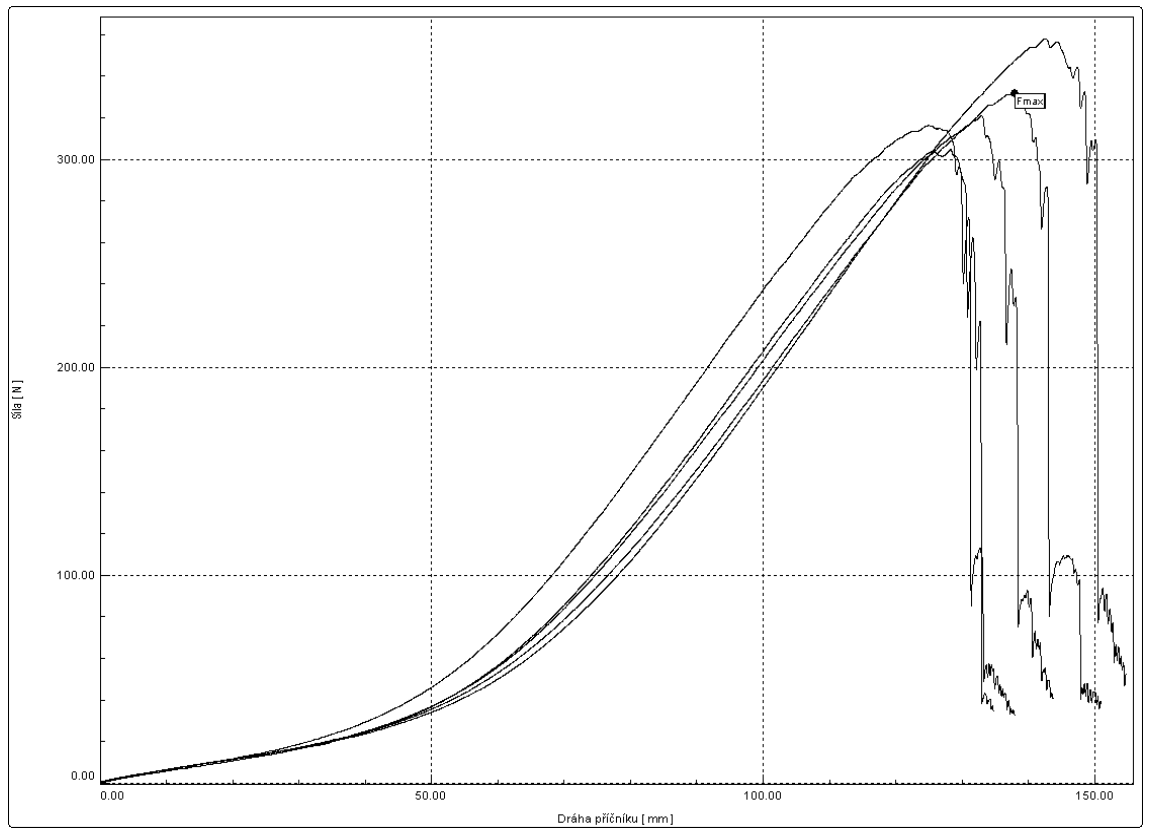
Graf 4: 200 P_CD.



