

# Hodnocení trvanlivosti funkčních bariérových voděodolných textilií pro sportovní účely

## Diplomová práce

*Studijní program:*

N3106 Textilní inženýrství

*Studijní obor:*

Oděvní a textilní technologie

*Autor práce:*

**Bc. Iveta Harcubová**

*Vedoucí práce:*

Ing. Katarína Zelová, Ph.D.

Katedra oděvnictví



## Zadání diplomové práce

# Hodnocení trvanlivosti funkčních bariérových voděodolných textilií pro sportovní účely

*Jméno a příjmení:* **Bc. Iveta Harcubová**  
*Osobní číslo:* T18000064  
*Studijní program:* N3106 Textilní inženýrství  
*Studijní obor:* Oděvní a textilní technologie  
*Zadávající katedra:* Katedra oděvnictví  
*Akademický rok:* 2018/2019

### Zásady pro vypracování:

1. Proveďte rešerši zaměřenou na hodnocení odolnosti, trvanlivosti, namáhání outdoorových materiálů pro sportovní aktivitu, vysokohorskou turistiku. Zpracujte přehled současných metod, zařízení simulující reálné nošení oděvu.
  2. Analyzujte klady a zápory současných zařízení pro testování mačkavosti. Proveďte přehled norem používaných pro testování cyklického namáhání textilií ohýbáním nebo mačkáním.
  3. Realizujte inovaci zařízení pro cyklické mačkání textilií.
  4. Experimentálně zhodnoťte vliv cyklického mačkání na vybrané vlastnosti důležité pro funkční bariérové voděodolné textilie. Formulujte závěrečné zjištění o poškození a odolnosti voděodolných textilií vlivem cyklického namáhání mačkáním.
-

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

dle rozsahu dokumentace  
cca 60 stran  
tištěná  
Čeština



### **Seznam odborné literatury:**

- ČSN EN ISO 7854 – Textilie povrstvené pryží nebo plasty – Zjišťování odolnosti proti poškození ohybem. Praha: Český normalizační institut, 1998, str. 16.
- PADLECKIENE, I., PETRULIS, D. Monitoring flexing fatigue damage in the coating of breathable-coated textile. *Fibres Text East Eur.* 2010, 18, pp. 73-77.
- PADLECKIENE, I., PETRULIS, D., RUBEZIENE, V., VALIENE, V., ABRAITIENE, A. Breathability and Resistance to Water Penetration of Breathable-Coated Textiles after Cyclic Mechanical Treatments. *Materials Science-Medziagotyra.* 2009, 15(1), pp. 69-74.
- TROYNIKOV, O., NAWAZ, N., WATSON, CH. Durability of vapor-permeable waterproof textile materials used in sailing protective apparel. *Textile Research Journal.* 2018, 88(24), pp. 2825-2840.
- FUNG, W. *Coated and Laminated Textiles.* Cambridge England: The Textile Institute, Woodhead Publishing, 2002. ISBN 1855735768.

*Vedoucí práce:*

Ing. Katarína Zelová, Ph.D.  
Katedra oděvnictví

*Datum zadání práce:*

25. února 2019

*Předpokládaný termín odevzdání:*

29. května 2020

Ing. Jana Drašarová, Ph.D.  
děkanka



prof. Dr. Ing. Zdeněk Kůs  
vedoucí katedry

## 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.

21. května 2020

Bc. Iveta Harcubová

---

## Poděkování

Chtěla bych poděkovat Ing. Bc. Kataríně Zelové PhDr., vedoucí mé diplomové práce, za vedení a konzultace při zpracování teoretické i praktické části práce a poskytnutí materiálu k testování T2,T3,T4,T5.

Dále panu Václavu Novotnému z firmy Direct Alpine, za poskytnutí materiálu T2 a T6. Svému příteli Romanovi Horčicovi za velkou podporu při studiu, za cenné rady a pomoc s realizací zařízení M2.

Ing. Janě Grabmüllerové za mikroskopické snímky ze skenovací elektronové mikroskopie.

Děkuji rovněž paní Blance Peterkové a všem, kteří mi přispěli při psaní svými zkušenostmi a připomínkami.

Děkuji

---

## **Anotace**

Diplomová práce se zabývá charakteristikou materiálů pro vysokohorskou turistiku a oděvy do deště a normami určujícími obecné požadavky na provedení výrobků, jejich kvalitu, nezávadnost a funkčnost. Je zde rovněž uveden současný výzkum mechanického namáhání materiálů bariérových oděvů. Práce je především zaměřena na inovaci přístroje na cyklické namáhání. Zkonstruovaný přístroj M2 umožňuje vysoký počet deformačních cyklů pootočením a stlačením textilie o 180 stupňů. Jedná se o stanovení mačkovosti pomocí dutého válce. Závěr práce vyhodnocuje vliv počtu cyklů na poškození materiálu, pokles paropropustnosti a výšky vodního sloupce u bariérových textilií.

***Klíčová slova:*** *Bariérová textilie, metoda dutý válec, odolnost, mechanické namáhání, cyklické namáhání, inovace, paropropustnost, vodní sloupec*

## **Annotation:**

The diploma thesis deals with the characteristics of materials for alpine tourism and rainwear and the standards determining the general requirements for the design of products, their quality, safety and functionality. Current research on the mechanical stress of barrier clothing materials is also presented. The work is mainly focused on the innovation of the cyclic stress device. The designed M2 device allows a high number of deformation cycles by rotating and compressing the fabric by 180 degrees. This is a determination of creasability using a hollow cylinder. The conclusion of the work evaluates the influence of the number of cycles on the damage of the material, the decrease of vapor permeability and the height of the water column in barrier textiles.

***Keywords:*** *Barrier fabrics, hollow cylinder method, mechanical stress, resistance, cyclic loading, innovation, vapor permeable, water column*

---

## Obsah

Seznam zkratk a jednotek .....	9
Úvod .....	10
1 Charakteristika materiálů pro vysokohorskou turistiku, oděvy do deště .....	11
1.1 Požadavky kladené na oděvy do deště .....	13
2 Výzkum zaměřený na mechanické namáhání materiálů bariérových oděvů .....	16
2.1 Standardní metody.....	16
2.1.1 Statické zkoušky mačkavosti .....	16
2.1.2 Mechanické namáhání textilií .....	19
2.2 Simulace reálných podmínek nošení – cyklické zkoušky namáhání .....	28
2.3 Dílčí zhodnocení rešeršní části.....	33
2.4 Zařízení pro testování cyklického namáhání.....	35
2.5 Zkoušky funkčnosti stávajícího zařízení pro testování cyklické mačkavosti na KOD ..	35
3 Experimentální část .....	37
3.1 Nedostatky prototypu M1 .....	37
3.2 Realizace inovativního zařízení M2 .....	39
3.3. Charakteristika testovaných materiálů .....	48
3.4 Metodika a charakteristika zařízení pro cyklické mačkání materiálu .....	50
3.4.1 Upnutí testovacího vzorku do přístroje M2.....	51
3.4.3 Spuštění stroje M2.....	52
3.4.4 Laboratorní testování - Přístroj PERMETEST, termofyziologické vlastnosti .....	54
3.4.5 Laboratorní testování - Stanovení odolnosti proti pronikání vody. Zkouška tlakem vody .....	55
3.5 Vyhodnocení cyklického mačkání voděodolných textilií – vizuální hodnocení zmačkaného povrchu.....	56
3.5.1 Vliv cyklického mačkání na hodnotu relativní propustnosti vodních par voděodolných textilií.....	65
3.5.2 Vliv cyklického mačkání na testování zkoušky tlakem vody .....	67

---

3.5.3 Elektronový mikroskop TESCAN VEGA3 .....	75
4 Diskuse výsledků.....	83
5 Možnosti dalšího výzkumu .....	91
Závěr.....	92
Citovaná literatura .....	94
Seznam obrázků: .....	98
Seznam tabulek: .....	101
Příloha: .....	103
Příloha číslo 1 - Nákres strojních součástí stroje M2 .....	103
Příloha číslo 2. - Použité bariérové materiály .....	113
Příloha číslo 3 - Testování.....	117



## Seznam zkratek a jednotek

AATCC TM	American Association of Textile Chemists and Colorists
ASTM D	American Society for Testing and Materials
°C	stupeň celsia
ČSN	Česká technická norma
EN	Evropská norma
Ent	enter
ISO	International Standards Organization
kg	kilogram
KHT	katedra hodnocení textilií
KOD	katedra oděvnictví
M	metr
$m/H_2O$	metr vodního sloupce
M1	prototyp zařízení pro simulaci cyklického mačkání
M2	inovativní zařízení pro simulaci cyklického mačkání
mm	milimetr
$\mu\text{m}$	mikrometry
P	relativní propustnost vodních par [%]
Ret	odolnost vůči vodním parám [ $m^2 \cdot Pa \cdot W^{-1}$ ]
s	sekunda
TUL	Technická Univerzita v Liberci
UV	ultrafialové záření
V	volt
Ø	průměr
°	stupeň

## Úvod

Tato práce se zaměřuje na problematiku opakovaného deformování bariérových textilií mačkáním, které bylo testováno na zdokonaleném přístroji M1. Toto testování simuluje reálné namáhání materiálu při nošení. Jde o stanovení mačkavosti pomocí dutého válce, vycházející z normy ČSN 800871, který byl zautomatizován. Byly zjištěny určité nedostatky ve vývoji tohoto zařízení, proto byla navržena jeho inovace. V tomto testování je vyvíjena síla na materiál v zakrouceném (180°) a stlačeném stavu.

Mačkavost je významný parametr pro hodnocení vzhledu. Tvoření záhybů vzniká mechanickým opotřebením a působením tlaků na textilií během užívání. Lokalizace záhybů vytvořené na oděvu určují pravděpodobné místo porušení textilie.

Deformace způsobená mačkáním je přechodný stav, způsobený tahem, tlakem a ohybem, kdy do jisté míry dochází k zotavení, ale při dlouhodobém opakování degraduje textilií. Mechanické namáhání se zvyšuje údržbou i vlivem okolí, proto se výrobci snaží nasimulovat chování výrobku při reálném nošení, zjistit vlivy na životní cyklus materiálu.

Odolnost bariérových textilií určuje délku jejich životního cyklu, jež je dána strukturou a chemickým složením použitých vláken, způsobem jejich zpracování, technologickým postupem výroby textilie, dokončovacími úpravami a velkou měrou konstrukcí bariérového materiálu. Textilie s membránou se používají při výrobě ochranného oděvu do náročného prostředí. Jde o vrchní vrstvu, která je v kontaktu s nepříznivými podmínkami. Na ochranu uživatele před vlivy okolního prostředí jsou kladeny vysoké nároky, ale důležitý je i vzhled oděvu a komfort nošení.

Neustále se pátrá po nových způsobech ochrany těla oděvem, vyvíjejí se nové a funkčnější bariérové materiály s cílem ochránit tělo před nepříznivými podmínkami počasí či nepříznivým okolím.

Práce byla rozdělena několika částí. V první části byly popsány materiály pro vysokohorskou turistiku, oděvy do deště. Druhá část se zabývala výzkumem zaměřeným na mechanické namáhání materiálů bariérových oděvů. V experimentální části byl inovován stroj M1, byla provedena deformace testovaných vzorků, jejich zhodnocení subjektivní, objektivní a elektronovou analýzou.

## 1 Charakteristika materiálů pro vysokohorskou turistiku, oděvy do deště

Vodotěsné prodyšné tkaniny jsou určeny pro oděvy, které poskytují ochranu před faktory prostředí, jako je vítr, déšť a ztráta tělesného tepla. Vodotěsná tkanina zcela zabraňuje pronikání a absorpci kapalné vody. Hydroizolace je nutná pro funkčnost sportovního oblečení pro vysokohorskou turistiku i oděvy do deště. Teplotu lidského těla snižuje kontakt s vodou, i vítr snižuje tepelnou izolaci, která může vést k drastickému poklesu tělesné teploty a tím ohrožení životních funkcí. Dřívější úprava povrchu tkanin se u těchto oděvů prováděla zátěry. Jde o nános latexových či pryskyřicových nátěrů, které kompletně vyplní póry tkaniny, což zamezí pronikání vody a větru, ale činí ji i nepropustnou pro vodní páry vznikající na těle (pot). Tím vzniká nepříjemný pocit a oděv se stává nehygienickým. V současnosti jsou všechny naimpregnované prodyšné a paropropustné textilie upraveny vodoodpudivými činidly. Tato úprava zamezuje prosáknutí vody vnější textilií a projevuje se dlouhodobou nesmáčivostí, je označována jako DWR (*Durable Water Repellent*). [1] