

Komparace měření dvou přístrojů měřících hydrostatickou odolnost při nízkých tlacích

Bakalářská práce

<i>Studijní program:</i>	B3107 Textil
<i>Studijní obor:</i>	Textilní marketing
<i>Autorpráce:</i>	Lukáš Volek
<i>Vedoucí práce:</i>	Ing. Pavla Těšinová, Ph.D. Katedra hodnocení textilií





Zadání bakalářské práce

Komparace měření dvou přístrojů měřících hydrostatickou odolnost při nízkých tlacích

Jméno a příjmení: **Lukáš Volek**
Osobní číslo: T17000190
Studijní program: B3107 Textil
Studijní obor: Textilní marketing

Zadávající katedra: Katedra hodnocení textilií

Akademický rok: **2019/2020**

Zásady pro vypracování:

1. Proveďte literární rešerši na téma hydrostatické odolnosti textilií se zaměřením na přesnost užívaných přístrojů při nízkých tlacích. Do popisu metod zahrňte i jednotky, ve kterých jsou tlak a hydrostatická odolnost uváděny a co vyjadřují.
2. Diskutujte postup měření řešený v národních i mezinárodních normách, jeho jednoznačnost, a to pro standardní textilní materiály.
3. Experimentální měření orientujte jako srovnání dvou měřících přístrojů při nízkých tlacích. Kromě výsledků hydrostatické odolnosti vybraných materiálů diskutujte také výhody a nevýhody měření na jednotlivých přístrojích.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování práce:

Jazyk práce:

30- 40 normostran
tištěná/elektronická
Čeština



Seznam odborné literatury:

ČSN EN ISO 811 (800818) Textilie – Stanovení odolnosti proti pronikání vody – Zkouška tlakem vody. Katalogové číslo 506418, Datum schválení 1. 12. 2018, Datum účinnosti 1. 1. 2019, Počet stran 12 stran, EAN kód 8596135064182.

M018 Hydrostatic Head Tester. Service Manual. Rev. 2.0, SDLAtlas.

Vedoucí práce:

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

Datum zadání práce:

29. října 2019

Předpokládaný termín odevzdání: 10. srpna 2020

L.S.

Ing. Jana Drašarová, Ph.D.
děkanka

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

V Liberci dne 7. května 2020

Prohlášení

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

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

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

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

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

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

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

17. července 2020

Lukáš Volek

Poděkování

Chtěl bych poděkovat vedoucí práce Ing. Pavle Těšinové, Ph.d za spousty cenných rad, připomínek a trpělivosti. Také bych chtěl poděkovat rodině, která mi poskytla podporu během mého studia.

Anotace

Bakalářská práce se zabývá porovnáním přístrojů měřících hydrostatickou odolnost při nízkých tlacích. V rešeršní části je popsána mechanika tekutin, jak působí hydrostatický tlak. Dále je popsána norma na zkoušení hydrostatické odolnosti textilie a jsou zde popsány oba měřicí přístroje a návod k jejich obsluze dle výrobců. Experimentální část je zaměřena na měření testovaných vzorků a jejich statistické vyhodnocení. V závěru této práce je shrnutí rešerše i experimentu.

KLÍČOVÁ SLOVA: hydrostatická odolnost, rychlost zvyšování tlaku vody, vodní sloupec, měřicí přístroje

Annotation

The bachelor thesis deals with the comparison of instruments measuring hydrostatic resistance at low pressures. The research part describes the mechanics of fluids, how hydrostatic pressure acts. Furthermore, the standard for testing the hydrostatic resistance of textiles is described and both measuring devices and instructions for their operation according to the manufacturers are described. The experimental part is focused on the measurement of tested samples and their statistical evaluation. At the end of this work is a summary of the research and the experiment.

KEYWORDS: hydrostatic resistance, rate of increase of water pressure, water column, measuring instruments

Obsah

ÚVOD	9
Rešeršní část.....	10
1.1. Mechanika tekutin.....	10
1.1.1. Tekutiny	10
1.1.2. Síly působící na tekutinu	11
1.1.3. Tlak.....	11
1.1.4. Hydrostatika.....	11
1.1.5 Hydrostatický tlak	11
1.2 Smáčivost a vzlínavost textilií	12
1.2.1 Úhel smáčení	12
1.3. Propustnost vody	13
1.3.1. Voda je na povrchu textilie.....	13
1.3.2. Vnik vody do struktury textilie	13
1.3.3. Průnik vody přes textilií - protlak vody	14
1.4 Popis zkoušky hydrostatické odolnosti.....	15
1.5 Bublínková metoda.....	15
2. Měřicí přístroje.....	16
2.1. SDL Atlas Hydrostatic Head Tester M018	16
2.2. Zkušební zařízení Řezáč	18
Experimentální část.....	24
4. Popis experimentu	24
4.1 Popis materiálů	25
5. Cíle výzkumu, výzkumná otázka a hypotéza.....	26
6. Měření na přístroji SDL Atlas Hydrostatic Head Tester M018.....	27
7. Měření na přístroji Řezáč	28
8.1 Měření vzorků na přístrojích SDL Atlas Hydrostatic Head Tester M018 a Řezáč.....	30
8.2 Naměřené hodnoty SDL Atlas Hydrostatic Head Tester M018	31
8.3 Naměřené hodnoty na přístroji Řezáč	37
8.4 Hodnocení a porovnání výsledků.....	40
9. Shoda přístrojů SDL Atlas a Řezáč při rychlosti zvyšování tlaku vody 10 cmH₂O/min.....	46
ZÁVĚR.....	53

Seznam použitých zkratk a veličin

Veličina, zkratka	Název	Jednotka veličiny
PA	polyamid	
Pa	tlak	N/m ²
		1 bar = 10 ⁵ Pa ≈ 750 Torr
		1 Torr = 133,322 Pa
čas	t	min:s
hydrostatická odolnost	ρ	cmH ₂ O, mbar
\bar{x}	aritmetický průměr	
s	směrodatná odchylka	
s ²	rozptyl	
IS95%	interval spolehlivosti 95%	
max	maximum	
min	minimum	
x_i	náhodná veličina	
n	celkový počet měření	
$t_{\alpha/2, n-1}$	studentovo rozdělení	1,96

ÚVOD

Tato bakalářská práce se zabývá komparací dvou přístrojů měřících hydrostatickou odolnost při nízkých tlacích a je rozdělena do dvou částí do rešeršní a experimentální. V rešeršní části je uvedena a popsána mechanika tekutin, smáčivost a vzlínavost textilií, propustnost vody, zkouška hydrostatické odolnosti, bublinková metoda a porovnání hydrostaticky odolných materiálů. Dále jsou popsány měřící přístroje a jak by na nich měl probíhat postup měření dle návodu výrobců.

V experimentální části je stěžejní porovnání měření dvou přístrojů, ale jsou zde popsány i testované vzorky materiálu, praktický postup, měření autora na každém přístroji jejich výhody a nevýhody. Dále praktická část obsahuje 120 naměřených hodnot rozdělených do tabulek, dle měřícího přístroje a použité rychlosti zvyšování tlaku vody a dle dostavy útku. Z daných měření byly vypočteny základní statistické údaje, které slouží k porovnání výsledků.

Cílem této bakalářské práce je ověření shody výsledků hydrostatické odolnosti dvou přístrojů SDL Atlas a Řezáč pro materiály, které mají hydrostatickou odolnost při nízkých tlacích a porušení kapkami.

Rešeršní část

Tato kapitola je zaměřená na popis mechaniky tekutin, smáčivost a vzlínavost textilií, propustnost vody a porovnání hydrostaticky odolných textilních materiálů. Jsou zde popsány síly, které působí na tekutinu a také jak se voda chová ve vztahu působením sil na plošnou textiliu. Kapitola také obsahuje informace o zkoušce hydrostatické odolnosti a bublinkové metodě. Nadále se teoretická část zabývá popisem měřících přístrojů a přesných postupů měření.

1.1. Mechanika tekutin

Tekutiny dělíme na kapaliny a plyny, takže např. mechanika tekutin zahrnuje mechaniku kapalin (hydromechaniku) a mechaniku plynů (aeromechaniku). Kapaliny a plyny se navzájem liší stlačitelností a rozpínavostí. Zatímco plyny jsou značně stlačitelné, objem kapalin se působením vnějších sil mění jen velmi málo (nejsou-li to velké tlaky) - jsou téměř nestlačitelné. Například zmenšení objemu vody při zvýšení jejího tlaku o 10^5 Pa činí jen asi 5%. Za normálních tlaků můžeme tedy kapaliny považovat za nestlačitelné. Z hlediska rozpínavosti je rozdíl v tom, že plyny se snaží vyplnit celý prostor, do něhož mohou proniknout, což se projevuje i tlakem plynu na stěny nádoby, v níž je plyn uzavřen, zatímco kapalina, nevyplňuje-li celý prostor nádoby vytvoří volnou hladinu.

Tekutiny se liší od těles pevného skupenství hlavně značnou pohyblivostí svých částic. Proto nemají vlastní tvar a jeví se snadnou dělitelností. Z toho vyplývá, že kohezní síly jsou uvnitř tekutin mnohem menší než v tělesech pevných a že tedy tekutiny kladou relativně malý odpor silám působícím ve směru vnější normály plochy, která tekutinu omezuje. Z toho důvodu je také vhodnější mluvit u tekutin o tlaku místo o napětí. [6]

1.1.1. Tekutiny

Jsou, látky jejichž soudržnost mezi sousedními částicemi je malá, účinkem vnějších sil se nevratně deformují, nemají vlastní tvar a přijímají tvar nádoby, ve které se nachází. Částice v mechanice tekutin znamená velmi malý objem zaplněný značným počtem molekul tekutiny. U tekutin uvažujeme, že mají stejné vlastnosti ve všech směrech, tj. kontinuum izotropické, parametry jako jsou tlak, hustota, rychlost atd. se mění spojitě. Tekutiny zjednodušeně považujeme za spojitě prostředí - kontinuum. [1]

1.1.2. Síly působící na tekutinu

Tekutina může být v pohybu nebo v klidu. Síly působící na částice tekutiny se dělí na vnitřní a vnější. Vnitřní síly jsou dány vzájemným působením hmotových částic. Vnější síly jsou způsobeny vlivem vnějšího prostředí a dělí se na hmotnostní a plošné. Hmotnostní síly u nestlačitelné kapaliny jsou úměrné objemu kapaliny. K hmotnostním silám patří setrvační síla, odstředivá síla, tíha a hybnost. Plošné síly jsou závislé na velikosti ploch a při rovnoměrném rozdělení jsou úměrné ploše. Mezi plošné síly patří tlaková síla, tečná síla a kapilární síly. [1]

1.1.3. Tlak

Je silový účinek molekul na jednotku plochy. Dle kinetické teorie je tlak výsledkem rázů chaotického a nepřetržitého pohybu molekul. Tlak p [Pa] je síla působící na jednotku plochy ve směru normály: [1]

$$Pa = N/m^2 \quad (1)$$

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa} \approx 750 \text{ Torr} \quad (2)$$

$$1 \text{ Torr} = 133,322 \text{ Pa} \quad (3)$$

1.1.4. Hydrostatika

Uvažujme kapalinu, která v klidu, nemohou působit tečné síly, neboť by ji uvedly do pohybu. Do hydrostatiky patří i případy relativního klidu, kdy kapalina vůči stěnám je v klidu, ale nádrž s kapalinou konají pohyb. V technické praxi jde o tíhu kapaliny, setrvačnou sílu, odstředivou sílu a tlak, jen dokonale čisté a odvzdušněné kapaliny mohou odolávat tahu. Neupravené kapaliny mají pevnost tahu přibližně rovnou nule. [1]

1.1.5 Hydrostatický tlak

Působí kolmo na plochu a v určitém místě je ve všech směrech stejný, nezávisí na sklonu elementu plošky, na níž působí. V Pascalově zákonu o šíření tlaku v kapalinách tedy platí, tlak v kapalině se šíří rovnoměrně všemi směry. [1]

1.2 Smáčivost a vzlínavost textilií

Znalost interakce polymerních povrchů s kapalinami je důležité při přípravě kompozit, resp. sledování smáčení a vzlínání. Z hlediska praktického využití textilií je důležité hodnotit interakci vláken zejména s vodou. Kromě procesů sorpce zde dochází také k vázání molekul vody kapilárními silami. Množství kapilárně vázané vody obvykle řádově převyšuje množství vody vázané sorpcí ve vláknech.

Na převedení molekuly kapaliny z jejího nitra na povrch je nutné vynaložit energii na překonání kohezních přitažlivých sil. Proto zaujímají kapaliny tvar s minimálním povrchem. Ke zvětšení povrchu kapaliny o jednotku plochy je třeba vynaložit práci odpovídající povrchové energii γ [Nm^{-1}], tj. energii na jednotku povrchu. Tato energie je číselně rovna povrchovému napětí, definovanému jako tečná síla působící v povrchu na úsek jednotlivé délky. Povrchové napětí odpovídá přesně povrchové energii γ_{lv} mezi kapalinou a vzduchem. Rozdíl mezi vnějším a vnitřním tlakem Δp kulovité kapky poloměru r je roven

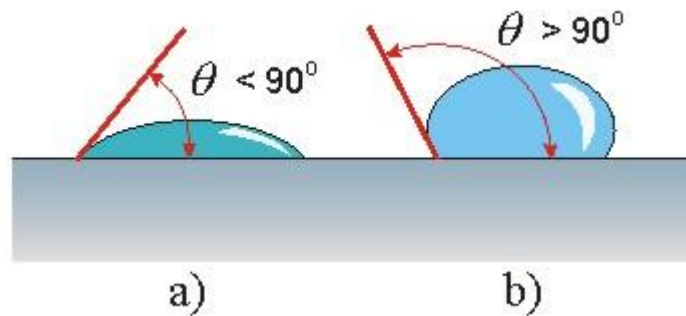
$$\Delta p = \frac{2\gamma}{r} \quad (4)$$

a nazývá se Laplaceův tlak. V pevných látkách se kohezní mezimolekulové síly nemohou projevit vytvářením nového povrchu, ale pouze deformací stávajícího povrchu. Nejde tedy o tečné síly jako u kapalin. I zde však existuje volná povrchová energie γ_{sv} mezi pevnou látkou a vzduchem. V případě, že je kapka vody umístěna na povrchu vlákna, vznikají tři povrchové energie. Tedy γ_{sl} na rozhraní pevná fáze kapalina, γ_{sv} na rozhraní pevná fáze vzduch a $\gamma_{lv} = \gamma$ na rozhraní kapalina vzduch. [9]

1.2.1 Úhel smáčení

Úhel θ , pod kterým se stýká kapalina s pevnou látkou se nazývá smáčecí úhel a platí pro něj vztah

$$\cos \theta = \frac{\gamma_{sv} - \gamma_{sl}}{\gamma_{lv}} \quad (5)$$



Obrázek č. 1 Úhel smáčení [10]

a) $\theta < 90^\circ$ - povrch textilie je (neúplně) smáčen

b) $\theta > 90^\circ$ - povrch textilie se nesmáčí

Pro úplné smáčení povrchu pevné fáze je $\theta = 0^\circ$. Pro smáčivé kapaliny platí, že adhezní síly (přitažlivost k tuhému povrchu) je větší než přitažlivé síly (kohezní síly) v kapalině. [9]

1.3. Propustnost vody

1.3.1. Voda je na povrchu textilie

Voda tvoří kapky, které se nespojují a dají se odstranit. Tento způsob interakce je závislý na smáčivosti povrchu plošné textilie. To je dáno relací povrchových napětí, které vznikají na rozhraní textilie, kapky kapaliny a vzduchu. Tato metoda slouží k posouzení vodoodpudivosti hydrofobních povrchů textilií při jejich smáčení kapalinou.

Metoda umělého deště, stanovení odolnosti vůči povrchovému smáčení na zkrápěcím zařízení, podstatou této zkoušky je určení stupně smáčení dle normy ČSN EN 24920. Zkušební vzorek se smáčí stanoveným objemem destilované nebo demineralizované vody. [4]

1.3.2. Vnik vody do struktury textilie

Neboli nasákivost je schopnost přijímat a fyzikálně vázat vodu při ponoření za stanovené teploty a doby. Nastává jakmile kapalina vnikne do struktury textilie, byť jen částečně. Měřicí metoda spočívá v gravimetrickém zjištění přírůstku hmotnosti textilie po působení ve vodě a okapání přebytečné vody. [4]

1.3.3. Průnik vody přes textilii - protlak vody

Zjišťuje se hydrostatický tlak, při kterém pronikne voda zkoušenou textilií na 3 místech. Přístroj se nazývá "penetrometr" a lze ho využít na všechny textilie s nepromokavou úpravou, zejména povrstvené textilie. Vzorek je upnut do hlavice s kruhovou čelistí, do které je čerpadlem tlačena voda z nádrže. Rychlost vody je regulovatelná a tlak je registrován digitálním tlakoměrem a je použit při výpočtu. Vyhodnocuje se množství prošlé vody za časovou jednotku na danou plochu vzorku S pro tlak p . Tlak se podle normy ČSN EN ISO 811 zaznamenává v cm vodního sloupce. [4]

1 cm vodního sloupce = 0,98064 mbar (0,98064 Pa) [12]

Označení odolnosti proti pronikání deště, vody:

1. watterrepelent: povrchová úprava impregnací, kalandrováním nebo napuštěním. Při kratším dešti se udělají kapičky, které sklouznou. Při větší zátěži už voda proteče. Výška vodního sloupce cca 0,5 m.
2. waterresistant: vrstvené materiály , zátěrové (na bázi polyuretanu, fluorkarbonu, teglonu, akrylu). Materiály jsou vodovzdorné, vydrží tlak vodního sloupce cca 1,1 m.
3. waterproof: vodotěsné a vysoce nepromokavé materiály, které odolávají tlaku vodního sloupce nad 1,3 m.

Čím je vodní sloupec vyšší, tím je materiál odolnější vůči pronikání vody. Znamená to, že materiál s výškou vodního sloupce např. 5 m ochrání nositele před promoknutím při sezení na mokré lavičce. 12 m vodního sloupce zabrání provlhnutí na kolenou při klečení, 12 m vodního sloupce vydrží tlak vodních molekul pod popruhy těžkého batohu, 20 m vodního sloupce nechá suchého lyžaře, když spadne v plné rychlosti do mokrého sněhu, 40 m vodního sloupce se zpravidla nepoužívá, tato výška vodního sloupce nedovolí proniknutí vlhkosti obuvi při kopnutí do mokrého míče. [4]

Hydrostatická odolnost se stala v posledních letech velmi důležitým parametrem kvality sportovních oděvů. Proto je hodnocení tohoto parametru věnována značná pozornost. [2]

1.4 Popis zkoušky hydrostatické odolnosti

Norma ČSN EN ISO 811 specifikuje měření hydrostatické odolnosti pro plošné textilie, které mají vodoodpudivou, či voděodolnou úpravu a jsou určeny jako textilie odolné proti pronikání vody. Podstatou zkoušky je testování vzorku uloženého do čelistí přístroje a na hladině vody, jak dlouho odolá zvyšující se mu tlaku vody působícímu na jednu stranu dokud nedojde k průniku vody na třech místech. Velmi malé kapky se nepočítají a průniky více kapek z jednoho místa se počítají jako jeden průnik. Hydrostatický tlak, který plošná textilie udrží je tedy mírou hydrostatické odolnosti vůči pronikání vody. Voda by měla být destilovaná a mít teplotu $20\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ nebo $27\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$, případně teplota vody musí být uvedena v protokolu o zkoušce. Rychlost zvyšování tlaku vody je $10\text{ cmH}_2\text{O}/\text{min} \pm 0,5\text{ cmH}_2\text{O}/\text{min}$ nebo $60\text{ cmH}_2\text{O}/\text{min} \pm 3\text{ cmH}_2\text{O}/\text{min}$. Zkušební vzorky by měli být klimatizované, neporušené a mělo by se s nimi co nejméně manipulovat. Nejlépe by měli být bez ostrých přehybů. [11]

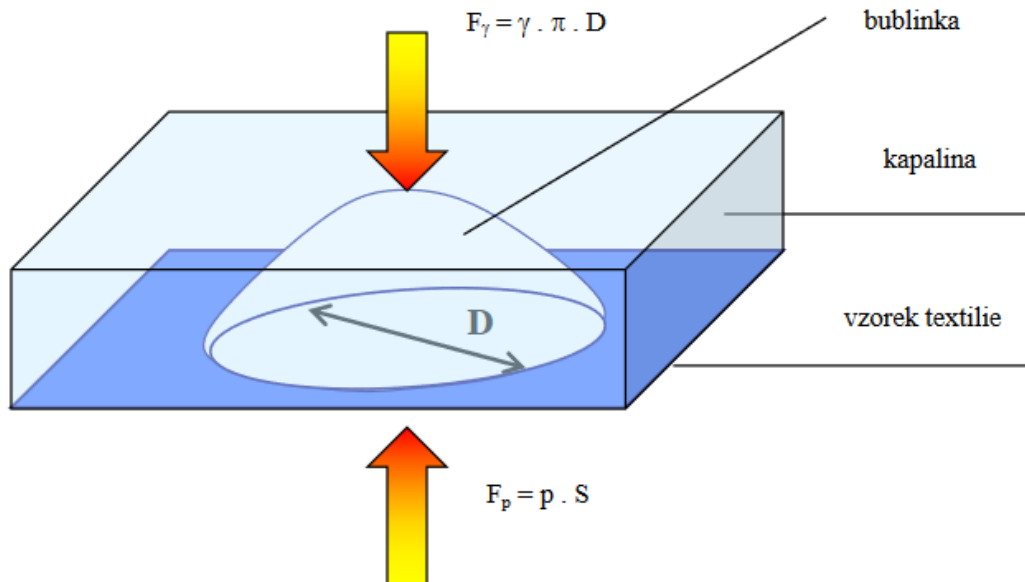
1.5 Bublínková metoda

Jedná se o testovací metodu průnikem kapaliny skrz testovanou textilií. Sleduje se vztah mezi povrchovým napětím (mezi kapalinou a textilií) a tlakem, kterým je kapalina vytlačována z textilie nebo naopak vtlačována.

- a) smáčivá tekutina je vytlačována ven - bublinková metoda, na přístroji vyvinutém v rámci TUL, v souladu s normou ASTM F316 - 03(2019) Standard Test Methods for Pore Size Characteristics of Membrane Filters by Bubble Point and Mean Flow Pore Test
- b) nesmáčivá tekutina je vtlačována dovnitř - mercury porosimetry, podle mezinárodní normy ISO 15901-1:2016 Evaluation of pore size distribution and porosity of solid materials by mercury porosimetry and gas adsorption — Part 1: Mercury porosimetry

Umožňuje zjišťovat velikost největšího, případně průměrného póru v textilií. Vlákenný útvar (u kterého předpokládáme kruhový tvar pórů) je z jedné strany smočen tenkou vrstvou smáčivé kapaliny. Síla, kterou kapalina proniká pórem je daná velikostí povrchového napětí a obvodu póru (gravitační sílu lze zanedbat). Z druhé strany vlákenného útvaru působíme tlakem vzduchu, který se snaží kapalinu z textilie vytěsnit. Síla je daná

tlakem a plochou póru. Z rovnováhy síly dané povrchovým napětím a síly dané tlakem vytlačující kapalinu z póru lze vypočítat jeho velikost. [7]



Obrázek č. 2 Bublincová metoda [7]

Podstata bublinkové metody. Síla F_γ je daná povrchovým napětím kapaliny působící po obvodu póru $\pi \cdot D$. Síla F_p je daná vnějším tlakem vytěsňující kapalinu z póru a působícím na ploše póru S . [7]

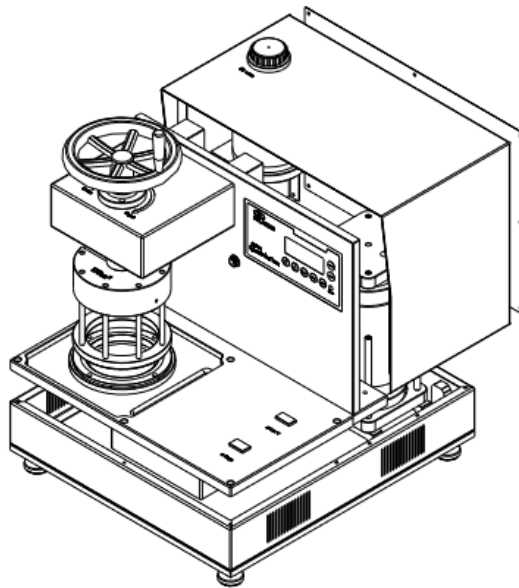
2. Měřicí přístroje

2.1. SDL Atlas Hydrostatic Head Tester M018

Základní údaje

Přístroj je schopen vyvinout tlak v rozpětí 0-3 bary. Testovat textílii je možno v jednotkách mbar nebo cmH_2O , uživatel si může z těchto dvou variant vybrat. Další funkcí je vybrání síly tlaku za minutu nebo růst hladiny vodního sloupce za minutu, hodnoty které lze vybrat jsou volitelné od 1mbar/min až do 200 mbar/min nebo od 1 $\text{cmH}_2\text{O}/\text{min}$ až do 200 $\text{cmH}_2\text{O}/\text{min}$. Přesnost měřeného tlaku je $\pm 0,5\%$ zobrazeného mbaru nebo cmH_2O . Testovací oblast pro upnutí vzorku je kruhová, ideální velikost vzorku je 100 cm^2 , ale přístroj umí pracovat i se vzorky velikostí 28 cm^2 , 26 cm^2 , $19,63 \text{ cm}^2$, 10 cm^2 . Maximální tloušťka

upnuté testovaného vzorku je 30 mm. Délka přístroje je 48 cm, šířka 54 cm, výška 60 cm a váha 70 kg. [5]



Obrázek č. 3 SDL Atlas Hydrostatic Head Tester M018 [5]

Postup měření: [5]

1. Upnout testovací vzorek do kruhové čelisti Head Testeru.
2. Nastavit test v ovládacím panelu.
3. Stisknout tlačítko "Test" v ten okamžik testování započne, stlačený vzduch se dostane do tlakové nádoby přes regulační ventil.
4. Tlak se vytvoří uvnitř tlakové nádoby, čímž vtlačí vodu do zkušební nádoby a zkusí proniknout testovaným vzorkem
5. Po dokončení testu se přívod vzduchu uzavře a odvzdušňovací ventil se otevře, aby se uvolnil vnitřní tlak

Splňující standarty [5]

AATCC 127 ,BS EN 20811, BS 2823, BS 3424-26 29A/29C, ISO 811, ISO 1 420A, DIN 53886, INDA IST 80.4, JIS L 1,092 A, JIS L 1,092 B-b, NF G07-057, ERT-120-1, 160-0, EDANA 120.1-80

2.2. Zkušební zařízení Řezáč

Základní údaje

Tento přístroj slouží ke zkoušení odolnosti textilií proti pronikání vody, zkouška tlakem vody. Splňuje technické specifikace normy ČSN EN ISO 811. Zařízení je schopné vytvořit a měřit tlak až do hodnoty 4000 mbar. Rychlost zvyšování tlaku vody je 10 cmH₂O/min. V případě potřeby je možné rychlost zvýšit nebo snížit. Zařízení pracuje na principu posouvání pístu ve válci ve kterém je voda. Rychlostí posuvu pístu se mění rychlost nárůstu cmH₂O/min. Při nastavené hodnotě 3,4 V je nárůst tlaku 10 cmH₂O/min. Součástí přístroje je číslicový tlakoměr GMH 3156 má dva vstupy pro měřící snímače, na vstupu č. 1 je připojen snímač s rozsahem měření do 4 bar, na vstupu č. 2 je připojen snímač s rozsahem měření do 400 mbar. Po zapnutí manometru jsou na displeji číslicového tlakoměru indikovány hodnoty z obou snímačů. [3]

Napuštění systému vodou [3]

1. Našroubování kalibračního válce na pracovní místo
2. Zapnutí hlavního vypínače zdroje do polohy I (ON)
3. Přepnutí ovládání pohybu do polohy II (DOLŮ) a zmáčknutí tlačítka STOP
ZKOUŠKA, píst sjede na dolní úvrat'
4. Vypouštěcí ventil vodního systému uzavřít
5. Postupné nalívání vody do kalibračního válce až po úroveň příruby
6. Přepínač ovládání pohybu přepnout do polohy I (NAHORU), píst tlačí vodu a vybublají bubliny vzduchu ven ze systému. Až je píst zastaven na horní úvratí, přepnout přepínač ovládání do polohy II (DOLŮ). Činnost je opakována dokud není všechen vzduch z vody ven.
7. Sjezd hladiny vody na dolní úvrat' a odšroubování kalibračního válce.

Vypuštění vodního systému [3]

1. Otevřít ventil vypuštění vody
2. Přepínač ovládání pohybu je přepnut do polohy I (NAHORU)
3. Stlačení tlačítka STOP ZKOUŠKA píst dojede do horní úvratě

Postup měření: [3]

1. Na hladinu je položen testovaný vzorek, na materiál je uložena horní upínací čelist rádiusem ke vzorku, upínací matice jsou našroubovány na šrouby a jsou dotaženy momentovým klíčem
2. Je zapnut číslicový tlakoměr tlačítkem ON, manometr indikuje od obou snímačů nějakou hodnotu tlaku, kterou již tvoří voda ve válci, stlačení tlačítka TARA manometr vynuluje hodnoty tlaků a indikuje 0 mbar. Je stlačeno tlačítko MAX pro uchování nejvyšší dosažené hodnoty tlaku při zkoušce.
3. Při předpokladu, že bude dosažený tlak vyšší než 400 mbar je zavřen ventil před snímačem do 400 mbar tím jej odstavíte od tlakového systému.
4. Přepínač na ovládání pohybu je přepnut do polohy I (NAHORU) je stlačeno tlačítko STOP ZKOUŠKA a je sledován zkoušená vzorek materiálu, při proniknutí vody ve třetím místě vzorku je stisknuto tlačítko STOP ZKOUŠKA, čímž se zastaví nárůst tlaku.
5. Přepínač je přepnut do polohy II (DOLŮ) a je stisknuto tlačítko STOP ZKOUŠKA, píst v pracovním válci se rozjede směrem dolů, je nechán posunu pár centimetrů a je stisknuto tlačítko STOP ZKOUŠKA.
6. Jsou odšroubovány upínací matice, je sundána horní upínací čelist a vzorek odebrán.

Návod přístroje neuvádí odchylku při rychlosti zvyšování tlaku vody 10 cmH₂O/min, proto byl proveden test pomocí nástavce s ryskou. Bylo zjištěno, že naplnění 10 cmH₂O na přístroji Řezáč trvalo 1 minutu a 12 sekund. Je tedy možné konstatovat, že tato odchylka je v souladu s povolenou standardizovanou odchylkou. Dále je nutné počítat s určitým zkreslením při tlaku vyvinutém na upnutý materiál. Při testu s nástavcem byla vodní hladina volná.



Obrázek č. 4 Ověření rychlosti zvyšování tlaku vody přístroje Řezáč

3. Porovnání hydrostatické odolnosti textilních materiálů

Hydrofobní úprava (DWR)

Jde o materiály k vrchnímu použití s naimpregnovanou vodoodpudivou úpravou. Vodotěsnost je nízká 0,3 - 0,5 m v.s. (nesnesou nepřetržitý déšť). Nanesená hydrofobní úprava se ztratí po několika praních. Výrobky jsou tkaniny, pleteniny s DWR úpravou vyráběné z polyamidu, polyesteru, mikrovláken, bavlny a jejich směsí, tkaniny s elastanem, nejčastěji bavlnářského a hedvábnického typu. [4]

Kompaktní povrstvení

Místní použití u oděvů (sedla, náramenice, kolena). K povrstvení se používají polymery (polyvinylchlorid, polyuretan, akrylové nánosy, chloroprenový kaučuk apod.). Povrstvení je nanášené jako kompaktní uzavřený film bez pórů ve formě pasty nebo ve formě pěny. Vodotěsnost se pohybuje asi 4-7 m v.s., oděvy z těchto materiálů se používají do deště, sportovní batohy, podlahy stanů. Jedná se o výrobky nižší cenové kategorie. [4]

Mechanické mikropórování

Princip spočívá v mechanické perforaci kompaktních nánosových textilií, popsané v předchozí skupině. Používají se jehlové elektrody a perforace probíhá pomocí elektrických impulsů. Je možné zhotovit až 100 pórů/cm². Vodotěsnost je pouze asi 0,5 m v.s., což je nedostatečné pro ochranu před déle trvajícím deštěm. [4]

Laminované materiály s membránou

Jejich vlastnosti se podobají lidské pokožce, která dýchá a propouští pot a zároveň nepropouští déšť a vítr. Ve struktuře mikroporézní fólie se nachází velké množství malých pórů vzájemně uspořádaných do labyrintové struktury. Velikost póru umožní propustit kapku vodní páry, ale nepropustí kapku deště - otvory mají průměr cca 0,2 μm. Odolnost proti pronikání vody výrobků GORE-TEX® je 40 - 80 m v.s., výrobky SYMPATEX mají voděodolnost 10 m v.s. Využití ve vysokohorské turistice, jachtingu, cyklistice jako ochranné oděvy, vojenské a hasičské. [4]

Mikroporézní povrstvení

Nosný textil je na vnější straně potáhnutý povrstvovacím filmem o tloušťce 25-50 μm z polyuretanu nebo aminokyselinových polymerů. Při nanášení se uvolňuje CO₂ a tím se nanesený film mění v houbovitou strukturu s póry o průměru 0,2-0,3 μm. Má stejné vlastnosti jako laminát, ale polyuretanový film není tak náchylný k mechanickému poškození jako membrána, protože je mnohem elastičtější. Využívá se na oděvy pro sportovní činnost a vycházkové oděvy. Vodotěsnost je 2-5 m v.s. [4]

Většina autorů se věnuje především velmi odolným materiálům. Také většina závěrečných prací na téma hydrostatické odolnosti je řešena na materiálech, které jsou odolné především díky laminování více vrstev s membránou nebo zátěrem. Tato práce navíc hodnotí vztah dvou přístrojů, kterými se předchozí práce nezabývaly.

Například Drahoušková v bakalářské práci nazvané „Hodnocení odolnosti proti pronikání vody u materiálu tzv. třetí vrstvy“, hodnotila vrchové materiály s membránou a se zátěrem. Velice vysoká hydrostatická odolnost nad 800 cmH₂O byla naměřena u softshellových materiálů a u materiálu se zátěrem 1036 1340 cmH₂O. Materiály 127/a se zátěrem dopadly hůře, ale všechny překročily hydrostatickou odolnost 130 cmH₂O. Z hlediska pletenin a tkanin vykazovaly horší výsledky tkaniny. Oproti pleteným materiálům tkaniny měly horší hodnoty hydrostatické odolnosti. [13]

Rásllová v diplomové práci nazvané „Hydrostatická odolnost textilií používaných pro sport“. Použila třívrstvé softshellové materiály s hydrofobní, hydrofilní nebo dvousložkovou (hydrofobní/hydrofilní) membránou. Zjistila že všechny testované materiály jsou vhodné pro sport. Nejnižší hydrostatickou odolnost měl materiál Vardar 542,1 cmH₂O při rychlosti zvyšování tlaku vody 10 cmH₂O/min, nejvyšší hydrostatická odolnost byla naměřena u materiálu SPL 2580,4 cmH₂O při rychlosti zvyšování tlaku vody 60 cmH₂O/min. Důležitým poznatkem z práce je jev, kdy při rychlosti zvyšování tlaku vody 10 cmH₂O/min textilie vykazuje nižší hydrostatickou odolnost než při nárůstu tlaku 60 cmH₂O/min. Toto vysvětluje reologické chování polopropustných membrán jakožto polymerních materiálů, které reagují na mechanické namáhání se zpožděním. Při rychlém nárůstu reagují na změnu tlaku až později za vyšších hodnot tlaků – membrána je porušena po dosažení vyššího vodního sloupce. Při nárůstu 10 cmH₂O/min jsou membrány vystaveny dlouhodobému působení napětí, reagují tak okamžitě a k přeměně vnitřních struktur dochází již při nízkém tlaku – porušení membrány nastane při nižší výšce vodního sloupce. [14]

Pro testování hydrostatické odolnosti tkanin bez membrány či zátěru je vhodná pouze norma ČSN EN ISO 811 (800818), která je převzatá z mezinárodní ISO 811:2018 Textiles — Determination of resistance to water penetration — Hydrostatic pressure test. Jejím americkým ekvivalentem je AATCC 127 Test Method for Water Resistance: Hydrostatic Pressure. [15] Všechny metody jsou určeny pro široké spektrum materiálů a nerozlišují typy materiálů. Při testování je tedy důležitým kritériem, které je třeba splnit, aby se vzorek při testu nedeformoval. Pro membránové materiály je toto velmi těžko splnitelné. To je jeden z důvodů, proč se tato práce zabývá komparací přístrojů pomocí testování klasických tkanin s hydrofobní úpravou, které tuto podmínku zcela splňují.

Použité přístroje pracují v souladu s dalšími normami, které jsou určeny pro obecnou klasifikaci ochranných oděvů jako např: AAMI PB70 Liquid barrier performance and classification of protective apparel and drapes intended for use in health care facilities [17] nebo ČSN EN 13795 (855810) Operační roušky, pláště a operační oděvy do čistých prostor, používané jako zdravotnické prostředky pro pacienty, nemocniční personál a zařízení - Všeobecné požadavky na výrobce, zpracovatele a výrobky, metody zkoušení, požadavky na provedení a úrovně provedení. Tyto normy všechny využívají stávající definice testu hydrostatické odolnosti a definují především požadované hodnoty odolnosti. [18]

Všechny způsobilé normy používají jako medium destilovanou vodu a stejnou velikost vzorku. Používané přístroje jsou tedy v souladu s normami a jejich rozdílem je pouze způsob, jakým tlak vody vytváření, měří nebo upínají vzorek. Test tedy probíhá v podstatě stejným způsobem. [16]

Experimentální část

V této kapitole bakalářské práce budou hodnoceny a porovnány dva měřicí přístroje na stanovování hydrostatické odolnosti textilií při nízkých tlacích a bude ověřována jejich shoda měření. Bude uvedeno, jak konkrétně probíhá měření, jaké materiály byly měřeny a jaké výsledky z měření byly vyvozeny.

4. Popis experimentu

Pro experiment byly použity materiály složené z vláken PA s vazbou plátna s pěti různými dostavami, které budou uvedeny. Materiály byly též zaopatřeny hydrofóbní úpravou. K měření hydrostatické odolnosti byly využity laboratorní měřicí přístroje SDL Atlas Hydrostatic Head Tester M018 a zkušební zařízení Řezáč. Oba zkušební přístroje plní normu ISO 811. Dle normy každé měření probíhá rychlostí zvyšování tlaku vody $10 \text{ cmH}_2\text{O}/\text{min} \pm 0,5 \text{ cmH}_2\text{O}/\text{min}$ nebo $60 \text{ cmH}_2\text{O}/\text{min} \pm 3 \text{ cmH}_2\text{O}/\text{min}$. Přístroj SDL Atlas Hydrostatic Head Tester M018 byl použit na měření při rychlostech zvyšování tlaku vody $10 \text{ cmH}_2\text{O}/\text{min}$ a $60 \text{ cmH}_2\text{O}/\text{min}$ a přístroj Řezáč byl použit na měření při rychlosti zvyšování tlaku vody $10 \text{ cmH}_2\text{O}/\text{min}$. Měření vzorků probíhalo na katedře hodnocení textilií ve dvou různých termínech za následujících klimatických podmínek:

Teplota při prvním měření: $21,6 \text{ }^\circ\text{C}$

Vlhkost při prvním měření: 50%

Teplota při druhém měření: $22 \text{ }^\circ\text{C}$

Vlhkost při druhém měření: 35%

4.1 Popis materiálů

Všechny materiály, co byly použity při laboratorních měřeních měli stejnou tmavě zelenou barvu, stejné materiálové složení (PA) s hydrofobní úpravu, plátňovou vazbu, dostavu osnovy 42. Největší rozdílnost materiálů byla v dostavě útku. Materiály měl následující dostavy a jsou popsány jednotným zápisem v dalším textu:

Tab. 1 popis materiálů

Zjednodušený zápis	Dostava osnovy [počet/1 cm]	Dostava útku [počet/1cm]
Du20	42	20
Du18	42	18
Du16	42	16
Du14	42	14
Du12	42	12

Technologické výhody PA vláken: [9]

- + dobré mechanické vlastnosti
- + vysoká pružnost
- + nejvyšší odolnost v oděru
- + malá bobtnavost
- + nízká měrná hmotnost
- + termoplasticitu

Technologické nevýhody PA vláken: [9]

- nízký modul, nízká odolnost v krutu
- malá odolnost vůči zvýšeným teplotám (teplota tání 220 °C)
- malá odolnost vůči slunečnímu záření
- vznik statického náboje
- nízká navlhavost

5. Cíle výzkumu, výzkumná otázka a hypotéza

Cílem bylo ověření shody výsledků hydrostatické odolnosti dvou přístrojů SDL Atlas a Řezáč pro materiály, které mají hydrostatickou odolnost při nízkých tlacích a porušení kapkami.

Výzkumná otázka

Jaká je shoda, či rozdílnost hydrostatické odolnosti měřených materiálů na přístroji SDL Atlas a Řezáč při rychlosti zvyšování tlaku vody 10 cmH₂O/min?

Hypotéza

Při rychlosti zvyšování tlaku vody 10 cmH₂O/min na přístrojích SDL Atlas a Řezáč je průměrná shoda měření ± 5 cmH₂O.

6. Měření na přístroji SDL Atlas Hydrostatic Head Tester M018

Autor prováděl laboratorní měření na tomto přístroji ve dvou různých termínech. Po zapnutí přístroje je důležité se ujistit, zda má vodní nádrž dostatečně naplněnou, zajistit přísun tlaku vzduchu, který je zapotřebí pro vytvoření tlaku vody. U přístroje se o tlak vzduchu stará pístový kompresor umístěný pod laboratorním stolem. Po natlakování kompresoru a zajištění dostatku vody v nádrži je důležité, aby bylo zajištěno uzavření páček, které jsou umístěny zezadu přístroje. Poté stačí v menu vybrat možnost autowater refill a během několika minut nateče do testovacího prostoru voda. Před vložením vzorku musí být provedeno v menu zvolení testu. K výběru jsou možnosti dynamického nebo statického testu. Pro měření byl vždy vybrán dynamický test, následně autor vybral měření v hodnotách $\text{cmH}_2\text{O}/\text{min}$ a hodnotu splňují jednu z norem ISO 811, takže buď to $10 \text{ cmH}_2\text{O}/\text{min}$ nebo $60 \text{ cmH}_2\text{O}/\text{min}$. Před měřením ještě musí být upnuta tvrdá plastová výplň bílé barvy na vrchní část upínací hlavice a na spodní část, na kterou bude tlačena vrchní hlavice, je položena další plastová výplň černé barvy, ale s ohebnými vlastnostmi.

Od každého testovaného materiálu bylo vždy provedeno měření 8 vzorků pro rychlost zvyšování tlaku vody $10 \text{ cmH}_2\text{O}/\text{min}$ a 8 vzorků pro rychlost zvyšování tlaku vody $60 \text{ cmH}_2\text{O}/\text{min}$. Autor měl k dispozici vždy velkou plošnou textilií, která následně byla rozstříhána na vhodné vzorky k měření, aby byla připravena pro úchyt do testovací hlavice měřícího přístroje.

Když jsou materiály a přístroj připraveny, je ještě před upnutím hlavice důležité zkontrolovat jestli hladina vody úměrně vysoká s černým vyplňovacím plastem, hladina nesmí být příliš nízká. Také je důležité zkontrolovat materiál, jestli není nikde poškozen či příliš zpřehýbaný. Následně je zkušební vzorek uložen do testovacího prostoru, kde ze spodu plošné textilie je hladina vody. Z horní části je upnut hlavici, kterou autor musí svrchu sešroubovat a dostatečnou silou zajistit, aby okraje vzorku byly pevně uchyceny. Poté je stisknuto tlačítko START, tím se spustí zkouška.

Měření rychlostí zvyšování tlaku vody $10 \text{ cmH}_2\text{O}/\text{min}$ trvá v porovnání s $60 \text{ cmH}_2\text{O}/\text{min}$ o dost déle, což bude diskutováno v hodnocení a porovnání výsledků. Maximální doba měření pro $10 \text{ cmH}_2\text{O}/\text{min}$ je přístrojem definována na 5 minut a při $60 \text{ cmH}_2\text{O}/\text{min}$, to je pouze 50 sekund.

Po průniku kapek vody na třech nebo více místech, musí být stisknuto tlačítko STOP. Na displeji je zaznamenán čas a také rychlost zvyšování tlaku vody v $\text{cmH}_2\text{O}/\text{min}$. Autor si příslušné hodnoty zaznamená. Následně je třeba uvolnit upínací hlavici, která svrchu drží

upnutý vzorek. Poškozený vzorek je odebrán z testovacího prostoru a vyhozen.

Než autor začne měřit další zkušební vzorek, je nutné zkontrolovat opět hladinu vody v testovacím prostoru, aby nebyla příliš nízká, aby byla v zákrytu s černou plastovou podložkou. Pokud je podložka mokrá, měla by být vysušena. Poté se může celý proces opakovat.