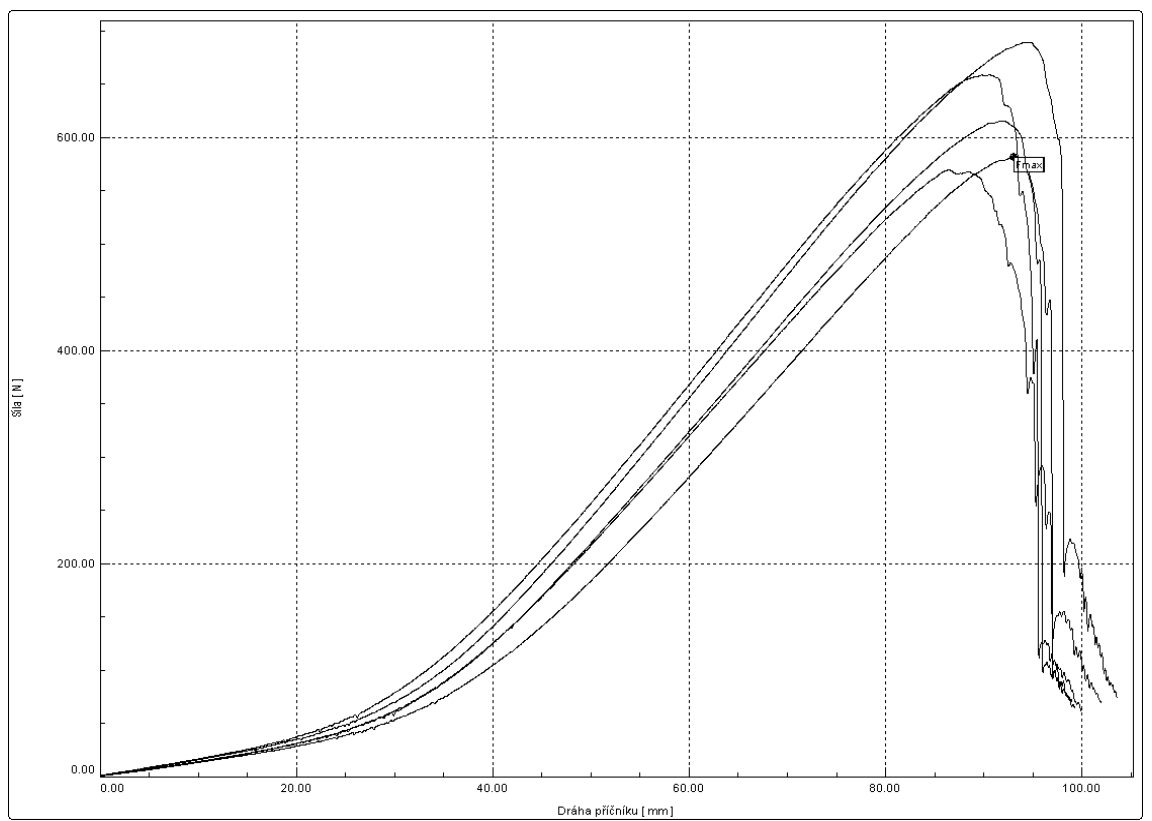
Graf 5: 250 L_MD.



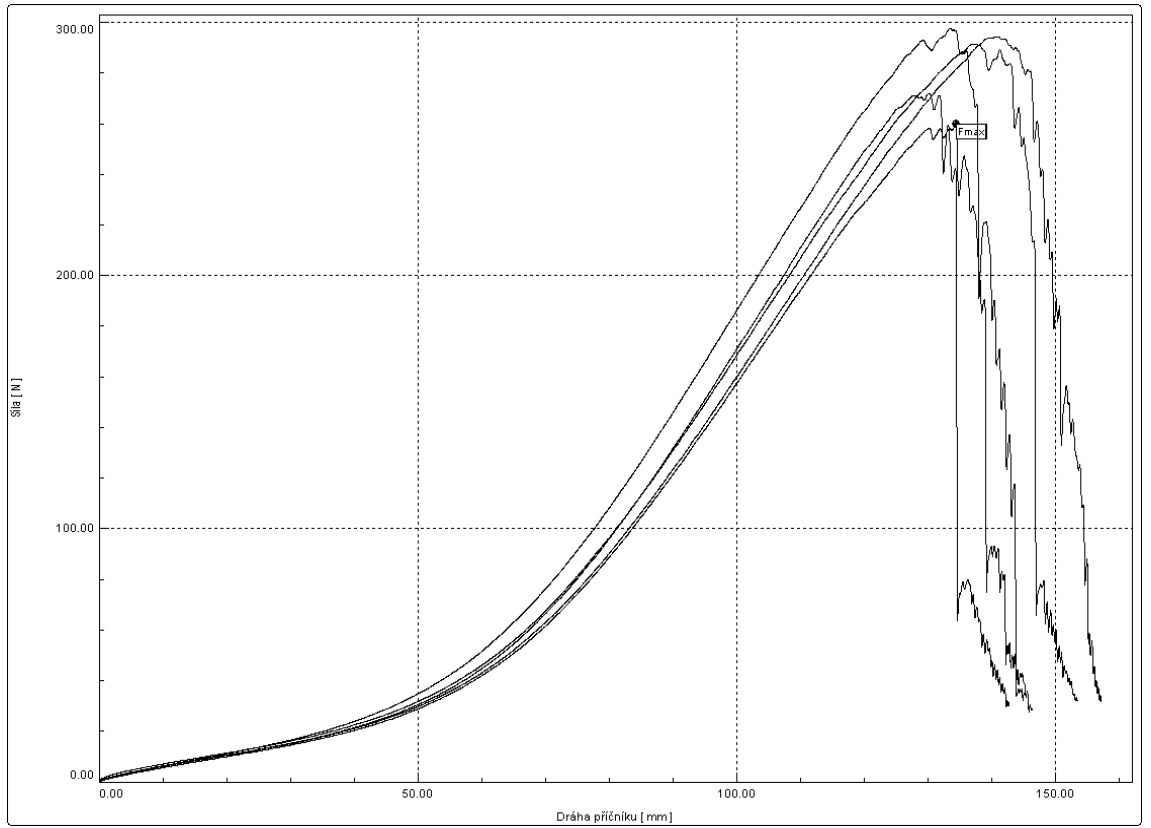
Graf 6: 250 L_CD.



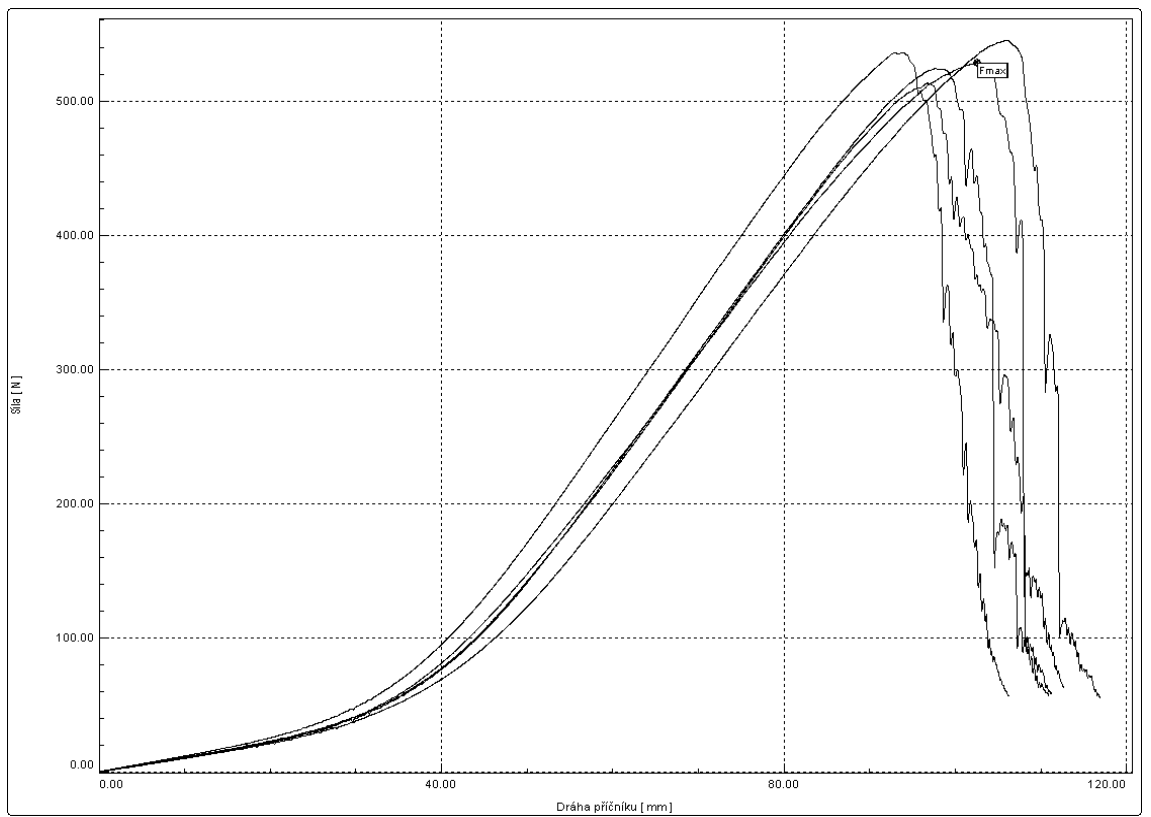
Graf 7: 250 P_MD.



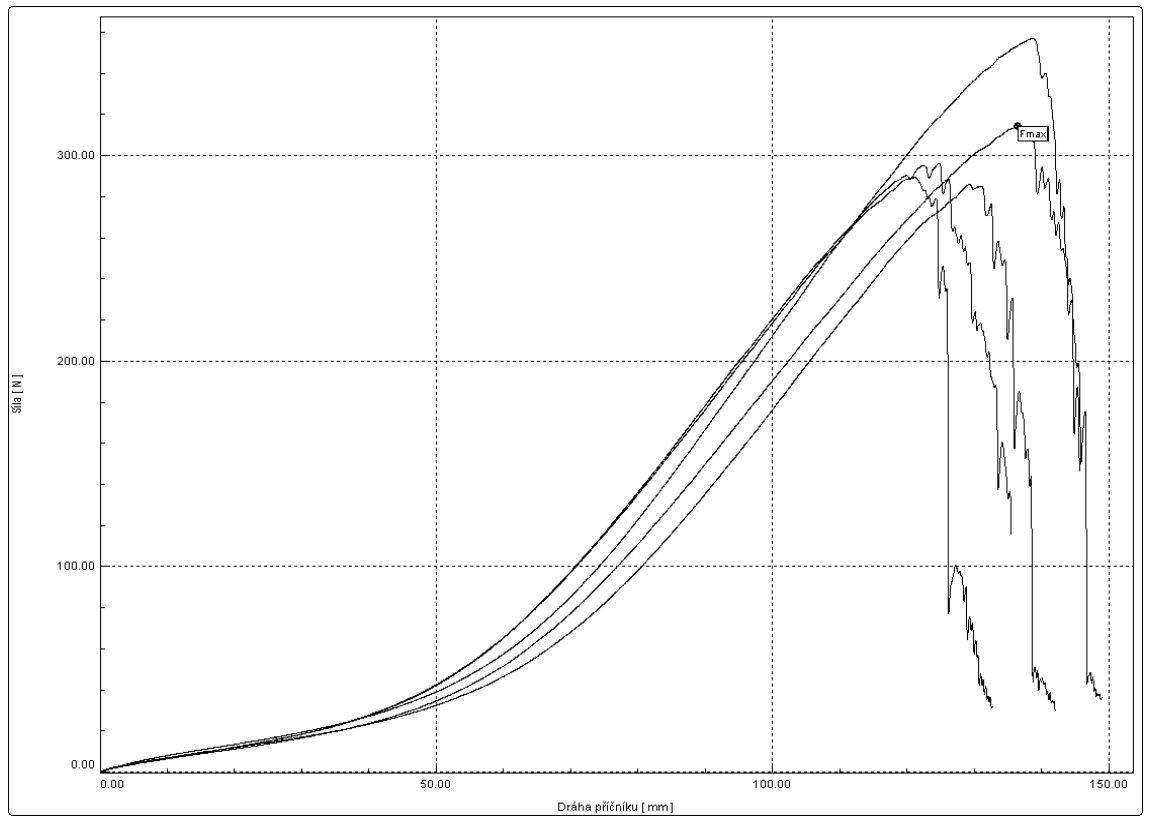
Graf 8: 250 P_CD.



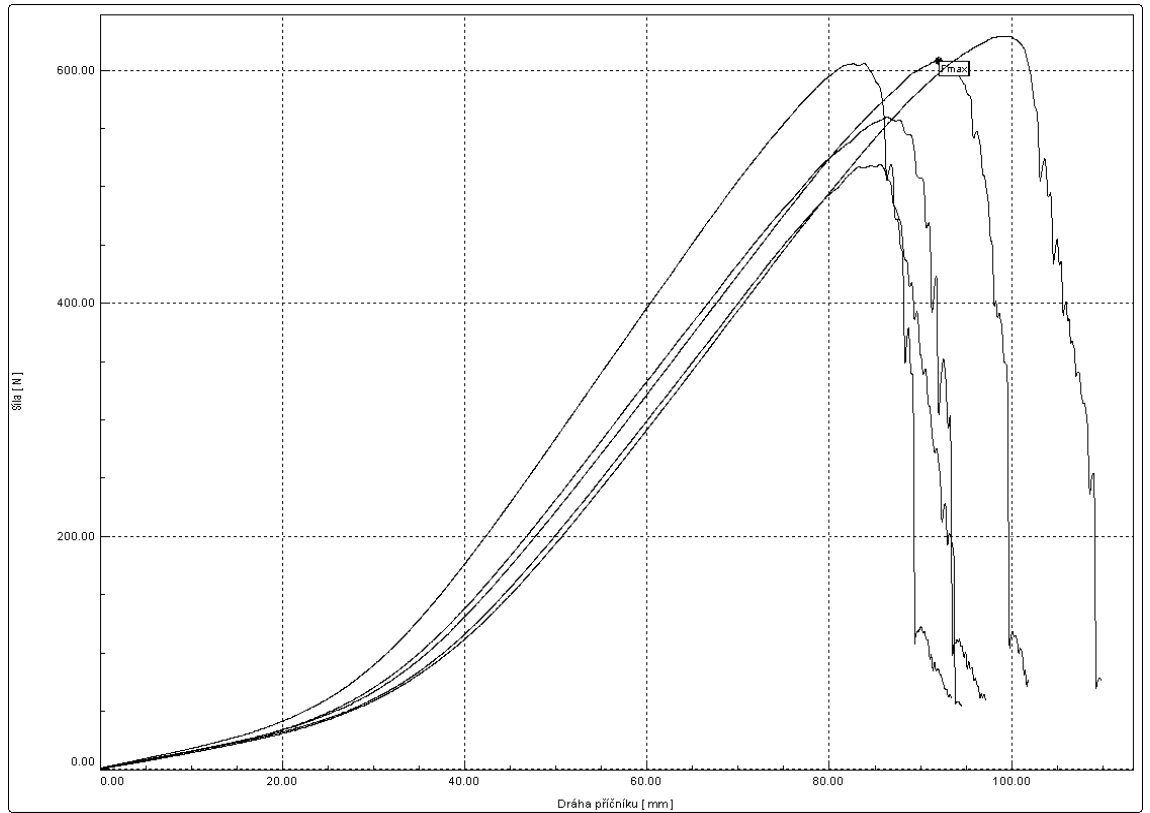
Graf 9: 300 L_MD.



