



Vliv deformace textilií na hydrostatickou odolnost

Diplomová práce

<i>Studijní program:</i>	N3957 Průmyslové inženýrství
<i>Studijní obor:</i>	Produktové inženýrství
<i>Autor práce:</i>	Bc. Markéta Štasná
<i>Vedoucí práce:</i>	Ing. Pavla Těšinová, Ph.D. Katedra hodnocení textilií
<i>Konzultant práce:</i>	prof. Ing. Jakub Wiener, Ph.D. Katedra materiálového inženýrství





Zadání diplomové práce

Vliv deformace textilií na hydrostatickou odolnost

Jméno a příjmení: Bc. Markéta Šťasná
Osobní číslo: T15000056
Studijní program: N3957 Průmyslové inženýrství
Studijní obor: Produktové inženýrství
Zadávací katedra: Katedra hodnocení textilií
Akademický rok: 2019/2020

Zásady pro vypracování:

- 1) Vypracujte rešerši na téma práce, včetně analýzy sil v textiliích za podmínek testu hydrostatické odolnosti.
- 2) Na vybraných hydrofobních textiliích stanovte hydrostatickou odolnost metodou vodního sloupce.
- 3) Na těchto textiliích stanovte mechanické vlastnosti, zaměřte se na změny strukturních parametrů textilií vlivem vnějších sil.
- 4) Na základě analýzy sil v textiliích při testu hydrostatické odolnosti a znalosti deformovatelnosti textilie diskutujte vypovídací schopnost naměřených dat hydrostatické odolnosti.

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

50 – 60 normostran
tištěná/elektronická
Čeština



Seznam odborné literatury:

ČSN EN 20811 (800818) Textilie. Stanovení odolnosti proti pronikání vody. Zkouška tlakem vody. Datum schválení 1. 9. 1994, Datum účinnosti 1. 10. 1994, 8 stran formátu A4.

STRÍŽ, Bohuslav. Pružnost a pevnost. sv. 2. Liberec: Vysoká škola strojní a textilní v Liberci, 1983.

DEMBICKÝ, Josef, Jiří KRYŠTŮFEK, Dagmar MACHAŇOVÁ, Jaroslav ODVÁRKA, Miroslav PRÁŠIL a Jakub WIENER. Zušlechťování textilií. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2008. ISBN 978-80-7372-321-7.

Vedoucí práce:

Ing. Pavla Těšinová, Ph.D.
Katedra hodnocení textilií

Konzultant práce:

prof. Ing. Jakub Wiener, Ph.D.
Katedra materiálového inženýrství

Datum zadání práce:

29. října 2019

Předpokládaný termín odevzdání:

10. srpna 2020

Ing. Jana Drašarová, Ph.D.
děkanka

L.S.

doc. Ing. Vladimír Bajzík, Ph.D.
vedoucí katedry

V Liberci dne 27. července 2020

Prohlášení

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

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

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

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

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

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

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

9. srpna 2020

Bc. Markéta Šťasná

Poděkování

Ráda bych poděkovala vedoucí mé práce Ing. Pavle Těšinové, Ph.D za její vstřícnost a konzultace, které mi poskytla.

Dále chci poděkovat konzultantovi prof. Ing. Jakobovi Wienerovi, Ph.D za poskytnutí potřebných informací a pomoc při řešení experimentální části. Také bych chtěla poděkovat doc. Ing. Lukášovi Čapkovi, Ph.D za věcné rady pro řešení experimentální části.

V neposlední řadě bych chtěla poděkovat mé rodině, partnerovi a blízkým za podporu během mého studia.

Anotace

Cílem této diplomové práce je zjištění, zda má deformace textilií vliv na hydrostatickou odolnost. V teoretické části lze nalézt charakteristiku tkanin, plátnové vazby a jejich úprav. Dále obsahuje informace ohledně hydrostatické odolnosti a tenkých kruhových desek. Praktická část zahrnuje měření hydrostatické odolnosti na vybraných tkaninách. Poté byly stanoveny mechanické vlastnosti testovaných tkanin. Také byl řešen výpočet průhybu tkanin. Nakonec byl vyhodnocen vztah mezi deformací textilií a jeho vlivem na hydrostatickou odolnost.

Klíčová slova: hydrostatická odolnost, porozita, mechanické vlastnosti textilie, tkaniny

Annotation

The aim of this diploma thesis is to determine whether the deformation of textiles has an effect on the hydrostatic resistance. In the theoretical part you can find the characteristics of fabrics, linen weaves and their modifications. It also contains information on hydrostatic resistance and thin circular plates. The practical part includes the measurement of hydrostatic resistance on selected fabrics. Then the mechanical properties of the tested fabrics were determined. The calculation of fabric deflection was also solved. Finally, the relationship between the deformation of textiles and its effect on hydrostatic resistance was evaluated.

Key words: hydrostatic resistance, porosity, mechanical properties of textiles, fabrics

Obsah

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A VELIČIN	9
ÚVOD	12
TEORETICKÁ ČÁST	14
1 Hydrostatický tlak	14
2 Hydrostatická odolnost	15
2.1 Stanovení hydrostatické odolnosti	15
2.1.1 Vodní sloupec	15
2.2 Norma měření hydrostatické odolnosti	16
2.2.1 Princip zkoušky	17
2.2.2 Přístroje pro měření vodního sloupce	17
2.3 Testování	18
2.4 Tlaková rovnice	18
3 Tenké kruhové desky	21
3.1 Osově souměrný ohyb tenkých desek	21
3.2 Průhyb membrány	28
3.3 Určení maximálního průhybu	29
4 Tkaniny	31
4.1 Struktura tkanin	31
4.2 Provázání tkaniny	31
4.2.1 Plátnová vazba (P)	31
4.3 Typy tkanin	32
4.3.1 Tkaniny hedvábnického typu	32
4.4 Porozita tkaniny	33
4.5 Zaplnění tkaniny	35
5 Chemická vlákna a jejich dělení	36
5.1 Polyamidová vlákna	36
5.1.1 Výroba	37
5.1.2 Vlastnosti – obecně	37
5.1.3 Užité vlastnosti	38
5.1.4 Použití	38
6 Finální úpravy textilií	39

6.1	Hydrofobní úprava	39
6.1.1	Hodnocení hydrofobní úpravy	40
	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	42
7	Experiment	43
7.1	Charakteristika použitého materiálu	44
7.1.1	Plošná hmotnost.....	44
7.1.2	Hustota materiálu.....	48
7.2	Výchozí nastavení přístroje.....	52
7.3	Postup měření hydrostatické odolnosti	52
7.4	Měření hydrostatické odolnosti s pozorováním průhybu.....	59
7.4.1	Princip a průběh měření.....	59
8	Výpočet.....	66
8.1	Modul pružnosti v tahu	66
8.2	Ohybová tuhost desky	67
8.3	Průhyb vzorku	68
9	Testování mechanických vlastností tkanin.....	72
9.1	Pevnost tkanin v tahu	72
9.2	Deformační analýza	77
	ZÁVĚR	86
	SEZNAM LITERATURY	88
	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	91
	SEZNAM TABULEK	93
	PŘÍLOHY	94

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A VELIČIN

Zkratka	Význam
DCDHF	dual-core dual-hole
ČSN	česká technická norma
EN	evropská norma
QWPU _s	samožhášecí zesíťovací vodou ředitelné polyuretanové tkaniny se zátěrem
FTIR	Fourierova transformace infračervenou spektroskopii
TGA	Termogravimetrická analýza
OFRP	vyztužená organická vlákna s epoxidovou maticí
PA	polyamid

Symbol	Jednotka	Název veličiny
p_h	[Pa]	hydrostatický tlak
F	[N]	síla
S	[m ²]	plocha
F_g	[N]	gravitační síla
m	[kg]	hmotnost
g	[m/s ²]	tíhové zrychlení
ρ	[kg/m ³]	hustota
V	[m ³]	objem
h	[m]	hloubka
v	[m/s]	rychlost
p	[Pa]	tlak
E_k	[J]	kinetická energie
E_p	[J]	potenciální energie

q	[N/m]	spojité zatížení
d	[m]	tloušťka textilie
l	[m]	délka
ϕ	[-]	porozita
V_p	[m ³]	objem pórů
V_c	[m ³]	celkový objem
μ	[%]	zaplnění
P_p	[-]	porozita z podílu měrných hmotností
ρ_f	[kg/m ³]	objemová měrná hmotnost vlákenného materiálu
ρ_v	[kg/m ³]	objemová měrná hmotnost tkaniny
S_p	[m ²]	plocha pórů
S_c	[m ²]	celková plocha
Z_c	[%]	celkové zakrytí
d_o	[m]	průměr osnovní nitě
D_o	[nití/cm]	dostava osnovy
d_u	[m]	průměr útkové nitě
D_u	[nití/cm]	dostava útku
W	[J]	práce
Δl	[m]	absolutní prodloužení
M	[Nm/m]	moment
σ_r	[Pa]	radiální napětí
σ_t	[Pa]	tečný napětí
τ_{rz}	[Pa]	smykový napětí
r	[m]	poloměr
z, dz	[-]	bod střední roviny

M_r	[Nm/m]	ohybový moment radiální
M_t	[Nm/m]	ohybový moment tečný
l	[m]	tloušťka
Q	[N]	příčná síla
P	[-]	součet všech vnějších zatížení
ε_r	[-]	deformace v radiálním směru
ε_t	[-]	deformace v obvodovém směru
ρ_s	[g/m ²]	plošná hmotnost
a	[m]	poloměr
σ	[Pa]	napětí v tahu
ε	[-]	poměrná deformace
l_0	[m]	původní délka
E	[Pa]	modul pružnosti v tahu
μ	[-]	Poissonovo číslo
D	[Nm]	ohybová tuhost desky
W	[m]	průhyb

ÚVOD

Studií, které se zabývají problematikou hydrostatické odolnosti, je mnoho. Většina se zaměřuje vždy na hydrostatickou odolnost konkrétních materiálů a porovnává testované materiály mezi sebou. Hydrostatická odolnost je vlastnost týkající se odolnosti textilie vůči tlaku vody, který působí na vnější stranu textilie.

Další práce se zabývají např. závislostí hydrostatické odolnosti na různých parametrech a strukturách konkrétních materiálů aj.

K experimentu byly použity tkaniny ze syntetických vláken, konkrétně polyamidový multifil. Jednalo se o dva druhy, kdy jedna sada vzorků byla opatřena hydrofobní úpravou a druhá sada vzorků byla bez úpravy. Pro další měření byla pro porovnání použita tkanina s membránou z nanovláken.

Diplomová práce se zabývá vlivem deformace textilií na hydrostatickou odolnost. U všech testovaných vzorků byla změřena hydrostatická odolnost. Dále byly stanoveny mechanické vlastnosti textilií, např. pevnost v tahu. Následně bylo vyhodnoceno, zda má deformace textilií vliv na hydrostatickou odolnost. Okrajově se práce zabývá i spojením dvou metod dohromady. Po změření hydrostatické odolnosti na tkaninách byl vybrán vhodný vzorec z oblasti mechaniky, jenž byl zvolen na základě geometrické podobnosti, čímž se přibližuje zkoumanému problému a v rámci práce byl aplikován na tkaniny. Výsledky experimentu a výpočtu byly nakonec porovnány a byly vyhodnoceny parametry, které nejvíce ovlivnily výpočet průhybu odpovídajícího měřené hydrostatické odolnosti.

V teoretické části práce jsou zpočátku uvedeny obecné informace o hydrostatickém tlaku a následně o hydrostatické odolnosti, které jsou klíčové pro tuto práci. Dále jsou uvedeny charakteristiky několika pojmů, které souvisejí se zvoleným výpočtem průhybu, jenž nejvíce odpovídá hydrostatické odolnosti. Také je část zaměřena na charakteristiku použitého materiálu od výroby přes strukturu až k důležitým vlastnostem. Poté jsou řešeny druhy finálních úprav textilií.

Experimentální část charakterizuje měřený materiál a použitý přístroj. Vzorky jsou měřeny na zařízení Hydrostatic Head Tester M018. Výsledky měření jsou zaznamenány v tabulkách, také statisticky vyhodnoceny a zaneseny do grafů. Dále byla

pro testování použita tkanina s membránou z nanovláken, z důvodu větší odolnosti. Všechny materiály byly podrobeny testování pevnosti v tahu. Následně byl proveden experiment v domácích podmínkách, kdy se poté sledovala deformace vzorků prostřednictvím SEM analýzy. Nakonec byl vyhodnocen význam deformace na hydrostatickou odolnost. V průběhu byly také řešeny různé výpočty, ať už plošná hmotnost, hustota nebo jiné dílčí výpočty vztahující se k výpočtu průhybu materiálu. Každý výpočet je představován vzorcem, tabulkami s výsledky a grafy. Vše je doplněno o výsledky popisné statistiky, které jsou uvedeny v textu a v přílohách. Výsledky průhybu byly též porovnány a zhodnoceny.

TEORETICKÁ ČÁST

1 Hydrostatický tlak

Hydrostatický tlak je definován jako tlak v kapalinách zapříčiněný tíhovou silou kapaliny [1]. Obvykle se udává v závislosti na hloubce h [2].

Zde je zobrazeno odvození základního vztahu pro hydrostatický tlak [1]:

$$p_h = \frac{F}{S} = \frac{F_G}{S} = \frac{m \cdot g}{S} = \frac{\rho \cdot V \cdot g}{S} = \frac{\rho \cdot S \cdot h \cdot g}{S} = h \cdot \rho \cdot g \quad (1)$$

Z toho vyplývá základní vztah pro hydrostatický tlak [1, 2]:

$$p_h = h \cdot \rho \cdot g \quad (2)$$

Kde: p_h hydrostatický tlak [Pa]

F síla [N]

S plocha [m^2]

F_G gravitační síla [N]

m hmotnost [kg]

g tíhové zrychlení - $g = 9,81$ [m/s^2]

ρ hustota kapaliny [kg/m^3]

V objem [m^3]

h hloubka kapaliny pod volným povrchem [m]

S rostoucí hloubkou se zvyšuje hodnota hydrostatického tlaku [1].

Odolnost materiálů proti průniku vody lze hodnotit ze dvou hledisek. Buď se jedná o neprodyšnou úpravu, kdy jsou textilie potažné, nebo impregnované a vytváření souvislou bariéru proti průchodu vody. Nebo jde o prodyšnou úpravu, kdy jsou materiály izolované tenkou vrstvou hydrofobního filmu [3].

2 Hydrostatická odolnost

Hydrostatická odolnost je definována jako odolnost textilie vůči tlaku vody působící na vnější stranu textilie. Zmiňovaný tlak je obvykle vyjadřován výškou vodního sloupce v metrech. Pokud půjde o vysoce odolnou textili, tak by neměla vypovědět jakýkoliv příznak průsaku vody za podmínek, že tlaky se budou pohybovat pod 200 cm výšky vodního sloupce [4].

2.1 Stanovení hydrostatické odolnosti

Co se týká polopropustných textilií, tak jsou pouze do určité míry nepropustné pro kapalnou vlhkost. Oproti tomu u hustě dostavených mikrovláknových tkanin je možné zaznamenat nepropustnost až do hydrostatického tlaku v rozmezí hodnot 0,5 - 1 m, což není dostatečné pro zadržení vlhkosti pod popruhy batohů či jiných míst, kde dochází ke kooperaci tlaku odvozeného tzv. klínovým efektem. Vysoké tlaky se vytváří též při kompresi vlhké textilie, jako např. během pokleknutí (až 15 m vodního sloupce) [4].

2.1.1 Vodní sloupec

Jedná se o údaj, jehož hodnota nás informuje o možnostech materiálu vzdorovat tlaku vody. Hodnota vodního sloupce je převážně vyjadřována v milimetrech. Odolnost materiálu závisí na velikosti naměřené hodnoty. Čím je číslo vyšší, tím je materiál odolnější a vykazuje vyšší nepromokavost. Měření týkající se této odolnosti se provádí zpravidla v laboratorních podmínkách [5].

2.2 Norma měření hydrostatické odolnosti

- ✓ **ČSN EN 20811 - Textilie. Stanovení odolnosti proti pronikání vody - zkouška tlakem vody**

Tato norma je určena pro vymezení odolnosti textilií proti pronikání vody během vlivu tlaku vody. Postup je stanoven především pro textilie s vyšší dostavou, např. pro lodní plachty, plachty na auta a pro plachty na výrobu stanu [6].

Výška vodního sloupce, jenž textilie zvládne zadržet, formuluje trvanlivost plošné textilie proti pronikání vody. V běžném ovzduší je jedna strana vzorku vystavována stále se zvyšujícím tlaku vody tak dlouho, dokud se nedospěje na třech místech vzorku k proniknutí vody. Tlak, při němž voda prostoupí plošnou textilií ve třetím místě, se zapisuje. Účinek tlaku vody na vzorek může být zesponu či shora. Výsledek zkoušky rovnou vystihuje odolnost výrobků z plošných textilií proti krátkodobému anebo střednědobému působení tlaku vody [6].

- Důležitá doporučení

Testovací vzorek plošné textilie je potřeba upnout tak, aby [6]:

- a) byl vodorovný, a co nejméně se vydouval;
- b) na plochu 100 cm² působil stále rostoucí tlak vody zesponu nebo shora;
- c) u upínacích přírub v průběhu zkoušky neprosakovala voda;
- d) neprokluzoval v upínacích přírubách;
- e) u sevřeného okraje docházelo k co nejmenšímu průniku vody.

- využívaná voda musí být destilovaná či úplně deionizovaná mající teplotu (20 ±2) °C anebo (27 ±2) °C

- rychlost zvyšování tlaku vody se musí nacházet v rozmezí (10 ±0,5) nebo (60 ±3) cm vodního sloupce za minutu

- manometr by měl poskytovat odečítání tlaku s přesností na 10 mm vodního sloupce

Za samozřejmost lze považovat nutnost klimatizování zkušebních vzorků [6].

2.2.1 Princip zkoušky

Pro jakýkoliv zkušební vzorek, jenž bude podroben zkoušce, se aplikuje nová destilovaná voda. Důležité je odstranit vodu z horních ploch upínacího zařízení. Přípravený zkušební vzorek, jenž byl předem klimatizován, se upne na zkušební hlavu takovým způsobem, aby došlo k doteku povrchu vzorku s povrchem vody. Během upínání musí být zabráněno tomu, aby voda prostoupila zkušebním vzorkem. Na takto nachystaný, konkrétně upnutý zkušební vzorek dochází k okamžitému působení zvyšujícího se tlaku vody. Neustálým pozorováním se snažíme vysledovat, kdy započne skrz zkušební vzorek prosakovat voda [6].

V okamžiku proniknutí prvních třech kapek vody přes zkoušený vzorek textilie, při porušení vzorku anebo v případě poklesu tlaku je měření ukončeno a výsledný tlak je zaznamenán v centimetrech vodního sloupce [6].

2.2.2 Přístroje pro měření vodního sloupce

Současný trh nabízí velké množství přístrojů, které vykazují jisté nedostatky. Mezi zařízení, jež se vyskytují na trhu, patří především evropské přístroje naplňující obsah normy ČSN EN 20811. Pokud jde o určitá zařízení, můžeme uvést například přístroj švýcarské společnosti TEXTTEST INSTRUMENT zvaný Automatic Hydrostatic Head Tester FX 3000 HYDROTESTER IV, který je vybaven automatickou detekcí kapek. Při jeho použití není potřeba výskyt osoby, kdo měření provádí [7]. Samozřejmě lze na trhu objevit i různé druhy produktů z Číny, například zařízení KJ-3093 Hydrostatic Head Tester od společnosti KEJIAN [8].

V této práci bude pro měření využito přístroje Hydrostatic Head Tester M018 (obr. 1), jehož výrobcem je anglická firma SDL ATLAS [9]. Tento přístroj lze nalézt na Katedře hodnocení textilií TUL.



Obr. 1 – Přístroj Hydrostatic Head Tester M018 [10]

2.3 Testování

Testování závisí na režimu dynamické zkoušky, kdy je vzorek vystaven stále rostoucímu tlaku vody na jedné straně, do okamžiku prosáknutí vody na třech místech. Výsledkem testu je tzv. penetrační tlak. Jedná se o tlak, při němž voda prostoupí vzorkem na třetím místě. Dynamický test je vesměs respektovanou metodou pro stanovení odolnosti textilií proti pronikání vody [9].

2.4 Tlaková rovnice

Tlaková rovnice může být vyjádřena dvěma způsoby, a to prostřednictvím:

- Bernoulliho rovnice
- Tlaková potenciální energie kapaliny

Bernoulliho rovnice vyjadřuje zákon zachování energie pro proudění ideální kapaliny ve vodorovném potrubí [11].

$$\text{Vztah: } \frac{1}{2} \rho v_1^2 + p_1 = \frac{1}{2} \rho v_2^2 + p_2 \rightarrow \frac{1}{2} \rho v^2 + p = \textit{konst.} \quad (3)$$

$$\text{Vychází ze vztahu: } E_k + E_p = \textit{konst.} \quad (4)$$

$$\text{Kinetická energie} \quad E_k = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} \rho V v^2 \quad (5)$$

$$\text{Potenciální energie} \quad E_p = mgh = pV \quad (6)$$

Kde: ρ hustota kapaliny [kg/m^3]

v rychlost [m/s]

p tlak [Pa]

E_k kinetická energie [J]

E_p potenciální energie [J]

m hmotnost [kg]

V objem [m^3]

g tíhové zrychlení - $g = 9,81$ [m/s^2]

h hloubka [m]

Velikost **tlakové potenciální energie (síly) kapaliny** zjistíme tak, necháme-li tlakovou sílu F působit na píst. Pokud se velikost F nemění, pak posuneme-li píst o obsahu S vodorovným potrubím o délku l , vykoná práci $W = F \cdot l$ [12].

$$\text{Síla je vyvolána tlakem, proto platí} \quad F = p \cdot S \quad (7)$$

$$\text{Po dosazení do vzorce} \quad W = p \cdot S \cdot l \quad (8)$$

$$\text{Objem trubice, o který se píst posunul} \quad V = S \cdot l \quad (9)$$

$$\text{Z čehož vyplývá} \quad W = p \cdot V \quad (10)$$

Výsledný vztah vyjadřuje tlakovou potenciální energii kapaliny:

$$E_p = p \cdot V \quad (11)$$

Jedná se o výchozí vztahy, které využijeme pro vytvoření zamýšlené rovnice, která doplňuje tuto práci [12].

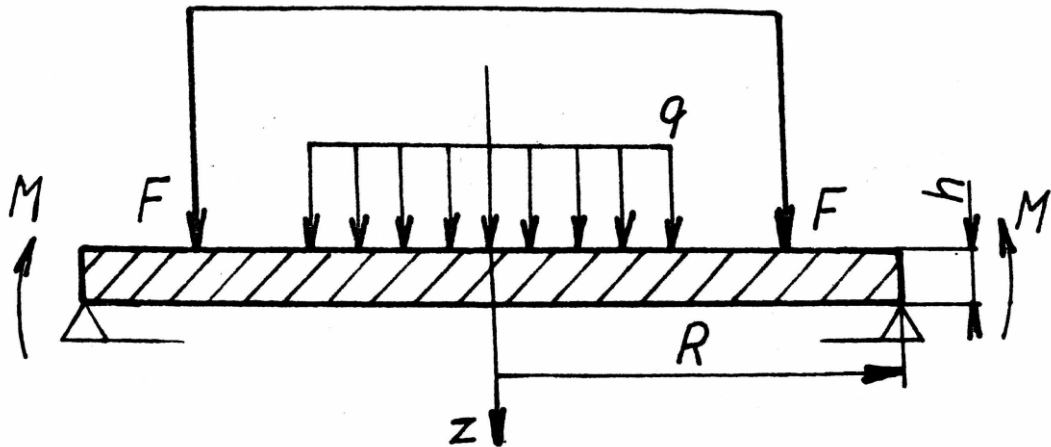
Některé práce se již zabývaly měřením hydrostatické odolnosti textilií a byly aplikovány na různé materiály. Například Lečbychová Jitka [13] se zabývala analýzou standardní metody pro hodnocení hydrostatické odolnosti textilií u polopropustných membrán a povrstvené tkaniny. Dále Drahokoupilová Andrea [14] se ve své práci věnovala hodnocení odolnosti proti pronikání vody u vrchového materiálu tzv. třetí vrstvy. Také Ráslová Marcela [15] se zaměřila na hydrostatickou odolnost textilií, konkrétně používaných pro sport.

