



Analýza vlivu jemnosti vláken na propustnost vody geotextilií

Bakalářská práce

Studijní program:

B3107 – Textil

Studijní obor:

Textilní technologie, materiály a nanomateriály

Autor práce:

Jarmila Ješová

Vedoucí práce:

Ing. Jiří Havlíček, CSc.

Katedra netkaných textilií a nanovláknenných materiálů





Analysis of the influence of fiber fineness on water permeability of geotextile

Bachelor thesis

Study programme:

B3107 – Textil

Study branch:

Textile Technologies, Materials and Nanomaterials

Author:

Jarmila Ješová

Supervisor:

Ing. Jiří Havlíček, CSc.

Department of Nonwovens and Nanofibrous Materials





Zadání bakalářské práce

Analýza vlivu jemnosti vláken na propustnost vody geotextilií

Jméno a příjmení: Jarmila Ješová
Osobní číslo: T16000338
Studijní program: B3107 Textil
Studijní obor: Textilní technologie, materiály a nanomateriály
Zadávací katedra: Katedra technologií a struktur
Akademický rok: 2018/2019

Zásady pro vypracování:

1. V rešeršní části studujte vliv technologických parametrů (jemnost vláken, geometrie vláken, plošná a prostorová hmotnost aj.) vláknenných filtrů na průtok kapalin.
2. Analyzujte předložené vzorky geotextilií z hlediska technologie jejich výroby, materiálového složení, vlastní konstrukce a jejich plánovaného použití.
3. Navrhněte modelovou strukturu k ověřování vlivu jemnosti vláken na průtok kapalin obdobných geotextilií.
4. Najděte vhodnou metodu zjišťování propustnosti vody vybranými typy geotextilií.
5. V experimentální části proveďte měření propustnosti vody dle zvolené metody a výsledky vyhodnoťte.
6. Výsledky práce zpracujte a okomentujte.



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

dle potřeby
cca 40 stran
tištěná/elektronická
Čeština



Seznam odborné literatury:

- [1] Jirsák, O., Kalinová, K. Netkané textilie. Skripta TUL.
- [2] Russell, S.J. Handbook of nonwovens. Woodhead Publishing Ltd, 2007.
- [3] Aktuální články k problematice periodik: Fiber Journal, Nonwovens Report International, internet

Vedoucí práce:

Ing. Jiří Havlíček, CSc.
Katedra netkaných textilií a nanovláknenných materiálů

Datum zadání práce:

11. října 2018

Předpokládaný termín odevzdání:

10. ledna 2020

Ing. Jana Drašarová, Ph.D.
děkanka



Ing. Brigita Kolčavová Sirková, Ph.D.
vedoucí katedry

V Liberci dne 18. dubna 2019

Prohlášení

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

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

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

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

Současně čestně prohlašuji, že texty tištěné verze práce a elektronické verze práce vložené do IS STAG se shodují.

10. 01. 2020

Jarmila Ješová

Poděkování

Na tomto místě bych ráda poděkovala panu Ing. Tiboru Ganzerovi a společnosti Fibertex Nonwovens a.s. za poskytnuté materiály, laborantům společnosti Juta a.s. za pomoc při proměřování vzorků. Největší dík však patří panu Ing. Jiřímu Havlíčkovi, CSc. za to, že se vedení mé bakalářské práce ujal, za jeho vstřícnost, čas a rady, které mi během celé práce věnoval. Dále děkuji všem, kteří mě ve studiu podporovali.

Anotace

Bakalářská práce je zaměřena zejména na propustnost geotextilií. První část je teoretická a popisuje obecnou problematiku geotextilií. Dále jsou zde zmíněny technické parametry ovlivňující propustnost. V další části jsou analyzovány vzorky dodané společností Fibertex, a.s..

Experimentální část je zaměřena na výrobu vzorků, z vláken různých jemností, s parametry podobnými vzorkům od společnosti Fibertex, následuje měření propustnosti. Výsledky měření jsou prezentovány v tabulkách a grafech.

Na závěr je zhodnocen vliv jemnosti vláken na propustnost vody.

Klíčová slova

Geotextilie

Netkané textilie

Vpichování

Jemnost

Propustnost

Anotation

This bachelor thesis focuses mainly on permeability of nonwoven geotextiles. First theoretical part describes geotextiles in general. There are technical parameters affecting permeability mentioned too. Second part concerns analysis of samples supplied by Fibertex, Inc.

Experimental part focuses on production of samples using threads of different counts, with parameters similar to samples of Fibertex, a. s. Next step was measuring of permeability. Acquired results are presented in charts and diagrams.

In closing I have evaluated dependence of thread-counts on permeability of water.

Keywords

Geotextile

Nonwovens

Needle-punched

Fiber fineness

Permeability

Obsah

1	ÚVOD	12
2	REŠERŠNÍ ČÁST	14
2.1	GEOTEXTILIE – OBECNĚ	14
2.1.1	Funkce, které mohou geotextilie plnit	14
2.1.2	Aplikace geotextilií.....	18
2.1.3	Technologické parametry	19
2.1.4	Základní statistické údaje	25
3	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	28
3.1	POUŽITÍ MATERIÁLY A TECHNOLOGIE VÝROBY	28
3.1.1	Polypropylen.....	28
3.1.2	Výroba netkaných textilií	29
3.2	MĚŘENÍ VZORKŮ, POSKYTNUTÝCH SPOLEČNOSTÍ FIBERTEX	31
3.3	ZJIŠŤOVÁNÍ JEMNOSTI VLÁKEN U VZORKŮ Z FIBERTEXU A.S.....	32
3.3.1	Měření jemnosti vláken	32
3.3.2	Výsledky měření.....	34
3.4	PŘÍPRAVA MODELOVÉ STRUKTURY OBDOBNÝCH GEOTEXTILIÍ.....	35
3.4.1	Příprava materiálu.....	35
3.4.2	Příprava vlákenné vrstvy	37
3.4.3	Zpevnění vlákenné vrstvy	38
3.4.4	Zpevnění vlákenné vrstvy lisováním	39
3.5	METODA ZJIŠŤOVÁNÍ PROPUSTNOSTI VODY GEOTEXTILIÍ	40
3.5.1	Měření vyrobených vzorků.....	40
3.5.2	Měření propustnosti metodou klesající hydrostatické výšky	42
3.6	VÝSLEDKY A DISKUZE.....	43
3.6.1	Výsledky měření propustnosti u vzorků dodaných společností Fibertex a.s.	43
3.6.2	Výsledky měření u vyrobených vzorků	45
	ZÁVĚR	49
	REFERENČNÍ SEZNAM	50
	SEZNAM OBRÁZKŮ	51
	SEZNAM TABULEK.....	52
	SEZNAM GRAFŮ	53
	SEZNAM PŘÍLOH.....	54

Seznam symbolů a zkratek

A	povrch vlákna	$[\text{m}^2]$
aA	měrný povrch vlákna	$[\text{m}^2.\text{g}^{-1}]$
a_j	celkový počet jehel	
d	průměr kruhového vlákna	$[\mu\text{m}]$
f	frekvence desky	$[\text{min}^{-1}]$
H	hloubka pivotu	
h	tloušťka textilie	$[\text{m}]$
IS	interval spolehlivosti	
i	je hydraulický gradient	$[-]$
k_g	je filtrační součinitel geosyntetika	$[\text{m/s}]$
l	délka	$[\text{mm}]$
m	hmotnost	$[\text{g}]$
P	pórovitost textilie	$[\%]$
p	počet průchodu textilie strojem	
P_L	pivotová polosuma	
P_v	objemová měrná hmotnost textilie	$[\text{kg.m}^3]$
$P_{v/k}$	hustota klimatizovaných vláken	$[\text{kg.m}^3]$
R_L	pivotové rozpětí	
q	tvarový faktor	$[-]$
S	plocha vzorku	$[\text{m}^2]$
s	směrodatná odchylka	
S_c	souhrn všech řezných ploch	$[\text{m}^2]$
S_p	souhrn všech řezných ploch	$[\text{m}^2]$

s^2	rozptyl	
T	jemnost	[tex]
Tex	tex jednotka jemnosti	[g.km ⁻¹]
T_v	jemnost vlákna	[tex]
V	objem plošné textilie	[m ³]
v	rychlost proudění kapaliny	[m.s ⁻¹]
V_c	celkový objem	[m ³]
v_k	variační koeficient	[%]
v_p	počet vpichů	[m ⁻²]
V_v	objem vláken	[m ³]
x_h	horní pivot	
x_d	dolní pivot	
$\bar{x}$	aritmetický průměr	
γ	hustota vlákenného útvaru	[kg.m ⁻³]
μ	zaplnění	
ρ	hustota vlákna	[kg.m ⁻³]
ρ_{vlk}	hustota klimatizovaných vláken	[kg.m ⁻³]
ρ_s	plošná hmotnost	[kg.m ⁻²]
ψ	permitivita	[s ⁻¹]
EN	Evropská norma	
ČSN	Česká státní norma	
ISO	International Standard Organization	
Např.	například	
Obr.	obrázek	
PP	Polypropylen	

1 ÚVOD

Netkané textilie jsou po tkaní a pletení třetí skupinou technologie výroby plošných textilií. Jsou definovány jako vrstva vyrobená z jednosměrně nebo nahodile orientovaných vláken, spojených třením a/nebo kohezí a/nebo adhezí s výjimkou papíru a výrobků vyrobených tkaním či pletením. Netkané textilie mají mnoho vlastností, umožňujících poskytovat velké množství funkcí v širokém rozsahu použití, patří sem například absorbce, pružnost, měkkost, pevnost, filtrace. Tyto vlastnosti spolu s vysokou rychlostí výroby a nízkými náklady na pracovní sílu jsou, ideální pro používání v široké škále spotřebitelských i průmyslových výrobků. Patří sem například, oděvy, bytový textil, zdravotnictví, stavebnictví, inženýrství a mnoho dalších. Mohou to být výrobky jednorázové, s omezenou nebo trvanlivou životností. Značnou část odvětví netkaných textilií tvoří geotextilie, které jsou i v současné době nedílnou součástí staveb. [1]

Geotextilie jsou speciální textilie, používané v přímém kontaktu se zemínou, nebo jinými materiály, byly používány již našimi předky např. ve formě rákosí, slámy, dřeva atd. V současné době se jedná o jeden z nejčastěji používaných materiálů v geotechnice a stavebním inženýrství. V konstrukcích mohou plnit výstužnou, separační, filtrační, drenážní, protierozní, ochrannou funkci, většinou však plní několik těchto funkcí najednou. Rychlý rozvoj infrastruktury vede k vysoké poptávce tohoto materiálu a to v oblasti vodních zdrojů, silnic, dálnic, železnic, námořních a letištních projektů, ale i budov, nebo domácností a zahrad. Vlastnosti geotextilií uspokojují vysoké nároky potřebné pro tyto náročná prostředí, jedná se zejména o vysokou pevnost, odolnost, pružnost, propustnost a další hydraulické vlastnosti, ale i odolnost proti působení vlhkosti, hnilobám a plísňovým organismům, které jsou pro tyto prostředí typická. K dalším kladným vlastnostem patří jejich nízká hmotnost zaručující snadnou manipulaci a pokládku. [3]

Základním stavebním prvkem textilie je vlákno, jemnost vláken je technologický parametr, mající nemalý vliv na propustnost, jež je v tomto odvětví považována za jednu z nejdůležitějších vlastností. Předkládaná bakalářská práce se zabývá vztahem mezi jemností vláken a propustností vody geotextilií. Rešeršní část této bakalářské práce popisuje speciální funkce, vlastnosti a následné využití geotextilií, je zde popsáno materiálové složení a technologický postup výroby vzorků, poskytnutými společností Fibertex Nonwovens, a.s. Svitavy. V následující části bakalářské práce je popsána metoda měření jemnosti vláken na dodaných vzorcích.

V experimentální části jsou navrženy netkané textilie s pěti různými poměry jemnosti vláken, které jsou určeny k měření propustnosti. Následuje vyhodnocení měření a statistické vyhodnocení dat a vyhodnocení vlivu jemnosti vláken na propustnost vody geotextilií.

2 REŠERŠNÍ ČÁST

2.1 Geotextilie – obecně

Geotextilie je definována jako plošný, propustný, syntetický nebo přírodní textilní materiál používaný ve styku se zemínou nebo jinými materiály při zemních a stavebním inženýrství. Geotextilie mohou mít separační, výztužnou, filtrační, drenážní nebo ochrannou funkci a představuje nejvíce používaný geosyntetický materiál ve stavebnictví, Geosyntetika je druhotný termín popisující výrobek, u něhož aspoň jedna složka je vyrobena ze syntetického nebo přírodního polymeru ve tvaru fólie, pásu nebo trojrozměrné struktury, používaný ve styku se zemínou a/nebo jinými materiály v geotechnice a stavebním inženýrství.[2]

Geotextilie mohou být vyrobeny různými technologiemi. Volba technologie závisí zejména na funkci, pro kterou je výrobek určen, dále pak na druhu materiálu. Jedná se o technologie tkaní, pletení a netkané textilie.

Tkanina – je definována jako plošná textile z jedné nebo více soustav podélných nití a z jedné nebo více soustav příčných nití, provázaných vzájemně v kolmém směru.

Pletenina – plošná textilie, která vzniká provlékáním klíčků nebo oček a lze ji vyrobit z jedné soustavy nití. Pleteniny mohou být zátažné, nebo osnovní.

Netkané textilie – je vrstva vyrobená z jednosměrně nebo nahodile orientovaných vláken, spojených třením a/nebo kohezí a/nebo adhezí s výjimkou papíru a výrobků vyrobených tkaním, pletením, všíváním, proplétáním nebo plstěním.[1]

2.1.1 Funkce, které mohou geotextilie plnit

Geotextilie mohou plnit jednu, nebo více následujících funkcí, funkce drenážní, filtrační, ochranné, výztužné, separační, ochranné proti erozi povrchu, dále funkce izolační a uvolnění napětí. [2]

Pro většinu použití je vyžadována kombinace několika těchto funkcí. V následujících kapitolách jsou uvedeny definice funkcí podle normy a přiblížení základního technického významu těchto funkcí s ohledem na geotextilie a odlišné mechanismy jednotlivých funkcí.

- ***Funkce drenážní***

Shromažďování a odvádění dešťových srážek, podzemní vody a/nebo jiných kapalin v rovině geosyntetického materiálu.[2]

Jedná se o schopnost geotextilie samostatně odvádět kapaliny, není tedy součástí samostatného systému, ale systémem samotným. V případě, kdy textilie je pouhou součástí drenážního systému a zároveň splňuje separační, jde pak o funkci filtrační. Používají se zejména v místech s nedostatkem drenážních materiálů, popřípadě pro urychlení výstavby. U této geotextilie je důležitější průtok vody v rovině než pevnost. I pro správné plnění drenážní funkce musí póry v geotextilii odpovídat stavu zeminy, pevné částice nesmí pronikat geotextilií a naopak, příliš malé póry nemohou bránit propustnosti vody. Geotextilie lze pokládat vertikálně, horizontálně i šikmo.[3]

- ***Funkce filtrační***

Zadržování neřízeného průchodu zeminy nebo jiných částic vystavených působením hydrodynamických sil, přičemž je umožněn průtok kapalin geosyntetickým materiálem nebo přes geosyntetický materiál. [2]

Geotextilie zajišťuje stabilitu rozhraní dvou zemních vrstev, zamezuje migraci jemných částic ve směru proudění vody a zároveň zamezuje ucpání filtračních pórů, umožňuje dlouhodobému průchodu kapaliny ze zeminy ve směru kolmém na geosyntetika. Jako i u funkce drenážní musí póry v geotextilii odpovídat stavu zeminy. Geotextilie pro filtrační funkce dále musí být vysoce tažné, odolné proti proražení během manipulace, musí dostatečně přilnout k nepravidelnému povrchu konstrukce.[3]

- ***Funkce ochranné***

Zabránění nebo omezení místního poškození daného prvku nebo materiálu použitím geosyntetického materiálu. [2]

Jedná se především o ochranu jiných materiálů před porušením. Principem je rozložení tlaku z horní vrstvy a ochrana materiálu před namáháním. Při této funkci jsou kladeny požadavky mechanické vlastnosti, pevnost v tahu, odolnost proti protlačení, proražení, tloušťka při zatížení.

- ***Funkce výztužné***

Využití napětí-deformace geosyntetického materiálu ke zlepšení mechanických vlastností zeminy nebo jiných stavebních materiálů.[2]

Použití tahových vlastností geosyntetického materiálu pro přenesení napětí nebo omezení deformací geotechnických staveb. Tato funkce zvyšuje stabilitu, snižuje nerovnoměrné deformace, zlepšuje estetické působení na začlenění do krajiny a snižuje náklady ve srovnání s tradičními konstrukcemi. Pro tuto funkci je rozhodující vysoká pevnost.

- ***Funkce separační***

Zabraňuje smísení sousedních odlišných zemin a/nebo sypanin použitím geosyntetického materiálu. [2]

Tato geotextilie zabraňuje zatlačování kameniva do měkkého podloží, zvyšuje nosnost, zpevňuje separované vrstvy a zajišťuje dlouhodobou stabilitu. Mechanické vlastnosti geotextilií pro separační funkci musí být vysoká tažnost, pevnost a odolnost proti proražení.

- ***Funkce izolační***

Použití geosyntetika k zabránění nebo omezení migrace kapalin. [2]

Hlavním úkolem v této funkci je zabránit úniku nebezpečných látek, zamezit vnikání vody do konstrukcí, omezit prosakování mimo koryto. V tomto případě se většinou jedná o fólie.

- ***Funkce uvolňování napětí***

(pro asfaltové krycí vrstvy) použití geosyntetika ke zpomalení vzniku trhlin pohlcením napětí, ke kterému dochází u poškozeného povrchu. [2]

Tato geotextilie je využívána pro výstavbu nových komunikací, tak i při jejich údržbě. Principem je rozložení napětí vycházející z trhlin ve spodní části komunikace. Dále plní vodotěsnou funkci, neboť umožňuje jemný diferenční pohyb mezi dvěma vrstvami. Její vodotěsná funkce zabraňuje povrchové vodě k pronikání do nosných vrstev, čímž zabraňuje tvorbě trhlin.

2.1.2 Aplikace geotextilií

Komunikace – jedná se o komunikace s dočasným použitím, příjezdové a lesní cesty. Trvalým použitím, jako jsou silnice, dálnice parkovací plochy, kdy geotextilie oddělují různé vrstvy materiálů, stabilizují silniční konstrukce, zvyšují jejich nosnost, mohou prodloužit jejich životnost a tím pomáhají snížit počet výměn. Jsou projektovány tak, aby odolávaly dynamickému a statickému namáhání. [3]

Letiště – u těchto konstrukcí jsou vysoké nároky na povrch, geotextilie stabilizují základy a umožňují jim vydržet dynamická zatížení.[3]

Železnice – obnova tratí, ale i tratě nové, zajišťuje delší životnost, lepší hutnění a úsporu kameniva, geotextilie stabilizují základy a umožňují jim vydržet dynamické zatížení.

Konstrukce – základy staveb, střešní systémy, nahrazují podkladovou vrstvu pod základy, pod betonovou podlahou chrání drenážní vrstvy a tlumí zvuky. Při výstavbě střech se používá jako mechanická ochrana střešních fólií všech drenážních vrstev. [3]

Pozemní systémy – ukládání potrubí, zvyšují nosnost uložením na dno příkopů, zabráňují mísení, či ztráty jemných frakcí v nosných vrstvách. Při výstavbách hřišť zajišťují rovný povrch. U svahů odolává horní vrstva vodě, která by jinak vyplavovala jemnou frakci.[3]

Hydraulické systémy – zajišťují ochranu před porušením vodotěsných fólií, zabráňují pronikání písku do bahnitých břehů, tlumí nárazy vln, zabráňují vyplavování jemné frakce,

Likvidace odpadů – chrání fólie z obou stran proti proražení, pomáhá zajistit průsaky, zdě plní filtrační ochranu drenážních vrstev. [3]

2.1.3 Technologické parametry

Geometrické vlastnosti vláken

Mezi geometrické vlastnosti řadíme:

- průřez (kruhový, nekruhový),
- délka l [m],
- jemnost T [tex],
- hmotnost m [kg],
- objem V [m³]
- měrná hmotnost ρ [kg.m⁻³],
- měrný povrch S P/m [m².kg⁻¹].
- tvar příčného řezu[4]

Níže jsou uvedeny nejdůležitější geometrické vlastnosti, ovlivňující propustnost geotextilií.

Jemnost (měrná lineární hmotnost), která je definována jako hmotnost vlákna m [g] na jednotku délky l , v jednotkách T [tex], jsou to gramy na 1 km,

$$Tv = \frac{m[\text{g}]}{l[\text{km}]} \quad (2.1)$$

Obecně tedy platí:

$$T = \frac{m}{l} = \frac{lS\rho}{l} = \frac{\pi d^2}{4} \rho \quad (2.2)$$

kde S je plocha příčného řezu a ρ je měrná hmotnost (hustota) vlákna.[4]

Délka l [mm] je definována jako vzdálenost konců napřímeného vlákna bez obloučků a napětí. V textilu je nutné definovat také tyto následující pojmy:

Délka vlákna - vzdálenost konců vlákna bez obloučků a bez napětí

Staplová délka - je nenormované označení délky vláken ve staplu

Střední délka - aritmetický průměr délek vláken zastoupených ve vložce

Vložka - chomáč vláken získaný z výběru I. a II. stupně, v němž jsou statisticky zastoupeny všechny délky vláken v surovině [6]

Měrná hmotnost – hustota ρ , je definována jako poměr hmotnosti a objemu vlákna. U většiny klasických přírodních a chemických vláken se pohybuje od 900 do 1600 kg/m³.

Povrch vláken, vlákna mohou mít různé tvary povrchu, které jsou ovlivněny příčným řezem. Vlákna nemusí mít vždy kruhový profil, ale mohou mít profily různé, které se mohou i místy měnit. U syntetických vláken ovlivňuje tvar povrchu proces zvlákňování. [4]

Měrný povrch vlákna a [m².g⁻¹], – je definován jako povrch vláken na jednotku hmotnosti

$$a = \frac{A}{m} = \frac{\pi d(1+q)l}{(\pi d^2/4)l} = \frac{4(1+q)}{\rho d} \quad (2.3)$$

Čím je vlákno jemnější a členitější, tím má větší měrný (specifický) povrch. [5]

Obloučkovitost - vyjadřuje se počtem obloučků na jednotku délky, tyto vlastnosti jsou technologicky velmi důležité a výrazně ovlivňují zpracovatelské vlastnosti vláken a především netkaných textilií. Určují např. vlastnosti a soudržnost pavučiny na mykacím stroji. Ovlivňuje i objemnost textilií.

Zaplnění – μ je bezrozměrná veličina z intervalu $<0^\circ;1>$, kterou vyjadřujeme množství materiálu v určitém prostoru.

Objemová definice zaplnění – lze interpretovat jako podíl objemu vláken k celkovému objemu:

$$\mu = \frac{V_v}{V_c} \quad (2.4)$$

- V_v - objem vláken
 V_c - celkový objem

Plošná interpretace zaplnění – poměr souhrnu všech řezných ploch k celkové ploše pomyslné roviny:

$$\mu = \frac{S_p}{S_c} \quad (2.5)$$

- S_p - souhrn všech řezných ploch
 S_c - celá plocha

Hustotní interpretace zaplnění – poměr hustoty vlákenného útvaru k hustotě vláken:

$$\mu = \frac{\gamma}{\rho} \quad (2.6)$$

- γ - hustota vlákenného útvaru
 ρ - hustota vláken [5]

Vlastnosti geotextilií

Pro správné plnění požadovaných funkcí je nutné, aby geotextilie vždy splňovala odpovídající vlastnosti. Například geotextilie pro filtraci musí mít vysokou pevnost v tahu, odolnost proti průrazu, zároveň je nezbytné, aby splňovala požadavky na filtraci. Velikost pórů musí být taková, aby zadržela jemnou frakci a zabránila jejímu mísení s podkladem. Zároveň musí umožňovat průchodu vody, aniž by docházelo k ucpávání pórů. Propustnost geotextilie by měla být vyšší než propustnost zeminy, aby se průtočnost zeminy nesnižovala. Oproti geotextiliím určených na ochranné funkce, pro které jsou více důležité mechanické vlastnosti, jako je pevnost v tahu, odolnost proti protlačení, a proražení, zatím co hydraulické jsou důležité méně. V případě geotextilií určených pro funkce ochranné se tloušťka může pohybovat i v několika cm, zatím co u separačních, filtračních a výztužných funkcí se pohybuje v mm. Parametry geotextilie pro konkrétní funkci však mohou být variabilní, a s jejich volbou, je vždy nutné přihlídnout k vlastnostem materiálu, se kterým bude v kontaktu, např. jemnosti frakce.[7]

Tloušťka

Vzdálenost mezi horními a spodními povrchy geosyntetika, měřená kolmo k těmto povrchům za stanoveného přítlaku, vyjadřujeme ji v mm. Nejčastěji se zkouška tloušťky provádí při zatížení svislým napětím 2, 20 a 200 kPa0

Tloušťka geotextilií pro konkrétní funkce je stanovena normou ČSN EN ISO 9863-2.

Plošná hmotnost

Plošná hmotnost je definována jako poměr hmotnosti zkušebního vzorku, o stanovených rozměrech, k jeho ploše. Tato veličina se vyjadřuje v gramech na metr čtvereční [g/m²]. [2]

Rozsah plošné hmotnosti netkaných geotextilií se pohybuje od 70 do 1 200 g/m², dle požadavku je možné zajistit i vyšší či nižší hodnoty. Kritérium hmotnosti nelze použít pro porovnání různých druhů netkaných textilií. Geotextilie vyrobené z kontinuálního vlákna, mají nižší hmotnost než geotextilie vyrobené ze stříže při stejných mechanických vlastnostech. Plošná hmotnost je ukazatelem možné použitelnosti, například netkané geotextilie lehčích typů slouží pro separaci, střední pro filtraci a těžší pro ochranu, popřípadě pro drenáž.[7]

Objemová hmotnost

Hmotnost 1 m³ plošné textilie, vzhledem ke skutečnosti, že pojem hustota, je u plošných textilií používán v jiných souvislostech, byl zaveden termín objemová měrná hmotnost.

- V – objem textilie [m³]
- h – tloušťka textilie [m]
- P_v – objemová hmotnost [kg.m⁻³]
- ρ_s – plošná hmotnost[6]

$$P_v = \frac{m}{V} = \frac{m}{Sh} = \frac{\rho_s}{h} \quad (2.7)$$

Pórovitost

Jedná se o další parametr, který v souvislosti se stanovením plošné hmotnosti můžeme určit, jinými slovy se jedná o obsah pórů naplněných vzduchem v textilií, ale nikoliv jejich velikost. Tuto vlastnost, mají všechny textilie. U netkaných textilií na rozdíl od tkaných a pletených je rozmístění pórů nerovnoměrné. Jejich velikost je závislá na jemnosti a hustoty vláken, tloušťce textilie a způsobu zpevnění vlákenných vrstev, tak i na finální úpravě textilie, jako je kalandrování. Metodu pro zjišťování charakteristické velikosti pórů stanoví norma ČSN EN ISO 12956 (80614).

Pórovitost vypočítáme ve vztahu:

$$P = \frac{P_{vlk} - P_v}{P_{vlk}} 10^2 \quad (2.8)$$

- P - pórovitost textilie v [%]
- P_{vlk} - hustota klimatizovaných vláken [kg.m^3]
- P_v - objemová měrná hmotnost textilie [kg.m^3][6]

Hydraulické vlastnosti

Propustnost

- Rychlost průtoku kapaliny geotextilií [2]

U geotextilií je propustnost vysoká, může se pohybovat v řádu od $1 \cdot 10^{-3}$ do $1 \cdot 10^{-4}$, odpovídá tak propustnosti štěrku nebo písku. Stanovení vychází z Darcyho filtračního zákona:

$$v = k_g \cdot i \quad (2.9)$$

Kde	v (m/s)	je rychlost proudění vody
	k_g (m/s)	je filtrační součinitel geosyntetika
	i (-)	je hydraulický gradient

Netkané textilie jsou citlivé na změnu propustnosti pod zatížením. Snížení může být řádové. Proto se při zkoušce musí respektovat obor napětí, kterému bude geotextilie podrobena v zemní konstrukci. Pro stanovení součinitele ve směru kolmém k rovině geotextilie se postupuje podle ČSN EN ISO 11058. [7]

Průtok

Objemová rychlost proudění na jednotku plochy kolmo k rovině za stanoveného hydraulického spádu, vyjadřuje se v $l/(m^2.s)$ [2]

Permitivita ψ

Objemová rychlost proudění vody a/nebo jiných kapalin na jednotku plochy na jednotku poklesu hydraulického spádu, za podmínek laminárního proudění, kolmo k rovině výrobku, veličina se vyjadřuje v s^{-1} [2]

2.1.4 Základní statistické údaje

Ověření předpokladů o datech

Při statistickém vyhodnocení dat se předpokládá, že jde o nezávislé, stejné rozdělení náhodné veličiny pocházejícího z normálního rozdělení.

Ověření předpokladu nezávislosti prvků výběru

Základním předpokladem kvalitních měření je vzájemná nezávislost jednotlivých výsledků. Závislost měření je obvykle způsobena:

- a) Nestabilitou měřicího zařízení nebo změnou stavu měřicího zařízení
- b) Nekonstantností podmínek měření
- c) Zanedbáním faktorů, které významně ovlivňují výsledek měření, jako objem vzorků, teplota, nečistota chemikálií
- d) Nesprávným náhodným výběrem vzorků k měření

Ověření normality výběru

Normalita výběrového rozdělení patří k základním předpokladům, neboť je na ní založena celá klasická analýza dat, testování vybočujících měření a testy nezávislosti prvků výběru.

Ověření homogenity výběru

K homogenitě naměřených dat dochází všude tam, kde se vyskytuje významná nestejnoměrnost měřených vlastností vzorků, mění se náhle podmínky experimentů a data obsahují vybočující měření. Nehomogenita může být způsobena také nevhodnou specifikací souboru. Vybočující měření silně zkreslují odhady $\bar{x}$ a zejména s^2 . [11]

Naměřené výsledky jsou vyhodnoceny následujícími statistickými charakteristikami.

Aritmetický průměr $\bar{x}$ - je průměr z výběrové řady naměřených hodnot x_i zkoušeného materiálu. Při celkovém počtu n naměřených hodnot x_i ($i = 1, 2, 3, \dots, n$) se stanoví průměr $\bar{x}$ z rovnice:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (2.10)$$

Rozptyl s^2 – je poměr součtu druhých mocnin odchylek naměřených hodnot od výběrového průměru k počtu naměřených hodnot zmenšenému o jednotku. Vypočítá se podle vzorce:

$$s^2 = \frac{1}{n-1} (x_i - \bar{x})^2 \quad (2.11)$$

Směrodatná odchylka s je odmocnina výběrového rozptylu. Naměřené hodnoty x_i znaku, zjištěné ve vzorcích zkoušeného materiálu, kolísají v určitém rozmezí. Jako nejvhodnější míra tohoto rozptýlení se zavádí směrodatná odchylka s , která se vypočítá podle vzorce:

$$s = \sqrt{s^2} \quad (2.12)$$

Variační koeficient v – je mírou relativního rozptýlení, vystihující nestejnoměrnost. Vyjadřuje se jako poměr směrodatné odchylky s a průměru $\bar{x}$ v % a vypočítá se podle rovnice:

$$v = \frac{s}{\bar{x}} \cdot 100 [\%] \quad (2.13)$$

Interval spolehlivosti μ : Odhadovaný parametr (konkrétně např. střední hodnota normálního rozdělení μ) v tomto případě nebude odhadován pouze prostřednictvím jednoho čísla ($\bar{x}$), ale dvěma číselnými hodnotami, které tvoří meze tzv. intervalu spolehlivosti (konfidenčního intervalu). Meze tohoto intervalu budeme značit DM pro dolní hranici intervalu a HM pro horní hranici.[12]

$$\mu = \bar{x} \pm t_{0,025} (n-1) \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (2.14)$$

Analýza malých výběrů

Analýza malých výběrů je vždy nepřesná a závěry jsou vždy zatíženy značnou mírou nejistoty. Malých rozsahů výběru by mělo být užíváno jen tam, kde není z experimentálních důvodů možné zvýšit počet měření. Pro $4 \leq n \leq 20$ navrhuje Hornův postup založený na pořádkových statistikách, kdy vychází z hloubek pivotů odpovídajících přibližně výběrovým kvartilům (písmeno F)

Hloubka pivotu

$$H = \frac{\left(\text{int}\left(\frac{n+1}{2}\right)\right)}{2} \text{ nebo } H = \frac{\left(\text{int}\left(\frac{n+1}{2}\right)+1\right)}{2} \quad (2.15)$$

Vzorec je nutné zvolit tak-, aby hloubka pivotu byla celé číslo.

Dolní a horní pivot

$$x_D = x_{(H)}; x_D = x_{(n+1-H)} \quad (2.16)$$

Pivotová polosuma – odhad parametru polohy

$$P_L = \frac{x_D - x_H}{2} \quad (2.17)$$

Pivotové rozpětí

$$R_L = x_D - x_H \quad (2.18)$$

95 % interval spolehlivosti

$$P_L - R_L t_{L,0,975}(n) \leq \mu \leq P_L + R_L t_{L,0,975}(n) \quad (2.19)$$

Variační koeficient[11]

$$V = \frac{R_L}{P_L} \cdot 100\% \quad (2.20)$$

3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

3.1 Použití materiálu a technologie výroby

Vzorky geotextilií bakalářské práci mi poskytla společnost Fibertex Nonwovens, a.s. a mým úkolem bylo zjistit závislost vlivu jemnosti vláken na propustnost geotextilií. Tyto vzorky jsou vyrobeny ze staplových vláken polypropylenu, v následujících kapitolách je popsán tento polymer a technologie výroby doložených vzorků.

3.1.1 Polypropylen

Jedná se o jeden z ekonomicky nejdůležitějších termoplastických materiálů. Vyrábí se polymerací propylenu, odpadajícího jako vedlejší produkt při zpracování ropy. Tento polymer patří do skupiny polyolefinů.

Polypropylen rozlišujeme na izotaktický, syndiotaktický a atakický. Radikálovou nebo kationtovou polymerací propylenu lze získat pouze nízemolekulární atakický. První izotaktický polypropylen, byl vytvořen italskou chemickou společností Montecatini, a to na základě poznatků, popsáných roku 1954 italským chemik Juliem Nattou. J. Natta využil koordinačních katalyzátorů (TiCl_3 , $\text{Al}(\text{C}_2\text{H}_5)_3$) pro polymeraci ethenu, objevených Karlen Zieglerem, a poprvé tak připravil polymer, jehož makromolekuly měly prostorově pravidelné uspořádání. Roku 1963 byli Julio Natta a Karl Ziegler oceněni Nobelovou cenou v oblasti chemie a technologie vysokých polymerů.

Řetězce polymeru jsou lineární, se stoupáním spirálovitě uspořádány, odpovídajícím 3 monomerním jednotkám (gauche). Mezimolekulární síly jsou van der Waalsovy. Vyrůstající takticita vede k vyššímu stupni krystalinity, pevnosti, tvrdosti a teploty tání.

Průmyslově vyráběný stereoregulární polypropylen je krystalický, tuhý polymer, vhodný pro aplikace s nároky na pevnost materiálu.

Amorfní, atakický polypropylen je v závislosti na molární hmotnosti voskovitý či mazlavý materiál, nebo viskózní olejová kapalina. Jedná se o nepolární polymer, který je odolný proti rozpouštědlům, kyselinám, zásadám a solím.

Teplota zeskelnatění je cca $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Hustota je 900 až 910 $[\text{kg m}^{-3}]$ nejnižší ze všech nelehčených plastů. Pevnost v tahu je 22 až 32 $[\text{MPa}]$. Lepší tvarová stálost za zvýšených teplot. [9]

3.1.2 Výroba netkaných textilií

- Příprava vlákenných surovin
- Příprava vlákenných vrstev
- Zpevnění vlákenných vrstev vpichováním

Příprava vlákenných surovin

Polypropylénu ve formě granulátu se roztaví a je vytlačován k zvlákňovacímu systému. Vzniklé vlákno se proudem vzduchu ochlazuje, dále se dluží za teploty 105 až $140\text{ }^{\circ}\text{C}$. Polypropylenový kabel se obloučkuje, fixuje a rozřezává na staplová vlákna. Staplová vlákna jsou tak připravena k použití pro výrobu netkané textilie.