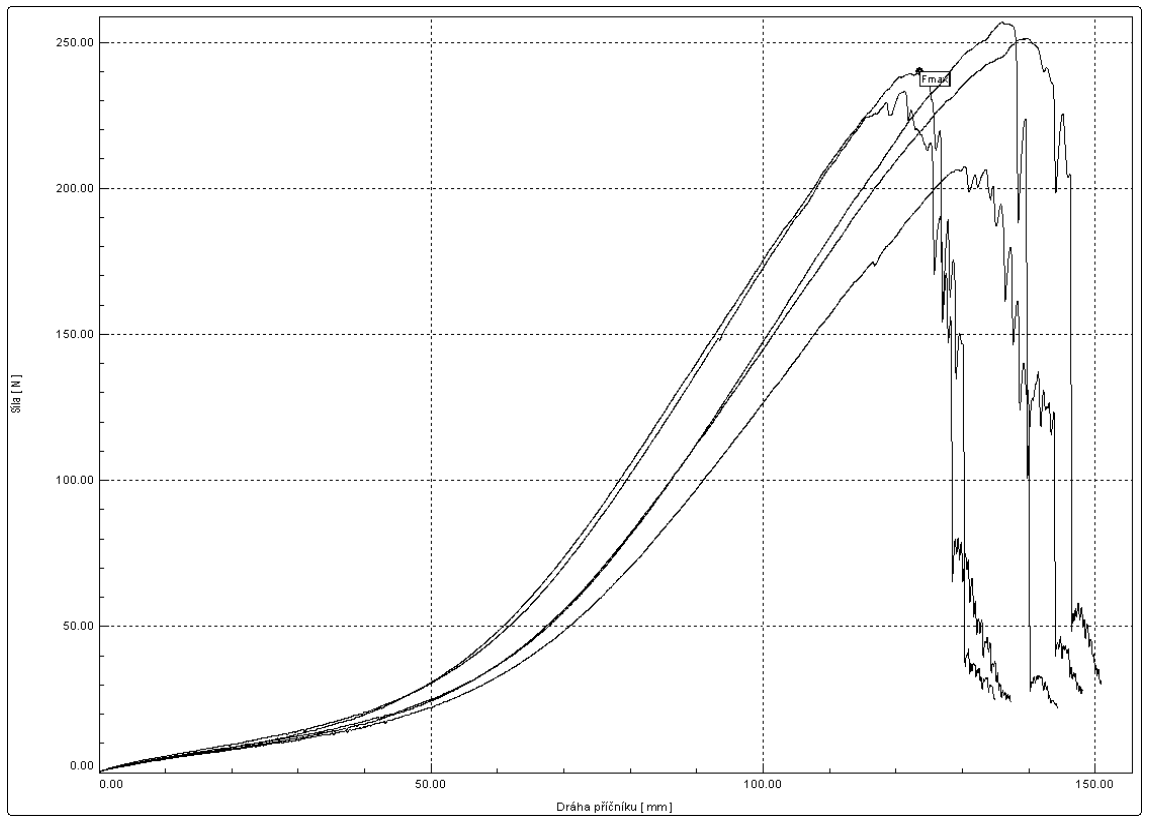
Graf 10: 300 L_CD.



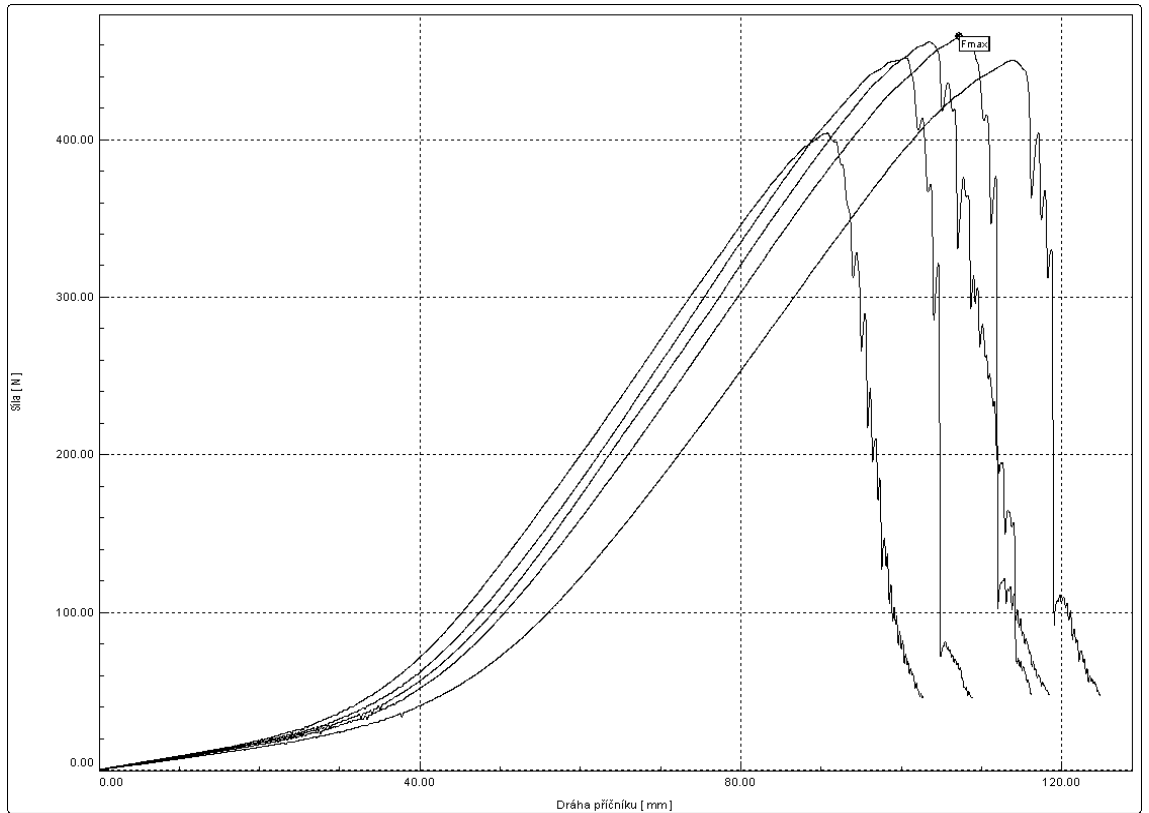