3 Tenké kruhové desky

Vzhledem k tomu, že se technický problém řešený v experimentu nejvíce blíží kruhové desce, která je zatížena vnějším tlakem, tak byla část práce orientována na teorii tenkých ohýbaných desek a uvidí se, jestli se bude teorie shodovat s experimentem.

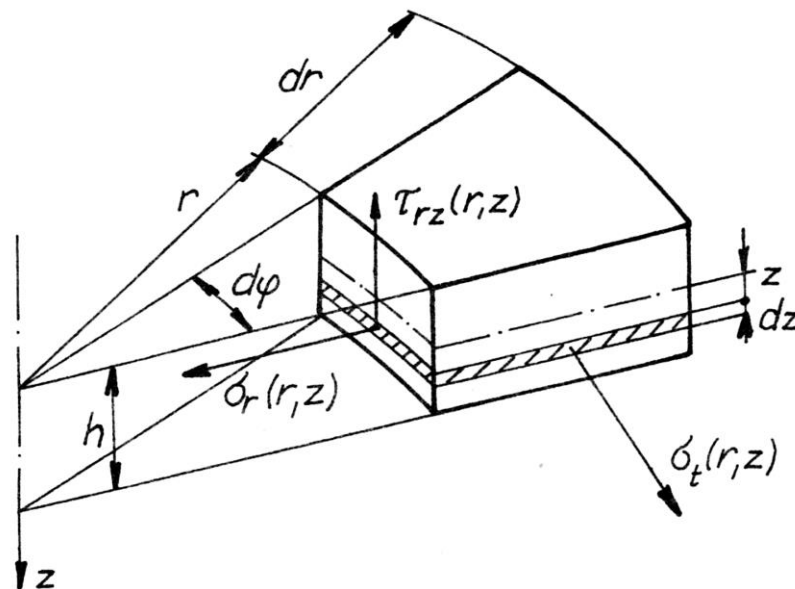
3.1 Osově souměrný ohyb tenkých desek

V praxi jsou mnohé situace, kdy je možné narazit na součásti, které mají tvar tenkých kruhových desek. Jedná se například o plochá dna nádob, víka, clonky apod. Tyto desky jsou zatíženy normálními silami k ploše desky, jež jsou rozloženy souměrně vzhledem k ose desky. Dále jsou vymezeny případy, při kterých je tloušťka desky h malá v porovnání s jejím průměrem d a zároveň je průhyb desky W malý v komparaci s její tloušťkou. Lze se setkat s třemi druhy zatížení desky – silou F [N/M], momentem M [Nm/m] a spojitým zatížením q [N/m²], kde síla a moment jsou rozloženy na jednotku délky kružnice, na niž mají vliv (obr. 2) [16].



Obr. 2 – Možné případy zatížení osově symetrické ohýbané desky [16]

Co se týká stanovení deformace a napětí při ohybu osově souměrných tenkých desek, tak se předpokládá, že při zvoleném druhu zatížení je dosaženo pouze ohybu desky, aniž by došlo k jejímu roztažení. Z toho vyplývá, že v desce při ohybu existuje rovina, v níž nedochází ke zrodu normálních napětí. Tato rovina je pojmenována jako střední rovina desky (podoba s neutrálnou rovinou při ohybu přímých tyčí). Ve vrstvách desky, které jsou rovnoběžné se střední rovinou, je původ rovinné napjatosti ($\sigma_z = 0$) s normálními napětími σ_r a σ_t , jež je definována jako funkce poloměru r a vzdálenosti z od střední roviny. Ve válcových řezech poté dochází ke vzniku smykového napětí τ_{rz} , jehož hodnota je obvykle v pevnostních výpočtech zanedbávána (obr. 3) [16].



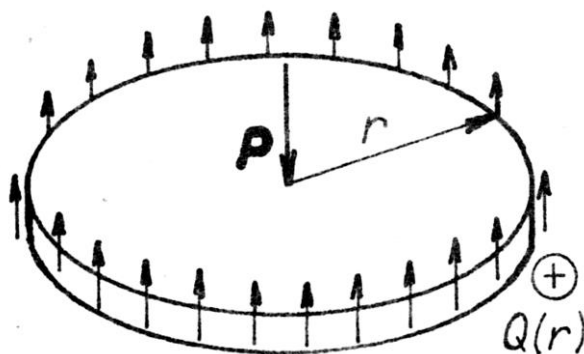
Obr. 3 – Rovnováha myšleného válcového řezu desky [16]

- Kde: h tloušťka desky (konstanta)
 r v jaké vzdálenosti od osy desky byl proveden řez
 dr malý přírůstek pro označení diferenciální rovnice
 $d\varphi$ výseč, aby to bylo jednoznačně definované
 σ_r radiální napětí
 σ_t tečný napětí
 τ_{rz} smykový napětí
 z, dz ... bod střední roviny

Je-li napětí po tloušťce desky h integrováno, získáváme vnitřní účinky – ohybové momenty M_r a M_t spolu s příčnou (posouvající) silou Q , vztaženy na jednotku délky souřadnice [16]:

$$M_r = \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} \sigma_r(r, z) z dz, \quad M_t = \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} \sigma_t(r, z) z dz, \quad Q = \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} \tau_{rz}(r, z) dz \quad (12)$$

Příčnou sílu $Q(r)$ lze určit z podmínky rovnováhy týkající se části desky, která je oddělena myšleným řezem o poloměru (obr. 4) [16]:

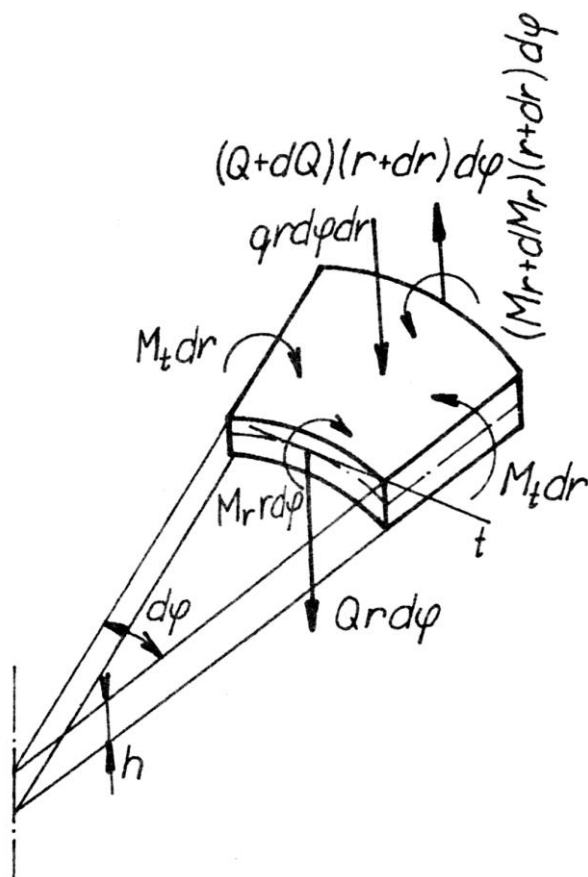


Obr. 4 – Znázornění obvodové síly $Q(r)$ v myšleném řezu [16]

$$2\pi r \cdot Q(r) = P \quad (13)$$

Kde P znamená součet všech vnějších zatížení, která mají vliv na oddělenou část desky. Příčná síla Q je považována za kladnou, působí-li na vnitřní oddělenou část desky pouze směrem vzhůru (obr. 4) [16].

Dále je nezbytné vyšetřit rovnováhu elementu desky (obr. 5). Na povrchu desky účinkuje spojité zatížení q , kdy je výsledná síla od vnějšího zatížení definována vzorcem $qr d\phi dr$. Pak také mají na element vliv výsledné vnitřní síly a momenty, což je vyobrazeno na obr. 5 [16].



Obr. 5 – Znázornění radiálních a tečných momentů v myšleném řezu desky [16]

Z předpokladu rovnováhy do svislého směru

$$Qrd\varphi + qrd\varphi dr - (Q + dQ) \cdot (r + dr)d\varphi = 0 \quad (14)$$

je úpravou získáno $\frac{d}{dr}(Qr) = qr \quad (15)$

Z momentové podmínky k tečně t ke střednici

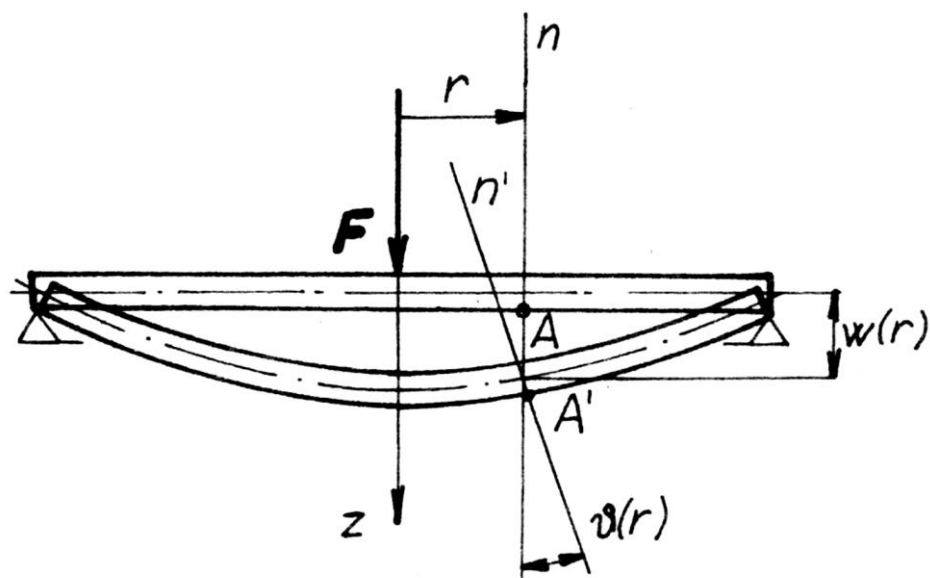
$$(M_r + dM_r) \cdot (r + dr)d\varphi + (Q + dQ) \cdot (r + dr)d\varphi dr - \\ - qrd\varphi dr \cdot \frac{dr}{2} - M_t dr d\varphi - M_r r d\varphi = 0 \quad (16)$$

Po úpravě a následném dosazení za q_r z rovnice (16) dostaneme

$$M_r + r \cdot \frac{dM_r}{dr} - M_t = -Qr \quad (17)$$

Nicméně podmínky rovnováhy nejsou k určení vnitřních sil dostačující, a proto jsou ke stanovení napjatosti potřeba ještě deformační podmínky [16].

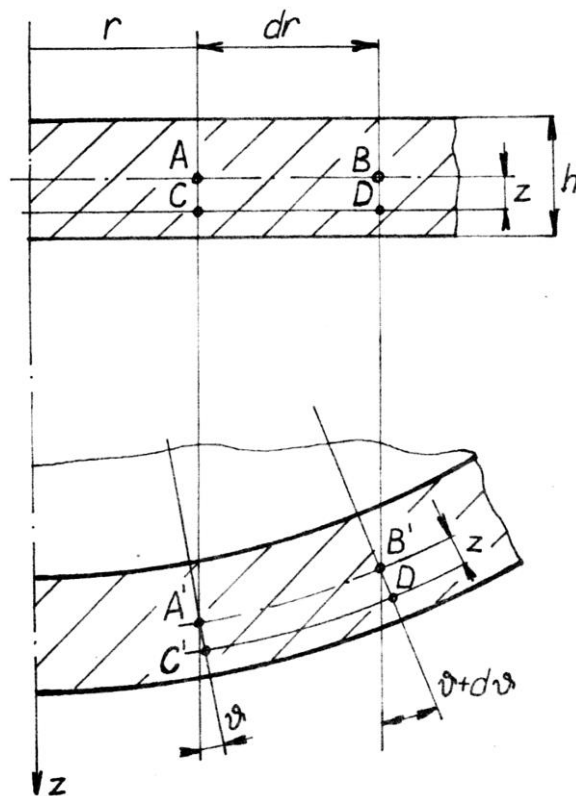
Lze očekávat, že jsou body střední roviny při průhybu desky posouvány pouze ve směru osy z (obr. 6) [16].



Obr. 6 – Vyznačení průhybu desky a sklonu ohybové roviny [16]

Dále se domnívejme, že body desky ležící před deformací na přímce, jež je kolmá ke střední rovině, budou i po deformaci vyskytovat na normále ke střední rovině. Normála ke střední rovině je v libovolném bodě pootáčena o úhel $\vartheta(r)$, setrvává v přímém stavu a vždy kolmá ke střední rovině. Zároveň se z válcových řezů vlivem deformace stávají řezy kuželové. Jedná se o tzv. Kirchhoffovu hypotézu, která je obdobou Bernoulliovy hypotézy týkající se situace při ohybu přímých tyčí [16].

Nyní jsou určovány poměrné deformace ε_t a ε_r v obvodovém a radiálním směru nacházející se v rovině odlehlé o z od střední roviny (obr. 7) [16].



Obr. 7 – Schéma určené pro výpočet radiální a tečné deformace [16]

Poměrné prodloužení v radiálním směru je rovno $\varepsilon_r = \frac{\overline{C'D'} - \overline{CD}}{\overline{CD}} = \frac{(dr + zd\theta) - dr}{dr}$,

po úpravě $\varepsilon_r = z \cdot \frac{d\theta}{dr}$ (18)

Poměrné prodloužení v obvodovém směru je určeno ze změny délky kružnice, která prochází bodem C:

$$\varepsilon_t = \frac{2\pi(r + z\theta) - 2\pi r}{2\pi r},$$

po úpravě $\varepsilon_t = z \frac{\theta}{r}$ (19)

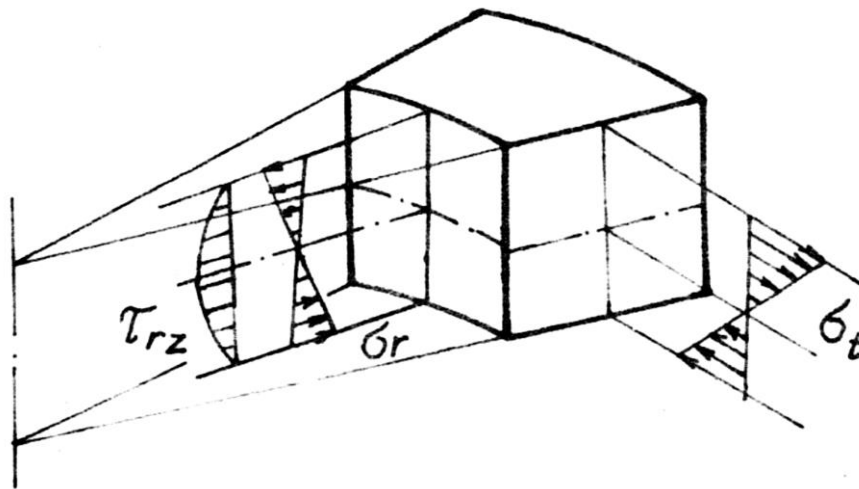
Ze vztahů (18 a 19) je možné formulovat první a druhou křivost desky ve tvaru

$$\frac{1}{r_1} = \frac{d\theta}{dr}, \quad \frac{1}{r_2} = \frac{\theta}{r} \quad (20)$$

Z Hookova zákona pro dvouosou napjatost lze dostat po dosazení za ε_t a ε_r

$$\sigma_r = \frac{Ez}{1-\mu^2} \cdot \left(\frac{d\vartheta}{dr} + \mu \cdot \frac{\vartheta}{r} \right), \quad \sigma_t = \frac{Ez}{1-\mu^2} \cdot \left(\frac{\vartheta}{r} + \mu \cdot \frac{d\vartheta}{dr} \right) \quad (21)$$

Napětí jsou tedy lineární funkcí souřadnic z , a nabývají maximálních hodnot na povrchu desky ($z = \pm \frac{h}{2}$) (obr. 8). Tečná napětí τ_{rz} vykazují parabolický průběh a ve srovnání s σ_t a σ_r jsou malá [16].



Obr. 8 – Znázornění napjatosti na myšleném řezu desky [16]

Pakliže je dosazeno ze vztahů pro napětí (21) do rovnice (12), je získána závislost vnitřních sil na úhlu natočení normály [16]:

$$M_r = D \cdot \left(\frac{d\vartheta}{dr} + \mu \cdot \frac{\vartheta}{r} \right), \quad M_t = D \cdot \left(\frac{\vartheta}{r} + \mu \cdot \frac{d\vartheta}{dr} \right) \quad (22)$$

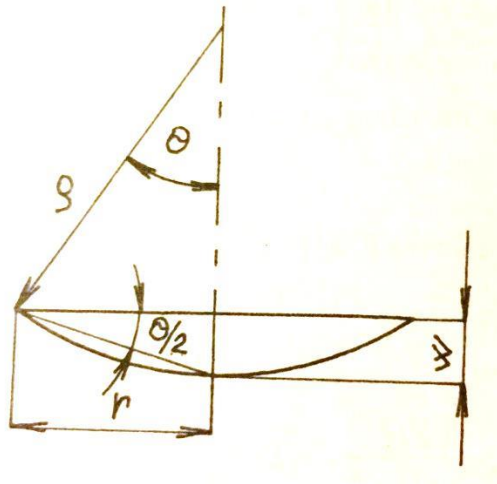
kde
$$D = \frac{Eh^3}{12 \cdot (1-\mu^2)} \quad (23)$$

je tzv. **ohybová tuhost desky** [16].

3.2 Průhyb membrány

Membrána je tenká deska mající nulovou ohybovou tuhost, u které jsou napětí rovnoměrně rozčleněna po tloušťce. Pro výpočet maximálního průhybu W kruhové membrány je nezbytné znát její poloměr r a tloušťku h , na kterou je účinkováno rovnoměrným tlakem p . Toto řešení se opírá o předpoklad, že tvar membrány po deformaci vytváří kruhový povrch [17].

Zároveň lze říci, že poměrné prodloužení membrány v obou hlavních směrech (mediánový a obvodový) je totožné (obr. 9) [17].



Obr. 9 – Prohnutá membrána [17]

Pro výpočet maximálního průhybu W membrány zní rovnice takto [17]:

$$W = \frac{3}{16} \cdot (1 - \mu^2) \cdot \frac{p}{E} \cdot \frac{a^4}{h^3} \quad (24)$$

Kde: W průhyb [m]

μ Poissonovo číslo [-]

p tlak [Pa]

E modul pružnosti v tahu [Pa]

a poloměr [m]

h tloušťka [m]

3.3 Určení maximálního průhybu

Maximální průhyb lze určit použitím této rovnice, z níž po všech úpravách vznikne finální výpočet potřebný pro zjištění maximálního průhybu tenké kruhové desky, ale v tomto případě se ho následně pokusíme aplikovat na zkoušený materiál, tedy tkaninu plátnové vazby [18].

$$2\pi r \cdot Q - p\pi r^2 = \vartheta, \quad Q(r) = \frac{p \cdot r}{2} \quad (25)$$

z toho vyplývá
$$\frac{d}{dr} \cdot \left[\frac{1}{r} \cdot \frac{d}{dr} \cdot (r \cdot \vartheta) \right] = -\frac{p \cdot r}{2D} \quad (26)$$

následně
$$\frac{1}{r} \cdot \frac{d}{dr} \cdot (r \cdot \vartheta) = -\frac{p}{2D} \cdot \left(\frac{r^2}{2} + c_1 \right)$$

$$\frac{d}{dr} \cdot (r \cdot \vartheta) = -\frac{p}{2D} \cdot \left(\frac{r^3}{2} + c_1 \cdot r \right)$$

$$r \cdot \vartheta = -\frac{p}{2D} \cdot \left(\frac{r^4}{8} + c_1 \cdot \frac{r^2}{2} + c_2 \right)$$

$$\vartheta = -\frac{p}{2D} \cdot \left(\frac{r^3}{8} + c_1 \cdot \frac{r}{2} + \frac{c_2}{r} \right) \quad (27)$$

z čehož plynou okrajové podmínky [18]:

1) $\vartheta(0) = 0 \rightarrow c_2 = 0$

2) $\vartheta(a) = 0$

dále
$$0 = -\frac{p}{2D} \cdot \left(\frac{a^3}{8} + c_1 \cdot \frac{a}{2} \right) \rightarrow c_1 = -\frac{a^2}{4} \quad (28)$$

po zkrácení
$$\vartheta(r) = -\frac{p}{2D} \cdot (r^3 - a^2 r \dots)$$

$$w(r) = +\frac{p}{16D} \cdot \left(\frac{r^4}{4} - a^2 \cdot \frac{r^2}{2} + c_3 \right) \quad (29)$$

kdy okrajové podmínky jsou [18]: 3) $w(a) = \vartheta \rightarrow c_3 = \frac{a^4}{4}$

následně

$$w(r) = \frac{p}{64D} \cdot (r^4 - 2a^2r^2 + a^2) \quad (30)$$

$$w(\max) = w(0) = \frac{p \cdot a^4}{64D} \quad (31)$$

4 Tkaniny

Přehled základních informací o tkaninách, jelikož se s nimi bude dále pracovat.

4.1 Struktura tkanin

Tkanina je plošný textilní útvar složený ze dvou vzájemně provázaných soustav nití. Ve výjimečných případech se může jednat i o více nitné soustavy např. triaxiální tkanina. Soustavy nití jsou tvořeny osnovou a útkem. Osnova se nachází ve směru podélném neboli ve směru výroby tkaniny a označuje se indexem 'o'. Útková nit je situována ve směru příčném, což je kolmo ke směru výroby tkaniny a značí se indexem 'u'. Obě soustavy jsou na sebe vzájemně kolmé a jsou propojeny v jisté vazbě, čímž vytváří tkaninu (obecně tzv. plošnou textilií) [19].

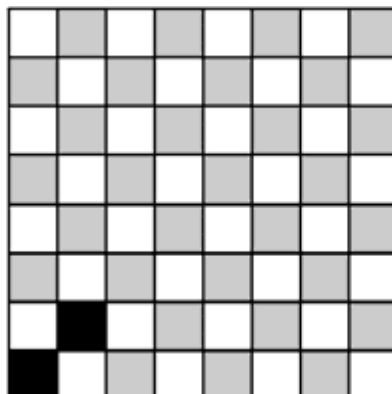
4.2 Provázání tkaniny

Provázání tkaniny je tvořeno vaznými body, kdy se jedná o místo překřížení osnovní a útkové nitě. Na základě druhu vazného bodu, buď osnovní, nebo útkový vazný bod, lze určit vazbu tkaniny [20]. Vazba tkaniny je podstatná pro samotnou strukturu textilie, kdy se tvoří požadovaný vzor, vzhled i atributy budoucí tkaniny. Vliv vazby je zčásti pozorovatelný u pevnosti, pružnosti, tuhosti, splývavosti i u omaku tkaniny. Působí také na vzhled, prodyšnost, tepelnou izolaci, odolnost proti oděru a další vlastnosti tkanin. Vazba má mnohokrát vliv na konečný vzor tkaniny a rozeznáváme základní, odvozené a složené vazby tkanin. Mezi základní vazby tkanin patří plátno, kepr a atlas [21]. V práci byly testovány pouze tkaniny s plátnovou vazbou, proto budou zmíněny podrobněji.

4.2.1 Plátnová vazba (P)

Pro plátno je charakteristická nejmenší střída vazby $2/2$, tzn. 2 osnovní a 2 útkové nitě (obr. 10). Dále se vyznačuje nejhustším provázáním osnovních a útkových nití. Jedná se o nejjednodušší vazbu. Mnohdy dochází k využití této základní vazby jako

výchozí pro sestavení vazeb složených (kombinovaných z několika rozdílných vazeb) a vícenitných (tkaniny víceosnovní a víceútkové) [21].



Obr. 10 – Plátnová vazba (střída 2x2) [21]

4.3 Typy tkanin

Tkaniny je možno rozlišit podle použité vláknenné suroviny anebo na ty, které mají svůj název, aniž by bylo rozeznáno primárně použité vlákno. Podle užití vláknenné suroviny jde o tkaniny bavlnářského, lnářského, vlnářského a hedvábnického typu [21].

4.3.1 Tkaniny hedvábnického typu

Hedvábnické tkaniny jsou zhotoveny z přírodního hedvábí či chemických nekonečných vláken. Mnohdy se uplatňuje spojení nekonečného chemického multifilu, který se nalézá v jedné soustavě nití, a střížových přízí v soustavě druhé. Tkaniny vykazují odlišnou strukturu a omak, ale povrch je většinou lesklý. V dnešní době se na trhu objevuje velké množství tkanin ze syntetických materiálů, které se snaží imitovat přírodní hedvábí. Produkce těchto tkanin je založena na použití nekonečných vláken, jež jsou typická pro původní tkaniny z čistého hedvábí [21].

Z tohoto důvodu se často využívá členění hedvábnických tkanin do skupin dle použité vláknenné suroviny [21]:

- z přírodního hedvábí
- z chemických nekonečných vláken

- ze stříží
- kombinace předchozích

4.4 Porozita tkaniny

Porozita, též zvaná jako pórovitost, je důležitá vlastnost, jež má zásadní vliv na propustnost i prodyšnost textilií. Je možné ji definovat jako objem pórů V_p (vzduchu) v celkovém objemu textilie V_c [22]. Jedná se o velikost pórů, které se v tkanině nacházejí. Tato místa se v materiálu vyskytují mezi vlákny a jsou to, jinak řečeno, vzduchové bubliny [23]. Hodnotu porozity lze formulovat buď jako poměrné číslo z intervalu (0; 1), anebo v procentech v intervalu (0; 100) [24].

Objemová definice porozity

Porozita stanovená ze zaplnění

Výpočet porozity úzce souvisí se zaplněním, kdy se porozita vypočítá jako [23]:

$$\varphi = \frac{V_p}{V_c} = \frac{V_c - V}{V_c} = 1 - \frac{V}{V_c} = 1 - \mu \quad \text{kde } \mu \in \langle 0; 1 \rangle \quad (32)$$

Kde: φ porozita [-]

V_p objem pórů = objem vzduchu [m^3]

V_c celkový objem vlákenného útvaru [m^3]

V část objemu vlákenného útvaru vyplněná hmotou vláken [m^3]

μ zaplnění [%]

Porozita stanovená z podílu měrných hmotností

Porozita, která je určena z podílu měrných hmotností P_p , se vypočítá podle vztahu [24]:

$$P_p = \frac{\rho_f - \rho_v}{\rho_f} = 1 - \frac{\rho_v}{\rho_f} \quad (33)$$

Kde: P_p porozita stanovená z podílu měrných hmotností [-]

ρ_f objemová měrná hmotnost vlákenného materiálu [kg/m^3]

ρ_v objemová měrná hmotnost tkaniny [kg/m^3]

Plošná definice porozity

Plošná definice porozity směřuje k výpočtu porozity z plošného zakrytí [22]:

$$\varphi = \frac{S_p}{S_c} = 1 - Z_c = 1 - d_o D_o + d_u D_u - d_o D_o d_u D_u \quad (34)$$

Kde: φ ... porozita [-]

S_p ... plocha pórů [m²]

S_c ... celková plocha všech pórů [m²]

Z_c ... celkové zakrytí [%]

d_o ... průměr osnovní nitě [mm]

D_o ... dostava osnovy [nití/cm]

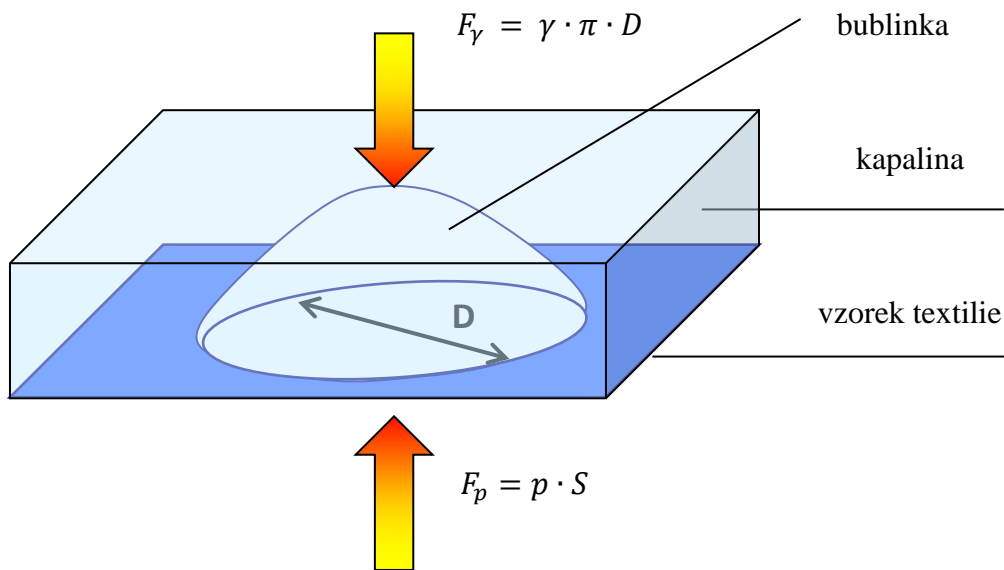
d_u ... průměr útkové nitě [mm]

D_u ... dostava útku [nití/cm]

Porozita se dá měřit dvěma způsoby, a to přímo nebo nepřímo. Přímá metoda je realizována prostřednictvím obrazové analýzy. Při nepřímém postupu se využívá povrchového napětí kapaliny, kterou je textilie smočena nebo prosévání definovaných částic přes textilií [25].

Bublínková metoda

Tato metoda, jež se řadí mezi nepřímý postup měření velikosti póru, slouží k určování největšího póru v textilií. Podstatu metody lze vidět na obr. 11. Velikost póru je možné spočítat z rovnováhy síly, kde síla F_γ je daná povrchovým napětím kapaliny mající vliv po obvodu póru $\pi \cdot D$ a síla F_p je daná vnějším tlakem vytlačujícím kapalinu z póru a působícím na ploše póru S . Z praktického hlediska je velmi lehké odhalit velikost největšího póru v textilií, protože jde o místo, kde se při postupném zvyšování tlaku dospěje nejprve k vytlačení kapaliny z póru – ukáže se první bublinka vzduchu [25].



Obr. 11 – Podstata bublinkové metody [25]

4.5 Zaplnění tkaniny

Zaplnění se týká množství vláken uvnitř materiálu, a jak jsou jednotlivá vlákna urovnána. Zda vlákna vyplňují celou plochu materiálu nebo nikoliv.

Výpočet zaplnění je potřebný pro následný výpočet porozity, kdy se zaplnění vypočítá z podílu objemů nebo ploch [23]:

$$\mu = \frac{V}{V_c} = \frac{S}{S_c} \quad \text{kdy } \mu \in \langle 0; 1 \rangle \quad (35)$$

Kde: μ zaplnění [%]

V část objemu vlákenného útvaru vyplněná hmotou vláken [m^3]

V_c celkový objem vlákenného útvaru [m^3]

S plocha jednoho póru [m^2]

S_c celková plocha všech pórů [m^2]

5 Chemická vlákna a jejich dělení

Chemická vlákna se dělí dle výroby na [26]:

- Vlákna z přírodního polymeru – viskóza, acetátová vlákna, měďnatá
- Vlákna ze syntetického polymeru – polyester, polyamid, polypropylen, polyuretan, polyetylen, polyakrylonitril, skleněná vlákna

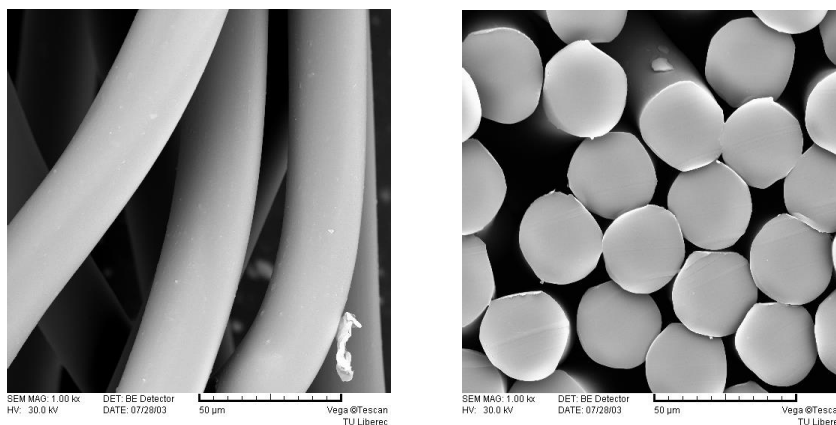
Bližší se podíváme na chemická vlákna, která se vytváří ze syntetického polymeru. Pozornost zaměříme konkrétně na polyamid [26].

Vlákna ze syntetického polymeru

K produkci těchto vláken dochází zvlákněním z polymerního roztoku nebo taveniny. Tato vlákna se vyrábí v podobě nekonečných vláken, tzv. monofilů (jedno nekonečné vlákno) nebo multifilů (několik nekonečných vláken). Někdy bývá nezbytné, v rámci dalšího zpracování, tato nekonečná vlákna řezat či sekat na tzv. staplovou délku [26].

5.1 Polyamidová vlákna

Polyamid patří mezi syntetická vlákna s obecnou zkratkou PA (obr. 12). Vyskytuje se řada druhů, z nichž dva patří mezi nerozšířenější. Jde o polyamid 6 a polyamid 6.6, mezi kterými je rozdíl v molekulové struktuře a částečně i v některých vlastnostech [27].



Obr. 12 – Vzhled polyamidového vlákna [28]

5.1.1 Výroba

Jak polyamid 6, tak i polyamid 6.6 jsou zvlákňovány z roztaveného polymeru do šachty, proto jsou možné rozdílné profily průřezů vláken, včetně mikrovláken. Následným dloužením se u vlákna docílí finálních, zejména mechanických, vlastností. Největší rozšíření se týká druhu Nylon (polyamid 6.6) s vyšší tepelnou odolností a trvanlivostí. Tuzemská produkce vyrábí typ polyamid 6 - vlákno Silon [27].

5.1.2 Vlastnosti – obecně

Všeobecně je možné vlastnosti polyamidových vláken rozdělit do několika kategorií, kterými jsou vlastnosti geometrické, mechanické, fyzikálně chemické, chemické a fyziologické. Každá kategorie zahrnuje specifické ukazatele [29].

Mezi geometrické vlastnosti se řadí délka vláken, charakter jejich průřezu, objemové vlastnosti a jejich povrch. Polyamidová vlákna mají vždy pravidelný, kruhový průřez a jejich povrch je hladký [29].

Co se týká mechanických vlastností vláken, tak jde v podstatě o hodnocení deformačních procesů. Mezi nejdůležitější ukazatele patří pevnost, tažnost, elastické vlastnosti a tuhost. Pevnost je hodnocena v tahu, ohybu a v oděru. Podstatnou vlastností je elasticita, jež je zkoumána za tahu, ohybu a tlaku. Souhrnně lze říci, že pro polyamidová vlákna je příznačná velká pevnost v tahu a odolnost v odírání [29].

Fyzikálně chemické vlastnosti se týkají navlhavosti, která je u polyamidových vláken docela malá a je podmíněna chemickou konstrukcí polymeru a hustotou struktury. Další významnou vlastností jsou jejich elektrické a tepelné vlastnosti. Za zvýšených teplot má polyamidové vlákno menší pevnost, avšak je možné ji zvětšit pomocí přísad nebo úpravami [29].

Pokud jde o chemické vlastnosti, tak jsou polyamidy nepříliš odolné vůči kyselinám. Naproti tomu projevují značnou odolnost vůči alkáliím [29].

Neméně důležité jsou fyziologické vlastnosti, kdy polyamidová vlákna neomezují pokožku v dýchání. Ačkoli pojmají málo vlhkosti, propouštějí vodní páry. Také mají dobrou snášenlivost s živou tkání a nedochází k dráždění pokožky [29].

5.1.3 Užité vlastnosti

Mezi typické užité vlastnosti patří relativně jednoduchá údržba a tvarová stabilita. Dále se uplatňuje jako náhrada přírodního hedvábí (dámské punčochy, elastické prádlo, plavky, sportovní oblečení) a směšová komponenta s bavlnou a vlnou [27].

Na světle dochází k degradaci - žloutnutí a vykazuje nižší odolnost vůči kyselinám. Pak se také vyznačuje nevelkou objemností a dobrou barvitelností. Zároveň dosahuje vysoké pružnosti a vysoké odolnosti v oděru [26].

5.1.4 Použití

Ve formě stříže jako tepelněizolační vycpávky oděvních výrobků a příkrývek, pak také do tkanin a směšových přízí pletených produktů. Monofil čirý nebo kouřový se využívá jako monofilní šicí nit. Jak hladký, tak i tvarovaný multifil se aplikuje na punčochové zboží a sportovní oblečení. Tvarovaný kabílek se užívá na zhotovení všíváných koberců a rouna ze stříže se používají jako surovina do netkaných textilií [27].

6 Finální úpravy textilií

Mezi závěrečné úpravy textilních výrobků se řadí finální nebo speciální úpravy. Pomocí chemických, fyzikálních či mechanických postupů se získávají nové žádané užité vlastnosti textilií, tj. vzhledové (např. zvýšení lesku), omakové (např. docílení měkkosti), potom nové určité vlastnosti (např. nežehlivost, nesráživost) anebo vlastnosti zaručující specifickou ochranu (např. nešpinivost, nehořlavost, nepromokavost) [30].

Na základě dosažené vlastnosti rozdělujeme finální úpravy textilií na [30]:

- vzhledové – česání, postřihování, broušení, mandlování, kalandrování, dekatování (z velké části jde o mechanické úpravy textilií)
- omakové – měkčící, tužící, plnicí
- stabilizační – nesráživé, nemačkové, nežehlivé, neplstivé, protižmolkové, ad.
- ochranné – hydrofobní, oleofobní, nešpinivé, antistatické, nehořlavé, antimikrobiální, ad.

6.1 Hydrofobní úprava

Zásadou hydrofobní úpravy se utlumuje smáčivost textilie a poskytuje se jí vodoodpudivost. Rozeznáváme úpravu [30]:

- *méně prodyšnou – vodotěsnou* – textilie musí vydržet jistý tlak vodního sloupce; tímto způsobem upravené tkaniny vykazují malou prodyšnost, z tohoto důvodu se úprava hodí obzvláště pro technické tkaniny
- *prodyšnou – odperlující efekt* – jednotlivá vlákna jsou obmotána jemným hydrofobním filmem, takže do nich nemůže prosáknout voda, ale propustnost pro vzduch mezi vlákny přetrvává

Úpravu lze realizovat dvěma způsoby [30]:

- zaplněním pórů tkaniny nebo pleteniny prostřednictvím filmotvorných látek (nánosování)
- nanesením látek s nízkým povrchovým napětím

Povrch textilie je možné smáčet kapalinou za předpokladu, že textilie vykazuje vyšší povrchové napětí než kapalina. Povrchové napětí destilované vody při 20°C je rovno 72 mN.m⁻¹ [30].

Chemické látky, jež jsou nejčastěji využívány při této úpravě [30]:

- parafinové emulze s hlinitými či zirkoničitými solemi
- deriváty vyšších mastných kyselin
- silikony
- perfluoralkany (oleofobní i hydrofobní úprava)

Mezi nejužívanější hydrofobní prostředky patří ty na bázi polysiloxanů (silikonů), jelikož se vyznačují velmi kvalitním vodoodpudivým efektem. Modifikované textilie mají měkký a hladký omak, sníženou prodyšnost a současně dosahují zlepšení mačkavosti. Jejich nevýhodou je poměrně vysoká cena a senzitivita na předúpravu materiálů [30].

6.1.1 Hodnocení hydrofobní úpravy

Zkouška Spray-test dle ČSN 80 0827

Je nařízena pro zkoušení odolnosti plošných textilií proti povrchovému smáčení. Zkouška se zakládá na tom, že se vzorek textilie situuje do kruhového držáku, který je nakloněn v úhlu 45° lícem nahoru a zkrápí se ustáleným množstvím destilované vody (250 ml vody o teplotě 20 ± 2°C) z konstantní výšky. Voda prochází nálevkou se sprchovým nástavcem, jež obsahuje jistý počet otvorů o konkrétní velikosti [30].

Musí se dbát na to, aby zkrápění bylo neustálé a všechna voda protekla za 25 – 30 s. Po dokončení se okamžitě držák se vzorkem odmontuje, otočí se lící stranou dolů a intenzivně se dvakrát uhodí rámečkem o pevný předmět, abychom se zbavili kapek ulpělých na vzorku. Při tomto zásahu se vzorek nachází ve vodorovné poloze. Hydrofobnost se stanovuje buď dle etalonu anebo přírůstkem hmotnosti v procentech [30].

Rešerše shrnuje teoretické definice výchozí pro následující praktickou část. Nejdříve je formulován způsob i testování hydrostatické odolnosti s výčtem dosavadních závěrečných prací na podobné téma. Dále definuje strukturu textilií stejně jako princip finálních úprav. Tkaniny použité v experimentu jsou plátňové vazby, z polyamidového hedvábí a některé jsou modifikovány hydrofobní úpravou. Dalším materiálem je tkanina s membránou z nanovláken, která je svými vlastnostmi pro měření hydrostatické odolnosti nejodolnější. Uvedeny jsou také základní zákonitosti mechaniky, ze kterých byl použit výpočet průhybu.

EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Záměrem experimentální části diplomové práce bylo zabývat se měřením hydrostatické odolnosti metodou vodního sloupce na vybraných tkaninách. Dále bylo potřeba stanovit mechanické vlastnosti se zaměřením na změny strukturních parametrů textilií vlivem vnějších sil. Součástí byl také výpočet odolnosti prostřednictvím existujících teorií. Zkouškou se bylo pokoušeno co nejvíce přiblížit normě, aby bylo možné výpočet co nejlépe definovat. Vybraný výpočet pro tenké kruhové desky byl zvolen na základě podobnosti technického řešení, neboť s ohledem na geometrii se tento případ velice podobá deskám, které jsou vetknuté po obvodu a zároveň zatíženy tlakem.

Bylo provedeno měření hydrostatické odolnosti na tkaninách z polyamidového multifilu, kdy jedna textilie byla opatřena hydrofobní úpravou a druhá nikoliv. Zároveň se tkaniny odlišovaly velikostí dostavy útku. Testováno bylo namáhání plochy v kruhovém tvaru. Při dalším testování hydrostatické odolnosti byla využita tkanina s membránou z nanovláken, jež je odolnější. Získané výsledky byly statisticky vyhodnoceny a poté byly vytvořeny grafy pro přehledné zobrazení zmíněných výsledků. Následně bylo vykonáno měření pevnosti v tahu pro zjištění mechanických vlastností testovaných materiálů.

Dále byl v domácích podmínkách proveden experiment zaměřující se na deformaci zkoušených materiálů. Testované vzorky byly nakonec podrobeny SEM analýze pro vyhodnocení pokusu.

Veškeré naměřené hodnoty byly poté použity při různých dílčích výpočtech a také při výpočtu hledané odolnosti, konkrétně maximálního průhybu, podle teoretických vzorců. Nakonec byly zhodnoceny všechny experimenty a také byl porovnán experiment s výpočtem, kdy bylo vyhodnoceno, který z parametrů má největší vliv na výpočet maximálního průhybu.

7 Experiment

V rámci experimentu byla měřena hydrostatická odolnost materiálů. Všechny testované vzorky měly rozměry 20 x 20 cm a byly předem klimatizovány. Dále byly z naměřených hodnot vypočítány dílčí vlastnosti materiálu jako plošná hmotnost a hustota. Naměřené výsledky včetně dalších vlastností zkoušeného materiálu byly následně uspořádány do přehledných tabulek, vyobrazeny prostřednictvím grafů a poté statisticky vyhodnoceny.

Ze všech získaných výsledků byla vždy spočítána základní popisná statistika, konkrétně aritmetický průměr \bar{x} , rozptyl s^2 , směrodatná odchylka s a variační koeficient v . Také dolní a horní meze 95% intervalu spolehlivosti.

Aritmetický průměr:
$$x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (36)$$

Rozptyl:
$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (37)$$

Směrodatná odchylka:
$$s = \sqrt{s^2} \quad (38)$$

Variační koeficient:
$$v = \frac{s}{\bar{x}} \cdot 100 \quad (39)$$

95% IS:

• Dolní mez
$$\bar{x} - \Phi^{-1}\left(1 - \frac{\alpha}{2}\right) \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (40)$$

• Horní mez
$$\bar{x} + \Phi^{-1}\left(1 - \frac{\alpha}{2}\right) \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (41)$$

Kde: $\alpha = 0,05$

7.1 Charakteristika použitého materiálu

Pro experiment byly použity dva druhy tkanin z polyamidového multifilu s těmito parametry (tab. 1 a 2), kdy jedna nit byla tvořena 36 nekonečnými vlákny.

Tab. 1 – PA multifil - parametry

Vazba	plátno
Jemnost [tex]	220
Dostava osnovy [nití/cm]	42
Dostava útku [nití/cm]	12, 14, 16, 18, 20

Tab. 2 – PA multifil s HF - parametry

Vazba	plátno
Jemnost [tex]	220
Dostava osnovy [nití/cm]	42
Dostava útku [nití/cm]	12, 14, 16, 18, 20

Lze shrnout, že parametry obou materiálů jsou stejné, ale materiál samotný je odlišný. V prvním případě (tab. 1) se jedná o polyamidové hedvábí bez jakékoliv úpravy (PA multifil) a v tom druhém (tab. 2) jde opět o polyamidové hedvábí, avšak tentokrát s hydrofobní úpravou (PA multifil s HF). Rozdíl je velice znatelný při samotném měření.

7.1.1 Plošná hmotnost

Před měřením hydrostatické odolnosti byla experimentálně gravimetrickou metodou zjištěna plošná hmotnost jednotlivých vzorků. Plošná hmotnost $\rho_S [g/m^2]$ byla počítána pomocí rovnice (42). Výsledné hodnoty byly přehledně zaznamenány v tab. 3 a tab. 4 a dále statisticky vyhodnoceny (tab. 5 a tab. 6).

plošná hmotnost $\rho_s = \frac{m}{S}$ (42)

Kde: ρ_s ... plošná hmotnost [g/m²]
 m ... hmotnost [g]
 S plocha [m²]

Tab. 3 – Plošná hmotnost PA multifilu

	Dostava útku [nití/cm]	12	14	16	18	20
Měření 1	hmotnost [g]	4,94	5,22	5,41	5,74	5,89
	plošná hmotnost [g/m²]	123,39	130,56	135,17	143,54	147,17
Měření 2	hmotnost [g]	4,92	5,28	5,47	5,68	5,90
	plošná hmotnost [g/m²]	122,90	131,88	136,74	142,03	147,40
Měření 3	hmotnost [g]	4,98	5,34	5,51	5,76	5,96
	plošná hmotnost [g/m²]	124,61	133,44	137,73	144,05	148,99
Měření 4	hmotnost [g]	5,03	5,26	5,50	5,77	5,87
	plošná hmotnost [g/m²]	125,81	131,43	137,41	144,28	146,76
Měření 5	hmotnost [g]	5,00	5,35	5,47	5,90	5,92
	plošná hmotnost [g/m²]	124,96	133,72	136,63	147,47	148,10
Měření 6	hmotnost [g]	4,98	5,32	5,55	5,75	5,96
	plošná hmotnost [g/m²]	124,59	133,01	138,74	143,68	148,96
Měření 7	hmotnost [g]	5,04	5,31	5,46	5,86	5,97
	plošná hmotnost [g/m²]	125,90	132,70	136,53	146,47	149,36
Měření 8	hmotnost [g]	5,05	5,49	5,49	5,71	5,94
	plošná hmotnost [g/m²]	126,20	137,28	137,21	142,86	148,56
Měření 9	hmotnost [g]	5,12	5,34	5,60	5,80	6,08
	plošná hmotnost [g/m²]	128,03	133,40	139,98	145,08	151,92
Měření 10	hmotnost [g]	5,05	5,36	5,48	5,88	5,99
	plošná hmotnost [g/m²]	126,23	133,99	136,92	147,08	149,70

Tab. 4 – Plošná hmotnost PA multifilu s HF

	Dostava útku [nití/cm]	12	14	16	18	20
Měření 1	hmotnost [g]	4,95	5,02	5,30	5,63	5,86
	plošná hmotnost [g/m ²]	123,78	125,50	132,38	140,71	146,53
Měření 2	hmotnost [g]	4,96	5,05	5,36	5,64	5,83
	plošná hmotnost [g/m ²]	124,09	126,15	134,02	141,04	145,80
Měření 3	hmotnost [g]	4,98	5,02	5,33	5,64	5,85
	plošná hmotnost [g/m ²]	124,45	125,47	133,32	140,90	146,17
Měření 4	hmotnost [g]	5,03	5,26	5,50	5,77	5,87
	plošná hmotnost [g/m ²]	123,78	126,79	133,77	140,65	148,58
Měření 5	hmotnost [g]	4,88	5,09	5,37	5,72	5,90
	plošná hmotnost [g/m ²]	121,97	127,24	134,36	142,92	147,39
Měření 6	hmotnost [g]	4,96	5,11	5,34	5,70	5,92
	plošná hmotnost [g/m ²]	124,08	127,73	133,57	142,51	147,93
Měření 7	hmotnost [g]	4,98	5,10	5,26	5,68	5,96
	plošná hmotnost [g/m ²]	124,49	127,51	131,51	141,98	148,90
Měření 8	hmotnost [g]	4,85	5,16	5,39	5,71	6,03
	plošná hmotnost [g/m ²]	121,31	128,97	134,79	142,76	150,69
Měření 9	hmotnost [g]	4,89	5,10	5,37	5,74	6,00
	plošná hmotnost [g/m ²]	122,26	127,44	134,25	143,54	150,09
Měření 10	hmotnost [g]	5,08	5,14	5,39	5,73	5,98
	plošná hmotnost [g/m ²]	126,94	128,51	134,83	143,34	149,61

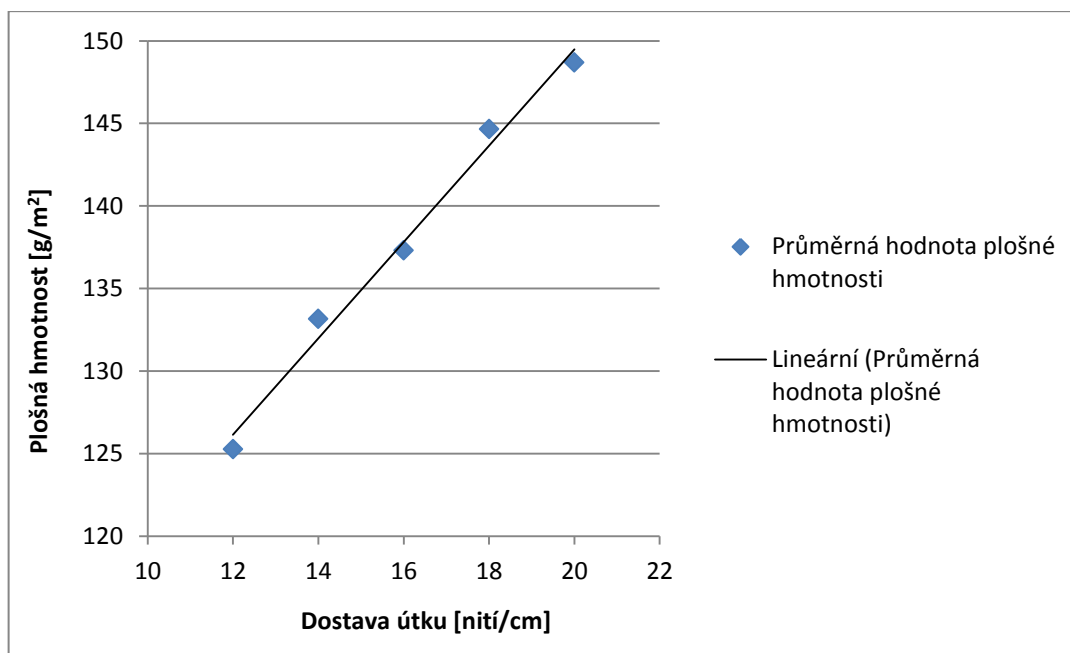
Tab. 5 – Analýza plošné hmotnosti PA multifilu

Dostava útku [nití/cm]	12	14	16	18	20
Průměr [g/m ²]	125,26	133,14	137,30	144,65	148,69
Směrodatná odchylka [m]	1,497	1,818	1,312	1,828	1,495
Variační koeficient [%]	1,195	1,365	0,956	1,264	1,006
95% Interval spolehlivosti [m]	<124,33 ; 126,19>	<132,01 ; 134,27>	<136,49 ; 138,12>	<143,52 ; 145,79>	<147,76 ; 149,62>

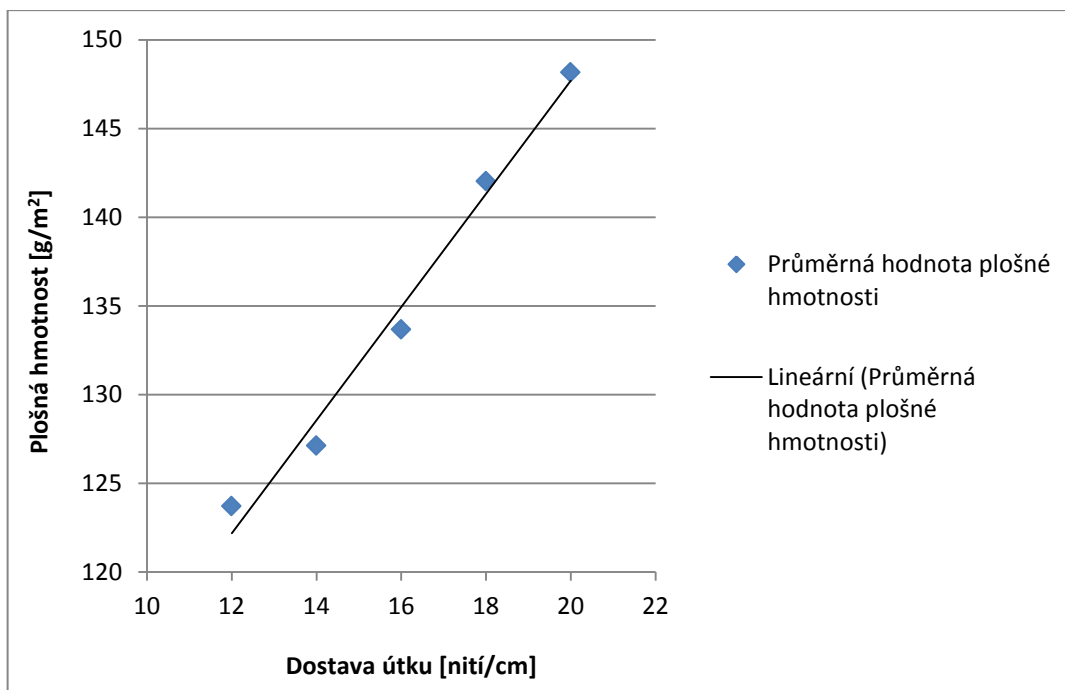
Tab. 6 – Analýza plošné hmotnosti PA multifilu s HF

Dostava útku [nití/cm]	12	14	16	18	20
Průměr [g/m ²]	123,71	127,13	133,68	142,03	148,17
Směrodatná odchylka [m]	1,590	1,173	1,055	1,128	1,692
Variační koeficient [%]	1,285	0,923	0,789	0,794	1,142
95% Interval spolehlivosti [m]	<122,73 ; 124,70>	<126,40 ; 127,86>	<133,02 ; 134,33>	<141,34 ; 142,73>	<147,12 ; 149,22>

Hodnoty plošné hmotnosti byly dále vyobrazeny pomocí grafů (obr. 13 a 14).



Obr. 13 – Plošná hmotnost PA multifilu



Obr. 14 – Plošná hmotnost PA multifilu s HF

Nepatrné odchylky jsou způsobeny nepřesností měření velikosti vzorků.

7.1.2 Hustota materiálu

Vzhledem k množství dat, která o zkoušených materiálech známe, byla vypočítána i hustota materiálu s ohledem na jednotlivé hmotnosti vzorků, k čemuž bylo využito následující rovnice (43). Výsledné hodnoty jsou opět uspořádány do přehledných tabulek (tab. 7 a 8), a zároveň byly také statisticky vyhodnoceny (viz tab. 9 a 10).

$$\rho = \frac{m}{V} = \left(\frac{m}{(S \cdot l)} \right) \div 1000 \quad (43)$$

Kde: m ... hmotnost [g]

V ... objem [m³]

S obsah [m²]

l tloušťka [m]

Tab. 7 – Hustota PA multifilu

	Dostava útku [nití/cm]	12	14	16	18	20
Měření 1	hmotnost [g]	4,94	5,22	5,41	5,74	5,89
	tloušťka [m]	0,00023	0,00023	0,00023	0,00024	0,00024
	hustota [kg/m ³]	536,49	567,65	587,70	598,08	613,20
Měření 2	hmotnost [g]	4,92	5,28	5,47	5,68	5,90
	tloušťka [m]	0,00023	0,00023	0,00023	0,00023	0,00024
	hustota [kg/m ³]	534,36	573,40	594,50	617,51	614,17
Měření 3	hmotnost [g]	4,98	5,34	5,51	5,76	5,96
	tloušťka [m]	0,00022	0,00023	0,00023	0,00024	0,00024
	hustota [kg/m ³]	566,41	580,16	598,80	600,22	620,77
Měření 4	hmotnost [g]	5,03	5,26	5,50	5,77	5,87
	tloušťka [m]	0,00023	0,00023	0,00023	0,00023	0,00023
	hustota [kg/m ³]	547,00	571,45	597,45	627,32	638,09
Měření 5	hmotnost [g]	5,00	5,35	5,47	5,90	5,92
	tloušťka [m]	0,00023	0,00023	0,00023	0,00023	0,00024
	hustota [kg/m ³]	543,32	581,38	594,04	641,17	617,07
Měření 6	hmotnost [g]	4,98	5,32	5,55	5,75	5,96
	tloušťka [m]	0,00022	0,00023	0,00023	0,00023	0,00024
	hustota [kg/m ³]	566,31	578,30	603,23	624,68	620,68
Měření 7	hmotnost [g]	5,04	5,31	5,46	5,86	5,97
	tloušťka [m]	0,00023	0,00023	0,00023	0,00023	0,00024
	hustota [kg/m ³]	547,38	576,96	593,60	636,83	622,31
Měření 8	hmotnost [g]	5,05	5,49	5,49	5,71	5,94
	tloušťka [m]	0,00022	0,00023	0,00023	0,00023	0,00024
	hustota [kg/m ³]	573,61	596,88	596,54	621,14	619,01
Měření 9	hmotnost [g]	5,12	5,34	5,60	5,80	6,08
	tloušťka [m]	0,00023	0,00023	0,00023	0,00023	0,00024
	hustota [kg/m ³]	556,63	579,99	608,60	630,78	633,00
Měření 10	hmotnost [g]	5,05	5,36	5,48	5,88	5,99
	tloušťka [m]	0,00023	0,00023	0,00023	0,00024	0,00024
	hustota [kg/m ³]	548,80	582,57	595,32	612,81	623,73

Tab. 8 – Hustota PA multifilu s HF

	Dostava útku [nití/cm]	12	14	16	18	20
Měření 1	hmotnost [g]	4,95	5,02	5,30	5,63	5,86
	tloušťka [m]	0,00023	0,00023	0,00023	0,00023	0,00024
	hustota [kg/m ³]	538,16	545,66	575,54	611,79	610,54
Měření 2	hmotnost [g]	4,96	5,05	5,36	5,64	5,83
	tloušťka [m]	0,00023	0,00024	0,00023	0,00024	0,00024
	hustota [kg/m ³]	539,53	525,64	582,67	587,65	607,51
Měření 3	hmotnost [g]	4,98	5,02	5,33	5,64	5,85
	tloušťka [m]	0,00023	0,00024	0,00023	0,00024	0,00024
	hustota [kg/m ³]	541,07	522,78	579,65	587,09	609,05
Měření 4	hmotnost [g]	4,95	5,07	5,35	5,63	5,94
	tloušťka [m]	0,00022	0,00023	0,00023	0,00023	0,00024
	hustota [kg/m ³]	562,61	551,25	581,62	611,52	619,07
Měření 5	hmotnost [g]	4,88	5,09	5,37	5,72	5,90
	tloušťka [m]	0,00022	0,00024	0,00023	0,00024	0,00024
	hustota [kg/m ³]	554,42	530,16	584,18	595,50	614,11
Měření 6	hmotnost [g]	4,96	5,11	5,34	5,70	5,92
	tloušťka [m]	0,00022	0,00023	0,00023	0,00024	0,00024
	hustota [kg/m ³]	563,99	555,36	580,74	593,79	616,35
Měření 7	hmotnost [g]	4,98	5,10	5,26	5,68	5,96
	tloušťka [m]	0,00022	0,00023	0,00023	0,00023	0,00024
	hustota [kg/m ³]	565,86	554,37	571,76	617,30	620,42
Měření 8	hmotnost [g]	4,85	5,16	5,39	5,71	6,03
	tloušťka [m]	0,00022	0,00023	0,00023	0,00024	0,00024
	hustota [kg/m ³]	551,39	560,74	586,04	594,82	627,88
Měření 9	hmotnost [g]	4,89	5,10	5,37	5,74	6,00
	tloušťka [m]	0,00023	0,00023	0,00023	0,00023	0,00024
	hustota [kg/m ³]	531,57	554,09	583,67	624,08	625,38
Měření 10	hmotnost [g]	5,08	5,14	5,39	5,73	5,98
	tloušťka [m]	0,00023	0,00023	0,00023	0,00023	0,00024
	hustota [kg/m ³]	551,89	558,73	586,20	623,22	623,35

Tab. 9 – Analýza hustoty PA multifilu

Dostava útku [nití/cm]	12	14	16	18	20
Průměr [kg/m³]	552,03	578,87	596,98	621,05	622,20
Směrodatná odchylka [m]	13,27	7,90	5,71	14,31	7,87
Variační koeficient [%]	2,40	1,37	0,96	2,30	1,27
95% Interval spolehlivosti [m]	⟨543,81 ; 560,26⟩	⟨573,98 ; 583,77⟩	⟨593,44 ; 600,51⟩	⟨612,19 ; 629,92⟩	⟨617,32 ; 627,08⟩

Tab. 10 – Analýza hustoty PA multifilu s HF

Dostava útku [nití/cm]	12	14	16	18	20
Průměr [kg/m³]	550,05	545,88	581,21	604,68	617,37
Směrodatná odchylka [m]	12,02	14,28	4,59	14,44	7,05
Variační koeficient [%]	2,19	2,62	0,79	2,39	1,14
95% Interval spolehlivosti [m]	⟨542,60 ; 557,50⟩	⟨537,03 ; 554,73⟩	⟨578,36 ; 584,05⟩	⟨595,73 ; 613,63⟩	⟨613,00 ; 621,74⟩

7.2 Výchozí nastavení přístroje

Před zahájením měření bylo nutné nastavit potřebné parametry přístroje. Konkrétně se to týkalo jednotky vodního sloupce, kde se dle potřeby rozhoduje mezi jednotkami mBar nebo cmH₂O. Pro experiment byly použity cmH₂O. Dále bylo nezbytné vybrat přírůstek tlaku podle norem buď 10, nebo 60 cmH₂O/min. Zde byl zvolen přírůstek tlaku 10 cmH₂O/min, neboť ho norma připouští. Dalším důvodem této volby bylo to, že při 60 cmH₂O/min by bylo měření strašně rychlé. Proto, aby bylo vůbec možné zaznamenat, kdy došlo k proniknutí vody, byl vhodnější nižší přírůstek tlaku, protože kdyby byl přírůstek moc rychlý, tak by měření nebylo přesné. Zároveň by v takové situaci došlo k průniku více kapek, čímž by bylo měření ještě více nepřesné. Nakonec bylo důležité zvolit maximální tlak, kterého přístroj dosáhne. V tomto případě byla zvolena hodnota 3000 cmH₂O, aby bylo zabráněno předčasnému zastavení testu v případě nastavení nízké hodnoty. Veškeré nastavení přístroje bylo shrnuto do přehledné tabulky (tab. 11).

Tab. 11 – Základní nastavení přístroje

Jednotky vodního sloupce	cmH ₂ O
Přírůstek tlaku	10 cmH ₂ O/min
Maximální tlak	3000 cmH ₂ O

7.3 Postup měření hydrostatické odolnosti

Pro měření byl využit přístroj Hydrostatic Head Tester M018, na kterém dochází k rychlému a přesnému stanovení hydrostatické odolnosti. Měření bylo realizováno v laboratoři KHT za těchto klimatických podmínek:

Teplota: 23,2 °C

Vlhkost: 29 %

Měření bylo podrobena přibližně 150 vzorků. Všechny testované vzorky měly rozměry 20 x 20 cm a byly předem klimatizovány. Přístroj funguje na principu působení tlaku na upnutou textilii pomocí stlačeného vzduchu a vody obsažené v hlavici zásobníku. Pro každý testovaný vzorek, který byl vystaven experimentu, byla použita nová destilovaná voda. Dále bylo nutností vždy odstranit vodu z horních ploch upínacího zařízení včetně osušení dalších částí, které byly při měření upotřebeny.

Vzorky byly do přístroje umístěny bez jakýchkoliv záhybů a mechanického poškození. Na kruhovou oblast o průměru 16 cm byl vložen vzorek textilie lící stranou vzhůru tak, aby po upevnění a přitlačení hlavice přesahovaly okraje textilie a zároveň došlo k doteku povrchu testovaného vzorku s povrchem vody. Při procesu měření vzorků bez hydrofobní úpravy bylo potřeba využít gumové kruhové výztuže, aby se zabránilo prostoupení vody zkušebními vzorky a prosakování v čelistech. Vzorek byl tedy jednou výztuží podložen a zároveň, pro lepší napnutí, byla další gumová výztuž umístěna i na vzorek.

V důsledku jemnosti materiálu docházelo v některých případech, již po utažení, k rozjetí vazby v oblasti kruhu. Taková měření byla pochopitelně vyloučena. Ostatní měření probíhalo velice podobně.

Na vzorek bylo zespoda působeno tlakem vody. Voda byla vytlačována stlačeným vzduchem a účinkovala tlakem na plochu textilie. Tento tlak byl automaticky regulován dle nastavené rychlosti růstu. V době, kdy došlo na povrchu textilie k průniku tří kapek vody, bylo měření zastaveno, posléze zaznamenán čas a dosažená výška vodního sloupce. Při rychlém prosáknutí materiálu vodou bylo možné zpozorovat, že u nižší dostavy útku začalo prosakování vody uprostřed vzorku, avšak s rostoucí dostavou započalo prosakování vody v místě stlačení hlavice. Nicméně při většině měření nakonec nastalo úplné zaplavení povrchu vzorku.

Získané hodnoty byly následně, pro další výpočty, převedeny z původních jednotek $\text{cmH}_2\text{O}/\text{min}$ na $\text{mmH}_2\text{O}/\text{s}$. Měření trvala ve všech případech kolem 60 sekund a nejvýše bylo dosaženo hodnoty něco málo přes $100 \text{ mmH}_2\text{O}$.

Naměřené hodnoty hydrostatické odolnosti jsou zaznamenány v tabulkách (tab. 12 a 13) a poté byly statisticky vyhodnoceny (tab. 14 a 15). Dále byly zobrazeny i pomocí grafů (obr. 15 a 16).

Tab. 12 – Hydrostatická odolnost PA multifilu

	Dostava útku [nití/cm]	12	14	16	18	20
Měření 1	mmH₂O	114	103	111	99	108
	doba měření [s]	66,6	61,2	63,6	61,2	65,7
Měření 2	mmH₂O	109	107	95	98	105
	doba měření [s]	64,2	61,2	61,8	61,2	62,4
Měření 3	mmH₂O	103	97	102	104	110
	doba měření [s]	63,0	64,2	60,0	65,2	67,3
Měření 4	mmH₂O	122	104	100	102	113
	doba měření [s]	31,2	34,8	33,6	65,3	67,8
Měření 5	mmH₂O	73	86	84	85	83
	doba měření [s]	29,4	30,0	28,8	31,2	28,8
Měření 6	mmH₂O	84	102	80	100	83
	doba měření [s]	30,6	33,6	30,6	31,8	31,2
Měření 7	mmH₂O	83	78	84	80	87
	doba měření [s]	30,6	32,4	32,4	30,0	29,4
Měření 8	mmH₂O	105	90	102	83	91
	doba měření [s]	34,2	29,4	34,2	31,8	33,6
Měření 9	mmH₂O	86	90	82	83	84
	doba měření [s]	30,0	33,6	30,6	30,6	29,4
Měření 10	mmH₂O	66	76	82	86	85
	doba měření [s]	25,2	24,6	33,0	30,6	31,8

Tab. 13 – Hydrostatická odolnost PA multifilu s HF

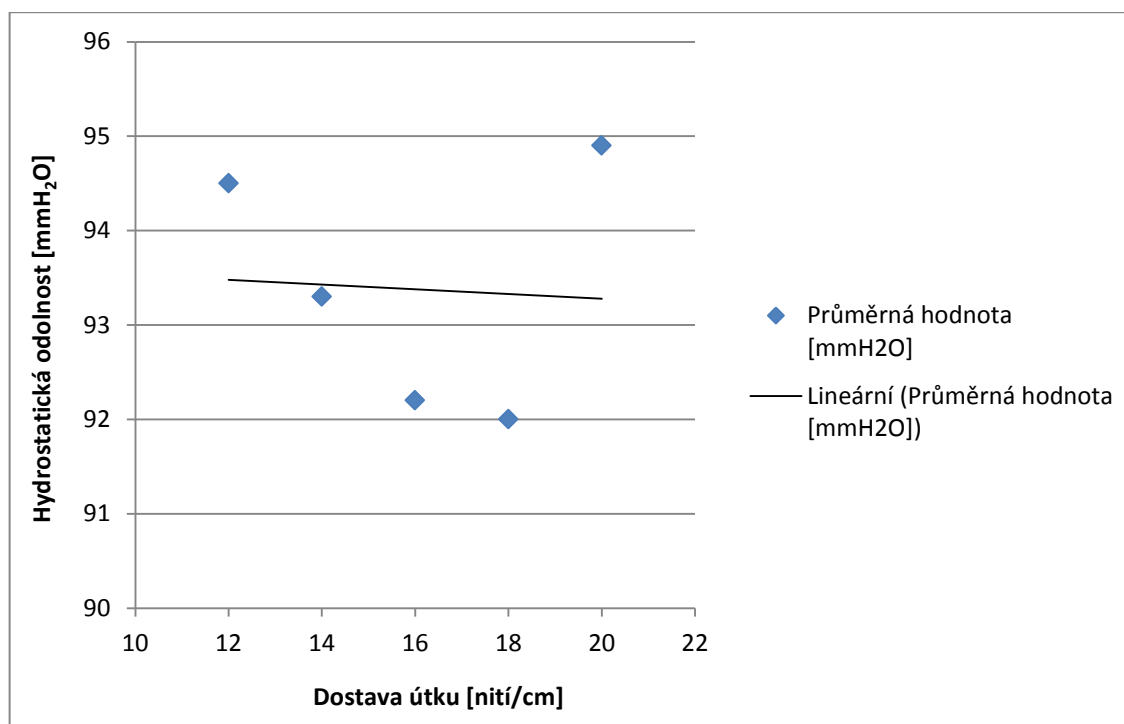
	Dostava útku [nití/cm]	12	14	16	18	20
Měření 1	mmH ₂ O	129	156	198	260	278
	doba měření [s]	72,6	76,2	129,0	138,6	147,6
Měření 2	mmH ₂ O	145	173	186	233	262
	doba měření [s]	84,6	85,8	124,2	131,4	144,6
Měření 3	mmH ₂ O	153	186	192	230	253
	doba měření [s]	94,8	115,2	127,8	130,8	132,6
Měření 4	mmH ₂ O	144	167	193	207	209
	doba měření [s]	75,0	82,8	120,6	93,0	94,8
Měření 5	mmH ₂ O	120	158	188	194	258
	doba měření [s]	67,8	78,0	125,4	93,0	137,4
Měření 6	mmH ₂ O	151	159	174	191	224
	doba měření [s]	81,0	78,0	84,0	90,6	127,8
Měření 7	mmH ₂ O	147	152	190	213	251
	doba měření [s]	77,4	74,4	94,8	124,8	136,8
Měření 8	mmH ₂ O	154	150	199	214	246
	doba měření [s]	75,0	70,2	93,0	124,8	132,6
Měření 9	mmH ₂ O	149	158	201	204	203
	doba měření [s]	90,6	79,8	92,4	121,2	80,4
Měření 10	mmH ₂ O	152	168	188	213	220
	doba měření [s]	88,2	84,0	89,4	122,4	126,6

Tab. 14 – Analýza hydrostatické odolnosti PA multifilu

Dostava útku [nití/cm]	12	14	16	18	20
Průměr mmH ₂ O	94,5	93,3	92,2	92,0	94,9
Směrodatná odchylka [mm]	18,61	11,03	11,08	9,33	12,50
Variační koeficient [%]	19,70	11,82	12,02	10,14	13,17
95% Interval spolehlivosti [mm]	<82,96 ; 106,04>	<86,47 ; 100,13>	<85,33 ; 99,07>	<86,22 ; 97,78>	<87,15 ; 102,65>

Tab. 15 – Analýza hydrostatické odolnosti PA multifilu s HF

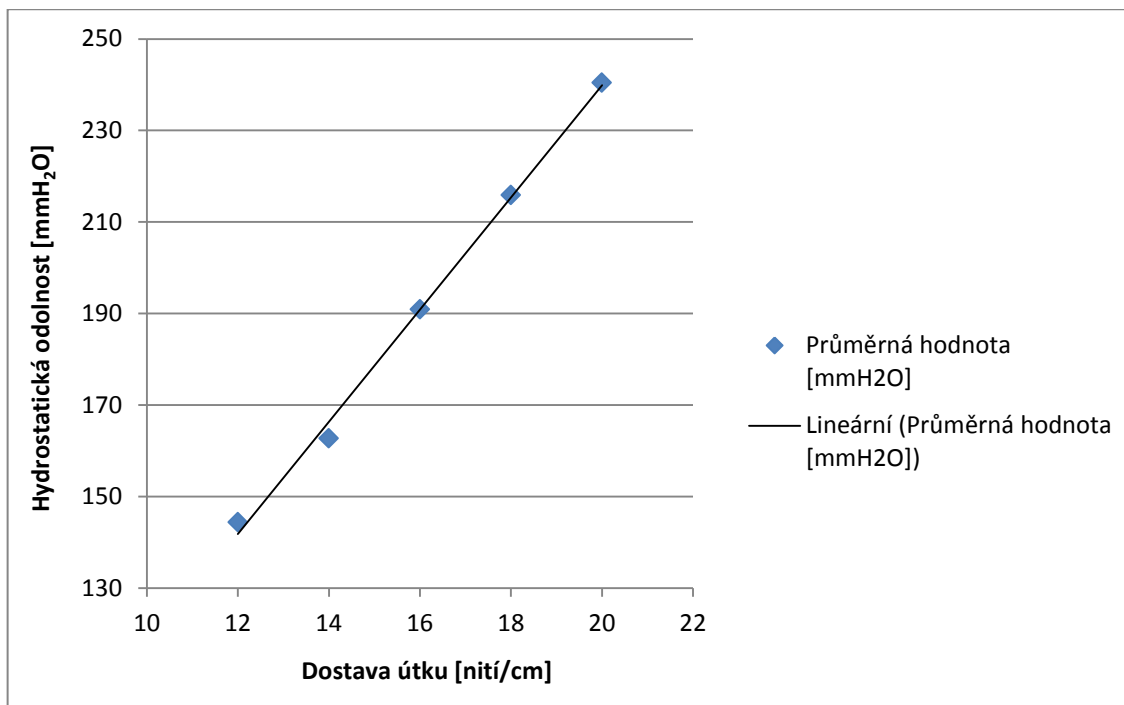
Dostava útku [nití/cm]	12	14	16	18	20
Průměr mmH ₂ O	144,4	162,7	190,9	215,9	240,4
Směrodatná odchylka [mm]	11,20	10,92	7,82	20,49	24,86
Variační koeficient [%]	7,75	6,71	4,10	9,49	10,34
95% Interval spolehlivosti [mm]	<137,46 ; 151,34>	<155,93 ; 169,47>	<186,05 ; 195,75>	<203,20 ; 228,60>	<224,99 ; 255,81>



Obr. 15 – Hydrostatická odolnost PA multifilu

U grafu hydrostatické odolnosti polyamidového hedvábí bez hydrofobní úpravy (obr. 15) je zřejmé, že hodnoty jsou prakticky konstantní, z čehož vyplývá, že naměřené hodnoty jsou nezávislé na dostavě útku. Pokud srovnáme odolnosti mezi sebou, pak je zřejmé, že rozmezí průměrných hodnot přibližně 92 až 95 mm H₂O není

velký rozdíl. Zároveň byla spočítána korelace, která vyšla $-0,0603$ a tím je i statisticky potvrzeno, že v tomto případě není žádná závislost na dostavě útku.



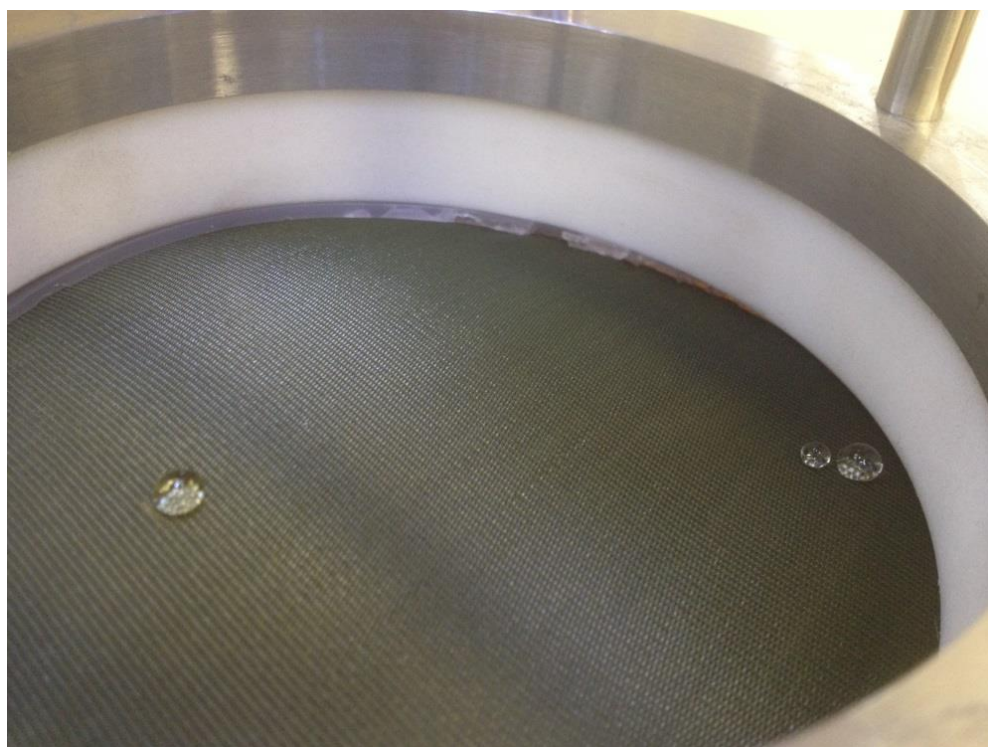
Obr. 16 – Hydrostatická odolnost PA multifilu s HF

Z grafu hydrostatické odolnosti polyamidového hedvábí s hydrofobní úpravou (obr. 16) vyplývá, že hodnoty mají rostoucí tendenci, tudíž jsou závislé na dostavě útku. Při srovnání naměřené odolnosti mezi sebou je patrný velký rozdíl, neboť je rozmezí průměrných hodnot přibližně 140 až 240 mm H₂O. Zároveň byla spočítána korelace, která vyšla $0,9983$ a tím je i statisticky potvrzeno, že v tomto případě se jedná o silnou a přímou závislost na dostavě útku.

Při procesu měření vzorků s hydrofobní úpravou nebylo potřeba spodní gumové výztuže, neboť byl materiál pevnější a tudíž nedocházelo k okamžitému prostoupení vody zkušebními vzorky. Naproti tomu bylo i zde výhodné umístit gumovou výztuž na vzorek pro lepší napnutí. Zřídka u tohoto materiálu docházelo po utažení vzorku čelistmi k rozjetí vazby v oblasti kruhu. Pokud taková situace nastala, tak byla tato měření opět pochopitelně vyloučena. Průběh ostatních měření se vyvíjel prakticky stejně. Vždy došlo k proniknutí kapek materiálem, kdy po průniku prvních třech kapek

přes tkaninu (obr. 17) bylo měření ukončeno. Kapky se objevovaly na různých místech, ať už na prostředku vzorku nebo u krajů.

Pokud jde o dobu měření, tak u vzorků s nižší dostavou útku byla doba měření kratší a v důsledku vyšší dostavy útku doba měření narůstala. S rostoucí dostavou útku zároveň docházelo k nárůstu hodnot milimetrů vodního sloupce. Měření trvala v rozmezí od 70 sekund až do 140 sekund a nejvýše bylo dosaženo hodnoty něco málo přes 270 mmH₂O.



Obr. 17 – Průnik třech kapek přes PA multifil s HF

Souhrnně lze říci, že pro dosažení optimálních výsledků bylo provedeno velké množství měření. Pokud nastala nějaká chyba při měření, jednalo se ve všech případech o porušení materiálu v čelistech následkem upnutí vzorku. V tom případě nešlo o jakési zničení, ale šlo o změnu na měřeném materiálu. Chybná měření se vyskytovala v jedné třetině z celkových měření a všechna byla vyloučena ze statistického vyhodnocení.

7.4 Měření hydrostatické odolnosti s pozorováním průhybu

Pro další měření hydrostatické odolnosti bylo opět využito polyamidového hedvábí s hydrofobní úpravou, ale tentokrát pouze s nejvyšší dostavou útku, a to 20 nití/cm. Dále byla testována tkanina s membránou z nanovláken, abychom dosáhli většího průhybu u zkoušených vzorků.

Výchozí nastavení přístroje bylo prakticky stejné jako při předchozích měřeních, tedy jednotky vodního sloupce byly nastaveny na cmH_2O a u maximálního tlaku byla zvolena hodnota $3000 \text{ cmH}_2\text{O}$. Rozdíl byl pouze v nastavení přírůstku tlaku s ohledem na zkoušené materiály. V případě polyamidového hedvábí s hydrofobní úpravou bylo opět navoleno $10 \text{ cmH}_2\text{O}/\text{min}$, avšak u tkaniny s membránou z nanovláken byl nastaven přírůstek tlaku na $60 \text{ cmH}_2\text{O}/\text{min}$, neboť se jedná o odolnější materiál a při $10 \text{ cmH}_2\text{O}/\text{min}$ bychom dlouho čekali na výsledek měření.

7.4.1 Princip a průběh měření

Pro měření byl znovu využit přístroj Hydrostatic Head Tester M018 a testování bylo realizováno v laboratoři KHT za těchto klimatických podmínek:

Teplota: $22,5 \text{ }^\circ\text{C}$

Vlhkost: 31 %

Měření bylo podrobena 20 vzorků, tedy 10 vzorků/druh materiálu. Všechny testované vzorky měly rozměry $20 \times 20 \text{ cm}$ a byly předem klimatizovány.

Samotné měření probíhalo stejným způsobem jako v přechozích případech, pouze na hlavici bylo navíc umístěno měřítko, aby bylo možné v průběhu testování sledovat velikost průhybu vzorků. Pro zajištění co nejvyšší přesnosti byl na střed vzorku, kde se tvořil kruhový vrchlík, umístěn lehký obdélníkový předmět.

Získané hodnoty byly následně, pro další výpočty, převedeny z původních jednotek $\text{cmH}_2\text{O}/\text{min}$ na $\text{mmH}_2\text{O}/\text{s}$.

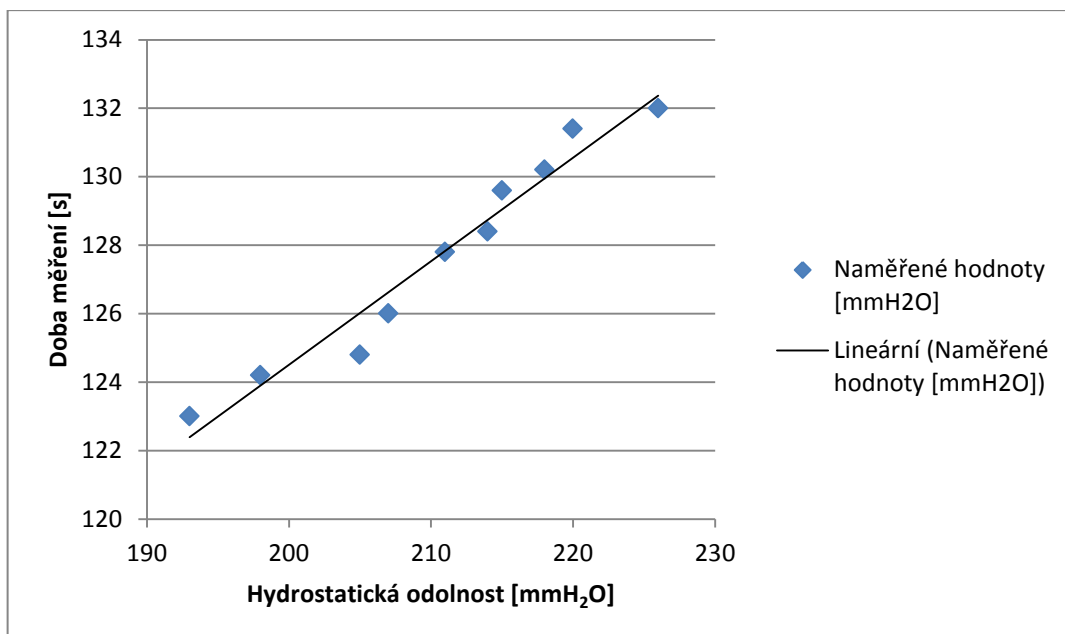
Naměřené hodnoty hydrostatické odolnosti včetně naměřené velikosti průhybu jsou zaznamenány v tabulkách včetně statistického vyhodnocení (tab. 16 a 17), a poté i v grafech, kdy jsou zvláště zobrazeny výsledky měření hydrostatické odolnosti (obr. 18 a 19) a zvláště zachycený průhyb obou materiálů (obr. 20 a 21) včetně snímků ze samotného měření (obr. 22 a 23).

Tab. 16 – Hydrostatická odolnost PA multifilu s HF

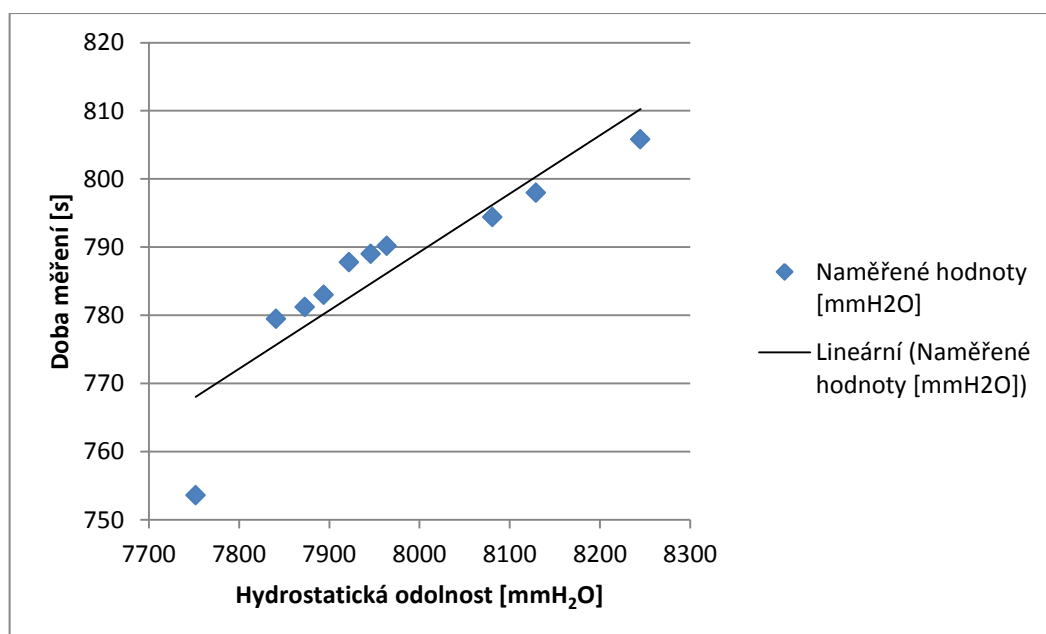
Měření	mmH₂O	doba měření [s]	průhyb [mm]
1	193	123	7
2	214	128,4	10
3	207	126	9
4	218	130,2	11
5	226	132	12
6	205	124,8	9
7	215	129,6	10
8	220	131,4	11
9	198	124,2	8
10	211	127,8	10
Průměr	210,70	127,74	9,70
Směrodatná odchylka	10,13	3,13	1,49
Variační koeficient	4,81	2,45	15,41
95% Interval spolehlivosti	<204,42 ; 216,98>	<125,80 ; 129,68>	<8,77 ; 10,63>

Tab. 17 – Hydrostatická odolnost tkaniny s membránou z nanovláken

Měření	mmH₂O	doba měření [s]	průhyb [mm]
1	7841	779,5	27
2	8129	798	31
3	8081	794,4	30
4	8245	805,8	32
5	7922	787,8	28
6	7894	783	28
7	7964	790,2	29
8	7752	753,6	25
9	7946	789	29
10	7873	781,2	27
Průměr	7964,70	786,25	28,60
Směrodatná odchylka	147,28	13,98	2,07
Variační koeficient	1,85	1,78	7,22
95% Interval spolehlivosti	<7873,42 ; 8055,98>	<777,58 ; 794,92>	<27,32 ; 29,88>

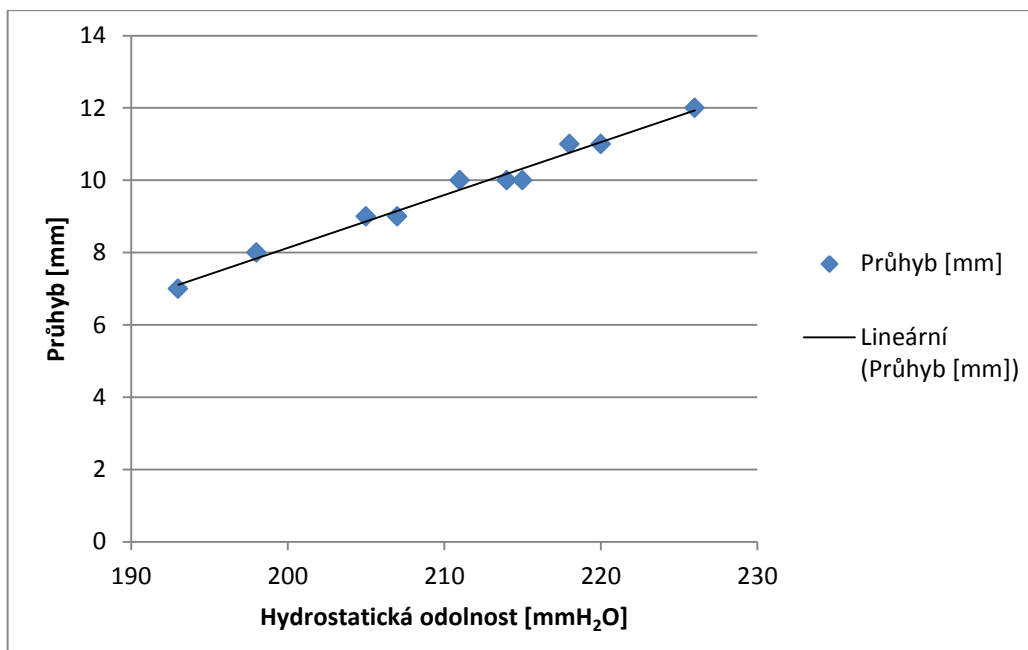


Obr. 18 – Hydrostatická odolnost PA multifilu s HF

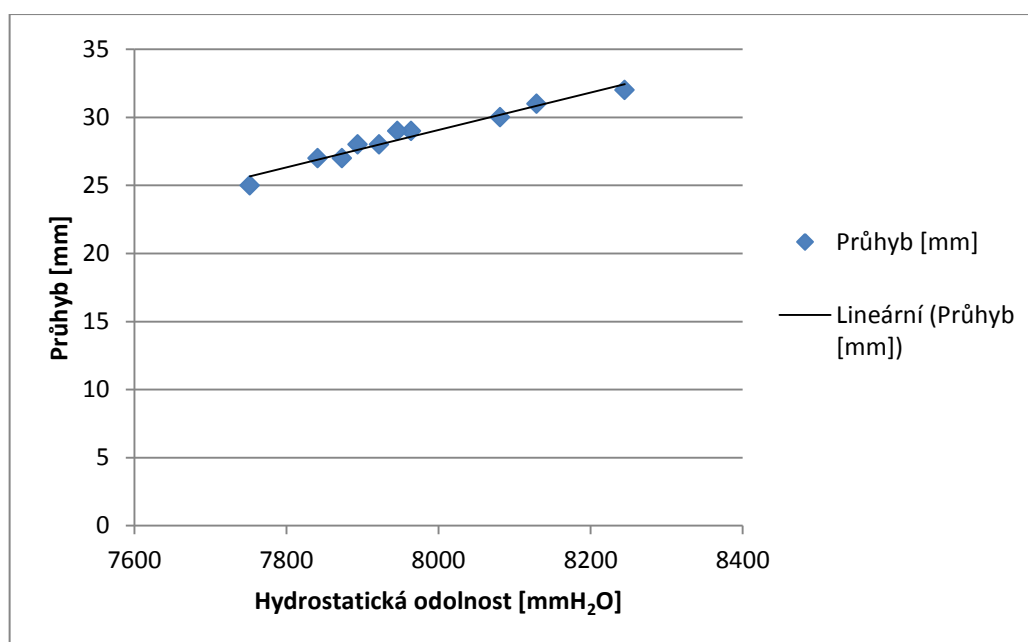


Obr. 19 – Hydrostatická odolnost tkaniny s membránou z nanovláken

Z grafů lze vyčíst, že působení vodního sloupce je srovnatelné, i když jsou hodnoty jiné. Dále je možné pozorovat i chování materiálů, které je stejné, ačkoliv se jedná o různé materiály.

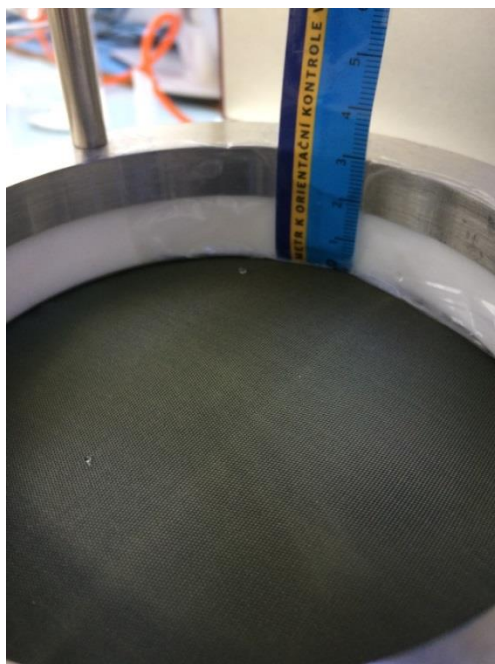


Obr. 20 – Naměřený průhyb PA multifilu s HF

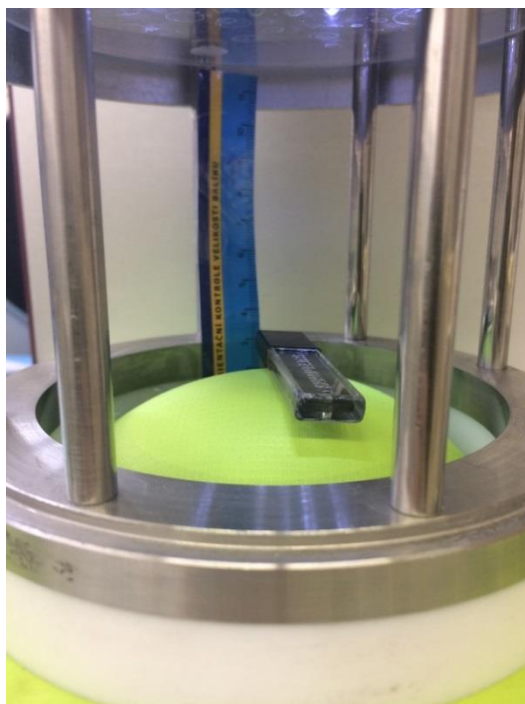


Obr. 21 – Naměřený průhyb tkaniny s membránou z nanovláken

Na grafech lze pozorovat, že u obou materiálů je trend průhybu stejný, mírně stoupající, ačkoliv se materiály řádově liší v naměřené hodnotě hydrostatické odolnosti.