7. Měření na přístroji Řezáč

Autor prováděl laboratorní měření na tomto přístroji ve dvou termínech. Přístroj je mnohem větší než SDL Atlas a práce s ním je celkově o trochu komplikovanější. Po zapnutí tlačítkem ON je důležité zkontrolovat hodnotu na displeji 3,4 V, ta zajišťuje dle výrobce normovanou rychlost zvyšování tlaku vody 10 cmH₂O/min. Zboku přístroje je červená páčka, která musí být umístěna do svislé polohy kvůli senzoru manometru. Následně tlačítkem ON je nutné aktivovat manometr, který bude měřit tlak vody na plošnou textilií. Na manometru jsou pro autora důležitá ještě dvě tlačítka. TARA slouží k vynulování hodnot tlaku a MAX slouží k uchování nejvyššího dosaženého tlaku po měření. Bez aktivace tlačítka MAX by na displeji nebyla uchována dosažená hodnota naměřeného tlaku. Na displeji by došlo k pádu naměřeného tlaku zpět na 0 mbar. Přístroj na rozdíl od SDL Atlas Hydrostatic Head Tester M018 nenabízí hodnoty v parametrech cmH₂O/min, ale pouze v mbar, barech a pascálech. Dále přístroj nenabízí stopky, které by dokázali měřit, jak dlouho zkouška probíhala. Autor tedy musí využít vlastní stopky a musí obratně reagovat na spuštění a ukončení ve správný čas. Před přípravou vzorku se ještě musí vložit do testovacího prostoru gumičky ve tvaru kruhu, pro které je v přístroji vytvořen prostor, jsou zde z důvodu těsnění stejně jako u SDL Atlas. Když je v testovacím prostoru voda, měla by být hladina po okraje gumiček a následně by na ně měla být položena testovaná plošná textilie. V podstatě díky nim pak bude docházet, že hladina vody se bude dotýkat testovaného vzorku. Následně posledním krokem před přípravou vzorku je důležité dostat vodu do testovacího prostoru. Přístroj Řezáč má na sobě položen hlavní ovládací panel, kde je jedno červené tlačítko STOP a přepínač NAHORU, DOLŮ. Tlačítko STOP funguje jako pozastavení nebo spuštění. Přepínač NAHORU, DOLŮ určuje směr pístu, který je uložen uvnitř přístroje a pumpuje vodu dvěma směry. NAHORU pumpuje vodu směrem doleva z pohledu obsluhy, neboli směrem do testovacího prostoru. DOLŮ pumpuje vodu směrem doprava z pohledu obsluhy, neboli směrem od testovacího prostoru. Stiskem DOLŮ píst sjede co nejvíce doprava, následně autor do hrdla testovacího

prostoru napouští vodu, do té doby než se hladina vody dotýká konce gumiček. Okolo testovaného prostoru vyčnívají šrouby a jsou rozmístěny v kruhovém tvaru.

Od každého testovaného materiálu bylo provedeno 8 zkoušek na 10 vzorcích. Vzorky byly vystříhány z velkých plošných textilií, do menších čtverců, které byly velké přibližně 20x20 cm, následně museli být sestříhány do menších tvarů připomínající kruh, aby se vešly do testovaného prostoru přístroje. Odlehlá měření vzorků byla vyloučena a následně nahrazena dalším měřením nového materiálu.

Když byly vzorky připraveny, následovalo postupné měření. Probíhalo vložení vzorku na připravené gumičky. Následně byl vzorek upnut za okraje do horní upínací čelisti, která přímo pasuje na již zmíněné šrouby. Poté je nutné na šrouby připevnit a utáhnout matice. Šroubů je celkem 8, ale k upevnění stačí pouze 4 matice z důvodu měření při nízkém tlaku.

Měření bylo započato, když autor přepnul přepínač NAHORU a následně tlačítko STOP spuštění a zároveň spustil měření času na stopkách. Píst začal tlačit a rychlost zvyšování tlaku vody působila na testovanou plošnou textilií. K průniku kapek vody docházelo většinou podobným způsobem u všech měření na přístroji Řezáč, porušení bylo znatelné na mnoha místech.

Po proniknutí a ukončení testu autorem, bylo stisknuto zároveň tlačítko STOP zastavení a tlačítko na stopkách zastavit. Manometr uchoval nejvyšší dosaženou jednotku v milibarech. Došlo k zaznamenání výsledků testovaného vzorku. Následně k přepnutí přepínače DOLŮ, aby se hladina vody dostala do původní polohy a stiskem tlačítka STOP zastavit, aby při příštím přepnutí NAHORU nedošlo k automatickému růstu hladiny vody. Utažené matice je nutné po každém testu znovu odšroubovat a odejmout. Stejně tak kovový výstup. Porušená plošná textilie byla odejmuta a vyhozena. Hladina vody před dalším testem musí být zkontrolována, jestli neklesla pod okraje gumiček.

8.1 Měření vzorků na přístrojích SDL Atlas Hydrostatic Head Tester M018 a Řezáč

Celkem bylo měřeno 120 vzorků téhož materiálu, lišil se pouze dostavou útku. Dostavu osnovy měly všechny materiály Do 42. Vzorky s dostavami útku 20 Dú, 18 Dú, 16 Dú, 14 Dú, 12 Dú byly měřeny 24x, pokaždé po 5 vzorcích. Dvakrát na přístroji SDL Atlas Hydrostatic Head Tester M018 poprvé při zvyšování rychlosti tlaku vody 10 cmH₂O/min a podruhé při rychlosti 60 cmH₂O /min. Na přístroji Řezáč se měřilo zbylých 8 vzorků dané dostavy při rychlosti zvyšování tlaku vody 10 cmH₂O /min. Už při této výrobcem deklarované rychlosti zvyšování tlaku je test rychlý. Napětí přístroje tedy nebylo zvýšeno až na rychlosti 60 cmH₂O /min. Pro dané přístroje a rychlost zvyšování tlaku vody byly použity zkratky ve formě:

Tab. 2 popis přístrojů

Přístroj	Zjednodušený zápis	Rychlost zvyšování tlaku vody
SDL Atlas Hydrostatic Head Tester M018	SDL10	10cmH ₂ O/min
SDL Atlas Hydrostatic Head Tester M018	SDL60	60 cmH ₂ O/min
Řezáč	R10	10 cmH ₂ O/min

Shrnující zápis tedy definuje jak testovaný materiál i použitou metodu, např. materiál s dostavou útku 20 a testovaný na přístroji ADL Atlas při rychlosti zvyšování tlaku vody 10 cmH₂O/min je označen jako SDL10-Du20.

Z daných měření byly vypočteny statistické údaje aritmetický průměr \bar{x} , maximum, minimum, směrodatná odchylka s , interval spolehlivosti IS 95% a rozptyl s^2 .

$$\text{Aritmetický průměr: } \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (6)$$

$$\text{Směrodatná odchylka: } s = \sqrt{s^2} \quad (7)$$

$$\text{Rozptyl: } s^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (8)$$

$$\text{Interval spolehlivosti: } IS \ 95\% = t_{\alpha/2, n-1} \cdot \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (9)$$

$$\text{Horní mez 95\%} = \bar{x} + t_{\alpha/2, n-1} \cdot \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (10)$$

$$\text{Dolní mez 95\%} = \bar{x} - t_{\alpha/2, n-1} \cdot \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (11)$$

8.2 Naměřené hodnoty SDL Atlas Hydrostatic Head Tester M018

Tab. 3 naměřené hodnoty Du20, SDL10

	Čas (min:s)	Hydrostatická odolnost (cmH ₂ O)
1.	03:18	32,3
2.	02:30	24,2
3.	02:40	26
4.	02:36	25,7
5.	01:50	18,5
6.	02:58	29,9
7.	02:33	25,1
8.	03:00	29,5
\bar{x}	02:41	26,4
max	03:18	32,3
min	01:50	18,5
s	00:23	3,97
IS 95%	00:16	2,75
s^2	-	15,78

Tab. 4 naměřené hodnoty Du18, SDL10

	Čas (min:s)	Hydrostatická odolnost (cmH ₂ O)
1.	02:03	20,6
2.	02:15	23,1
3.	02:24	23,3
4.	02:41	27,1
5.	02:48	27
6.	02:34	25,4
7.	01:53	18,5
8.	02:10	21
\bar{x}	02:21	23,25
max	02:48	27,1
min	01:53	18,5
s	00:18	2,92
IS 95%	00:12	2,02
s^2	-	8,52

Tab. 5 naměřené hodnoty Du16, SDL10

	Čas (min:s)	Hydrostatická odolnost (cmH ₂ O)
1.	02:11	21,3
2.	02:16	22,7
3.	01:28	14,9
4.	02:14	22,5
5.	02:13	22,4
6.	02:04	21,6
7.	02:07	21
8.	02:03	20,6
\bar{x}	02:05	20,88
max	02:16	22,7
min	01:28	14,9
s	00:14	2,37
IS 95%	00:10	1,64
s^2	-	5,60

Tab. 6 naměřené hodnoty Du14, SDL10

	Čas (min:s)	Hydrostatická odolnost (cmH ₂ O)
1.	02:03	20,5
2.	02:07	21
3.	02:13	22,8
4.	02:02	20,4
5.	02:16	23
6.	01:06	12,3
7.	02:02	21,1
8.	02:23	23,1
\bar{x}	02:01	20,53
max	02:23	23,1
min	01:06	12,3
s	00:22	3,28
IS 95%	00:15	2,27
s^2	-	10,77

Tab. 7 naměřené hodnoty Du12, SDL10

	Čas (min:s)	Hydrostatická odolnost (cmH ₂ O)
1.	01:54	19,6
2.	01:47	17,3
3.	01:56	20,1
4.	01:42	16,4
5.	01:41	16,3
6.	01:47	18,7
7.	01:51	18,2
8.	02:04	20,5
\bar{x}	01:50	18,4
max	02:04	20,5
min	01:41	16,3
s	00:07	1,5
IS 95%	00:05	1,05
s^2	-	2,3

V tabulkách č. 3-7 jsou zaznamenána naměřená data 1.-8. vzorku daného materiálu. Měření probíhalo na přístroji SDL Atlas Hydrostatic Head Testeru M018 při rychlosti zvyšování tlaku vody 10 cmH₂O/min ± 0,5 cmH₂O/min. Tabulky též zahrnují vypočítané základní statistické hodnoty, jež byly vypočítány.

Z průměrných hodnot vyplývá, že čím vyšší dostavu útku materiál měl, tím vyšší měl hydrostatickou odolnost a též vyšší průměrnou dobu zkoušení. Z Tabulky č. 3 Du20 plyne, že má tento materiál nejvyšší rozptyl hydrostatické odolnosti, též nejvyšší směrodatné odchylky a intervaly spolehlivosti. Du20 je materiálem s nejvyšší dostavou u tohoto materiálu bylo vyloučeno jedno odlehlé měření a nahrazeno novým. Tabulka č.7 Du12 ukazuje, že má naměřený nejnižší průměrnou hydrostatickou odolnost, což je pravděpodobně způsobeno nejnižší dostavou útku materiálu. Též má nejnižší směrodatné odchylky, intervaly spolehlivosti a rozptyl hydrostatické odolnosti. Je to dáno tím, že měření tohoto materiálu je nejpřesnější.

Tab. 8 naměřené hodnoty Du20, SDL60

	Čas (min:s)	Hydrostatická odolnost (cmH ₂ O)
1.	00:32	31,7
2.	00:35	35,7
3.	00:31	32,1
4.	00:35	35,8
5.	00:32	32,6
6.	00:30	30,7
7.	00:33	34,1
8.	00:32	32,9
\bar{x}	00:33	33,2
max	00:35	35,8
min	00:30	30,7
s	00:02	1,73
IS 95%	00:01	1,20
s^2	-	3,00

Tab. 9 naměřené hodnoty Du18, SDL60

	Čas (min:s)	Hydrostatická odolnost (cmH ₂ O)
1.	00:25	25,7
2.	00:24	24,8
3.	00:26	27
4.	00:25	25,6
5.	00:26	27
6.	00:25	25,9
7.	00:24	25,4
8.	00:26	26,9
\bar{x}	00:25	26,04
max	00:26	27
min	00:24	24,8
s	00:01	0,78
IS 95%	00:01	0,54
s^2	-	0,61

Tab. 10 naměřené hodnoty Du16, SDL60

	Čas (min:s)	Hydrostatická odolnost (cmH ₂ O)
1.	00:22	23
2.	00:20	20,4
3.	00:23	24,2
4.	00:23	24,6
5.	00:26	27
6.	00:25	25,9
7.	00:22	23,2
8.	00:25	25,9
\bar{x}	00:23	24,28
max	00:26	27
min	00:20	20,4
s	00:02	1,96
IS 95%	00:01	1,36
s^2	-	3,83

Tab. 11 naměřené hodnoty Du14, SDL60

	Čas (min:s)	Hydrostatická odolnost (cmH ₂ O)
1.	00:28	28,7
2.	00:21	21,5
3.	00:21	22,4
4.	00:20	20,8
5.	00:26	27
6.	00:20	21,2
7.	00:19	19,5
8.	00:19	19,2
\bar{x}	00:22	22,54
max	00:28	28,7
min	00:19	19,2
s	00:03	3,24
IS 95%	00:02	2,25
s^2	-	10,52

Tab. 12 naměřené hodnoty Du12, SDL60

	Čas (min:s)	Hydrostatická odolnost (cmH ₂ O)
1.	00:17	18,4
2.	00:18	18,8
3.	00:18	18,6
4.	00:22	20,4
5.	00:17	17,8
6.	00:25	24,3
7.	00:17	17,5
8.	00:13	13,8
\bar{x}	00:18	18,7
max	00:25	24,3
min	00:13	13,8
s	00:03	2,8
IS 95%	00:02	1,91
s²	-	7,58

V tabulkách č.8-12 jsou zaznamenána data naměřených vzorků zkoušených materiálů Du20-Du12. Měření probíhalo na přístroji SDL Atlas Hydrostatic Head Testeru M018 při rychlosti zvyšování tlaku vody 60 cmH₂O/min ± 3 cmH₂O/min. Tabulky též zahrnují vypočítané základní statistické hodnoty.

Z uvedených výpočtů vyplývá, že průměrné časy i průměrné hydrostatické odolnosti jsou nejvyšší u materiálu s nejvyšší dostavou útku a postupně klesají u každého materiálu s nižší dostavou útku. Nejvyšší směrodatná odchylka, interval spolehlivosti i rozptyl hydrostatické odolnosti byly naměřeny u Du14 v tabulce č.11. V tabulce č.9 u Du18 bylo zjištěno, že má nejnižší směrodatnou odchylku, interval spolehlivosti a též rozptyl hydrostatické odolnosti. Důvodem je nejpresnější měření testovaných materiálů.