Graf 11: 300 P_MD.



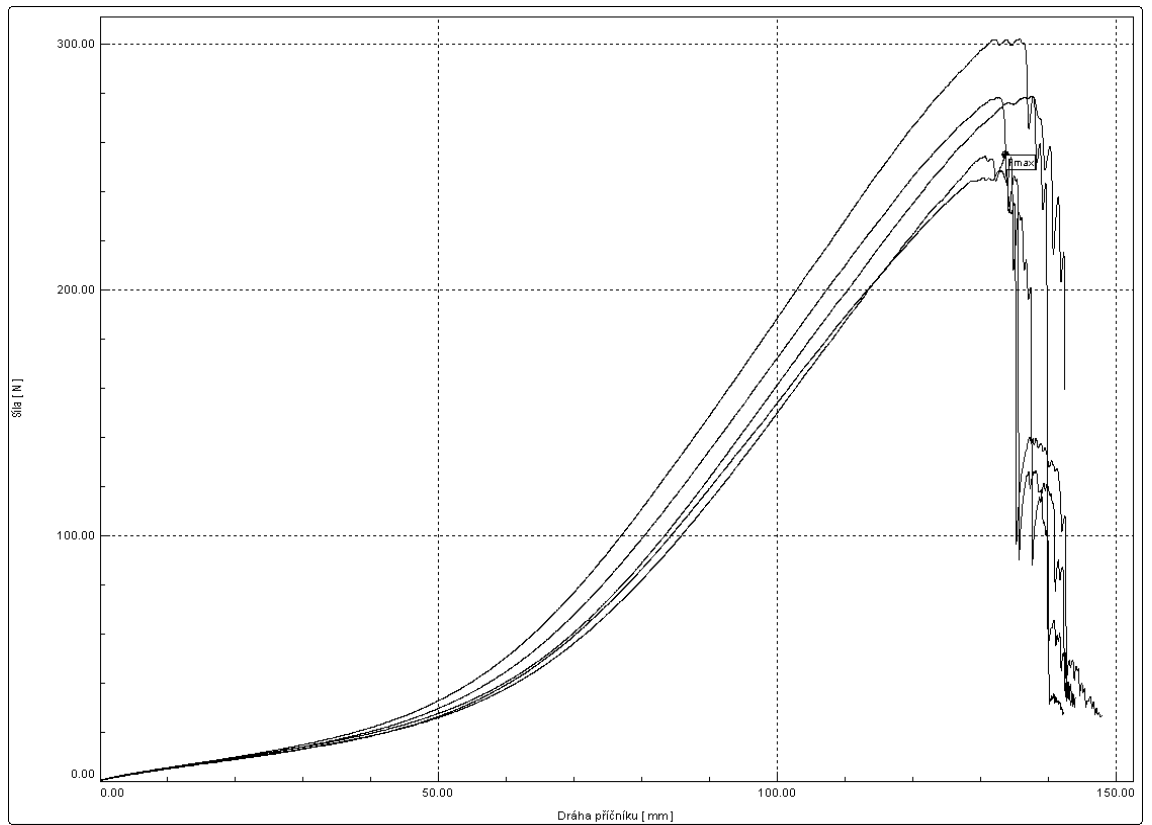
Graf 12: 300 P_CD.