Obr. 22 – Měření vodního sloupce u PA multifilulu s HF



Obr. 23 – Měření vodního sloupce u tkaniny s membránou z nanovláken

Na rozdíl od PA multifilu s HF nedochází u tkaniny s membránou z nanovláken k porušení kapkami a test byl tedy zastaven až při dosažení nejvyššího možného tlaku. Tento materiál nebyl porušen ani prasknutím, ale pouze poklesem tlaku při porušení v čelistech.

Souhrnně lze říci, že při měření hydrostatické odolnosti je trend u obou materiálů stejný, tedy stoupající. Podobné je to i při měření průhybu, kdy je trend zkoušených materiálů totožný, ale pouze mírně stoupající. Zároveň se testované tkaniny chovají srovnatelně, ačkoliv se liší finálním porušením při měření hydrostatické odolnosti. Největší rozdíl je pouze v řádu, v jakém se výsledné hodnoty pohybují.

8 Výpočet

Z důvodu dosažení výsledných hodnot maximálního průhybu bylo nutné získat i některé dílčí hodnoty, kterých bylo dosaženo prostřednictvím jednotlivých výpočtů. Nejdříve byla naměřena tažnost jednotlivých vzorků, aby mohl být následně vypočítán modul pružnosti, neboť se vyskytuje v důležitém výpočtu, který byl klíčovou hodnotou pro finální výsledek. Poté byla spočítána ohybová tuhost desky, aby bylo možné vypočítat hodnotu, která byla cílem práce. Pro samotný finální výsledek, tedy maximální průhyb tkaniny, bylo nutné stanovit dva parametry, a to Poissonovo číslo a tlak.

8.1 Modul pružnosti v tahu

Pro dosažení hodnot modulu pružnosti bylo potřeba naměřit tažnost každého vzorku, neboli schopnost materiálu deformovat se během namáhání v tahu, k čemuž byl využit přístroj na měření tažnosti, konkrétně Testometric M-350 5CT v souladu s normou ČSN EN ISO 13934-1 (800812). V této normě je uveden postup pro určení maximální síly a tažnosti při maximální síle prostřednictvím metody Strip, kdy byla šířka měřeného vzorku 50 mm a délka 200 mm. Pro výpočet byly hodnoty převedeny na metry, tedy šířka vzorku 0,05 m a délka vzorku 0,2 m.

Měřením byla získána data, která byla využita pro výpočet modulu pružnosti. Pro výpočet modulu pružnosti v tahu neboli Youngova modulu bylo potřeba znát prodloužení a sílu, z kterých byla následně vypočítána hodnota poměrné deformace ε a napětí v tahu σ dle vztahu:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (44)$$

Kde: E ... modul pružnosti v tahu [Pa]

σ ... napětí v tahu [Pa]

ε ... poměrná deformace (tzv. podélná)

Napětí v tahu bylo dopočítáno dle vzorce:

$$\sigma = \frac{F}{S} \quad (45)$$

Kde: σ ... napětí v tahu [Pa]

F ... síla [N]

S ... obsah [m²]

Hodnota poměrné deformace byla získána rovnicí:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \quad (46)$$

Kde: ε ... poměrná deformace (tzv. podélná)

l ... délka [m]

l_0 ... původní délka [m]

Δl ... absolutní prodloužení $\Delta l = l - l_0$

8.2 Ohybová tuhost desky

Dalším důležitým výpočtem byla ohybová tuhost desky, jíž docílíme prostřednictvím vzorce:

$$D = \frac{E \cdot h^3}{12 \cdot (1 - \mu^2)} \quad (23)$$

Kde: D ... ohybová tuhost desky [Nm]

E ... modul pružnosti v tahu [Pa]

h ... tloušťka vzorku [m]

μ ... Poissonovo číslo [-]

8.3 Průhyb vzorku

Jedná se o malou deformaci, která vzniká při měření hydrostatické odolnosti. Aby bylo možné porovnat naměřené hodnoty z experimentu, bylo nutné vypočítat maximální průhyb zkoušeného materiálu pomocí vzorce (47), kde byl poloměr vzorku roven 0,08 m:

$$W_{max} = \frac{pa^4}{64D} \quad (47)$$

Kde: W_{max} ... maximální průhyb [m]

p tlak [Pa]

a poloměr [m]

D ohybová tuhost desky [Nm]

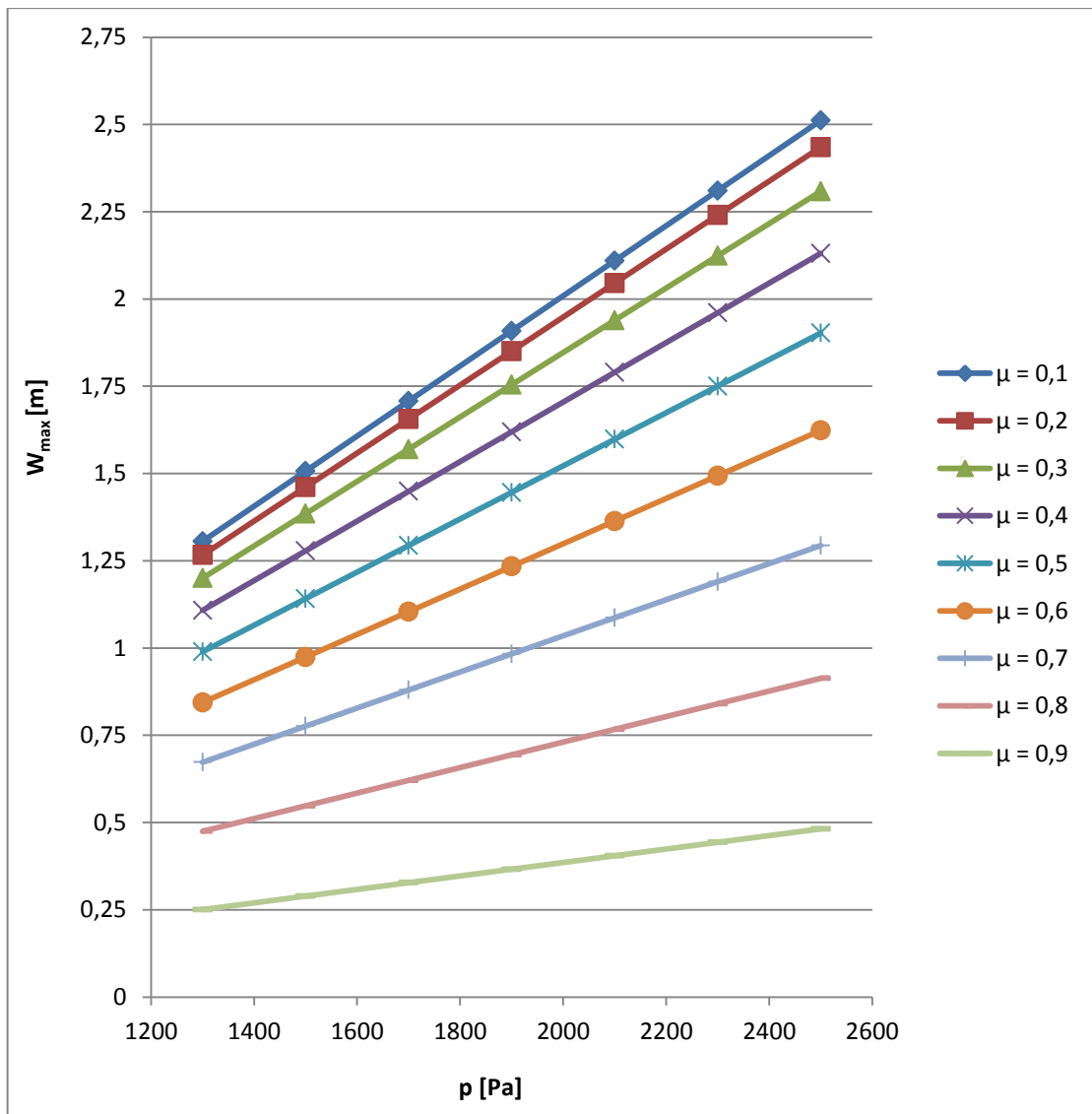
Výsledné hodnoty jsou přehledně uspořádány v tabulkách 18 a 19. Aby byly výsledky výpočtů viditelné, bylo nutné tabulku rozdělit na dvě části. V tabulkách je také vidět, že hodnoty Poissonova čísla byly zvoleny od 0,1 do 0,9 a parametr tlaku byl určen od 1300 Pa do 2500 Pa. Pro lepší přehlednost byly hodnoty průhybu v závislosti na tlaku vyneseny do grafu (obr. 24).

Tab. 18 – Výpočet maximálního průhybu PA multifilu s HF (1. část)

μ [-]	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
E [Pa]	597 371 697	597 371 697	597 371 697	597 371 697	597 371 697
h [m]	0,000234	0,000234	0,000234	0,000234	0,000234
D [Nm]	0,0006404	0,0006604	0,0006967	0,0007547	0,0008453
p [Pa]	1300	1300	1300	1300	1300
Wmax [m]	1,3058086	1,2662387	1,2002887	1,1079588	0,989249
p [Pa]	1500	1500	1500	1500	1500
Wmax [m]	1,5067023	1,4610446	1,3849485	1,278414	1,1414411
p [Pa]	1700	1700	1700	1700	1700
Wmax [m]	1,7075959	1,6558506	1,5696083	1,4488692	1,2936333
p [Pa]	1900	1900	1900	1900	1900
Wmax [m]	1,9084895	1,8506565	1,7542681	1,6193244	1,4458254
p [Pa]	2100	2100	2100	2100	2100
Wmax [m]	2,1093832	2,0454625	1,938928	1,7897797	1,5980175
p [Pa]	2300	2300	2300	2300	2300
Wmax [m]	2,3102768	2,2402684	2,1235878	1,9602349	1,7502097
p [Pa]	2500	2500	2500	2500	2500
Wmax [m]	2,5111704	2,4350744	2,3082476	2,1306901	1,9024018

Tab. 19 – Výpočet maximálního průhybu PA multifilu s HF (2. část)

μ [-]	0,6	0,7	0,8	0,9
E [Pa]	597 371 697	597 371 697	597 371 697	597 371 697
h [m]	0,000234	0,000234	0,000234	0,000234
D [Nm]	0,0009906	0,0012431	0,0017610	0,0033366
p [Pa]	1300	1300	1300	1300
Wmax [m]	0,8441591	0,6726893	0,4748395	0,2506097
p [Pa]	1500	1500	1500	1500
Wmax [m]	0,9740297	0,776180	0,5478917	0,2891651
p [Pa]	1700	1700	1700	1700
Wmax [m]	1,1039004	0,8796706	0,6209440	0,3277204
p [Pa]	1900	1900	1900	1900
Wmax [m]	1,2337710	0,9831613	0,9639962	0,3662758
p [Pa]	2100	2100	2100	2100
Wmax [m]	1,3636416	1,0866519	0,7670484	0,4048311
p [Pa]	2300	2300	2300	2300
Wmax [m]	1,4935123	1,1901426	0,8401007	0,4433865
p [Pa]	2500	2500	2500	2500
Wmax [m]	1,6233829	1,2936333	0,9131529	0,4819418



Obr. 24 – Výsledné hodnoty průhybu získané výpočtem

Takto bylo dosaženo hodnot výpočtem, které byly následně porovnány s hodnotami získanými měřeními hydrostatické odolnosti. Aby došlo ke srovnání odpovídajících veličin, bylo nutné naměřené hodnoty přepočítat na hodnoty tlaku.

9 Testování mechanických vlastností tkanin

Druhou částí práce bylo testování mechanických vlastností tkanin, konkrétně tažnost a zkouška hydrostatickým tlakem. Testováno bylo polyamidové hedvábí s hydrofobní úpravou a tkanina s membránou z nanovláken, abychom je mohli co nejlépe porovnat. Pro testování tažnosti byl použit trhací stroj TIRA test 2300 a hydrostatická odolnost byla testována opět na přístroji Hydrostatic Head Tester M018.

9.1 Pevnost tkanin v tahu

V rámci testování pevnosti materiálu v tahu byly zjištěny určité mechanické vlastnosti, mezi které patřily:

- F_{\max} ... maximální síla v přetrhu [N]
- A_{\max} ... maximální protažení při přetrhu [%]
- E Youngův modul pružnosti [MPa]

Maximální síla v přetrhu udává množství vynaložené síly pro přetržení testovaného vzorku textilie. Maximální protažení při přetrhu je procentuální vyjádření protažení zkoušeného vzorku při jeho přetržení. Youngův modul pružnosti určuje tuhost zkoušeného vzorku textilie.

Celý průběh zkoušky je ovládán počítačovým softwarem TIRA test, jež zároveň zaznamenává výsledky měření. Případně je možné použít postranní ovládací panel. Jedná se o univerzální trhací zařízení, na kterém lze provádět zkoušky tlakem, tahem apod. Přístroj (obr. 25) byl využit pro účel tahové zkoušky s předpětím 10 N spolu s mechanickými čelistmi a nachází se na Katedře materiálového inženýrství TUL.

Měření bylo realizováno za těchto klimatických podmínek:

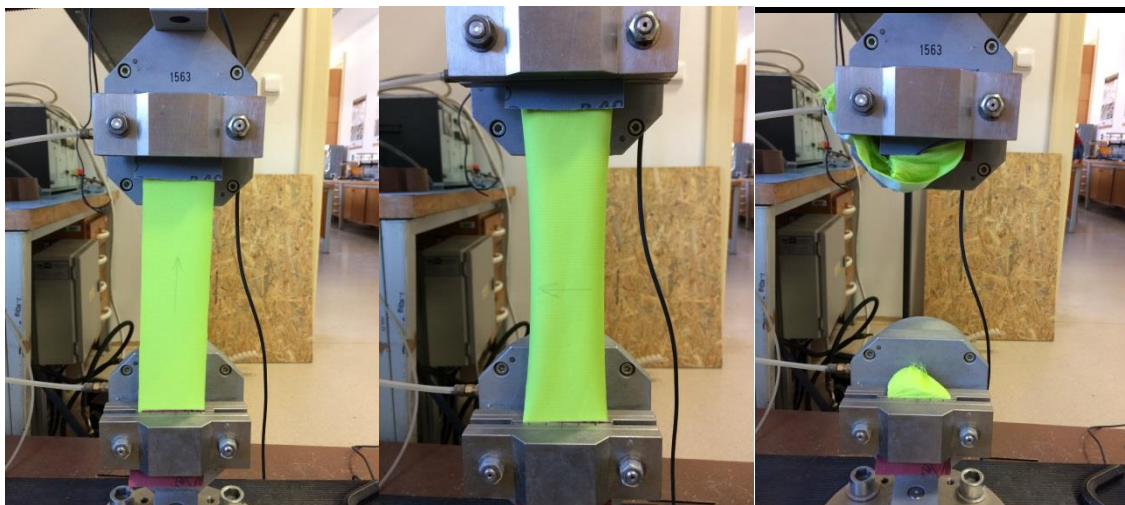
Teplota: 22,2 °C

Vlhkost: 63 %



Obr. 25 – Příklad TIRA test 2300 pro měření pevnosti materiálu [31]

Testovány byly vzorky textilie s membránou z nanovláken o průměrné tloušťce 0,18 mm, která byla naměřena za pomoci tloušťkoměru. Měřeno bylo vždy 10 vzorků, a to jak ve směru osnovy, tak po útku. Všechny vzorky byly o velikosti 30 cm s tím, že zkoušená plocha byla 20 x 5 cm. Zkušební vzorky byly uchyceny do čelistí tak, aby byly v napnutém stavu a nikde se neprohýbaly. Následně byla provedena zkouška pevnosti, jež byla vždy ukončena ve chvíli, kdy došlo k přetržení zkoušeného vzorku (obr. 26).



Obr. 26 – Ukázka měření tažnosti tkaniny s membránou z nanovláken

Velikost vzorku pro měření pevnosti textilie je 50 x 200 mm dle normy. Celkem bylo měřeno 20 vzorků, 10 ve směru osnovy a 10 ve směru útku. Přehled naměřených hodnot, konkrétně maximální síly při přetrhu F_{max} , maximálního protažení vzorku při přetrhu A_{max} a Youngův modul pružnosti E jsou přehledně uspořádány a doplněny o statistické vyhodnocení. Tab. 20 obsahuje naměřené hodnoty vzorků ve směru osnovy a tab. 21 testované vzorky ve směru útku.

Tab. 20 – Pevnost vzorků v tahu ve směru osnovy

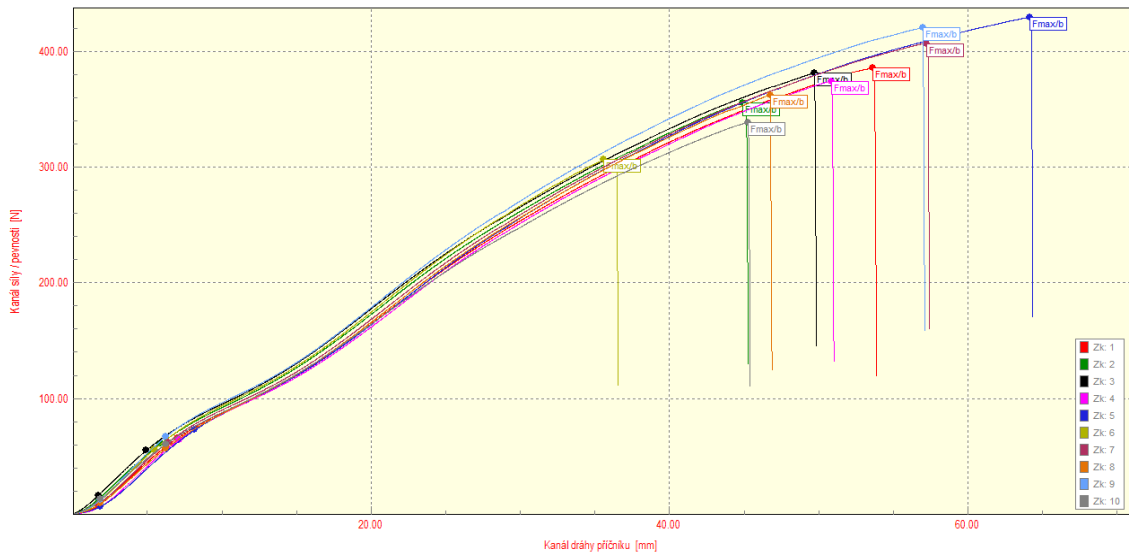
Počet měření n	F_{max} [N]	A_{max} [%]	E [MPa]
1	385,79	26,29	246,95
2	355,71	21,88	331,64
3	381,37	24,24	416,79
4	374,57	24,79	237,49
5	429,76	31,46	227,33
6	306,86	17,08	357,12
7	406,86	27,95	298,15
8	362,72	22,71	273,13
9	420,89	27,83	342,59
10	338,70	21,97	324,49
Průměr	376,32	24,62	305,57
Směrodatná odchylka	37,63	4,03	60,31
Variační koeficient	10,00	16,37	19,74
95% Interval spolehlivosti	(353,00 ; 399,64)	(22,12 ; 27,12)	(268,19 ; 342,95)

Tab. 21 – Pevnost vzorků v tahu ve směru útku

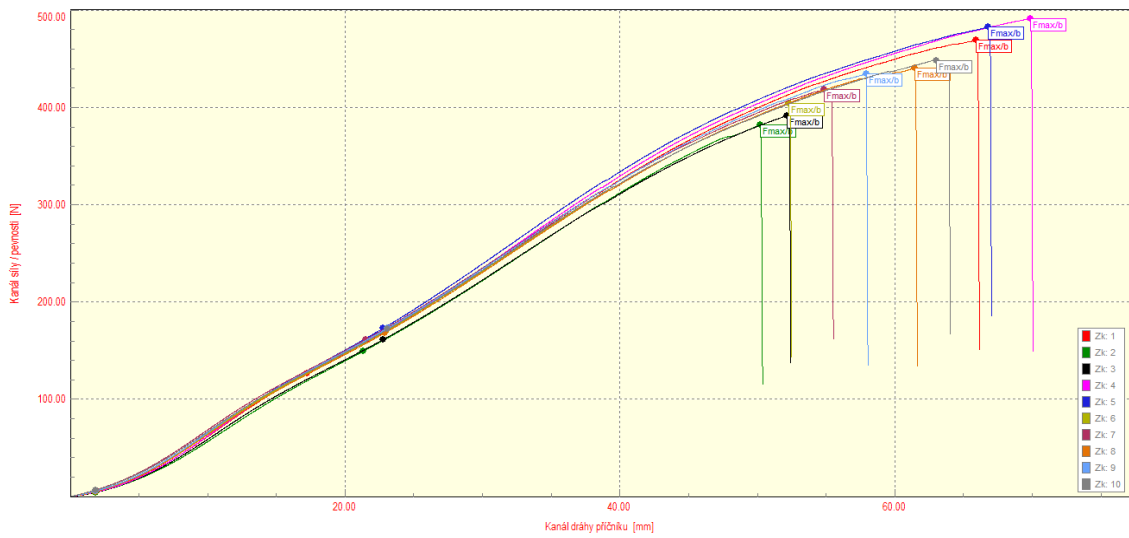
Počet měření n	F_{max} [N]	A_{max} [%]	E [MPa]
1	469,02	32,44	144,95
2	382,10	24,62	138,33
3	391,85	25,59	143,69
4	491,25	34,43	151,57
5	482,55	32,90	156,49
6	403,97	25,62	157,86
7	418,23	26,92	166,07
8	440,23	30,22	154,09
9	434,44	28,44	159,71
10	448,32	30,99	162,91
Průměr	436,20	29,22	153,57
Směrodatná odchylka	37,53	3,47	8,92
Variační koeficient	8,60	11,88	5,81
95% Interval spolehlivosti	$\langle 412,93 ; 459,46 \rangle$	$\langle 27,07 ; 31,37 \rangle$	$\langle 148,04 ; 159,10 \rangle$

Z naměřených hodnot vyplývá, že vzorky ve směru útku dosáhly vyšších průměrných hodnot v případě maximální síly při přetrhu F_{max} a maximálního protažení vzorku při přetrhu A_{max} na rozdíl od vzorků ve směru osnovy. Naopak u Youngova modulu pružnosti E měly vyšší hodnoty vzorky ve směru osnovy, oproti vzorkům ve směru útku.

Získané hodnoty byly zobrazeny také v přehledných grafech (obr. 27 a obr. 28).