8.3 Naměřené hodnoty na přístroji Řezáč

Tab. 13 naměřené hodnoty Du20, R10

	Čas (min:s)	Hydrostatická odolnost (cmH ₂ O)
1.	00:07	41,71
2.	00:08,7	44,36
3.	00:07,4	42,32
4.	00:07,2	42,01
5.	00:07,5	43,75
6.	00:06,7	41,71
7.	00:07,2	44,36
8.	00:08,1	41,71
\bar{x}	00:07,5	42,74
max	00:08,7	44,36
min	00:06,7	41,71
s	00:00,6	1,13
IS 95%	00:00,4	0,78
s^2	-	1,27

Tab. 14 naměřené hodnoty Du18, R10

	Čas (min:s)	Hydrostatická odolnost (cmH ₂ O)
1.	00:07,3	35,69
2.	00:06	32,63
3.	00:07,4	37,73
4.	00:06,7	35,69
5.	00:07,5	37,73
6.	00:05,3	37,73
7.	00:06	36,71
8.	00:06,2	34,67
\bar{x}	00:06,6	36,07
max	00:07,5	37,73
min	00:05,3	32,63
s	00:00,8	1,69
IS 95%	00:00,5	1,17
s^2	-	2,84

Tab. 15 naměřené hodnoty Du16, R10

	Čas (min:s)	Hydrostatická odolnost (cmH ₂ O)
1.	00:13,7	30,59
2.	00:14,5	29,57
3.	00:14,2	30,59
4.	00:14,4	32,63
5.	00:16,1	32,63
6.	00:16,6	30,59
7.	00:08,4	29,57
8.	00:08,7	28,55
\bar{x}	00:13,3	30,59
max	00:16,6	32,63
min	00:08,4	28,55
s	00:02,9	1,35
IS 95%	00:02	0,94
s^2	-	1,82

Tab. 16 naměřené hodnoty Du14, R10

	Čas (min:s)	Hydrostatická odolnost (cmH ₂ O)
1.	00:07,8	21,72
2.	00:07,2	20,60
3.	00:20	20,90
4.	00:09,6	20,60
5.	00:08,8	25,29
6.	00:06,2	24,47
7.	00:06,3	23,45
8.	00:06,2	22,43
\bar{x}	00:09	22,43
max	00:20	25,29
min	00:06,2	20,60
s	00:04,3	1,69
IS 95%	00:03	1,17
s^2	-	2,87

Tab. 17 naměřené hodnoty Du12, R10

	Čas (min:s)	Hydrostatická odolnost (cmH ₂ O)
1.	00:06,2	21,41
2.	00:08,6	25,49
3.	00:06,6	24,47
4.	00:08,9	24,47
5.	00:06,2	23,45
6.	00:08,1	21,41
7.	00:05,4	24,47
8.	00:07,7	24,47
\bar{x}	00:07,2	23,71
max	00:08,9	25,49
min	00:05,4	21,41
s	00:01,2	1,42
IS 95%	00:00,8	0,98
s^2	-	2,02

V tabulkách č.13-17 jsou zaznamenána data vzorků 1.-8. daného materiálu. Měřeno bylo na přístroji Řezáč při rychlosti zvyšování tlaku vody 10 cmH₂O/min. Rozptyly hydrostatické odolnosti jsou u daných měření nižší, než u měření SDL Atlas Hydrostatic Head Testeru M018 a čas testovaných vzorků byl naměřen též nižší. Příprava měření zkušebního materiálu byla na druhou stranu znatelně pracnější a časově náročnější než u SDL Atlasu. Upínání vyžaduje přesněji ustřižený vzorek i manipulaci s maticemi.

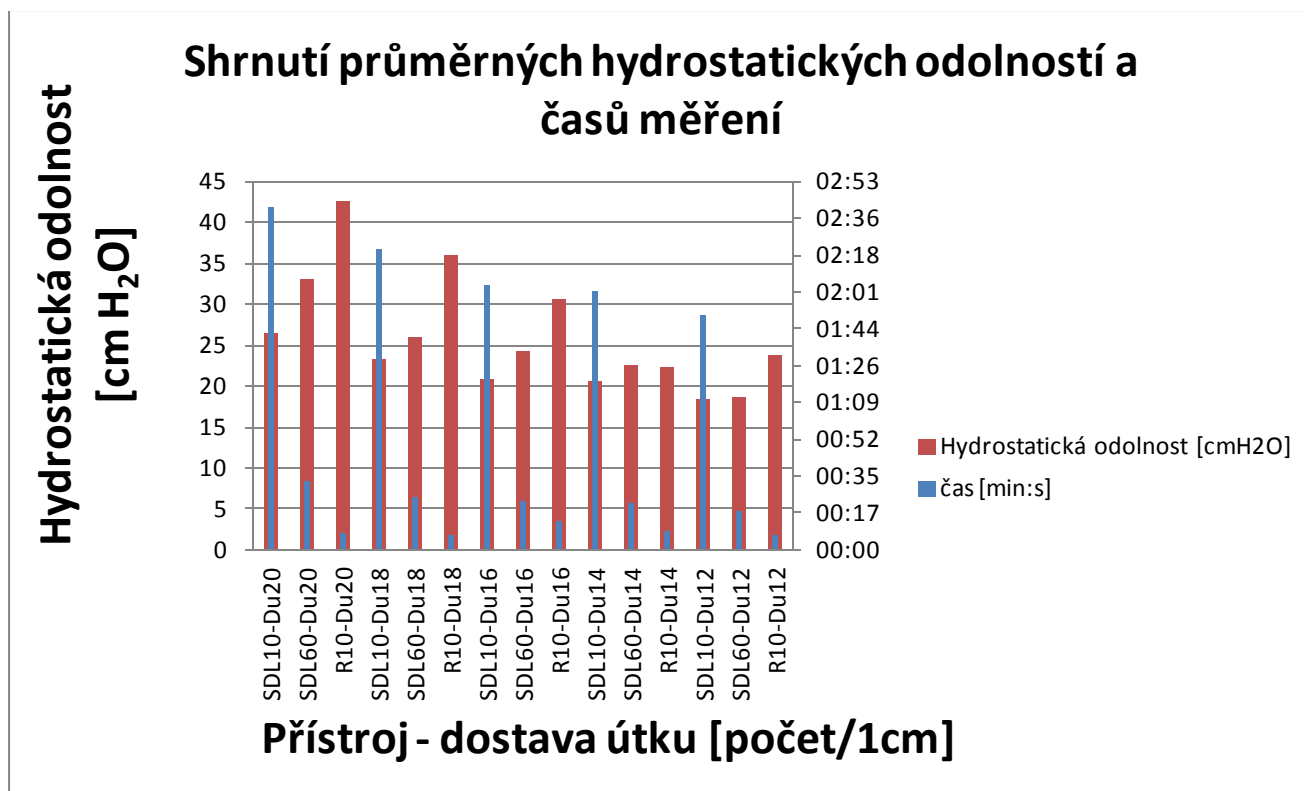
Nejvyšší rozptyl hydrostatické odolnosti, interval spolehlivosti a směrodatná odchylka byly zjištěny u Du14 v tabulce č.16. Nejnižší rozptyl hydrostatické odolnosti, interval spolehlivosti a směrodatná odchylka má naopak Du20 v tabulce č.13, kde bylo měření nejpřesnější.

Průměrné časové rozdíly v měřených materiálech si jsou velice blízké a jsou nezávislé na hustotě dostavy útku. Průměrná hydrostatická odolnost je u materiálu Du20-Du16 závislá na hustotě dostavy útku stejně jako u přístroje SDL Atlas, což znamená čím vyšší dostava útku tím vyšší hydrostatická odolnost. Ale u materiálu Du14-Du12 to neplatí, Du12 byl v daném průměru měření hydrostaticky odolnější, i když měl nižší dostavu útku.

8.4 Hodnocení a porovnání výsledků

Tab. 18 shrnutí průměrných hodnot hydrostatické odolnosti

	Průměrný čas měření (min:s)	Průměrná hydrostatická odolnost (cmH ₂ O)	IS 95% (±cmH ₂ O)	Průměrná hydrostatická odolnost (mbar)
SDL10-Du20	02:41	26,4	2,75	25,89
SDL60-Du20	00:33	33,2	1,2	32,56
R10-Du20	00:07,5	42,74	0,78	41,91
SDL10-Du18	02:21	23,25	2,02	22,8
SDL60-Du18	00:25	26,04	0,54	25,53
R10-Du18	00:06,6	36,07	1,17	35,38
SDL10-Du16	02:05	20,88	1,64	20,47
SDL60-Du16	00:23	24,28	1,36	23,81
R10-Du16	00:13,3	30,59	0,93	30
SDL10-Du14	02:01	20,53	2,27	20,13
SDL60-Du14	00:22	22,54	2,25	22,1
R10-Du14	00:09	22,43	1,17	22
SDL10-Du12	01:50	18,39	1,05	18,03
SDL60-Du12	00:18	18,7	1,91	18,34
R10-Du12	00:07,2	23,71	0,98	23,25



Obrázek č. 5 Graf shrnutí průměrů cmH₂O v závislosti na přístroji a průměrného času měření

Data z tabulek č.3-17 byla shrnuta do jedné tabulky, pomocí aritmetických průměrů pro lepší znázornění. Vyhodnocení bylo též znázorněno pomocí grafu. Klíčová data pro autorův záměr jsou aritmetické průměry časů a vodního sloupce (cmH₂O) v závislosti na měřicím přístroji a dostavě útku měřeného materiálu. Data jsou sdružená podle dostavy útku. Předpokladem bylo, že tyto hodnoty budou nejvíc podobné. To se ovšem nepotvrdilo, jak je diskutováno níže. V tabulce č. 18 jsou též shrnuty průměry hydrostatické odolnosti uvedené v milibarech a intervaly spolehlivosti pro hydrostatickou odolnost v cmH₂O. Pro přehlednost jsou uvedeny hodnoty v obou jednotkách hydrostatické odolnosti. Přístroj Řezáč totiž měří v milibarech a SDL Atlas v cmH₂O. Obě jednotky jsou v souladu s používanou normou.

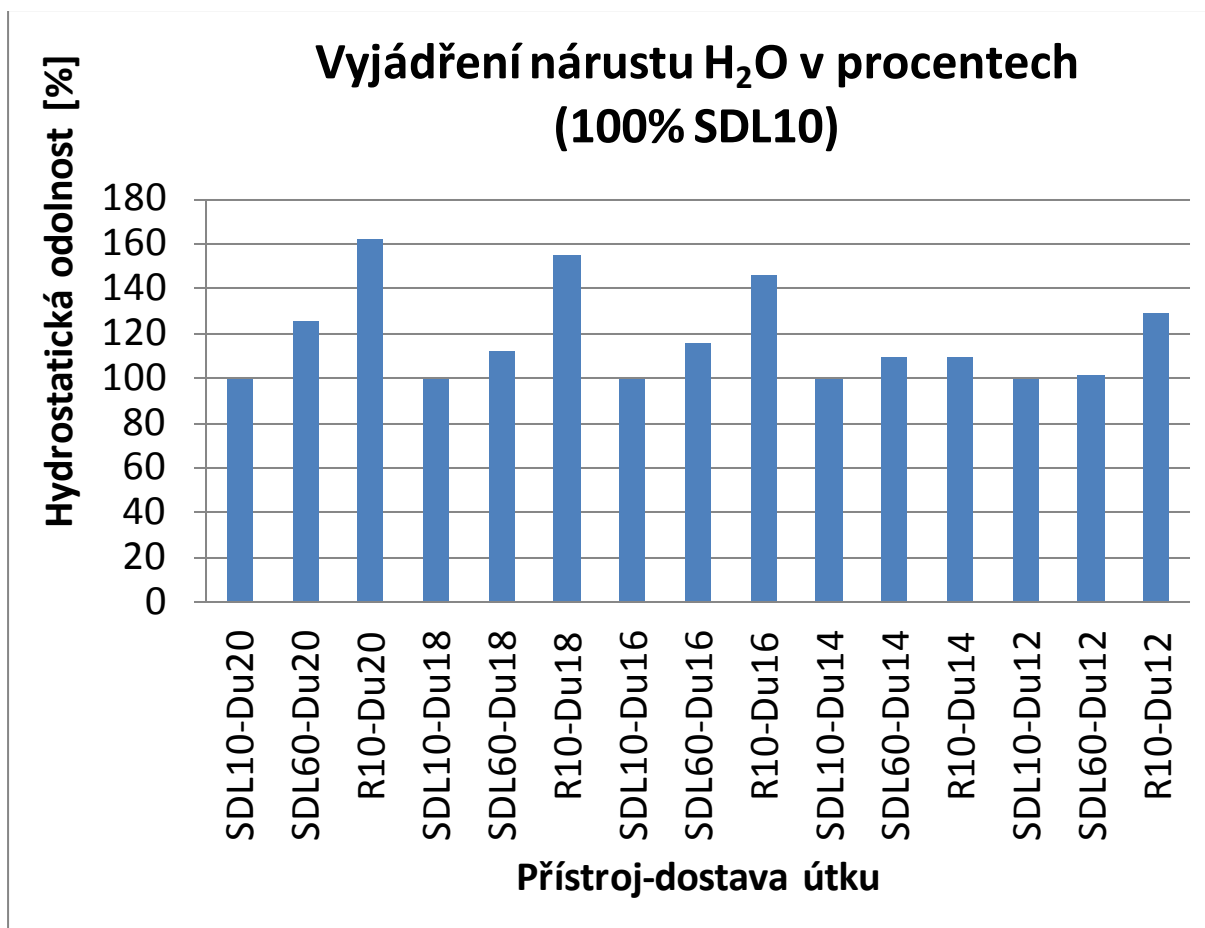
Převod jednotek byl proveden příslušně podle převodního vztahu.

(1 cm vodního sloupce = 0,98064 mbar)

V grafu (Obr. 5) je viditelné, že u materiálů Du20-Du12 docházelo ke stejnému trendu. SDL Atlas při rychlosti zvyšování tlaku vody 10 cmH₂O/min tedy nízký tlak, v porovnání se zvyšováním tlaku vody 60 cmH₂O/min a v porovnání s přístrojem Řezáč při stejné rychlosti zvyšování tlaku vody, naměřil vždy nejnižší průměrnou hodnotu vodního sloupce. I když u materiálu Du12 to bylo pouze o 0,31 průměrného vodního sloupce v porovnání s vyšší rychlostí zvyšování tlaku vody 60 cmH₂O/min. Zároveň veličiny u SDL Atlasu při rychlosti zvyšování tlaku vody 10 cmH₂O/min ukazuje u všech testovaných materiálů nejdelší časový průměr testů.