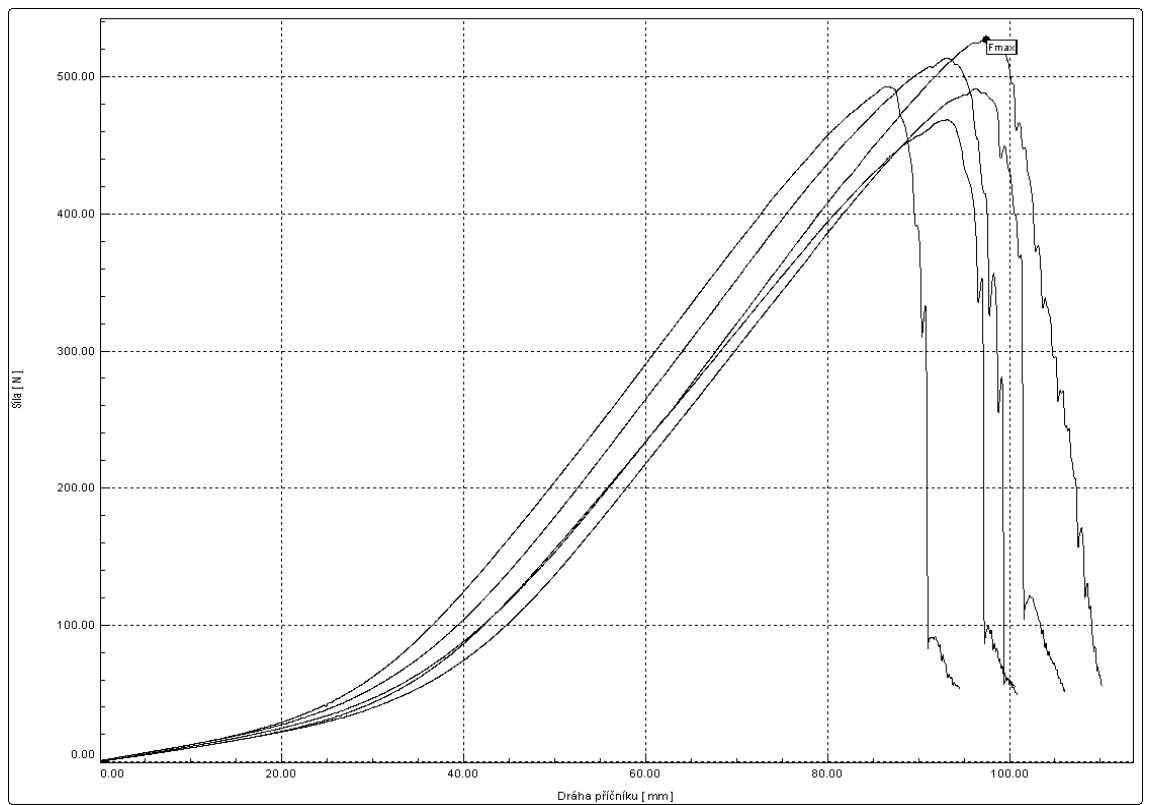
Graf 13: 350 L_MD.



Graf 14: 320 L_CD.



Graf 15: 350 P_MD.



Graf 16: 350 P_CD.