Příprava vlákenných vrstev

K její přípravě se využívá válcových mykacích strojů, speciálně vyvinutých pro výrobu netkané textilie. Podstatou funkce mykacího stroje, je postupné ojednocování vláken, napřimování, jejich urovnání do podélného směru a po snímání vytvoření rovnoměrné vlákenné vrstvy (pavučiny). Toto uspořádání se nazývá anizotropní. Principem je vzájemné působení protisměrně postavených dvou sousedních mykacích povrchů, pohybujících se rozdílnou obvodovou rychlostí. Uvedený princip je stejný již od roku 1850, zlepšila se však účinnost a výkonnost stroje. Jeho důsledkem jsou rozdílné vlastnosti pavučiny i vlákenné vrstvy vzniklé jejím vrstvením v různých směrech.[1]

Zpevnění vlákenných vrstev vpichováním

Tato technologie byla vyvinuta jako náhrada plstění a je jedním z nejstarších a nejrozšířenějších způsobů zpevnění vlákenné vrstvy. Její podstatou je provazování vlákenné vrstvy svazky vláken, které vznikají přeorientování části vláken při průniku jehly s ostny. Částečným přeorientováním vláken dochází ke změně délky, šířky a k redukci tloušťky textilie.

Vlákenná vrstva je přiváděna mezi dva perforované rošty. Otvory v roštích pronikají vpichovací jehly, které jsou umístěny v jehelní desce. Jehla s ostny pronikající vlákennou vrstvou zachytávají vlákna, která jsou přeorientována a protažena vlákennou vrstvou. Textilie je posouvána pomocí válců po opěrném roštu. Vysunutí jehel zabezpečuje při zpětném pohybu stěrací (vrchní) rošt. Zpevnění vlákenné vrstvy je závislé na počtu vpichů na jednotku plochy vrstvy.[1]

Zpevnění vlákenné vrstvy kalandrováním

Při kalandrování prochází vlákenná vrstva mezi válci, z nichž aspoň jeden je vyhřívaný. Mezi válci dochází ke stlačení vrstvy a k jejímu ohřátí na teplotu, přesahující teplotu tání, popřípadě je ve viskoelastickém stavu, vlivem tlaku je pojivo formováno do tvaru pojících míst. Následným ochlazením dochází ke zpevnění pojiva a vlákenné vrstvy.[1]

Válce jsou nejdůležitější části stroje, mohou být měkké nebo tvrdé. Měkké mají kovové jádro a povrch mají z lisované bavlny, juty, nebo papíru., mohou se použít i potahy z plastických hmot, které mají větší pružnost a nepodléhají tak snadno deformaci. Povrch tvrdých válců je lesklý, často tvrdě chromovaný. Tento proces navazuje přímo na výrobní linku. Válce mohou být navrženy tak, aby lepila celá plocha, nebo jen bodově. Při celoplošném lepení pojivá vlákna tak vytváří spoje po celé ploše textilie, tkanina je pak tenká a tuhá s maximální pevností a minimální propustností. Nakonec se geotextilie zkontroluje, sbalí se a zabalí do ochranné fólie.

3.2 Měření vzorků, poskytnutých společností Fibertex

Pro experimentální část bylo nutné stanovit plošnou hmotnost geotextilií. Pro zjištění těchto hodnot bylo nutné vzorky zvážit, a přeměřit. Dále byla naměřena tloušťka vzorků. Naměřené hodnoty jsou v tabulce.

Číslo vzorku	Tloušťka[mm]	Hmotnost [g]	Plošná hmotnost [g/m ²]
1.	1,12	2,14	94
2.	0,95	2,09	92
3.	1,16	2,7	118
4.	1,11	2,6	114

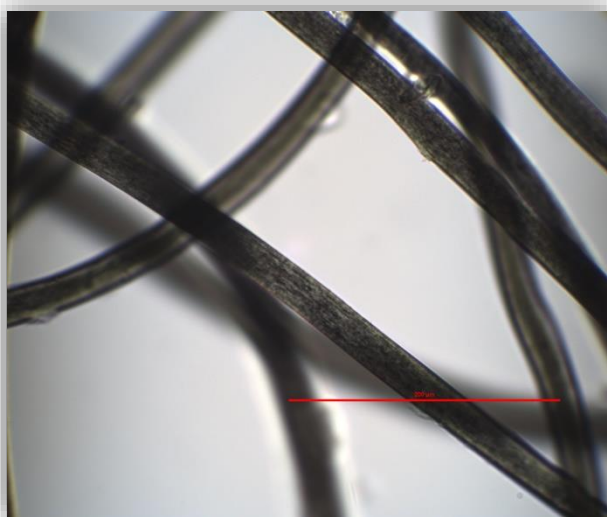
Tabulka 1 Měření tloušťky, hmotnosti a plošné hmotnosti

3.3 Zjišťování jemnosti vláken u vzorků z Fibertexu a.s.

3.3.1 Měření jemnosti vláken

Měření bylo provedeno na katedře materiálového inženýrství. V rámci analýzy struktury a vlastností polypropylenové geotextilie bylo nutné ověřit jemnost použitých vláken. S ohledem na charakter geotextilie byla zvolena mikroskopická metoda, kdy je jemnost odvozena z plochy příčného řezu vlákna. Protože použitým materiálem byla polypropylenová vlákna s kruhovým průřezem, použili jsme metodu stanovení průměru vláken v podélném pohledu a jemnost následně vypočítali ze vztahu:

$$T = \frac{\pi \cdot d^2 [m^2]}{4} \cdot \rho [kg \cdot m^{-3}] \cdot 10^6 [tex] \quad (3.1)$$



Obrázek 1 Vybraný snímek z obrazové analýzy

Tato metodika byla původně normována pro kruhová vlněná vlákna (ISO 137:2015 "Wool – Determination of fibre diameter – Projection microscope method", ASTM D 3510 "Test Method for Diameter of Wool and Other Animal Fibers by Image Analyser"), dnes je však standardně používána i pro syntetická vlákna s kruhovým průřezem.[10]

Ostatní normované metody (gravimetrická či vibroskopická) nebyly použity, neboť charakter textilie nám neumožňoval přípravu nepoškozených vláken v dostatečném množství a délce, abychom mohli tyto metody spolehlivě použít. Data o jemnosti těchto vláken nejsou pro výsledky této bakalářské práce klíčové, ale mají pouze přiblížit strukturu dodaných vzorků k modelaci vzorků vlastních. K naměření průměru vláken byla zvolena mikroskopická metoda s využitím obrazové analýzy se softwarem NIS - Elements. Tato analýza slouží ke snímání, archivaci a k automatickému nebo ručnímu měření například průměrů, úhlů a délek vláken. Obrazy mohou být ukládány do standartních obrazových formátů.

Bylo nutné ověřit, zda vlákna v geotextilii byla skutečně kruhového průřezu. S přihlédnutím k vypreparovaným vláknům, jejich barvě a technologii výroby (technologie vpichování a dále zpevněná kalandrem za určité teploty) byl průřez ověřen za pomoci konfokálního mikroskopu. Kdy i přes značně porušená vlákna lze vyvodit jejich kruhový průřez.

Nejprve byl naměřen průměr vláken, protože se jedná o náhodně proměnnou veličinu, bylo nutné statistické zpracování. Jemnost byla vypočítána z průměru vláken s kruhovým průřezem podle následujícího vzorce.

$$T_v = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \cdot \rho_{vk} \cdot 10^6 [tex] \quad (3.2)$$

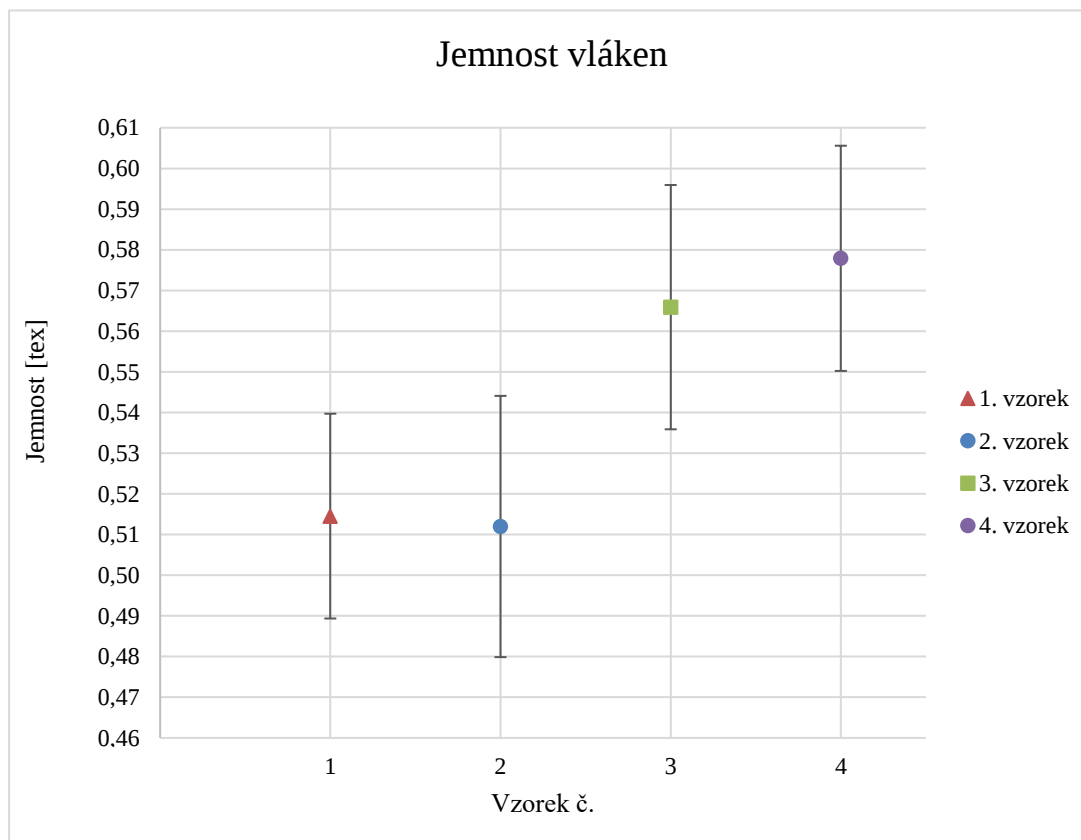
Z každého vzorku byl pečlivě připraven preparát, jako imerzní činidlo byl použit glycerin. Preparát byl vložen pod mikroskop a následně byly měřena vlákna. Každé vlákno by mělo být měřeno pouze jednou. K zabránění měření jednoho vlákna víckrát se postupovalo od jednoho okraje preparátu ke druhému. Po spuštění programu NIS – ELEMENTS byl načten snímek a byla provedena kalibrace, poté následovalo samotné měření. Měření spočívalo v označení kraje vlákna kurzorem a označení jeho protější strany. U každého vzorku bylo provedeno sto měření. Data se automaticky ukládala do tabulky, po sto naměření byla exportována do programu Excel. Výsledky statistického hodnocení byly dosaženy za pomoci programu QC EXPERT. Za pomoci tohoto programu byla ověřena normalita, nezávislost a homogenita, tedy nepřítomnost vybočujících měření, odlehlých dat a hrubých chyb, které patří k základním předpokladům.

3.3.2 Výsledky měření

Vyhodnocení výsledků měření bylo provedeno v programu QC EXPERT, ve statistickém modulu základní statistika. Při analýze byla u souboru dat ze vzorku číslo 1 a vzorku číslo 2 zamítnuta normalita a homogenita, analýzu bylo nutné zopakovat bez vybočujících dat, v druhé analýze byly hodnoty přijaty. Níže uvedený graf nám ukazuje, že intervaly spolehlivosti se překrývají, není tedy statisticky významný rozdíl. Z výsledků měření lze konstatovat, že rozdíly v naměřených jemnostech jsou příliš zanedbatelné. Nelze tedy z těchto vzorků stanovit závislost propustnosti geotextilie na jemnosti vláken.