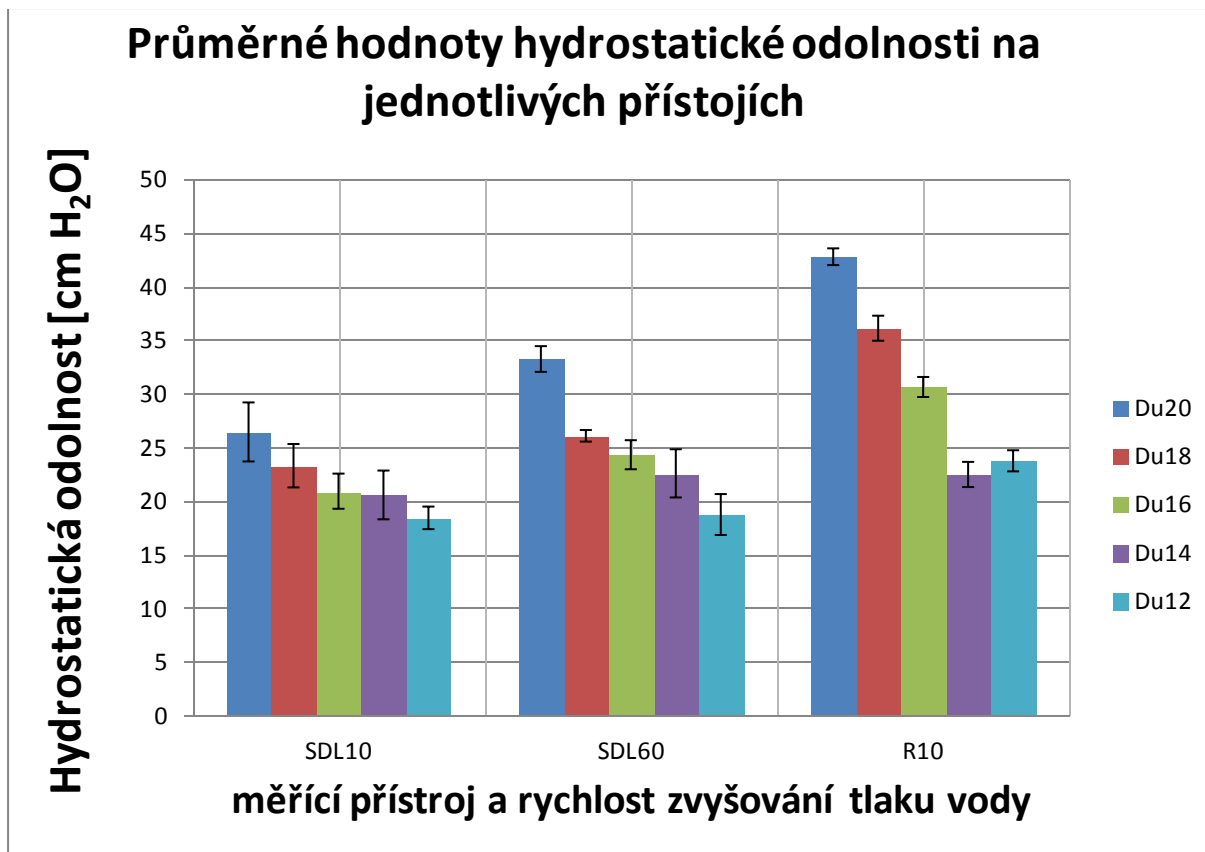
Průměry vyššího tlaku při rychlosti zvyšování tlaku vody 60 cmH₂O/min u přístroje SDL Atlas ukazují totožný trend u materiálů Du20-Du12. Tedy, že čím vyšší dostavu útku daný materiál měl, tím vyšší vodní sloupec byl naměřen. Průměrný čas rychlosti měření při 60 cmH₂O/min též klesal při každém materiálu s nižší dostavou útku. I když v rámci materiálů Du16-Du14 se jednalo v průměru pouze o 2 sekundy. Průměrné hodnoty při vyšším tlaku 60 cmH₂O/min jsou svojí velikostí hydrostatické odolnosti mezi průměry SDL Atlas 10 cmH₂O/min a Řezáčem 10 cmH₂O/min.

U materiálů Du20-Du16 platilo, čím vyšší dostava tím vyšší vodní sloupec. U materiálu Du14 a Du12 to neplatilo. Materiál Du12 měl průměrný vodní sloupec vyšší o 1,28 cmH₂O. Časové průměry testování byly u přístroje Řezáč nižší než průměry přístroje SDL Atlas. U průměrných časů u přístroje Řezáč ale neplatilo, že čím nižší dostava tím kratší průměrné testování. Tento jev byl tedy blíže prozkoumán pomocí znázornění rozdílu v procentech. Jako 100 % je zvolen nejběžnější způsob testování a tedy přírůstek 10 cmH₂O/min. Jako výchozí je také zvolen přístroj SDL Atlas, který je rozšířen po celém světě, a tedy jeho vypovídací hodnota je dostatečně ověřena. Pro každou dostavu byl tedy zvolen příslušný postup označený 100% SDL10.



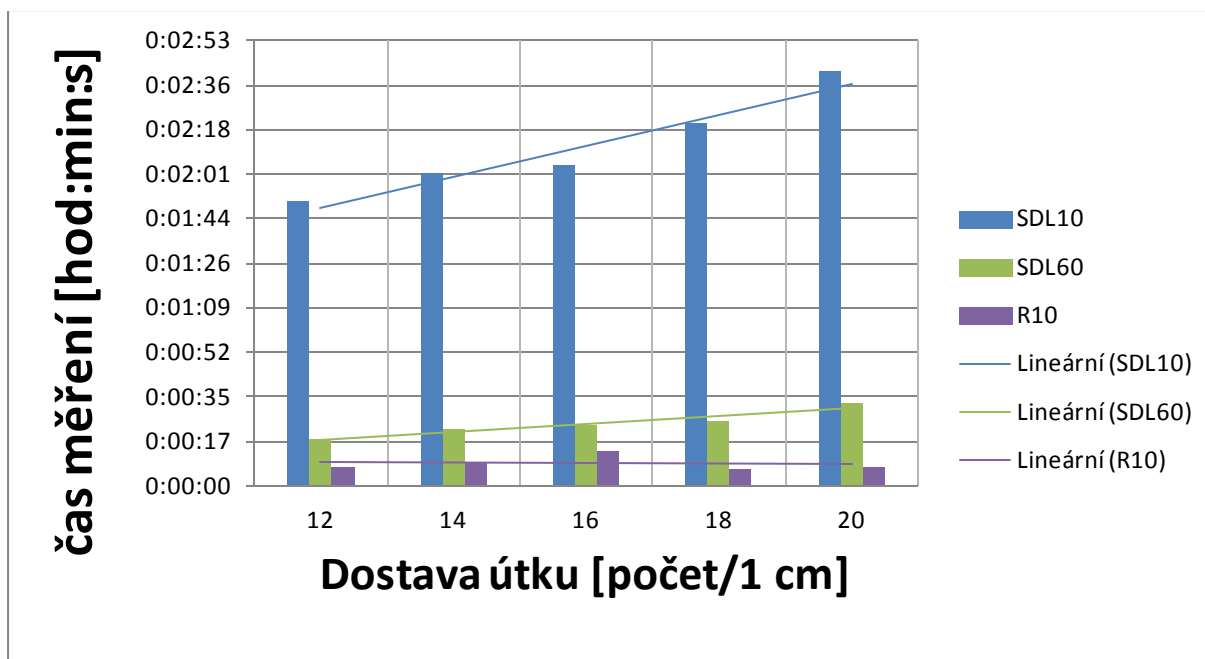
Obrázek č. 6 Graf vyjádření hydrostatické odolnosti v procentech (když 100% SDL10)

V grafu (Obr. 6) je vynesena průměrná hydrostatická odolnost v procentech, kde u každého materiálu Du20-Du12 je 100% znázorněno na přístroji SDL Atlas při rychlosti zvyšování tlaku vody 10 cmH₂O/min. Pomocí grafu byl potvrzen stejný trend, jako na obrázku č. 5, že na přístroji SDL Atlas při rychlosti zvyšování tlaku vody 10 cmH₂O vyšly průměrné hydrostatické odolnosti všech materiálů nejnižší. Poněvadž žádný z ostatních měřených materiálů neklesl pod 100%. Souvislost s rychlostí testování je zřejmá. Hydrostatická odolnost je při pomalejším testování nižší ve všech případech. Zároveň s vyšší dostavou útku je dokonce tento efekt ještě výraznější. Vyšší dostava zajišťuje vyšší hydrostatickou odolnost materiálu a to především při rychlejším působení tlaku vodního sloupce.



Obrázek č. 7 Graf průměrné hodnoty hydrostatické odolnosti na přístrojích SDL Atlas a Řezáč

V grafu (Obr. 7) jsou znázorněny výsledky měření na jednotlivých přístrojích. Dané sloupce dle barvy znázorňují průměr konkrétního materiálu. Na přístroj Řezáč byly naměřeny zřetelně vyšší hodnoty cmH_2O až na jednu výjimku u materiálu Du 14, kde přístroj SDL Atlas při rychlosti zvyšování tlaku vody $60 \text{ cmH}_2\text{O}/\text{min}$ naměřil o $0,11 \text{ cmH}_2\text{O}$ více než Řezáč. Nicméně statistický rozdíl není významný, protože rozpětí konfidenčních intervalů se překrývá. V našem případě je vypovídací hodnota částečně omezena překrývajícími se konfidenčními intervaly u sousedních materiálů, protože je dostava různá jen o dvě nitě na centimetr. Lze však konstatovat, že obecně s vyšší dostavou je hydrostatická odolnost vyšší, jak odpovídá teoretickému předpokladu.

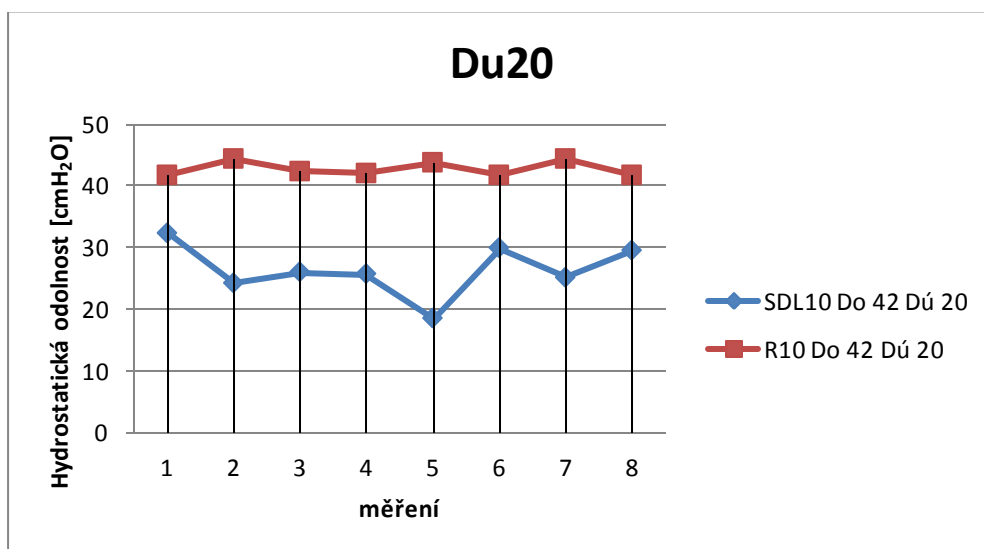


Obrázek č. 8 Graf shrnutí průměrných časů měření na přístrojích SDL Atlas a Řezáč

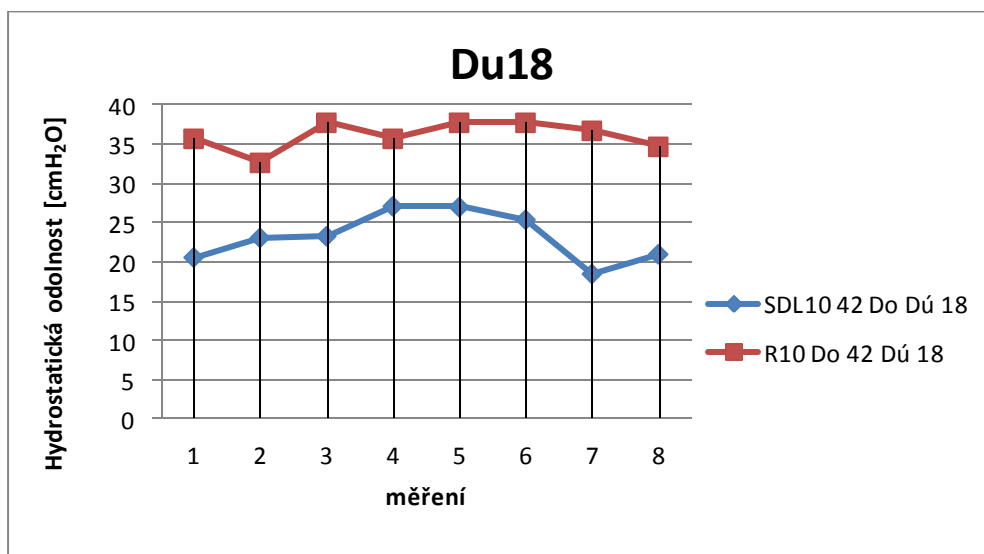
V grafu (Obr. 8) jsou znázorněny průměrné časy měření na přístroji SDL Atlas při rychlosti zvyšování tlaku vody 10 a 60 cmH₂O/min a na přístroji Řezáč při rychlosti zvyšování tlaku vody 10 cmH₂O/min. Na boční ose jsou vyznačeny časové údaje v minutách a sekundách a na spodní ose jsou vyznačeny dostavy útků jednotlivých materiálů. Sloupce jsou barevně znázorněny na jakém přístroji a při jaké rychlosti zvyšování tlaku vody bylo měřeno. Je zcela jisté, že nejdéle průměrné měření trvalo přístroji SDL Atlas při rychlosti 10 cmH₂O, také čas s hustší dostavou materiálu nejvíce rostl, to je znázorněno pomocí lineárního trendu. Nejvyšší průměrný čas byl zaznamenán u materiálu Du12 při rychlosti zvyšování tlaku vody 10 cmH₂O/min na přístroji SDL Atlas jednalo se o čas 2 minuty a 41 sekund. Nejnižší a vyrovnané časy měl přístroj Řezáč, vyrovnanost značí i téměř konstantní lineární trend. Na přístroji SDL Atlas při rychlosti zvyšování tlaku vody 60 cmH₂O platilo stejně jako u nižšího tlaku, že lineární trend rostl při každé vyšší hustotě dostavy útku daného materiálu, ale růst už není tak zřetelně velký jako u nižšího tlaku.

9. Shoda přístrojů SDL Atlas a Řezáč při rychlosti zvyšování tlaku vody 10 cmH₂O/min

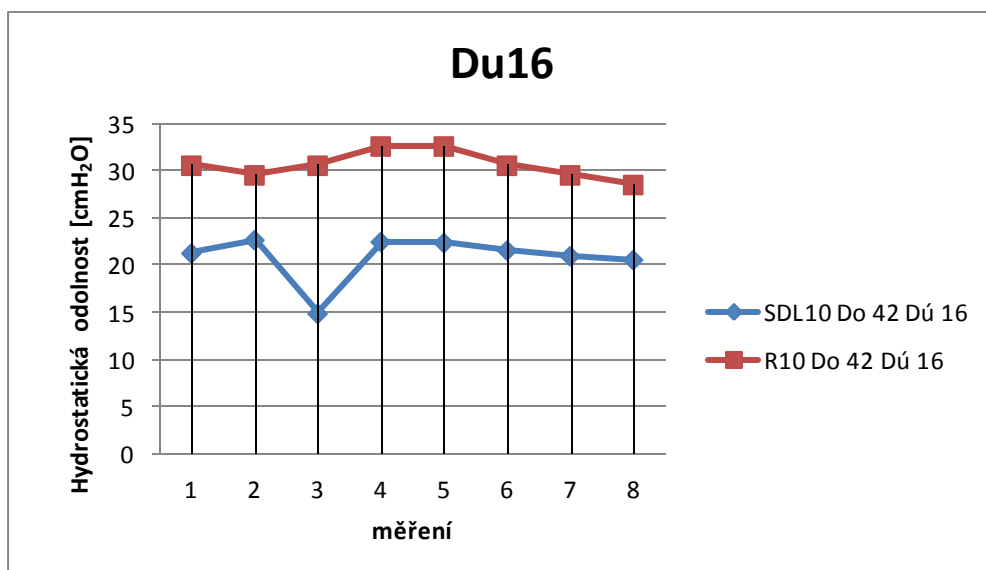
Manuální příprava přístrojů a následné měření vzorků je dle autora důležitý prvek uživatelského komfortu. Na přístroji SDL Atlas sice bylo průměrné měření při rychlosti zvyšování tlaku 10 cmH₂O/min znatelně delší než na přístroji Řezáč, výsledky jsou znázorněny v grafech viz. (Obr. 5 a obr. 8). Ale manuální příprava vzorků a následná příprava přístroje byla dle autora méně náročná a uživatelsky přívětivější u přístroje SDL Atlas. Na následujících grafech bude znázorněna rozdílnost měření mezi jednotlivými přístroji v naměřených hodnotách vodního sloupce u dané dostavy materiálu. Též bude znázorněna shoda rozptylů (tzv. F-test) u daných materiálech.



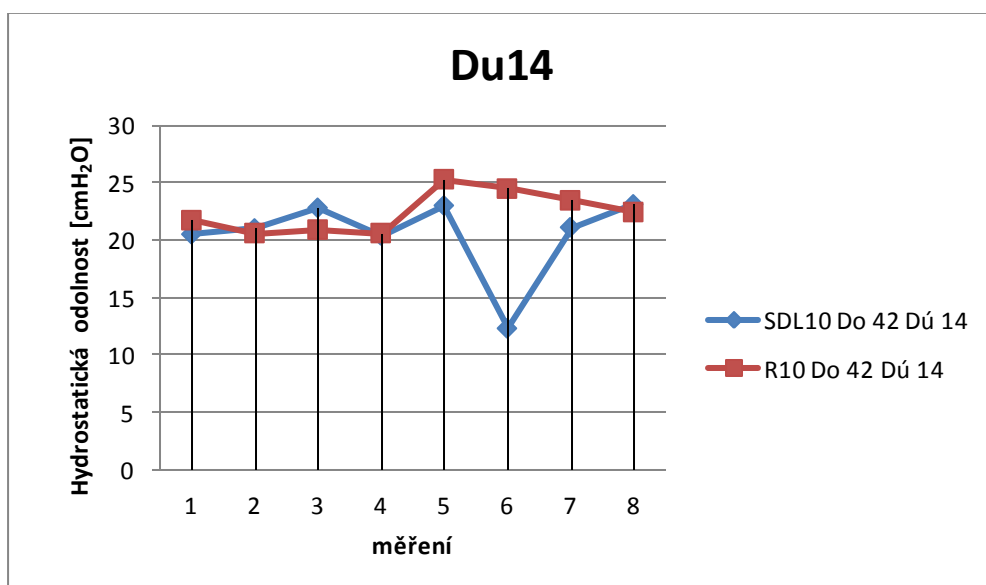
Obrázek č. 9 Graf znázornění hydrostatické odolnosti u materiálu Du20



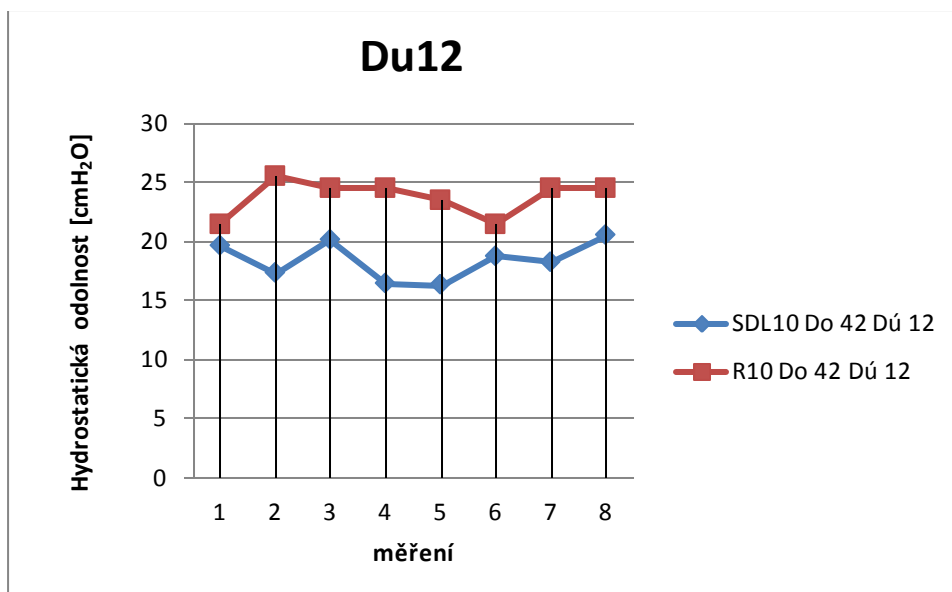
Obrázek č. 10 Graf znázornění hydrostatické odolnosti u materiálu Du18



Obrázek č. 11 Graf znázornění hydrostatické odolnosti u materiálu Du16



Obrázek č. 12 Graf znázornění hydrostatické odolnosti u materiálu Du14

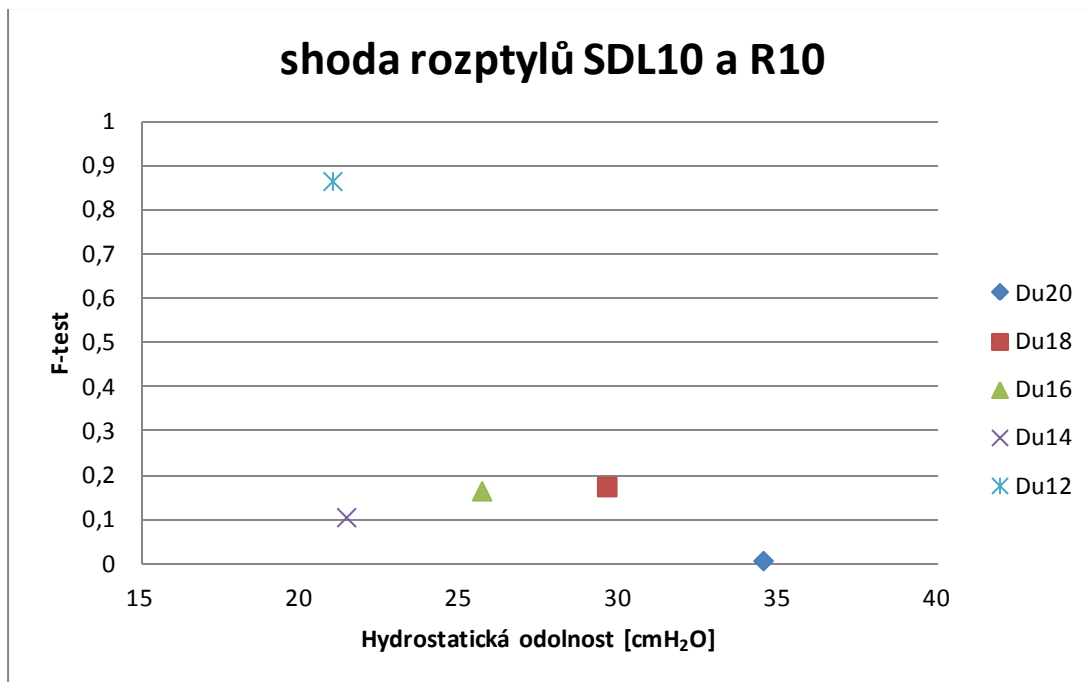


Obrázek č. 13 Graf znázornění hydrostatické odolnosti u materiálu Du12

V grafech (Obr. 9-13) jsou znázorněna jednotlivá měření hydrostatické odolnosti daného materiálu na přístroji SDL Atlas a Řezáč. SDL Atlas je označen modrou barvou a Řezáč červenou. Pomocí spojnicových grafů je potvrzeno, že téměř ve všech případech byla na přístroji Řezáč naměřena vyšší hydrostatická odolnost materiálů při deklarovaném stejném přírůstku tlaku za minutu. Pouze u materiálu Du14, byly naměřeny 3 vyšší hodnoty na přístroji SDL Atlas, ale z toho 2 pouze o desetiny cmH₂O.

Tab. 19 shoda rozptylů příst. pro daný materiál a průměrné cmH₂O z obou příst.

	F-test
SDL10,R10-Du20	0,00361982
SDL10,R10-Du18	0,1709963
SDL10,R10-Du16	0,16143231
SDL10,R10-Du14	0,10184123
SDL10,R10-Du12	0,86149618



Obrázek č. 14 Graf znázornění shody rozptylů(F-test) pro daný materiál na průměrném cmH₂O z obou příst.

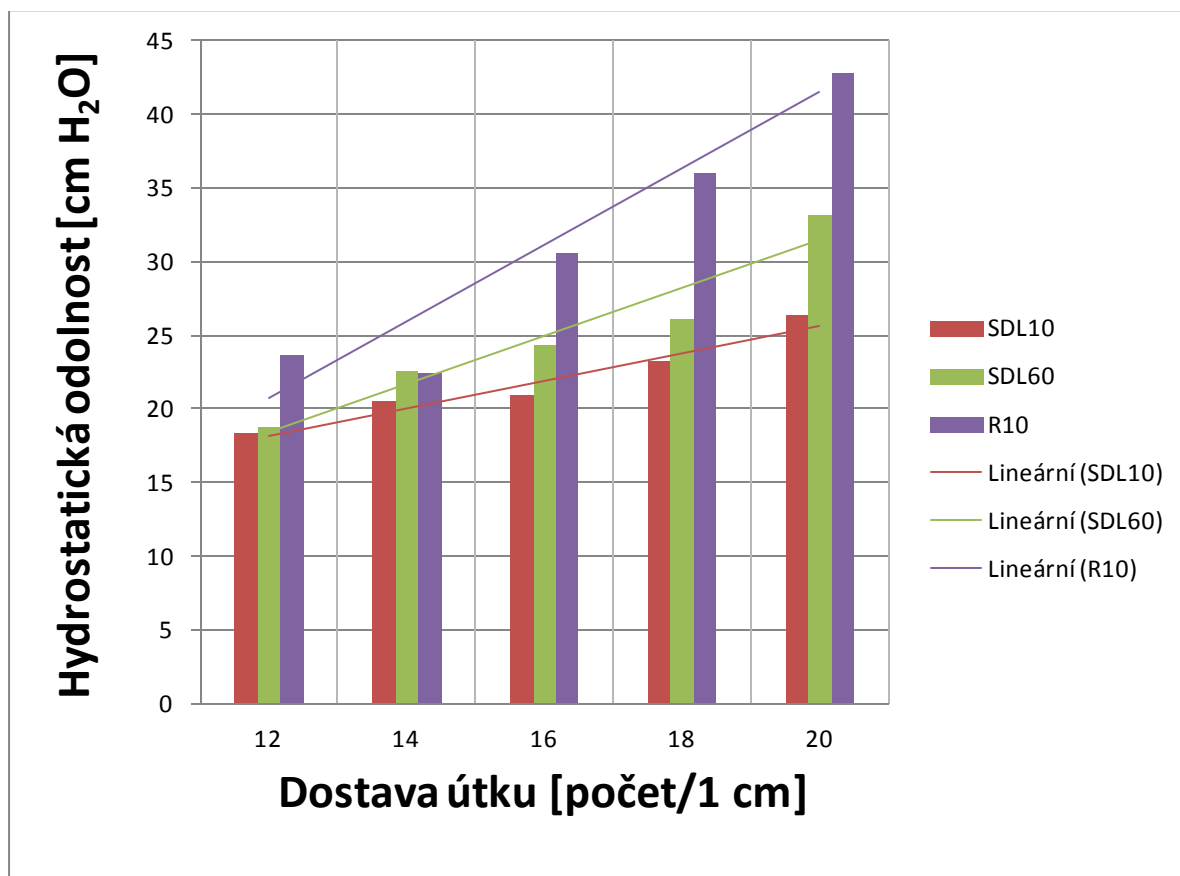
F-test prokázal malou shodu rozptylů u 4 materiálů, blízká shoda byla pouze u materiálu Du12. Je to dáno především tím, že u 8 vzorků u přístroje SDL Atlas u zmiňovaných 4 materiálů došlo k alespoň jednomu měření s odchylkou od ostatních vzorků. Průměr z obou přístrojů dokázal, že platilo čím nižší dostava útku tím nižší v.s. daný materiál měl. F-test byl zpracován pomocí softwaru Excel od společnosti Microsoft.

Shrnutí a výsledky

Přibližná shoda u měřících přístrojů nastala pouze v jednom případě u materiálu Du14. Jednalo se o materiál s druhou nejnižší dostavou útku. Potvrdila se u ní hypotéza shody měřených výsledků ± 5 cmH₂O viz. tabulka č.20. Materiál Du12 měl u obou přístrojů také blízkou shodu rozptylů, která byla ověřena pomocí F-testu viz. tabulka č.19 a obrázek č. 14. Také materiál Du12 měl i blízko k potvrzení hypotézy, ale rozdíl lehce překročil předem definované maximum a ani shoda rozptylů nebyla u tohoto materiálu prokázána. U materiálů Du20,18,16,12 se hypotéza nepotvrdila a byla tedy zamítnuta, spíše než shoda se u materiálu Du20 a Du18 jednalo o rozdílnost v měření měřících přístrojů.

Tab. 20 shrnutí průměry přístrojů a rozdílnost průměrů hydrostatické odolnosti v cmH₂O

	SDL10 průměry hydrostatické odolnosti (cmH ₂ O)	R10 průměry hydrostatické odolnosti (cmH ₂ O)	rozdíl průměrů hydrostatické odolnosti (cmH ₂ O)
SDL10,R10-Du20	26,4	42,74	16,34
SDL10,R10-Du18	23,25	36,07	12,82
SDL10,R10-Du16	20,88	30,59	9,72
SDL10,R10-Du14	20,53	22,43	1,91
SDL10,R10-Du12	18,4	23,71	5,32
celkový průměr	21,9	31,11	9,22



Obrázek č. 15 Graf shrnutí průměrů hydrostatické odolnosti měřících přístrojů na počet útků materiálu

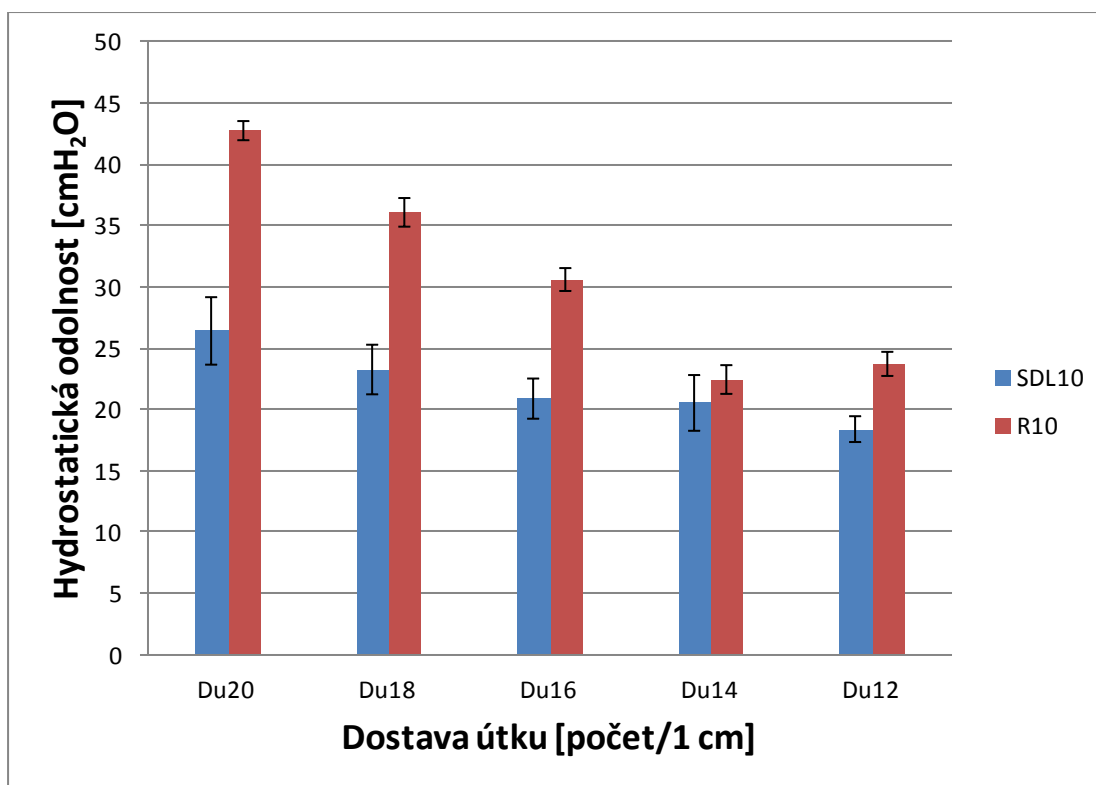
V tabulce č. 20 a grafu (Obr. 15) jsou znázorněna výsledková průměrná data hydrostatické odolnosti měřících přístrojů SDL Atlasu a Řezáče v hodnotách hydrostatické odolnosti (cmH₂O). Z celkových průměrů rozdílů v tabulce č.20 vyplývá, že hypotéza shody měření měřících přístrojů ± 5 cmH₂O/min je zamítnuta. Průměrně je rozdíl o 9,22 cmH₂O vyšší než definované maximum a je to zároveň významný rozdíl i vzhledem k celkovým hodnotám hydrostatické odolnosti kdy nejnižší hodnota, SDL10-Du12, je pouhým dvojnásobkem tohoto průměrného rozdílu. Nejvyšší rozdílnosti byly naměřeny na materiálu Du20, nejvyšší shoda měření byla naměřena na materiálu Du14. Pro bližší specifikaci shody, či rozdílnosti by bylo zapotřebí mnohem více vzorků při vyšší variabilitě dostav, aby se minimalizoval vliv odchylek měření. Autorem naměřená data i jeho praktické zkušenosti s danými přístroji ukazují, že rozdílnost mezi SDL Atlasem a Řezáčem je při užívání nízkých tlaků velice pravděpodobná. Při hodnocení výsledků je nutné vždy uvádět přístroj, na kterém byly výsledky naměřeny a srovnávat pouze v rámci konkrétního přístroje. Při standardizovaném nastavení není zcela možné zaručit, že budou výsledky srovnatelné z různých přístrojů. V budoucnu by bylo přínosem, kdyby byl použit ve srovnání ještě jiný testovací přístroj.

Tab. 21 horní a dolní mez dle IS 95% pro průměry cmH₂O na přístroji SDL Atlas

Přístroj-dostava útku	Horní mez IS 95%	Dolní mez IS 95%
SDL10-Du20	29,15	23,65
SDL10-Du18	25,27	21,23
SDL10-Du16	22,51	19,24
SDL10-Du14	22,80	18,25
SDL10-Du12	19,44	17,33

Tab. 22 horní a dolní mez dle IS 95% pro průměry cmH₂O na přístroji Řezáč

Přístroj-dostava útku	Horní mez IS 95%	Dolní mez IS 95%
R10-Du20	43,52	41,96
R10-Du18	37,24	34,90
R10-Du16	31,53	29,65
R10-Du14	23,61	21,26
R10-Du12	24,69	22,72



Obrázek č. 16 Graf průměrné hydrostatické odolnosti při rychlosti zvyšování tlaku vody 10 cmH₂O/min u přístrojů SDL Atlas a Řezáč

V tabulce č. 21 a č. 22 jsou vypočítané horní a dolní meze z průměrných hydrostatických odolností. K výpočtu byly použity data IS 95% z tabulek č. 3-7 a č. 13-17. K výpočtu horní meze se daná hodnota IS 95% přičítá k aritmetickému průměru hydrostatické odolnosti a k výpočtu dolní meze se hodnota IS 95% odečítá od aritmetického průměru hydrostatické odolnosti daného materiálu.

V grafu (Obr.16) je znázorněna průměrná hydrostatická odolnost daných materiálů Du20-Du12 a také jejich horní a dolní mez konfidenčních intervalů, která je znázorněna pomocí chybových úseček. Měřicí přístroje SDL Atlas Hydrostatic Head Tester M018 a Řezáč se shodli pouze v materiálu Du14. U materiálu Du12, se dolní mez IS 95% přístroje Řezáč liší od průměrné hydrostatické odolnosti SDL Atlasu o 4,32 cmH₂O. Dolní mez přístroje Řezáč a horní mez SDL Atlasu u materiálu Du12 se liší pouze o 3,28 cmH₂O. Což u materiálu Du12, potvrzuje hypotézu ± 5 cmH₂O. U prvních třech materiálů je však rozdílnost znatelná a překračuje ± 5 cmH₂O. Tudíž je hypotéza stále zamítnuta. I tímto znázorněním je prokázáno, že se měřicí přístroje ve svém měření při nízkém tlaku liší, jak je možné soudit podle testovaných materiálů v této bakalářské práci.

ZÁVĚR

Hydrostatická odolnost podle normy ČSN EN 811 (80 0818) je metoda testování odolnosti textilních materiálů vůči průniku vody, která je k textilií přiváděna pod narůstajících tlakem. Odolnost je při nízkých odolnostech odečtena ve chvíli průniku třetí kapky, a tedy porušení minimálně na třech místech. Odolné, a především laminované materiály nebyly v této práci řešeny, a nebylo tedy uvažováno porušení materiálu prasknutím. Cílem práce bylo ověření shody výsledků hydrostatické odolnosti dvou přístrojů SDL Atlas a Řezáč pro materiály, které mají hydrostatickou odolnost při nízkých tlacích a porušení kapkami.

Rešeršní část práce popisovala mechaniku tekutin, smáčivost a vzlínavost textilií, propustnost vody a porovnání hydrostatické odolnosti textilních materiálů, bublinkovou metodu, informace o zkoušce hydrostatické odolnosti a popis měřících přístrojů dle návodu výrobců.

Měřené materiály, které byly použity v experimentální části práce, byly vybrány ze sady s jednou dostavou osnovy a variabilní dostavou útku s malým přírůstkem. Bylo tak možné hodnotit i trend různých dostav, který byl s rostoucí dostavou jednoznačně stoupající u obou přístrojů i všech rychlostí přírůstku vodního sloupce.

Měření probíhalo při výrobcem deklarovaných podmínkách a standardním postupem. Srovnání podléhaly především výsledky testování při zvyšování tlaku vody 10 cmH₂O /min. Změřením 120 vzorků a ověřením shody u 80 z nich, kde přístroje měřili stejnou rychlostí zvyšování tlaku vody 10 cmH₂O /min, se ukázalo, že se přístroje v měření příliš neshodují. Výsledky měření byly statisticky vyhodnoceny a následně zobrazeny v tabulkách a grafech.

Autor ze svého praktického úhlu pohledu shledává pro měření lepším přístrojem SDL Atlas Head Tester M018, z důvodu lehčího obsluhování před měřením, a protože přístroj zaznamenává i čas u každého testu. Méně odolné materiály mohou být negativně ovlivněny složitější manipulací při testování na přístroji Řezáč, i proto že u tohoto přístroje vzorky leží na vodní hladině déle, než je možné spustit test.

Další výzkum by bylo vhodné zaměřit na srovnání s dalším přístrojem, širším rozsahem dostav testovaných materiálů nebo při jiných než normovaných přírůstcích tlaku.

Seznam literatury

- [1] NOVOTNÝ, Petr. *Pracovní sešit z Mechaniky tekutin pro kombinované studium*. Část 1. Vyd. 5. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2012. ISBN 978-80-7372-902-8.
- [2] HES, Luboš a Petr SLUKA. *Úvod do komfortu textilií*. Liberec: Technická univerzita, 2005. ISBN 80-7083-926-0.
- [3] M018 Hydrostatic Head Tester. Service Manual. Rev. 2.0, SDL Atlas.
- [4] RŮŽIČKOVÁ, Dagmar. *Oděvní materiály*. Liberec: Technická univerzita, Textilní fakulta, 2003. ISBN 80-7083-682-2.
- [5] Manuál pro Přístroj na měření hydrostatické odolnosti. Firma Řezáč. Použito dne 26.03.2020
- [6] BRDIČKA, Miroslav a Ladislav SAMEK. *Mechanika kontinua*. Vyd. 2., opr. Praha: Academia, 2000. Česká matice technická, roč. CV, 2000, č. 481. ISBN 80-200-0772-5.
- [7] HRŮZA J.: Automobilové filtry, [přednáška], Liberec, TUL, 2009.
- [9] MILITKÝ, Jiří. *Textilní vlákna: klasická a speciální*. [2. vydání]. V Liberci: Technická univerzita, 2012. ISBN 978-80-7372-844-1.
- [10] Příklady z fyzikální chemie online [online]. 2013 [cit. 19.02.2020]. Dostupné z: <http://www.vscht.cz/fch/prikladnik/prikladnik/p.12.1.html>
- [11] ČSN EN 20 811 (80 0818). *Textilie: Stanovení odolnosti proti pronikání vody – Zkouška tlakem vody*. Praha: Český normalizační institut, 1994.
- [12] Převést Tlak, Centimetrů vodního sloupce. [online]. Copyright ©2005 [cit. 25.03.2020]. Dostupné z: <https://www.convertworld.com/cs/tlak/centimetru-vodniho-sloupce.html>
- [13] DRAHOKOUPILOVÁ, Andrea. *Hodnocení odolnosti proti pronikání vody u materiálu tzv. třetí vrstvy*. Liberec, 2015. Bakalářská práce. Technická univerzita v Liberci. Fakulta textilní. Vedoucí práce Ing. Pavla Těšinová, Ph.D
- [14] RÁSLOVÁ, Marcela. *Hydrostatická odolnost textilií používaných pro sport*. Liberec, 2012. Diplomová práce. Technická univerzita v Liberci. Fakulta textilní. Vedoucí práce Ing. Pavla Těšinová, Ph.D

[15] AATCC 127 : Test Method for Water Resistance: Hydrostatic Pressure. *IHS Markit Standards Store / Engineering & Technical Information* [online]. Copyright © 2020 IHS Markit Inc. All Rights Reserved. [cit. 22.06.2020]. Dostupné z:
https://global.ihs.com/doc_detail.cfm?rid=BSD&document_name=AATCC%20127

[16] Hydrostatic Pressure Test | Nelson Labs. *Nelson Labs - Microbiology Testing Lab* [online]. Copyright © 2019 All rights reserved [cit. 22.06.2020]. Dostupné z:
<https://www.nelsonlabs.com/testing/hydrostatic-pressure/>

[17] Liquid barrier performance and classification of protective apparel and drapes intended for use in health care facilities. *Cdc.gov* [online]. Nelson Laboratories, Inc. - Salt Lake City, UT, 84123, 2015 [cit. 22.06.2020]. Dostupné z:
<https://wwwn.cdc.gov/PPEInfo/Standards/Info/ANSI/AAMIPB70Class3>

[18] ČSN EN 13795. *Technicke-normy-csn.cz* [online]. [cit. 22.06.2020]. Dostupné z:
http://www.technicke-normy-csn.cz/855810-csn-en-13795_4_89143.html

Seznam obrázků

Obrázek č. 1 Úhel smáčení [10]	13
Obrázek č. 2 Bublincová metoda [7]	16
Obrázek č. 3 SDL Atlas Hydrostatic Head Tester M018 [5]	17
Obrázek č. 4 Ověření rychlosti zvyšování tlaku vody přístroje Řezáč	20
Obrázek č. 5 Graf shrnutí průměrů cmH ₂ O v závislosti na přístroji a průměrného času měření	41
Obrázek č. 6 Graf vyjádření hydrostatické odolnosti v procentech (když 100% SDL10).....	43
Obrázek č. 7 Graf průměrné hodnoty hydrostatické odolnosti na přístrojích SDL Atlas a Řezáč	44
Obrázek č. 8 Graf shrnutí průměrných časů měření na přístrojích SDL Atlas a Řezáč	45
Obrázek č. 9 Graf znázornění hydrostatické odolnosti u materiálu Du20	46
Obrázek č. 10 Graf znázornění hydrostatické odolnosti u materiálu Du18	46
Obrázek č. 11 Graf znázornění hydrostatické odolnosti u materiálu Du16	47
Obrázek č. 12 Graf znázornění hydrostatické odolnosti u materiálu Du14	47
Obrázek č. 13 Graf znázornění hydrostatické odolnosti u materiálu Du12	48
Obrázek č. 14 Graf znázornění shody rozptylů(F-test) pro daný materiál na průměrném cmH ₂ O z obou příst.	49
Obrázek č. 15 Graf shrnutí průměrů hydrostatické odolnosti měřících přístrojů na počet útků materiálu.....	50
Obrázek č. 16 Graf průměrné hydrostatické odolnosti při rychlosti zvyšování tlaku vody 10 cmH ₂ O/min u přístrojů SDL Atlas a Řezáč.....	52

Seznam tabulek

Tab. 1 popis materiálů.....	25
Tab. 2 popis přístrojů	30
Tab. 3 naměřené hodnoty Du20, SDL10.....	31
Tab. 4 naměřené hodnoty Du18, SDL10.....	31
Tab. 5 naměřené hodnoty Du16, SDL10.....	32
Tab. 6 naměřené hodnoty Du14, SDL10.....	32
Tab. 7 naměřené hodnoty Du12, SDL10.....	33
Tab. 8 naměřené hodnoty Du20, SDL60.....	34
Tab. 9 naměřené hodnoty Du18, SDL60.....	34
Tab. 10 naměřené hodnoty Du16, SDL60.....	35
Tab. 11 naměřené hodnoty Du14, SDL60.....	35
Tab. 12 naměřené hodnoty Du12, SDL60.....	36
Tab. 13 naměřené hodnoty Du20, R10	37
Tab. 14 naměřené hodnoty Du18, R10	37
Tab. 15 naměřené hodnoty Du16, R10	38
Tab. 16 naměřené hodnoty Du14, R10	38
Tab. 17 naměřené hodnoty Du12, R10	39
Tab. 18 shrnutí průměrných hodnot hydrostatické odolnosti.....	40
Tab. 19 shoda rozptylů příst. pro daný materiál a průměrné cmH ₂ O z obou příst.....	48
Tab. 20 shrnutí průměry přístrojů a rozdílnost průměrů v cmH ₂ O (v.s.).....	50
Tab. 21 horní a dolní mez dle IS 95% pro průměry cmH ₂ O na přístroji SDL Atlas.....	51
Tab. 22 horní a dolní mez dle IS 95% pro průměry cmH ₂ O na přístroji Řezáč	51