Obr. 27 – Grafické zobrazení pevnosti vzorků v tahu ve směru osovy



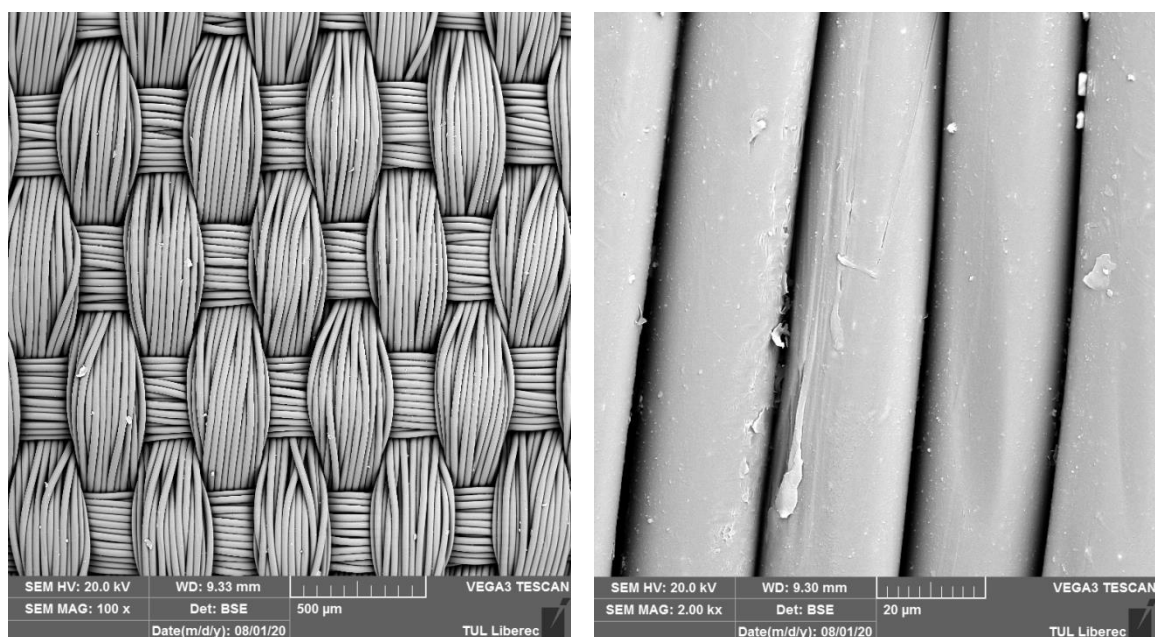
Obr. 28 – Grafické zobrazení pevnosti vzorků v tahu ve směru útku

9.2 Deformační analýza

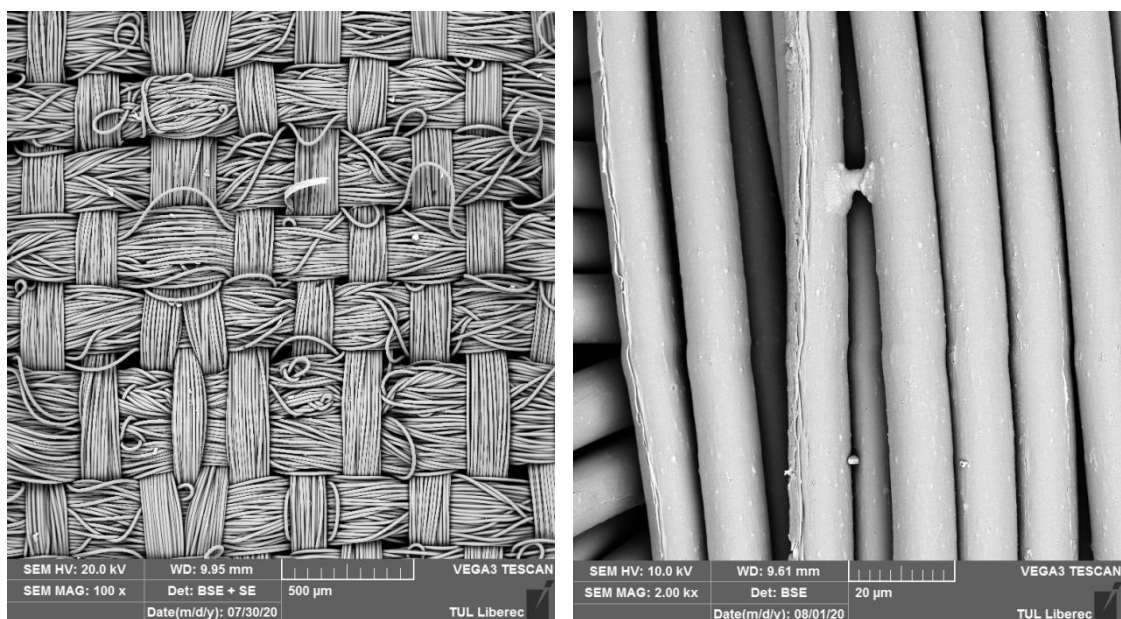
V domácích podmínkách byl proveden pokus na testovaných materiálech, tedy polyamidovém hedvábí s hydrofobní úpravou a textilií s membránou z nanovláken. Zkouška byla realizována za použití 4 různých zátěží, konkrétně byly na vzorky upevněny 4 PET lahve naplněné různým množstvím vody. Jednalo se o měření při 250 ml, 500 ml, 1 l a 2 l, jež obsahovala každá lahev.

Vzorky byly vždy umístěny na čtvercovém rámečku z kartonu a rámeček byl spolu s vzorkem položený na dřevěné tyči. Vzorky nebyly přilepeny na podkladu k tyči, tudíž nedošlo k jejich odlehčení. Ke vzorku byly přidělaný prostřednictvím provázku 4 PET lahve o různých objemech. Když bylo vše připravené, tyč byla zvednuta, aby byl vzorek správně zatěžovaný. Tyč byla ve vzduchu po dobu 30 vteřin.

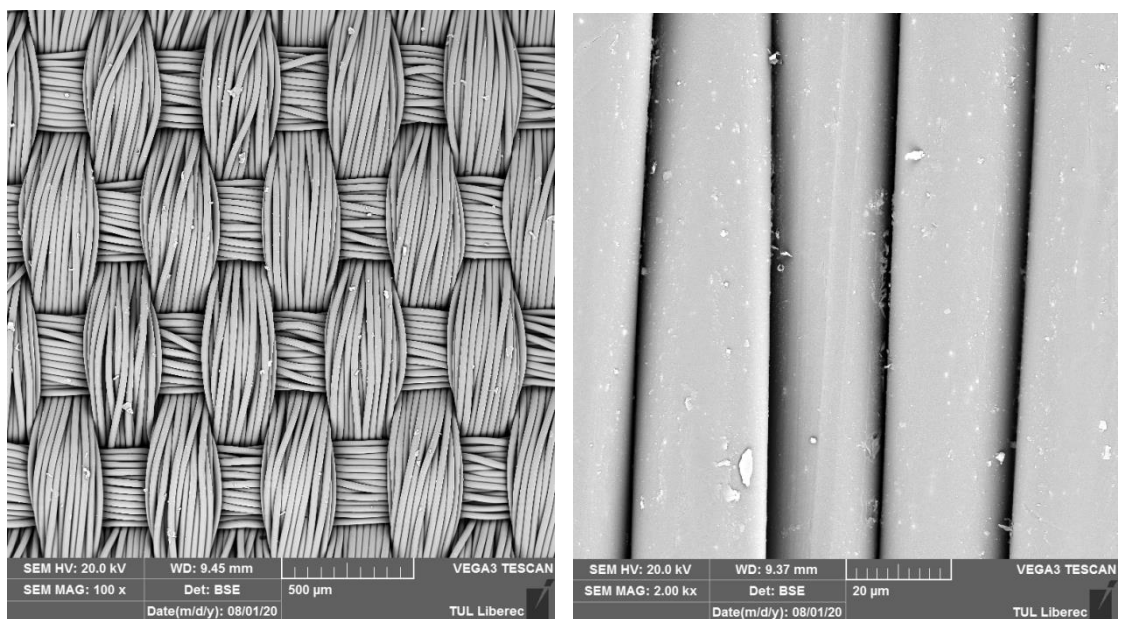
Testované vzorky byly nakonec podrobeny SEM analýze, aby bylo možné pozorovat změny struktury zkoušených vzorků (obr. 29-38).



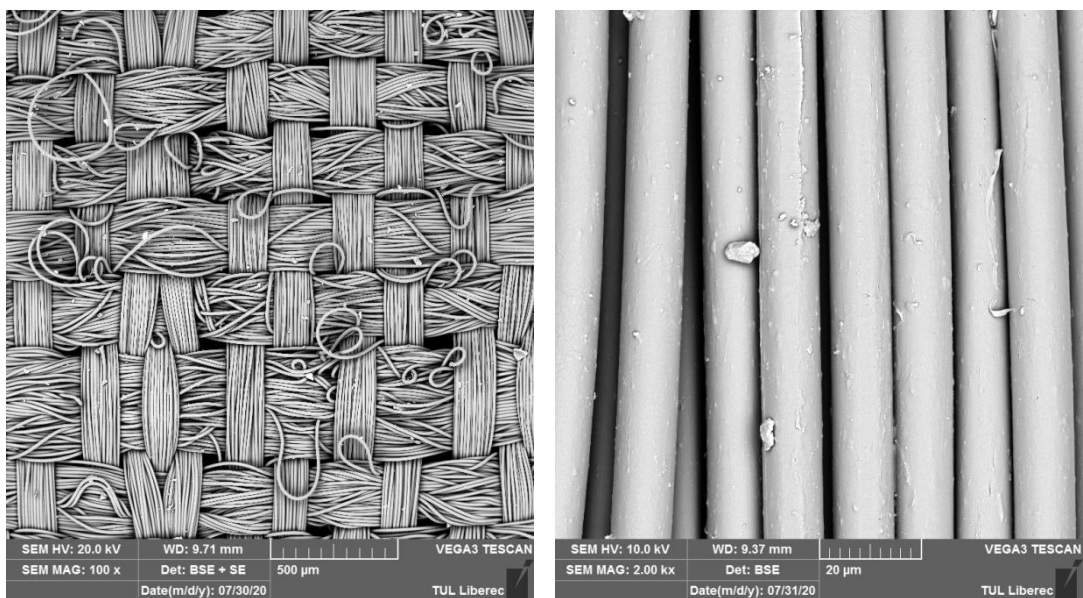
Obr. 29 – PADh HF – původní vzorek (1. zvětšeno 100x, 2. zvětšeno 3000x)



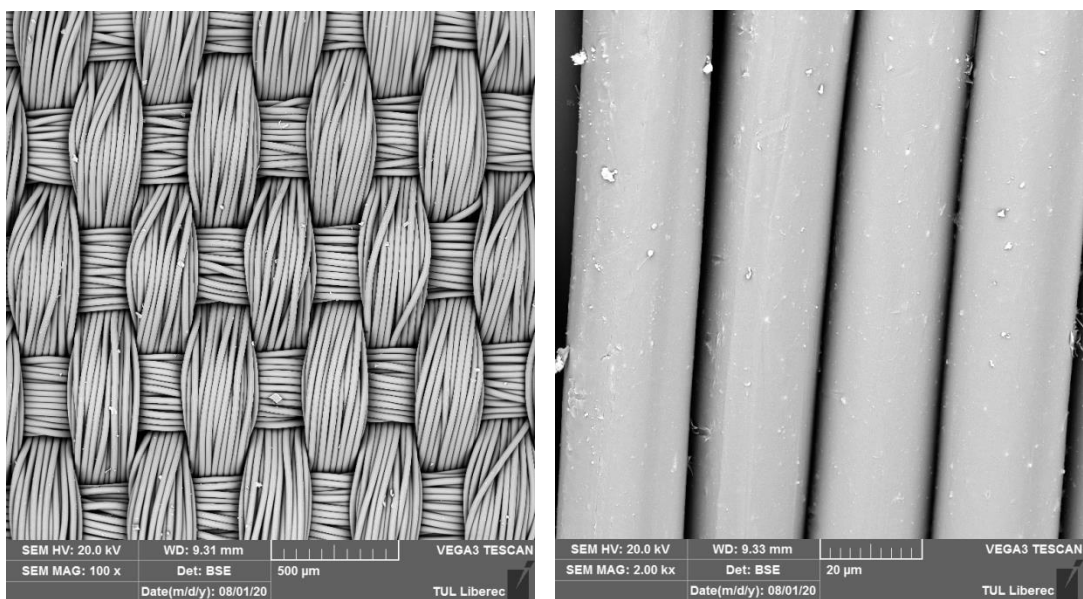
**Obr. 30 – Tkanina s membránou z nanovláken – původní vzorek
(1. zvětšeno 100x, 2. zvětšeno 3000x)**



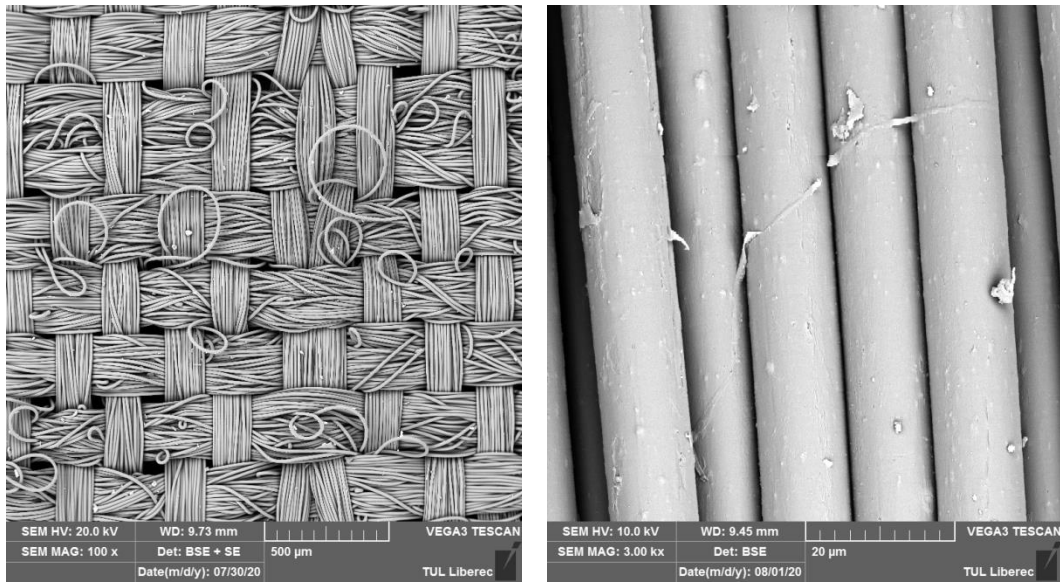
Obr. 31 – PADh HF po zátěži 250 ml/lahev (1. zvětšeno 100x, 2. zvětšeno 3000x)



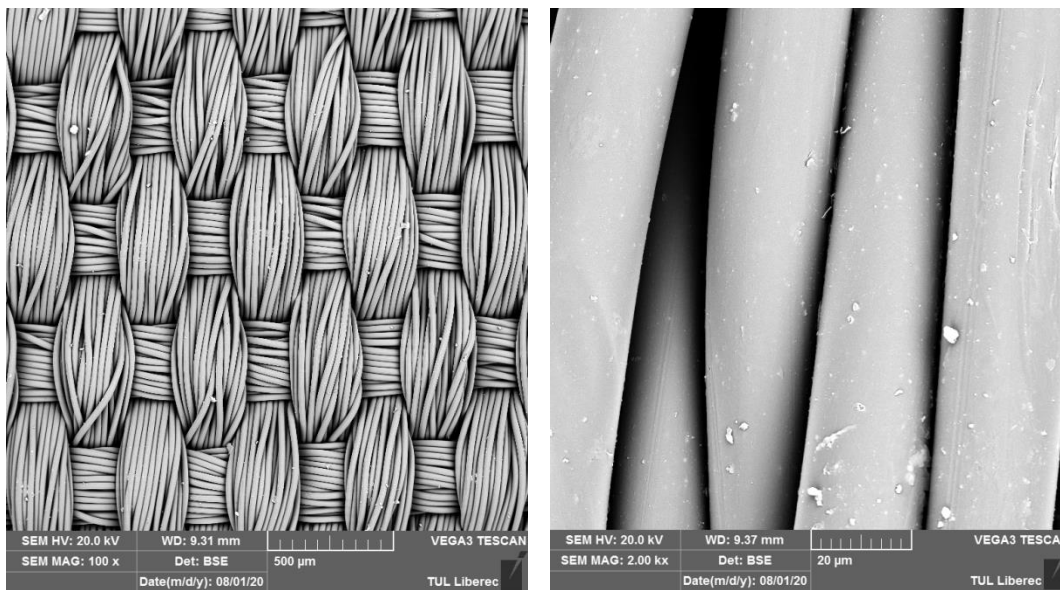
**Obr. 32 – Tkanina s membránou z nanovláken po zátěži 250 ml/lahev
 (1. zvětšeno 100x, 2. zvětšeno 3000x)**



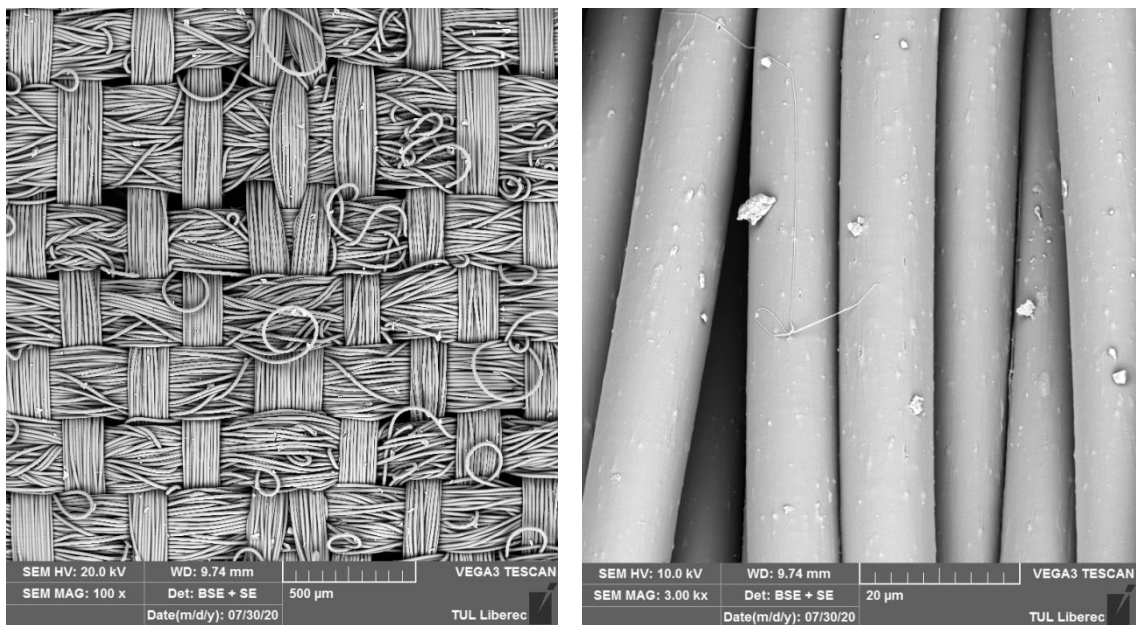
Obr. 33 – PADh HF po zátěži 500 ml/lahev (1. zvětšeno 100x, 2. zvětšeno 3000x)



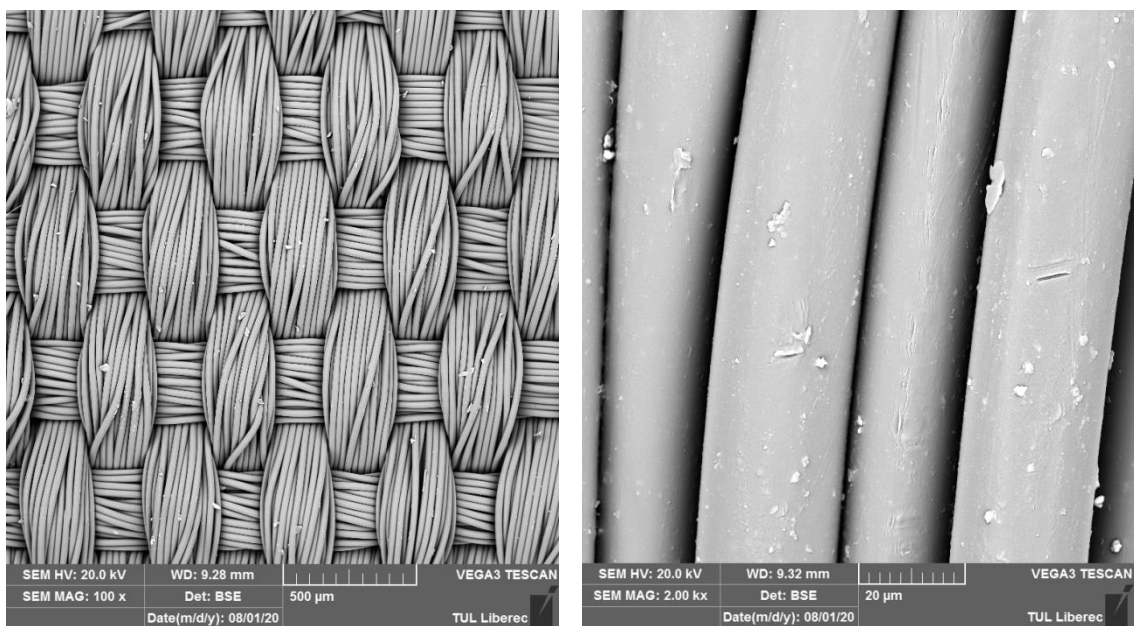
**Obr. 34 – Tkanina s membránou z nanovláken po zátěži 500 ml/lahev
(1. zvětšeno 100x, 2. zvětšeno 3000x)**



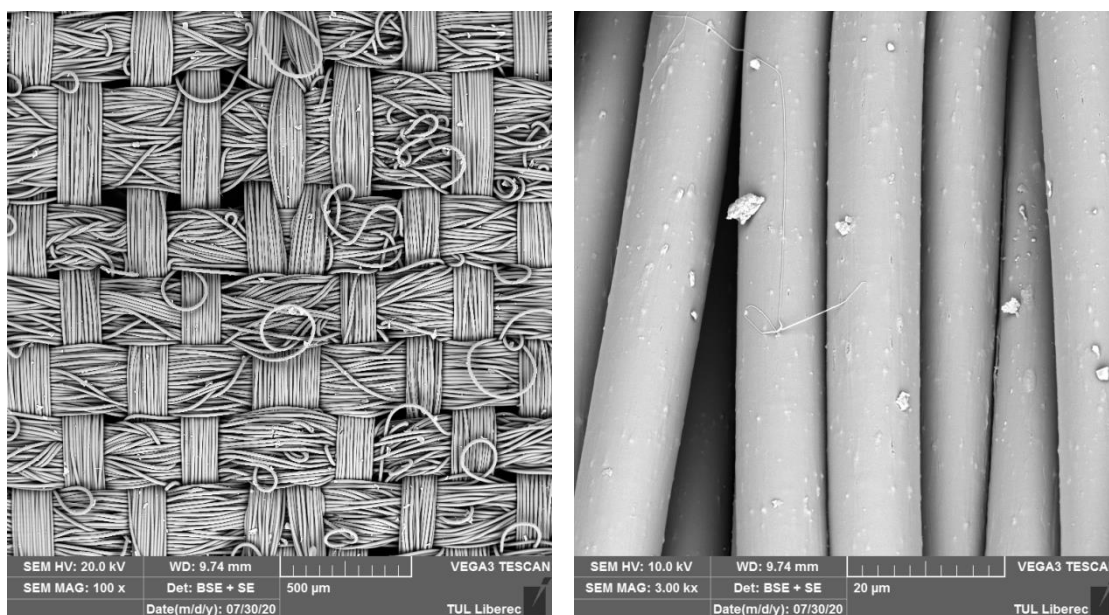
Obr. 35 – PADh HF po zátěži 1000 ml/lahev (1. zvětšeno 100x, 2. zvětšeno 3000x)



**Obr. 36 – Tkanina s membránou z nanovláken po zátěži 1000 ml/lahev
(1. zvětšeno 100x, 2. zvětšeno 3000x)**



Obr. 37 – PADh HF po zátěži 2000 ml/lahev (1. zvětšeno 100x, 2. zvětšeno 3000x)



**Obr. 38 – Tkanina s membránou z nanovláken po zátěži 2000 ml/lahev
(1. zvětšeno 100x, 2. zvětšeno 3000x)**

Na snímcích lze pozorovat, že plátňová vazba je velmi efektivní pro udržení struktury, neboť se zatížením nezměnila. Pouze u tkaniny s membránou z nanovláken je možné zpozorovat nepatrné otevření struktury, kdy je vidět více oček. Díky membráně by ale nedošlo k ovlivnění hydrostatické odolnosti.

Lze tedy říci, že pokud by byla zatížená textilie bez membrány, byla by otevřením struktury ovlivněná a došlo by k průniku vody na druhou stranu.

V porovnání s měřením na trhačce je nutné zohlednit skutečnost, že se jedná o rozdílné pokusy z hlediska zatížení. Na trhačce se jedná o dvouosé namáhání, což více simuluje hydrostatickou odolnost. U domácího pokusu došlo k namáhání všech čtyř stran materiálu.

Diskuze výsledků

V úvodu praktické části byly podrobeny měření dva podobné materiály, konkrétně se jednalo o polyamidový multifil, kdy jedna textilie byla bez úpravy a druhá byla opatřena hydrofobní úpravou. Současně se tkaniny lišily velikostí dostavy útku.

Tyto vzorky byly podrobeny měření hydrostatické odolnosti metodou vodního sloupce. Měřeno bylo přibližně 150 vzorků o rozměrech 20 x 20 cm. Na základě měření bylo zjištěno, že PA multifil vykazoval prakticky konstantní hodnoty, což znamená, že naměřené hodnoty jsou nezávislé na dostavě útku. Naopak z měření u PA multifilu s HF vyplynulo, že hodnoty měly rostoucí tendenci, tudíž byla prokázána závislost na dostavě útku. Co se týká doby měření, kratší doba byla u vzorků s nižší dostavou útku, naopak u vzorků s vyšší dostavou útku doba měření narůstala.

V průběhu měření hydrostatické odolnosti byla měřena také velikost průhybu, jehož hodnota u vzorků bez hydrofobní úpravy byla prakticky nulová. U vzorků s hydrofobní úpravou se průhyb objevil, ale byl velice malý.

U vzorků se dále měřila hmotnost a tloušťka, následně došlo k výpočtům plošné hmotnosti a hustoty. Všechna tato dílčí měření a výpočty byly důležité pro následný výpočet průhybu. Také tyto hodnoty byly statisticky vyhodnoceny.

Pokud jde o průhyb vzorku během měření, tak pouze u PA multifilu s HF bylo možné tuto hodnotu zjistit, neboť díky úpravě je u tohoto materiálu průhyb naprosto znatelný. Avšak u PA multifilu je průhyb při měření tak nepatrný, že by byl změřitelný pouze za využití nějaké snímací metody. Z hlediska vazby reagoval každý materiál jinak, což ale nebylo předmětem práce. Proto bylo rozhodnuto, že pro účel použití je to dostačující. Pochopitelně se nejednalo o úplně očekávaný průběh naměřeného průhybu, čímž se nabízí možnost pokračovat tímto směrem a zkusit jiný způsob měření.

Následně byl využit vztah pro tenké kruhové desky definující průhyb materiálu, jelikož se z hlediska geometrie nejvíce podobá desce, která je vetnutá po obvodu a zatížená tlakem. Zároveň se průhyb vyšetřuje pro tlak, který odpovídá hydrostatické odolnosti. Aby bylo možné tento vztah použít, bylo ještě nutné změřit tažnost zkoušeného materiálu. Nakonec, za pomoci zjištěných i určených parametrů, byl vypočítán průhyb pro zkoušené materiály.

Při konečném srovnání průhybů získaných měřeními a výpočtem byla patrné, že použitý vzorec s hodnotami Poissonova čísla od 0,1 do 0,9 není úplně stoprocentní, jelikož se výsledné hodnoty úplně nepřiblížili. Avšak byl tam velký náznak toho, že jsme se od skutečné hodnoty Poissonova čísla tolik nelišili, neboť při testování dalších možných hodnot zmíněného parametru došlo k velkému přiblížení naměřené hodnotě.

Vzniklé nedostatky je možné vysvětlit nepřesností parametru Poissonova čísla, který lze jen obtížně určit pro použité materiály. Bylo by potřeba mnoho dalších zpřesňujících měření, která jsou svou složitostí velice náročná.

Nelze však jasně říci, že vzorec pro výpočet průhybu tenkých kruhových desek je v tomto případě špatně zvolen, neboť se vypočítané hodnoty částečně přiblížily hodnotám, které byly naměřené, a zároveň je průhyb nejvlivnějším parametrem na hydrostatickou odolnost. Bylo by potřeba zpřesnit výpočet průhybu.

Vzhledem k výsledným hodnotám, kterých bylo docíleno měřeními a výpočty, jsme dospěli k závěru, že hodnoty z experimentu se úplně neshodují s výpočtem, tudíž použitý výpočet funguje jen částečně. Hodnoty se ale přibližují v závislosti na velikosti Poissonova čísla, což byl jeden z parametrů, který jsem si určila.

Pokud se podíváme na vzorec pro výpočet průhybu, tak s jistotou můžeme říci, že chyba určitě nebyla způsobena modulem pružnosti, průměrem ani tloušťkou, tudíž se s největší pravděpodobností jedná o chybu Poissonova čísla, které bylo určeno na základě hodnot pro jiné materiály. Abychom získali co nejpřesnější hodnotu tohoto parametru, bylo by potřeba mnoha dalších zpřesňujících měření, která by byla velice náročná. Avšak už z těchto výsledků lze přibližně odhadnout hodnotu Poissonova čísla.

Jisté také je, že průhyb roste se zvyšující se hodnotou tlaku, což je patrné z výpočtu, ale u naměřených hodnot je tento trend minimální a průhyb je prakticky konstantní.

Abychom docílili během měření hydrostatické odolnosti většího průhybu, byla testována ještě tkanina s membránou z nanovláken a pro porovnání byly naměřeny další vzorky PA multifilu s HF, tentokrát pouze s dostavou útku 20 nití/cm. Průběh měření byl tentokrát odlišný. V případě PA multifilu s HF byl test ukončen při průniku prvních třech kapek. Naproti tomu u tkaniny s membránou z nanovláken bylo testování

ukončeno až ve chvíli, kdy došlo k poklesu tlaku při porušení v čelistech. Materiál v tomto případě nebyl porušen ani nepraskl. Výsledné hodnoty se u tohoto měření řádově lišily, ačkoliv trend měly prakticky stejný, rostoucí. Odlišnosti nastaly také při velikosti průhybu, neboť u odolných vzorků s membránou vznikl velký vrchlík.

Pro zjištění mechanických vlastností byly i materiály s membránou podrobeny měření pevnosti v tahu, kdy vzorky ve směru útku dosáhly lepších výsledků než vzorky po osnově. Naměřená tažnost byla též statisticky vyhodnocena.

Nakonec byl v rámci deformační analýzy proveden pokus na PA multifil s HF a tkanině s membránou z nanovláken v domácích podmínkách, kdy byly vzorky zatíženy 4 různými zátěžemi. Jako zátěž byly použity 4 PET lahve naplněné různým množstvím vody. Vzorky byly položeny na rámečku, který byl umístěn na dřevěné tyči bez přilepení. Závaží bylo připevněno pomocí provázků a došlo k rovnoměrnému zatěžování. Zkoušené vzorky byly nakonec podrobeny SEM analýze, aby bylo možné vyhodnotit změny struktury testovaných vzorků.

Na snímcích ze SEM analýzy nebylo mnoho vidět, pouze došlo k nepatrné změně u materiálu s membránou, kdy došlo k malému otevření struktury a změnila se tak i porozita membrány.

Z tohoto výsledku lze usoudit, že v případě, kdy by materiál nebyl opatřen membránou, by došlo k průniku vody na druhou stranu. Díky membráně by však tato skutečnost na hydrostatickou odolnost neměla vliv.

ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo zjištění vlivu deformace textilií na hydrostatickou odolnost. V rámci práce byla měřena hydrostatická odolnost na vybraných materiálech a u vzorků byly stanoveny také mechanické vlastnosti, např. pevnost v tahu. Následně došlo k vyhodnocení, jestli má deformace textilií vliv na hydrostatickou odolnost. Okrajově bylo v práci řešeno i spojení dvou metod dohromady. Po měření hydrostatické odolnosti na tkaninách byl vybrán vhodný vzorec z oblasti mechaniky, který byl zvolen na základě geometrické podobnosti a následně byl aplikován na tkaniny. Výsledky experimentu a výpočtu byly porovnány a došlo k vyhodnocení nejdůležitějších parametrů na výpočet průhybu odpovídajícího měřené hydrostatické odolnosti.

V teoretické části práce bylo zacíleno na hydrostatický tlak a odolnost, jakožto klíčové parametry. Dále byly uvedeny charakteristiky pojmů související s praktickou částí a použitými materiály.

Pro praktickou část byly využity tkaniny plátňové vazby lišící se úpravou, kdy jeden vzorek byl bez úpravy, druhý s hydrofobní úpravou a dále byl použit vzorek s membránou z nanovláken. Všechny materiály byly podrobeny měření hydrostatické odolnosti metodou vodního sloupce. Rozdílnosti výsledků byla způsobena velikostí dostavy útku a úpravami materiálů.

Co se týká průhybu, měřením dílčích vlastností materiálů a následnými výpočty bylo zjištěno, že zvolený výpočet pro tenké kruhové desky částečně fungoval, ale bylo by potřeba více zpřesnit některé parametry a zároveň i zpřesnit samotný výpočet průhybu. Pro měření velikosti průhybu byla nejvhodnější textilie s membránou z důvodu velké odolnosti.

V rámci deformační analýzy byl na závěr proveden pokus týkající se zatížení testovaných vzorků v domácích podmínkách. Po vyhodnocení prostřednictvím SEM analýzy bylo zjištěno, že došlo jen k malému otevření struktury u tkaniny s membránou z nanovláken, které by na měření hydrostatické odolnosti nemělo vliv. Bylo by zajímavé vyzkoušet testování i na materiálech bez membrány nebo na přízích o nižší jemnosti, aby bylo možné lépe hodnotit, jak moc se struktura otevře vlivem namáhání a

jak moc to ovlivní hodnotu hydrostatické odolnosti. Zároveň by nebylo špatné měřit průměry vláken a zkoumat, jestli dojde k jejich protažení.

SEZNAM LITERATURY

- [1] Mechanika. *Fyzika 007*. [online]. 20.5.2016 [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: <http://www.fyzika007.cz/mechanika/tlak-v-kapalinach-vyvolany-tihovou-silou-kapaliny—hydrostaticky-tlak>
- [2] KVASNICA, Jozef. *Mechanika*. 2. vyd. Praha: Academia, 2004. ISBN 80-200-1268-0.
- [3] SAVILLE, B. P.: *Physical testing of textiles*. Vyd. 1. Woodhead Publishing, 1999. ISBN 0-8493-0568-3.
- [4] HES, L., SLUKA, P.: *Úvod do komfortu textilií*. Vyd. 1. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2005. 109 s. ISBN 80-7083-926-0.
- [5] Co to je vodní sloupec a nepromokavost. *Cesty do přírody*. [online]. 20.5.2016 [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: <http://www.cestydoprirody.cz/clanky/13-co-to-je-vodni-sloupec-a-nepromokavost>
- [6] ČSN EN 20 811 (80 0818). *Textilie: Stanovení odolnosti proti pronikání vody – Zkouška tlakem vody*. Praha: Český normalizační institut, 1994.
- [7] Automatic Hydrostatic Head Tester FX 3000 HYDROTESTER IV. *TEXTTEST INSTRUMENT*. [online]. 19.5.2016 [cit. 2016-05-19]. Dostupné z: <http://www.textest.ch/en/FX3000-Hydrotester.html>
- [8] KJ-3093 Hydrostatic Head Tester. *Dongguan Kejian Instrument Co.* [online]. 19.5.2016 [cit. 2016-05-19]. Dostupné z: <http://kejian-tech.company.weiku.com/item/KJ-3093-Hydrostatic-Head-Tester-13009895.html>
- [9] Hydrostatic Head Tester. Instruction manual. 19.5.2016 [cit. 2016-05-19]. Dostupné z: <http://www.sdlatlas.com>
- [10] HydroPro Hydrostatic Head Tester. *SDL ATLAS*. [online]. 16.5.2016 [cit. 2016-05-16]. Dostupné z: <http://www.sdlatlas.com/product/55/HydroPro-Hydrostatic-Head-Tester#>

- [11] ŠÁMAL, Oldřich. *Technická mechanika: statika*. Praha: Informatorium, 2016. ISBN 978-80-7333-122-1.
- [12] Hydrodynamika. *Radek Jandora*. [online]. 21.5.2016 [cit. 2016-05-21]. Dostupné z: <http://radek.jandora.sweb.cz/f06.htm>
- [13] LEČBYCHOVÁ, Jitka. *Analýza standardní metody pro hodnocení hydrostatické odolnosti textilií*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2011. Bakalářská práce
- [14] DRAHOKOUPÍLOVÁ, Andrea. *Hodnocení odolnosti proti pronikání vody u vrchového materiálu tzv. třetí vrstvy*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2015. Bakalářská práce
- [15] RÁSLOVÁ, Marcela. *Hydrostatická odolnost textilií používaných pro sport*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2012. Diplomová práce
- [16] STRÍŽ, Bohuslav. *Pružnost a pevnost. sv. 2*. Liberec: Vysoká škola strojní a textilní v Liberci, 1980.
- [17] STRÍŽ, Bohuslav. *Pružnost a pevnost. sv. 1. 2. vyd.* Liberec: Vysoká škola strojní a textilní v Liberci, 1983.
- [18] ČAPEK, Lukáš. *Vlastní poznámky*. Technická univerzita v Liberci.
- [19] NECKÁŘ, Bohuslav. *Morfologie a strukturní mechanika obecných vláknenných útvarů*. V Liberci: Technická univerzita, 1998. ISBN 80-7083-318-1.
- [20] HÖSCHL, Cyril. *Pružnost a pevnost. sv. 2*. Liberec: Vysoká škola strojní a textilní v Liberci, 1992. ISBN 80-7083-104-9.
- [21] PAŘILOVÁ, Hana. *Typologie tkanin - textilní zbožíznalství*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2011. ISBN 978-80-7372-674-4.
- [22] DRAŠAROVA, J. a J. NOVAČKOVA. *Projektování vlastnosti přízí a plošných textilií Novaspín: Hodnocení struktury a vlastností tkanin vyrobených z přízí prstencových, rotorových a experimentálních*. [online]. [cit. 2017-01-08]. Dostupné z: [http://centrum.tul.cz/centrum/centrum/1Projektovani/1.1_zaverecne_zpravy/\[1.1.11\].pdf](http://centrum.tul.cz/centrum/centrum/1Projektovani/1.1_zaverecne_zpravy/[1.1.11].pdf). Technická univerzita v Liberci.

- [23] DRAŠAROVÁ, Jana. Délkové a plošné textilie se speciální funkcí. *Katedra materiálového inženýrství*. [online]. 24.5.2016 [cit. 2016-05-24]. Dostupné z: http://www.kmi.tul.cz/studijni_materialy/data/2014-01-13/10-07-25.pdf
- [24] ČAPKOVÁ, Lucie. *Hodnocení prodyšnosti bavlnářských tkanin s plátňovou vazbou*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2010. Diplomová práce.
- [25] Hrůza, Jakub. Textilie pro průmyslové aplikace – filtrace. *Jakub Hrůza – osobní stránky*. [online]. 10.1.2017 [cit. 2017-01-10]. Dostupné z: <http://files.jakub-hruza.webnode.cz/200000007-c8f1ccae47/tpa2%20porozita.doc>
- [26] Textilní zbožíznalství 1. *Turbo*. [online]. 24.11.2016 [cit. 2016-11-24]. Dostupné z: <https://turbo.cdv.tul.cz/mod/book/view.php?id=2363&chapterid=3441>
- [27] Textilní výkladový slovník. *TEXSITE.info*. [online]. 24.11.2016 [cit. 2016-11-24]. Dostupné z: [http://cz.texsite.info/Polyamidov%C3%A9_vl%C3%A1kno_\(PAD\)%3B_nylon](http://cz.texsite.info/Polyamidov%C3%A9_vl%C3%A1kno_(PAD)%3B_nylon)
- [28] CHALUPSKÝ, Jaroslav a Jiří BLAŽEK. *Polyamidová vlákna*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1962.
- [29] DEMBICKÝ, Josef, Jiří KRYŠTŮFEK, Dagmar MACHAŇOVÁ, Jaroslav ODVÁRKA, Miroslav PRÁŠIL a Jakub WIENER. *Zušlechťování textilií*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2008. ISBN 978-80-7372-321-7.
- [30] OCHERETNA, Larysa. *Textilní zboží ze syntetických vláken*. Technická univerzita v Liberci. Textilní zbožíznalství 1 – přednáška.
- [31] VEJPRAVOVÁ, Michaela. *Analýza poškození technické textilie určené pro ochranu při přepravě dílů*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2019. Bakalářská práce

SEZNAM OBRÁZKŮ

- Obr. 1: Přístroj Hydrostatic Head Tester M018 [13]
- Obr. 2: Možné případy zatížení osově symetrické ohýbané desky [23]
- Obr. 3: Rovnováha myšleného válcového řezu desky [23]
- Obr. 4: Znárodnění obvodové síly $Q(r)$ v myšleném řezu [23]
- Obr. 5: Znárodnění radiálních a tečných momentů v myšleném řezu desky [23]
- Obr. 6: Vyznačení průhybu desky a sklonu ohybové roviny [23]
- Obr. 7: Schéma určené pro výpočet radiální a tečné deformace [23]
- Obr. 8: Znárodnění napjatosti na myšleném řezu desky [23]
- Obr. 9: Prohnutá membrána [24]
- Obr. 10: Plátňová vazba (střída 2x2) [28]
- Obr. 11: Podstata bublinkové metody [32]
- Obr. 12: Vzhled polyamidového vlákna [35]
- Obr. 13: Plošná hmotnost PA multifilu
- Obr. 14: Plošná hmotnost PA multifilu s HF
- Obr. 15: Hydrostatická odolnost PA multifilu
- Obr. 16: Hydrostatická odolnost PA multifilu s HF
- Obr. 17: Průnik třech kapek přes PA multifil s HF
- Obr. 18: Hydrostatická odolnost PA multifilu s HF
- Obr. 19: Hydrostatická odolnost tkaniny s membránou z nanovláken
- Obr. 20: Naměřený průhyb PA multifilu s HF
- Obr. 21: Naměřený průhyb tkaniny s membránou z nanovláken

- Obr. 22: Měření vodního sloupce u PA multifilu s HF
- Obr. 23: Měření vodního sloupce u tkaniny s membránou z nanovláken
- Obr. 24: Výsledné hodnoty průhybu získané výpočtem
- Obr. 25: Přístroj TIRA test 2300 pro měření pevnosti materiálu []
- Obr. 26: Ukázka měření tažnosti tkaniny s membránou z nanovláken
- Obr. 27: Grafické zobrazení pevnosti vzorků v tahu ve směru osnovy
- Obr. 28: Grafické zobrazení pevnosti vzorků v tahu ve směru útku
- Obr. 29: PADh HF – původní vzorek (1. zvětšeno 100x, 2. zvětšeno 3000x)
- Obr. 30: Tkanina s membránou z nanovláken – původní vzorek (1. zvětšeno 100x, 2. zvětšeno 3000x)
- Obr. 31: PADh HF po zátěži 250 ml/lahev (1. zvětšeno 100x, 2. zvětšeno 3000x)
- Obr. 32: Tkanina s membránou z nanovláken po zátěži 250 ml/lahev (1. zvětšeno 100x, 2. zvětšeno 3000x)
- Obr. 33: PADh HF po zátěži 500 ml/lahev (1. zvětšeno 100x, 2. zvětšeno 3000x)
- Obr. 34: Tkanina s membránou z nanovláken po zátěži 500 ml/lahev (1. zvětšeno 100x, 2. zvětšeno 3000x)
- Obr. 35: PADh HF po zátěži 1000 ml/lahev (1. zvětšeno 100x, 2. zvětšeno 3000x)
- Obr. 36: Tkanina s membránou z nanovláken po zátěži 1000 ml/lahev (1. zvětšeno 100x, 2. zvětšeno 3000x)
- Obr. 37: PADh HF po zátěži 2000 ml/lahev (1. zvětšeno 100x, 2. zvětšeno 3000x)
- Obr. 38: Tkanina s membránou z nanovláken po zátěži 2000 ml/lahev (1. zvětšeno 100x, 2. zvětšeno 3000x)

SEZNAM TABULEK

Tab. 1: PA multifil - parametry

Tab. 2: PA multifil s HF - parametry

Tab. 3: Plošná hmotnost PA multifilu

Tab. 4: Plošná hmotnost PA multifilu s HF

Tab. 5: Analýza plošné hmotnosti PA multifilu

Tab. 6: Analýza plošné hmotnosti PA multifilu s HF

Tab. 7: Hustota PA multifilu

Tab. 8: Hustota PA multifilu s HF

Tab. 9: Analýza hustoty PA multifilu

Tab. 10: Analýza hustoty PA multifilu s HF

Tab. 11: Základní nastavení přístroje

Tab. 12: Hydrostatická odolnost PA multifilu

Tab. 13: Hydrostatická odolnost PA multifilu s HF

Tab. 14: Analýza hydrostatické odolnosti PA multifilu

Tab. 15: Analýza hydrostatické odolnosti PA multifilu s HF

Tab. 16: Hydrostatická odolnost PA multifilu s HF

Tab. 17: Hydrostatická odolnost tkaniny s membránou z nanovláken

Tab. 18: Výpočet maximálního průhybu PA multifilu s HF (1. část)

Tab. 19: Výpočet maximálního průhybu PA multifilu s HF (2. část)

Tab. 20: Pevnost vzorků v tahu ve směru osnovy

Tab. 21: Pevnost vzorků v tahu ve směru útku

PŘÍLOHY

Příloha č. 1:

Tab. 1 – Analýza hmotnosti PA multifilu

Dostava útku [nití/cm]	Průměr hmot. [g]	Sm. odch.	Rozptyl	Var. koef. [%]	Konf. [-]	Dolní mez 95% IS	Horní mez 95% IS
12	5,01	0,0599	0,0036	1,1951	0,0371	4,97	5,05
14	5,33	0,0727	0,0053	1,3652	0,0451	5,28	5,37
16	5,49	0,0525	0,0028	0,9557	0,0325	5,46	5,52
18	5,79	0,0731	0,0053	1,2637	0,0453	5,74	5,83
20	5,95	0,0598	0,0036	1,0056	0,0371	5,91	5,98

Tab. 2 – Analýza hmotnosti PA multifilu s HF

Dostava útku [nití/cm]	Průměr hmot. [g]	Sm. odch.	Rozptyl	Var. koef. [%]	Konf. [-]	Dolní mez 95% IS	Horní mez 95% IS
12	4,95	0,0636	0,0040	1,2850	0,0394	4,91	4,99
14	5,09	0,0469	0,0022	0,9225	0,0291	5,06	5,11
16	5,35	0,0422	0,0018	0,7895	0,0262	5,32	5,37
18	5,68	0,0451	0,0020	0,7939	0,0280	5,65	5,71
20	5,93	0,0677	0,0046	1,1416	0,0419	5,88	5,97

Příloha č. 2:

Tab. 3 – Analýza tloušťky PA multifilu

Dostava útku [nití/cm]	Průměr tloušť. [mm]	Sm. odch. [mm]	Rozptyl [mm ²]	Var. koef. [%]	Konf. [-]	Dolní mez 95% IS [mm]	Horní mez 95% IS [mm]
12	0,23	0,004830	0,000023	2,127955	0,002994	0,22	0,23
14	0,23	2,93E-17	8,56E-34	1,27E-14	1,813E-17	0,23	0,23
16	0,23	2,93E-17	8,56E-34	1,27E-14	1,813E-17	0,23	0,23
18	0,23	0,004830	0,000023	2,073158	0,002994	0,23	0,24
20	0,24	0,003162	0,000010	1,323129	0,001960	0,24	0,24

Tab. 4 – Analýza tloušťky PA multifilu s HF

Dostava útku [nití/cm]	Průměr tloušť. [mm]	Sm. odch. [mm]	Rozptyl [mm ²]	Var. koef. [%]	Konf. [-]	Dolní mez 95% IS [mm]	Horní mez 95% IS [mm]
12	0,23	0,005270	0,000028	2,342428	0,003267	0,22	0,23
14	0,23	0,004830	0,000023	2,073158	0,002994	0,23	0,24
16	0,23	2,93E-17	8,56E-34	1,27E-14	1,813E-17	0,23	0,23
18	0,24	0,005270	0,000028	2,242750	0,003267	0,23	0,24
20	0,24	5,85E-17	3,42E-33	2,44E-14	3,627E-17	0,24	0,24

Příloha č. 3:

Tab. 5 – Analýza doby měření PA multifilu

Dostava útku [nití/cm]	Průměr doby měření [s]	Sm. odch. [s]	Rozptyl [s ²]	Var. koef. [%]	Konf. [-]	Dolní mez 95% IS [s]	Horní mez 95% IS [s]
12	40,50	16,80	282,10	41,47	10,41	30,09	50,91
14	40,50	15,27	233,14	37,70	9,46	31,04	49,96
16	40,86	14,56	212,04	35,64	9,03	31,83	49,89
18	43,89	16,70	279,04	38,06	10,35	33,54	54,24
20	44,74	18,23	332,39	40,75	11,30	33,44	56,04

Tab. 6 – Analýza doby měření PA multifilu s HF

Dostava útku [nití/cm]	Průměr doby měření [s]	Sm. odch. [s]	Rozptyl [s ²]	Var. koef. [%]	Konf. [-]	Dolní mez 95% IS [s]	Horní mez 95% IS [s]
12	80,70	8,67	75,14	10,74	5,37	75,33	86,07
14	82,44	12,41	154,10	15,06	7,69	74,75	90,13
16	108,06	18,62	346,84	17,23	11,54	96,52	119,60
18	117,06	17,89	320,20	15,29	11,09	105,97	128,15
20	126,12	21,61	466,94	17,13	13,39	112,73	139,51