Vzorek	1		2		3		4	
Vlastnosti	D [μm]	Jemnost [tex]	D [μm]	Jemnost [tex]	D [μm]	Jemnost [tex]	D [μm]	Jemnost [tex]
Průměr	26,84	0,51	26,73	0,51	28,04	0,57	28,40	0,58
Spodní mez	26,28	0,49	26,11	0,49	27,31	0,54	27,73	0,55
Horní mez	27,39	0,54	27,36	0,54	28,78	0,60	29,06	0,61

Tabulka 2 Měření průměru a jemnosti vláken



Graf 1 Jemnost naměřených vláken

3.4 Příprava modelové struktury obdobných geotextilií

3.4.1 Příprava materiálu

Změřením průměru vláken vzorků poskytnutých firmou Fibertex bylo zjištěno, že rozdíly jemnosti vláken jsou zanedbatelné. Nelze tedy z těchto vzorků stanovit závislost propustnosti geotextilie na jemnosti vláken. Proto jsme vytvořili model obdobné textilie s různým podílem vláken o nižší a vyšší jemnosti.

S volbou materiálu bylo přihlédnuto k polypropylénu, z něhož jsou vyrobeny vzorky dodané společností Fibertex. Použita byla vlákna různých jemností 1,5 dtex o délce 30 mm, 9,3 dtex o délce 50 mm a vlákna bikomponentní s jemností 2,2 dtex. Směs materiálu byla namíchána v pěti různých poměrech, které jsou uvedeny v tabulce. Vláknem byla navážena laboratorními vahami v přesných poměrech dle níže uvedené tabulky.

Materiál	Bico 2,2 dtex [%]	PP stapl 1,5 dtex [%]	PP stapl 9,3 dtex [%]
1. vzorek	10	10	80
2. vzorek	10	20	70
3. vzorek	10	45	45
4. vzorek	10	70	20
5. vzorek	10	80	10

Tabulka 3 Poměr jemností vlákenné struktury

Výpočet střední jemnosti vláken

Střední jemnost vláken ve směsi t [tex] vyjadřuje tento vzorec:[5]

$$\frac{1}{t[\text{tex}]} = \sum_{i=1}^n \frac{g[-]}{t_i[\text{tex}]} \quad (3.3)$$

Výpočet střední jemnosti vláken u vzorku č. 1:

$$\frac{1}{t[\text{tex}]} = \sum_{i=1}^n \frac{g[-]}{t_i[\text{tex}]} = \frac{15}{0,22} + \frac{15}{0,15} + \frac{120}{0,93} = 297,2 = 0,504 [\text{tex}] \quad (3.4)$$

Výpočet střední jemnosti vláken u vzorku č. 2:

$$\frac{1}{t[\text{tex}]} = \sum_{i=n}^n \frac{g[-]}{t[\text{tex}]} = \frac{15}{0,22} + \frac{30}{0,15} + \frac{105}{0,93} = 381,1 = 0,39 [\text{tex}] \quad (3.5)$$

Výpočet střední jemnosti vláken u vzorku č. 3:

$$\frac{1}{t[\text{tex}]} = \sum_{i=n}^n \frac{g[-]}{t[\text{tex}]} = \frac{15}{0,22} + \frac{67,5}{0,15} + \frac{67,5}{0,93} = 590,7 = 0,25 [\text{tex}] \quad (3.6)$$

Výpočet střední jemnosti vláken u vzorku č. 4:

$$\frac{1}{t[\text{tex}]} = \sum_{i=n}^n \frac{g[-]}{t[\text{tex}]} = \frac{15}{0,22} + \frac{105}{0,15} + \frac{30}{0,93} = 800,4 = 0,187 [\text{tex}] \quad (3.7)$$

Výpočet střední jemnosti vláken u vzorku č. 5:“

$$\frac{1}{t[\text{tex}]} = \sum_{i=n}^n \frac{g[-]}{t[\text{tex}]} = \frac{15}{0,22} + \frac{120}{0,15} + \frac{15}{0,93} = 884,3 = 0,16 [\text{tex}] \quad (3.8)$$

V následujících kapitolách je uveden detailnější popis výroby vzorků.

1. vzorek	5,4 [dtex]
2. vzorek	3,9 [dtex]
3. vzorek	2,5 [dtex]
4. vzorek	1,8 [dtex]
5. vzorek	1,6 [dtex]

Tabulka 4 Naměřené hodnoty střední jemnosti vláken



Obrázek 2 Materiálová směs

3.4.2 Příprava vlákenné vrstvy

Vlákenné vrstvy byly vyrobeny na válcovém mykacím stroji v laboratořích poloprovozu katedry netkaných textilií a nanovláknenných materiálů. Váha materiálu na jeden vzorek byla 150 g, její výše byla stanovena po vyzkoušení, tak aby plošná hmotnost vycházela cca 100g/m². Nahrubo rozvolněné vlákenné vločky, byly pokládány, pokud možno co nesouvisleji na podávací pás mykacího stroje, kde byly odebírány podávacím válcem, rozvolňovacím válcem k vlastnímu mykání. Takto umýkaná pavučina byla z hlavního bubnu snímána a navedena na vertikální příčný kladeč. Tento kladeč se skládá z přívodního dopravníku a dvojicí společně výkyvných pásů, které postupným skládáním vytvořily rouno o několika vrstvách. Pro dosažení lepší stejnoměrnosti byly rouna umýkány dvakrát. Pro vyloučení vlivu tloušťky a plošné hmotnosti na propustnost geotextilií, byla snaha vyrobit vzorky s co nejpodobnějšími hodnotami.



Obrázek 3 Válcový mykací stroj

3.4.3 Zpevnění vlákenné vrstvy

V tomto stádiu byla vlákenná pavučina vertikálním kladečem skládána šikmými sklady na odváděcí dopravník, navazující na vstupní zařízení mezi dva perforované rošty vpichovacího stroje. Otvory v těchto roštích periodicky vnikají jehly s ostny umístěné v jehelní desce. Vrstva je odtahována odtahovými válci po spodním roštu. Textilie prošla strojem jednou.

Počet vpichů na jednotku plochy:

$$V_p = \frac{afp}{v} \quad (3.9)$$

V_p počet vpichů [m^{-2}]

a celkový počet jehel na 1 m vpichovací desky je 2000

f frekvence desky 200 [min^{-1}] - 3,33 [s^{-1}]

p počet průchodu textilie strojem

v rychlost odvádění textilie je 0,4 [$m \cdot min^{-1}$] což je 0.0066 [$m \cdot s^{-1}$]

$$V_p = \frac{2000 \cdot 3,33 \cdot 1}{0,0066} = 1\,009\,090\,m^2 \quad (3.10)$$

Vyrobené geotextilie byly odebrány a následně nastříhány na vzorky o velikosti 40 x 40 cm.

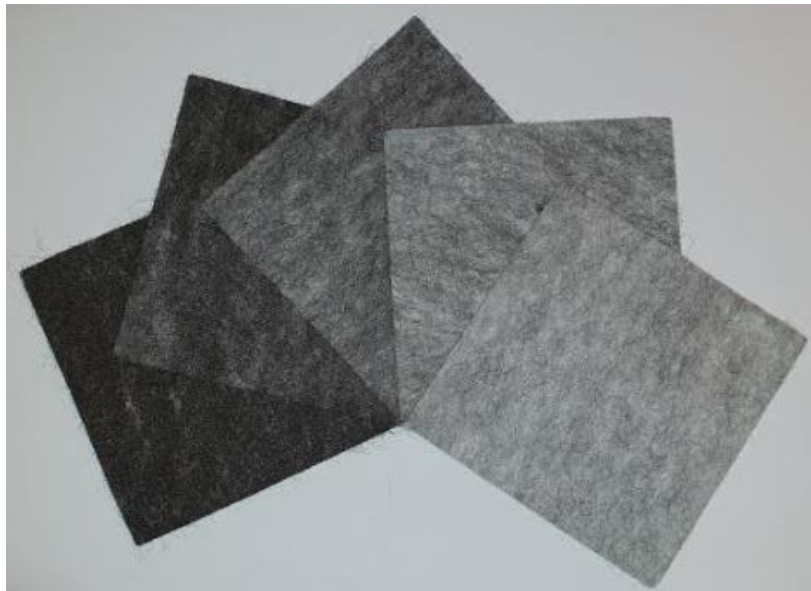


Obrázek 4 Vpichovací stroj

3.4.4 Zpevnění vlákenné vrstvy lisováním

Tento úkon byl proveden na etážovém lisu. Každý vzorek byl vložen mezi papíry se silikonovou vrstvou, následně mezi přítlačné desky lisu. Lisování bylo nastaveno na dobu 15 sekund, za teploty 160°C a vzdáleností desek 0.5 mm. Tímto byly vzorky připraveny k potřebnému měření.

Při výrově vzorků byly technologické parametry experimentálně ověřeny a dodrženy tak, aby se výrobky co nejvíce podobaly výrobkům dodaným společností Fibertex.



Obrázek 5 Vyrobené vzorky

3.5 Metoda zjišťování propustnosti vody geotextilií

V minulosti byly vlastnosti geotextilií posuzovány zkouškami pro textil, později však bylo zjištěno, že tyto testy nemají vztah ke skutečnému chování geotextilií, zejména pokud je v kontaktu se zeminou. Institucemi v různých zemích byly vyvíjeny nové metody a testovací zařízení. V současné době společný základ zkoušení zajišťují evropské normy, která jsou akceptovány nejen v Evropské unii, ale i po celém světě.

V této práci je předmětem zkoumání propustnost geotextilií. Zkouška propustnosti slouží ke zjištění hodnoty propustnosti a porovnání rychlosti proudění kapaliny. K naměření propustnosti byla stanovena metoda klesající hydrostatické výšky, kterou určuje norma ČSN EN ISO 11058. Hodnocen bude vliv jemnosti jednotlivých geotextilií na propustnost. Jak již bylo uvedeno, bylo vyrobeno pět geotextilií s různými poměry jemností vláken. Z každé textilie byly odebrány čtyři vzorky, na kterých bylo měření propustnosti provedeno.

3.5.1 Měření vyrobených vzorků

Následující odstavce jsou věnovány měření plošné hmotnosti, tloušťky a provedení zkoušky propustnosti metodou klesající hydrostatické výšky samotné. Tyto zkoušky jsou nezbytné k dalšímu zpracování a závěrečnému vyhodnocení vlivu jemnosti na propustnost geotextilií.

Plošná hmotnost

Z geotextilií bylo vyraženo vždy deset zkušebních vzorků o rozměrech 100 x 100 mm, vzorky byly zváženy a hodnoty statisticky vyhodnoceny a jednotky převedeny na hmotnost 1m².

Tloušťka

Tloušťka geotextilií byla měřena dle pokynů normy ČSN EN ISO 9863-1, která stanoví metodu pro zjišťování tloušťky geosyntetik při stanovených tlacích a stanoví tlak

pro zjišťování jmenovité tloušťky. Použit byl tloušťkoměr PM 003, PM 118 s velikostí přitlačné desky o ploše $(25 \pm 0.2) \text{ cm}^2$ při působení tlaku 2 kPa po dobu 30 s. Principem měření tloušťky textilie je změření vzdálenosti mezi dvěma čelistmi, mezi kterými je vzorek umístěn.

Každý vzorek byl vložen mezi čelisti tloušťkoměru, čelist se pomalu uvedla do styku se vzorkem za působení tlaku 2 kPa, po dobu 30 s se údaje o tloušťce odečetly a automaticky odeslaly do programu v počítači, kde byly následně vyhodnoceny.

V následující tabulce pod č. 5 jsou uvedeny naměřené průměrné hodnoty tloušťky a plošné hmotnosti.

Vzorky	Tloušťka [mm]	Plošná hmotnost [g/m ²]
1. vzorek	0,7	112
2. vzorek	0,78	102
3. vzorek	0,66	105
4. vzorek	0,74	112
5. vzorek	0,63	102

Tabulka 5 Výsledky měření tloušťky a plošné hmotnosti u vyrobených vzorků

3.5.2 *Měření propustnosti metodou klesající hydrostatické výšky*

Provedení této zkoušky mi bylo umožněno ve společnosti JUTA, a.s., která vlastní na zkušebním zařízení GE-TE-FLOW PM 005 splňující podmínky výše uvedené normy. Zařízení je průhledné, tvořené dvěma svislými propojenými válci stejného průměru, analyzující rychlost průtoku vody skrz vzorek. Jedná se o přístroj plně automatický a řízený počítačem. Výsledky měření jsou matematicky i graficky vyhodnoceny.

Podstata zkoušky

Jedna nezatížená vrstva geotextilií je vystavena jednosměrnému toku vody kolmo k rovině při klesající hydrostatické výšce. Účelem zkoušky je získat hodnotu proudění rychlosti při poklesu hydrostatické výšky o 50 mm, buď výpočtem, nebo grafickým znázorněním.

Postup zkoušky

Z různých míst plochy vyrobených geotextilií byly vybrány zkušební vzorky, která byly vyraženy do kruhového průřezu, o ploše $36,1 \text{ cm}^2$, rozměr kopírující tvar měřicí cely. Vzorky byly ponořeny do teplé vody po dobu několika hodin pro odstranění vzduchových bublin. Klimatické podmínky v laboratoři byly při měření 26°C a 18% vlhkost.

Samotné měření bylo provedeno tak, že vzorek byl vložen do zařízení a zajištěn mezi dvě mřížky. Zařízení bylo uzavřeno a spuštěno měření, poté se vyčkávalo dalších pokynů počítače. Po ukončení měření a následném odeslání hodnot byl vzorek vyjmut a do zařízení byl vložen vzorek další, měření se stejným způsobem opakovalo, u každé vyrobené textilie čtyřikrát. U předložených vzorků měření proběhlo pouze jednou. Přístroj vždy vyhodnotil index rychlosti pro pokles hydrostatické výšky o 50 mm [m/s]; průtok [$\text{l}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$] a permitivitu, průměr, směrodatnou odchylku a variační koeficient.

3.6 Výsledky a diskuze

Měření propustnosti vody kolmo k rovině bylo naměřeno na přístroji GE-TE-FLOW PM 005, jak bylo popsáno v kapitole výše. Sledovány byly tři hodnoty Index hodnoty poklesu hydrostatické výšky o 50 mm [m/s], [l/(s x m²)] a permitivita [l/s]. Tato část experimentu se zabývala vztahem mezi jemností vláken a propustností vody geotextilií. Jak již bylo zmíněno, k tomuto účelu bylo vyrobeno pět sérií vzorků s různými poměry vláken několika jemností, konstrukční parametry jsou uvedeny v následujících tabulkách.

3.6.1 Výsledky měření propustnosti u vzorků dodaných společností

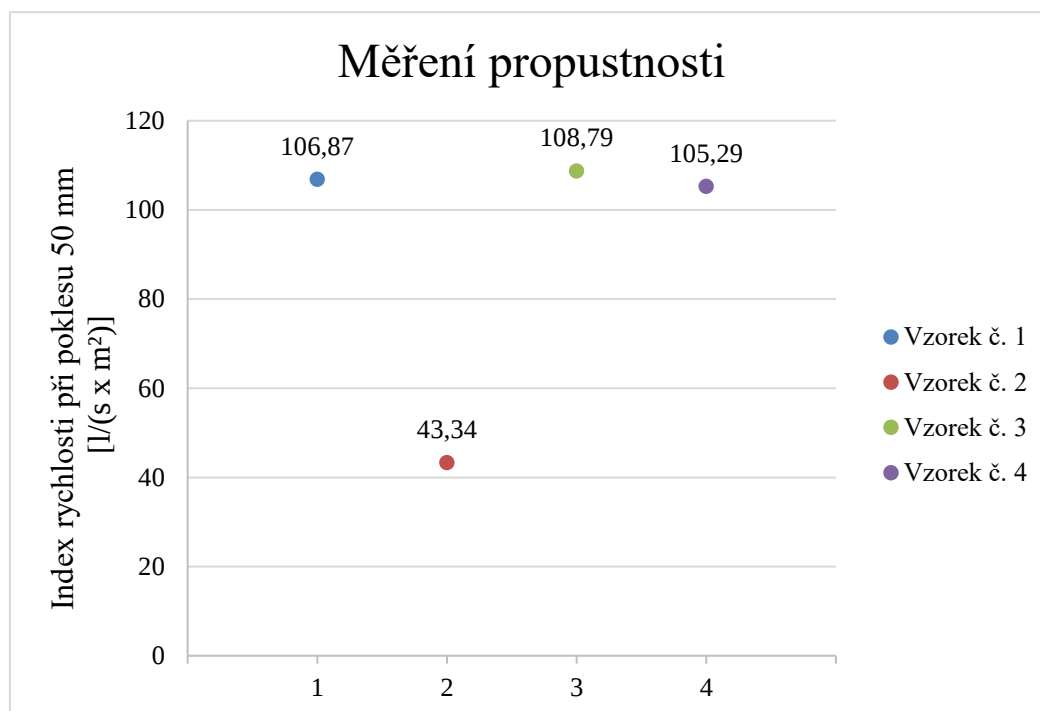
Fibertex a.s.

V tabulce jsou základní údaje naměřených hodnot propustnosti kolmo k rovině u vzorků Fibertexu a. s. U vzorku č. 1 byla naměřeny nejnižší hodnoty jemnosti vláken s průměrem 5,1 dtex, a propustností 106,8 [l/(s.m²)]. U druhého vzorku byla průměrná jemnost 5,1 dtex, propustnost však byla pouze 43,342 [l/(s.m²)]. U třetího vzorku je průměr jemnosti vláken 5,7 dtex, propustnost tohoto vzorku byla 108,7[l/(s.m²)] a u posledního vzorku je průměrná jemnost vláken 5,8 dtex s propustností 105,29 [l/(s.m²)].

Vzorky	Plošná hmotnost [g/m ²]	Index rychlosti pro pokles hydrostatické výšky o 50 mm (VIH 50)		Permitivita [l/s]
		[m/s]	[l/(s x m ²)]	
Vzorek č. 1	94	0,106	106,868	2,137
Vzorek č. 2	92	0,043	43,342	0,867
Vzorek č. 3	118	0,108	108,793	2,176
Vzorek č. 4	114	0,105	105,291	2,106

Tabulka 6 Výsledky měření propustnosti u vzorků Fibertex

Z grafu měření jemnosti vláken je patrné, že u vzorku č. 1 a 2 jsou vlákna jemnější, tyto rozdíly jsou však zanedbatelné. Propustnost kolmo k rovině u prvního vzorku byla naměřena $106,8 [\text{l}/(\text{s} \times \text{m}^2)]$, u druhého vzorku pak hodnoty rapidně klesly na $43,3 [\text{l}/(\text{s} \times \text{m}^2)]$, u vzorku třetího nám ukázaly $108,7 [\text{l}/(\text{s} \times \text{m}^2)]$ a u čtvrtého $105,2 [\text{l}/(\text{s} \times \text{m}^2)]$. Z takto naměřených hodnot lze však pouze potvrdit, že měření propustnosti, který bylo možné učinit pouze jednou, nebylo dostačující. Dále je zde nutné přihlídnout k tloušťce netkaných textilií, jejich plošné hmotnosti a pórovitosti, které s propustností také souvisí. Z uvedených měření není možné určit jakýkoliv závěr, který by mohl potvrdit závislost propustnosti geotextilie na jemnosti vláken. Je tedy potvrzena skutečnost, že čím více je naměřených hodnot, tím přesnější výsledky lze vyvodit. Vliv jemnosti vláken na propustnost je dále zkoumán u textilií vyrobených pro tento účel, kdy bylo možné provést náhodným výběrem dostatečný počet měření vzorků, který je stanovený ČSN EN ISO 11058.



Graf 2 Propustnost u geotextilií Fibertexu a.s.

3.6.2 Výsledky měření u vyrobených vzorků

V následujících tabulkách jsou uvedeny hodnoty z provedených měření tloušťky a propustnosti. První tabulka uvádí naměřené hodnoty geotextilie s nejvyšším podílem hrubých vláken, střední jemnost vláken je u této geotextilie 5,4. U těchto pěti vzorků, byla průměrná tloušťka 0,70 mm a plošná hmotnost je 112 [g/m²].

Vzorek č. 1 - 5,04 [dtex]	Tloušťka [mm]	Index rychlosti pro pokles hydrostatické výšky o 50 mm (VIH 50)		Permitivita [l/s]
		[m/s]	[l/(s x m ²)]	
1	0,690	0,121	121,600	2,432
2	0,580	0,107	107,050	2,141
3	0,730	0,085	85,530	1,711
4	0,770	0,073	73,899	1,478
5	0,750	0,108	108,473	2,169
Průměr	0,704	0,099	99,310	1,986
Směrodatná odchylka	0,067	0,017	17,180	0,344
Confidence	0,059	0,015	15,060	0,301
HM	0,763	0,114	114,370	2,287
DM	0,645	0,084	84,250	1,685
Variační koeficient	9,58%	17,54%	17,30%	17,30%

Tabulka 7 Výsledky měření propustnosti u prvního vyrobeného vzorku

Ve druhé tabulce jsou hodnoty vzorků z geotextilie se střední jemností vláken 3,9 dtex. Průměr u tloušťky je spočítán na 0,78 mm a plošná hmotnost 102 [g/m²].

Vzorek č. 2 - 3,9 [dtex]	Tloušťka [mm]	Index rychlosti pro pokles hydrostatické výšky o 50 mm (VIH 50)		Permitivita [l/s]
		[m/s]	[l/(s x m ²)]	
1	0,840	0,112	111,738	2,235
2	0,830	0,111	110,580	2,212
3	0,750	0,106	106,108	2,122
4	0,740	0,114	114,102	2,282
5	0,730	0,107	106,732	2,135
Průměr	0,778	0,110	109,852	2,197
Směrodatná odchylka	0,047	0,003	3,030	0,061
Confidence	0,041	0,003	2,660	0,053
HM	0,819	0,112	112,510	2,250
DM	0,737	0,107	107,200	2,144
Variační koeficient	6,05%	2,76%	2,76%	2,76%

Tabulka 8 Výsledky měření propustnosti u druhého vyrobeného vzorku

Třetí tabulka uvádí hodnoty vzorků geotextilie se střední jemností vláken 2,5 dtex, průměr tloušťky vychází 0,66 mm a plošná hmotnost je stanovena 105 [g/m²].

Vzorek č. 3 - 2,5 [dtex]	Tloušťka [mm]	Index rychlosti pro pokles hydrostatické		Permitivita [l/s]
		[m/s]	[l/(s x m ²)]	
1	0,560	0,114	113,760	2,275
2	0,610	0,083	82,942	1,659
3	0,660	0,063	63,364	1,267
4	0,710	0,058	57,836	1,157
5	0,740	0,060	59,742	1,195
Průměr	0,656	0,076	75,529	1,511
Směrodatná odchylka	0,065	0,021	21,104	0,422
Confidence	0,057	0,019	18,498	0,370
HM	0,713	0,094	94,030	1,880
DM	0,599	0,057	57,030	1,141
Variační koeficient	9,95%	27,96%	27,94%	27,93%

Tabulka 9 Výsledky měření propustnosti u třetího vyrobeného vzorku

Hodnoty obsahující čtvrtá tabulka jsou geotextilie se střední jemností vláken 1,87 dtex, průměr tloušťky zde vychází 0,74 mm a plošná hmotnost 112 [g/m²].

Vzorek č. 4 1,87 [dtex]	Tloušťka [mm]	Index rychlosti pro pokles hydrostatické		Permitivita [l/s]
		[m/s]	[l/(s x m ²)]	
1	1,020	0,051	51,190	1,024
2	0,690	0,074	73,524	1,470
3	0,620	0,071	70,940	1,419
4	0,750	0,046	45,696	0,914
5	0,610	0,065	65,218	1,304
Průměr	0,738	0,061	61,312	1,226
Směrodatná odchylka	0,150	0,011	10,988	0,220
Confidence	0,131	0,010	9,632	0,192
HM	0,869	0,071	70,94	1,419
DM	0,607	0,052	51,68	1,034
Variační koeficient	20,31%	17,92%	17,92%	17,91%

Tabulka 10 Výsledky měření propustnosti u čtvrtého vyrobeného vzorku

Poslední geotextilie má střední jemnost vláken 1,6 průměr měření tloušťky je 0,63 mm a plošná hmotnost 102 [g/m²].

Vzorek č. 5 - 1,6 [dtex]	Tloušťka [mm]	Index rychlosti pro pokles hydrostatické		Permitivita [l/s]
		[m/s]	[l/(s x m ²)]	
1	0,690	0,061	60,919	1,218
2	0,700	0,063	63,342	1,267
3	0,590	0,047	47,111	0,942
4	0,530	0,068	67,589	1,352
5	0,650	0,070	69,809	1,396
Průměr	0,632	0,062	61,75	1,235
Směrodatná odchylka	0,064	0,008	7,96	0,159
Confidence	0,056	0,007	6,97	0,140
HM	0,688	0,069	68,73	1,375
DM	0,576	0,055	54,78	1,095
Variační koeficient	10,13%	12,89%	12,88%	12,89%

Tabulka 11 Výsledky měření propustnosti u pátého vyrobeného vzorku

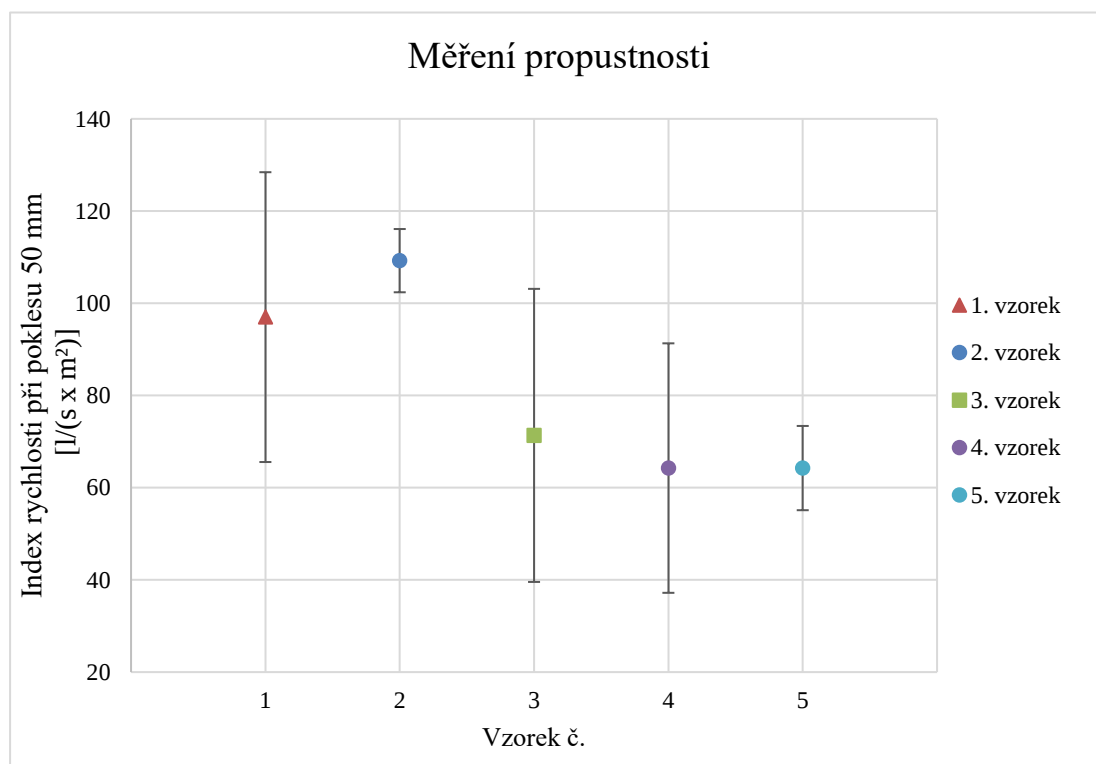
Výsledky měření spočítané podle analýzy malých výběrů – Hornův postup

Vzorky	1	2	3	4	5
Dolní pivot XD	85,530	106,732	59,742	51,190	60,919
Horní pivot XH	108,473	111,738	82,942	70,940	67,589
Pivotová polosuma PL	97,002	109,235	71,342	61,065	64,254
Pivotové rozpětí RL	22,943	5,006	23,200	19,750	6,670
Variační koeficient	23,65%	4,58%	32,52%	32,34%	10,38%
Dolní mez IS	65,570	102,377	39,558	34,008	55,116
Horní mez IS	128,433	116,093	103,126	88,123	73,392

Tabulka 12 Výsledky měření propustnosti Hornův postup

V následujícím grafu je zobrazen vliv jemnosti vláken na propustnost geotextilií. Z grafu je patrné, že modelové vzorky s větším podílem jemnějších vláken mají nižší propustnost než vzorky obsahující s vyššími hodnotami dtex. Vzorky vyrobené z první geotextilie obsahují nejvíce hrubých vláken, střední jemnost vláken je 5,04 dtex, střední hodnota naměřené propustnosti je 97,0015 [l/(s x m²)]. U vzorků z druhé geotextilie se střední jemností vláken 3,9 dtex vychází výpočet střední hodnoty 109,235 [l/(s x m²)], což je však hodnota o něco vyšší. Vzorky vyrobené ze třetí textlie, se střední jemností vláken 2,5 dtex, mají střední hodnotu naměřené propustnosti 71.342 [l/(s x m²)], jde tedy o rapidní pokles hodnot. U vzorků ze čtvrté geotextilie o střední jemnosti 1,87 dtex je střední hodnota měření propustnosti 51,19 [l/(s x m²)]. Propustnost u vzorků z páté geotextilie o střední jemnosti vláken 1,6 dtex pokles nezaznamenaly, zde je střední hodnota vypočítána 64,254 [l/(s x m²)].

Na propustnost geotextilie má vliv průměr vláken, jejich hustota, tloušťka geotextilie, ale neméně i způsobu provázání vláknenných vrstev. Z námi naměřených výsledků lze usuzovat, že jemnější vlákna mají i nižší hodnoty propustnosti. Vzestup naměřených hodnot propustnosti u druhého vzorku lze přisuzovat nehomogenitě vzorků.



Graf 3 Měření propustnosti u vyrobených vzorků

ZÁVĚR

V bakalářské práci jsem plnila zadání, které sestávalo z několika částí, v rešeršní části je obecné seznámení s geotextiliemi, kde jsou uvedeny potřebné definice, ve stručnosti jsou popsány jejich funkce a aplikace. V další části jsou popsány technologické parametry, které souvisí s vlivem vlákných filtrů na průtok kapaliny. Následuje analýza vzorků geotextilií, kde je popsán materiál, ze kterého jsou dodané vzorky vyrobeny. Ve stručnosti je popsána technologie jejich výroby, zjišťování kruhového průřezu vláken a metoda měření jemnosti vláken pomocí obrazové analýzy. V další části je podrobný postup navržení modelové struktury k ověření vlivu jemnosti vláken na průtok kapaliny obdobných geotextilií.

Experimentální část je zaměřena na zjištění závislosti propustnosti geotextilie na jemnosti vláken u vzorků vyrobených, ale i vzorků dodaných. Obsahuje také vyhodnocení a okomentování výsledků.

Z vyhodnocených výsledků je i přes variabilitu v hmotné nestejnoměrnosti patrné, že s vyšší koncentrací jemnějších vláken klesá propustnost vody geotextilie. Původně se však předpokládalo, že pokles propustnosti bude vyšší. Daleko větší vliv na propustnost má objemová hmotnost a pórovitost geotextilie.

Pokud by se v práci mělo pokračovat, bylo by potřeba další vzorky vyrobit již průmyslovým způsobem, aby byla dosažena vyšší homogenita výrobků. Dále by bylo vhodné se zaměřit na vzorky se střední jemností vláken mezi 4 a 2 dTex, kde došlo ke znatelnému poklesu propustnosti vody.

REFERENČNÍ SEZNAM

- [1] Oldřich JIRSÁK a Klára KALINOVÁ, Netkané textilie, Skriptum Technické univerzity v Liberci
- [2] Česká technická norma ČSN EN ISO 10318-1, Geotextilie a výrobky podobné geotextiliím
- [3] Projektová příručka geotextilie Fibertex a.s. [www.fibertex.cz]
- [4] Prof. Ing. Jiří MILITKÝ, CSc., doc. RNDr. Jiří VANÍČEK, CSc, katedra textilních materiálů, TF, TÚ Liberec Vlastnosti vláken
- [5] Bohuslav NECKÁŘ, Vlákná a vlákenné útvary 1. Přednášky. TU Liberec [on line]. [cit. 20. 11. 2019]. Dostupné z: <http://www.tul.cz>
- [6] KOVAČIČ, V. Zkoušení a textilní zkušebnictví, Liberec, 2001. Učební texty
- [7] Technické podmínky 97, Geosyntetika v zemním tělese, pozemních komunikacích, Ministerstvo dopravy, Odbor infrastruktury
- [8] Česká technická norma ČSN EN ISO 10318 - Zjišťování vlastností propustnosti vody kolmo k rovině, bez zatížení, Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví
- [9] Polymery, výroba, vlastnosti, zpracování, použití. Prof. Ing. Vratislav DUCHÁČEK, DrSc [cit 28. 11.2018]
- [10] MORTON, W.E., HEARLE, J.W.S. Physical properties of textile fibers. 4. Ed. Woodhead publishing in Textiles 68, Woodhead publishing limited, Cambridge, England, 2008
- [11] RNDr. Milan MELOUN, DrSc, prof. Ing. Jiří MILITKÝ, Csc Statistická analýza experimentálních dat, 2004
- [12] F. PECHÁČEK – Ing. J. JANKOVSKÝ, Zkoušení textilií, 1976

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Vybraný snímek z obrazové analýzy	32
Obrázek 2 Materiálová směs.....	36
Obrázek 3 Válcový mykací stroj.....	37
Obrázek 4 Vpichovací stroj	38
Obrázek 5 Vyrobené vzorky	39

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Měření tloušťky, hmotnosti a plošné hmotnosti	31
Tabulka 2 Měření průměru a jemnosti vláken	34
Tabulka 3 Poměr jemností vlákenné struktury	35
Tabulka 4 Naměřené hodnoty střední jemnosti vláken.....	36
Tabulka 5 Výsledky měření tloušťky a plošné hmotnosti u vyrobených vzorků	41
Tabulka 6 Výsledky měření propustnosti u vzorků Fibertex	43
Tabulka 7 Výsledky měření propustnosti u prvního vyrobeného vzorku.....	45
Tabulka 8 Výsledky měření propustnosti u druhého vyrobeného vzorku	45
Tabulka 9 Výsledky měření propustnosti u třetího vyrobeného vzorku.....	46
Tabulka 10 Výsledky měření propustnosti u čtvrtého vyrobeného vzorku	46
Tabulka 11 Výsledky měření propustnosti u pátého vyrobeného vzorku.....	47
Tabulka 12 Výsledky měření propustnosti Hornův postup	47

SEZNAM GRAFŮ

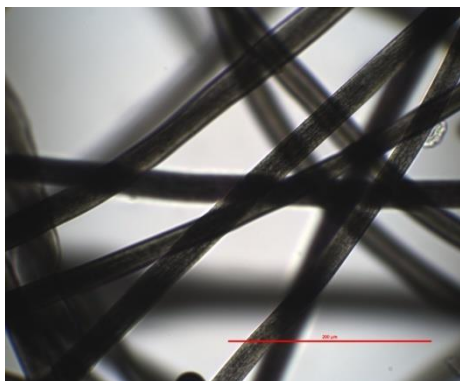
Graf 1 Jemnost naměřených vláken	34
Graf 2 Propustnost u geotextilií Fibertexu a.s.	44
Graf 3 Měření propustnosti u vyrobených vzorků	48

SEZNAM PŘÍLOH

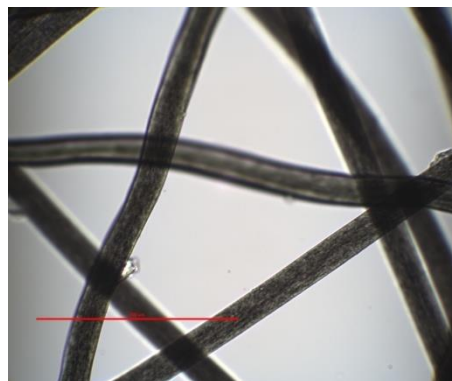
- Příloha č. 1 - Vybrané snímky z obrazové analýzy při měření jemnosti vláken
vzorků Fibertex
Příloha č. 2 - Výsledky měření jemnosti vláken

Příloha č. 1 - Vybrané snímky z obrazové analýzy při měření jemnosti vláken vzorků Tiptex

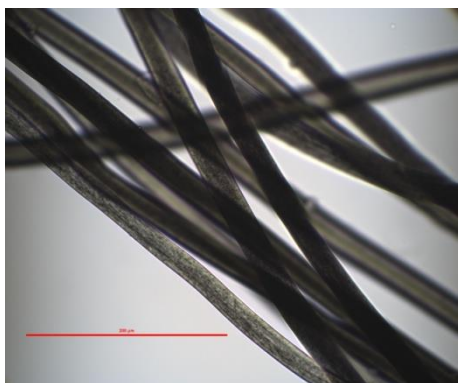
Vzorek č. 1



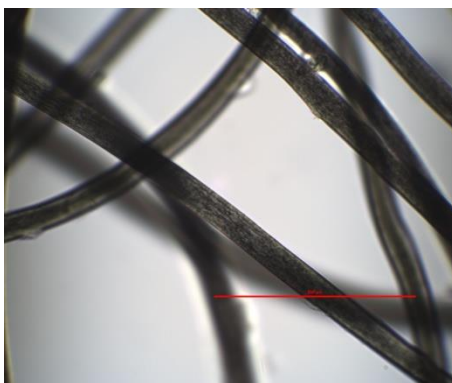
Vzorek č. 2



Vzorek č. 3



Vzorek č. 4



Příloha č. 2

1. Vzorek	Průměr [μm]	Jemnost [tex]
1	27,66	0,54
2	27,91	0,55
3	26,47	0,50
4	27,49	0,53
5	24,85	0,44
6	24,89	0,44
7	25,59	0,46
8	27,34	0,53
9	26,79	0,51
10	30,75	0,67
11	26,03	0,48
12	27,65	0,54
13	26,18	0,48
14	29,83	0,63
15	27,34	0,53
16	33,48	0,79
17	26,57	0,50
18	29,64	0,62
19	28,37	0,57
20	28,19	0,56
21	24,43	0,42
22	29,38	0,61
23	24,45	0,42
24	37,94	1,02
25	24,39	0,42
26	24,61	0,43
27	25,57	0,46
28	26,98	0,51
29	23,30	0,38
30	24,83	0,44
31	24,62	0,43
32	24,62	0,43
33	36,74	0,95
34	36,27	0,93
35	21,97	0,34
36	22,24	0,35
37	25,97	0,48
38	26,83	0,51
39	25,01	0,44
40	28,69	0,58
41	27,23	0,52
42	19,04	0,26
43	22,69	0,36

2. Vzorek	Průměr [μm]	Jemnost [tex]
1	31,73	0,71
2	31,26	0,69
3	28,09	0,56
4	27,80	0,55
5	25,62	0,46
6	27,12	0,52
7	22,13	0,35
8	22,18	0,35
9	27,93	0,55
10	27,67	0,54
11	26,00	0,48
12	30,53	0,66
13	28,42	0,57
14	27,90	0,55
15	24,56	0,43
16	22,59	0,36
17	28,68	0,58
18	28,05	0,56
19	27,53	0,54
20	22,60	0,36
21	27,36	0,53
22	27,39	0,53
23	22,93	0,37
24	26,84	0,51
25	33,91	0,81
26	28,69	0,58
27	24,73	0,43
28	25,40	0,46
29	22,86	0,37
30	29,36	0,61
31	23,92	0,40
32	24,73	0,43
33	25,42	0,46
34	22,76	0,37
35	24,01	0,41
36	26,89	0,51
37	26,57	0,50
38	22,39	0,35
39	28,38	0,57
40	21,78	0,34
41	21,78	0,34
42	29,49	0,61
43	28,73	0,58

44	28,33	0,57
45	26,64	0,50
46	31,04	0,68
47	28,13	0,56
48	31,17	0,69
49	23,25	0,38
50	24,51	0,42
51	24,67	0,43
52	27,63	0,54
53	27,90	0,55
54	19,91	0,28
55	24,05	0,41
56	24,94	0,44
57	25,30	0,45
58	29,86	0,63
59	26,12	0,48
60	21,38	0,32
61	25,78	0,47
62	32,32	0,74
63	30,35	0,65
64	33,37	0,79
65	28,65	0,58
66	28,60	0,58
67	23,77	0,40
68	29,59	0,62
69	24,31	0,42
70	26,03	0,48
71	29,82	0,63
72	26,51	0,50
73	26,30	0,49
74	28,24	0,56
75	28,03	0,56
76	32,86	0,76
77	26,10	0,48
78	25,82	0,47
79	26,31	0,49
80	23,48	0,39
81	23,28	0,38
82	29,89	0,63
83	28,01	0,55
84	31,36	0,70
85	26,03	0,48
86	29,58	0,62
87	26,29	0,49
88	27,62	0,54
89	27,27	0,53

44	27,10	0,52
45	24,12	0,41
46	29,40	0,61
47	27,15	0,52
48	28,95	0,59
49	24,73	0,43
50	25,93	0,48
51	31,21	0,69
52	26,87	0,51
53	27,21	0,52
54	25,06	0,44
55	26,82	0,51
56	27,43	0,53
57	21,00	0,31
58	23,46	0,39
59	26,49	0,50
60	27,61	0,54
61	24,89	0,44
62	24,94	0,44
63	26,57	0,50
64	38,09	1,03
65	20,59	0,30
66	32,30	0,74
67	28,65	0,58
68	28,11	0,56
69	27,78	0,55
70	41,68	1,23
71	26,41	0,49
72	26,38	0,49
73	34,32	0,83
74	28,41	0,57
75	26,55	0,50
76	24,91	0,44
77	31,80	0,71
78	25,11	0,45
79	26,71	0,50
80	29,31	0,61
81	33,52	0,79
82	26,82	0,51
83	26,32	0,49
84	34,38	0,84
85	40,52	1,16
86	27,79	0,55
87	37,16	0,98
88	21,48	0,33
89	27,07	0,52

90	27,39	0,53
91	24,84	0,44
92	28,34	0,57
93	28,12	0,56
94	25,13	0,45
95	28,57	0,58
96	31,71	0,71
97	26,51	0,50
98	25,97	0,48
99	29,02	0,60
100	27,24	0,52

90	23,27	0,38
91	23,53	0,39
92	23,60	0,39
93	29,42	0,61
94	30,04	0,64
95	28,82	0,59
96	21,40	0,32
97	27,31	0,53
98	23,56	0,39
99	31,24	0,69
100	27,77	0,55

Průměr	0,51
Směrodatná odchylka	0,13
Variační koeficient	0,25
Confidence	0,03
HM	0,54
DM	0,49

Průměr	0,51
Směrodatná odchylka	0,16
Variační koeficient	0,32
Confidence	0,03
HM	0,54
DM	0,48

3. Vzorek	Průměr [μm]	Jemnost [tex]
1	26,83	0,51
2	23,79	0,40
3	26,63	0,50
4	26,71	0,50
5	29,24	0,60
6	24,43	0,42
7	21,18	0,32
8	32,90	0,77
9	29,04	0,60
10	26,50	0,50
11	25,67	0,47
12	28,49	0,57
13	32,62	0,75
14	25,05	0,44
15	21,08	0,31
16	26,83	0,51
17	26,18	0,48
18	27,99	0,55
19	29,17	0,60
20	32,48	0,75
21	31,33	0,69
22	30,51	0,66
23	29,18	0,60
24	37,55	1,00
25	39,27	1,09
26	31,65	0,71
27	26,13	0,48
28	22,57	0,36
29	29,99	0,64
30	24,91	0,44
31	24,43	0,42
32	31,09	0,68
33	32,67	0,75
34	26,18	0,48
35	27,65	0,54
36	26,11	0,48
37	29,21	0,60
38	29,28	0,61
39	27,26	0,53
40	32,12	0,73
41	27,21	0,52
42	33,50	0,79
43	30,93	0,68
44	32,52	0,75
45	30,43	0,65

4. Vzorek	Průměr [μm]	Jemnost [tex]
1	29,39	0,61
2	36,18	0,93
3	31,45	0,70
4	25,72	0,47
5	30,64	0,66
6	32,39	0,74
7	27,03	0,52
8	27,18	0,52
9	30,43	0,65
10	25,44	0,46
11	32,16	0,73
12	29,49	0,61
13	31,46	0,70
14	32,97	0,77
15	26,77	0,51
16	30,61	0,66
17	33,79	0,81
18	31,92	0,72
19	29,06	0,60
20	31,41	0,70
21	27,94	0,55
22	30,48	0,66
23	27,08	0,52
24	28,45	0,57
25	31,50	0,70
26	26,69	0,50
27	26,13	0,48
28	28,09	0,56
29	27,80	0,55
30	28,92	0,59
31	26,77	0,51
32	27,03	0,52
33	25,39	0,46
34	27,13	0,52
35	29,45	0,61
36	24,08	0,41
37	29,47	0,61
38	32,30	0,74
39	27,93	0,55
40	25,75	0,47
41	24,33	0,42
42	23,36	0,39
43	31,94	0,72
44	28,12	0,56
45	31,20	0,69

46	31,49	0,70	46	43,31	1,33
47	31,83	0,72	47	29,56	0,62
48	25,42	0,46	48	32,58	0,75
49	26,64	0,50	49	29,28	0,61
50	28,74	0,58	50	25,33	0,45
51	34,22	0,83	51	26,64	0,50
52	24,17	0,41	52	29,24	0,60
53	28,05	0,56	53	28,14	0,56
54	24,62	0,43	54	29,08	0,60
55	30,07	0,64	55	25,75	0,47
56	30,81	0,67	56	29,85	0,63
57	27,80	0,55	57	21,93	0,34
58	21,90	0,34	58	27,39	0,53
59	21,43	0,32	59	28,77	0,59
60	23,35	0,39	60	21,95	0,34
61	25,83	0,47	61	26,55	0,50
62	28,59	0,58	62	35,14	0,87
63	24,43	0,42	63	33,22	0,78
64	26,92	0,51	64	27,36	0,53
65	25,75	0,47	65	29,81	0,63
66	37,16	0,98	66	24,72	0,43
67	35,70	0,90	67	30,06	0,64
68	24,13	0,41	68	26,99	0,51
69	27,33	0,53	69	25,84	0,47
70	24,72	0,43	70	26,68	0,50
71	23,31	0,38	71	28,82	0,59
72	25,53	0,46	72	24,95	0,44
73	32,99	0,77	73	26,35	0,49
74	25,74	0,47	74	29,88	0,63
75	26,89	0,51	75	28,04	0,56
76	24,93	0,44	76	26,22	0,49
77	22,01	0,34	77	24,93	0,44
78	27,10	0,52	78	26,39	0,49
79	24,26	0,42	79	22,58	0,36
80	26,36	0,49	80	27,95	0,55
81	31,92	0,72	81	24,82	0,44
82	31,60	0,71	82	26,78	0,51
83	26,47	0,50	83	27,70	0,54
84	27,81	0,55	84	32,12	0,73
85	29,03	0,60	85	28,43	0,57
86	24,57	0,43	86	31,06	0,68
87	30,55	0,66	87	32,61	0,75
88	25,68	0,47	88	28,95	0,59
89	27,55	0,54	89	23,07	0,38
90	22,56	0,36	90	25,36	0,45
91	25,45	0,46	91	30,03	0,64

92	25,40	0,46
93	29,33	0,61
94	29,19	0,60
95	28,25	0,56
96	28,64	0,58
97	28,03	0,56
98	37,05	0,97
99	29,35	0,61
100	29,32	0,61

92	21,68	0,33
93	28,96	0,59
94	34,56	0,84
95	26,97	0,51
96	25,19	0,45
97	25,19	0,45
98	28,13	0,56
99	28,40	0,57
100	25,44	0,46

Průměr	0,57
Směrodatná odchylka	0,15
Variační koeficient	0,27
Confidence	0,03
HM	0,60
DM	0,54

Průměr	0,58
Směrodatná odchylka	0,14
Variační koeficient	0,24
Confidence	0,03
HM	0,61
DM	0,55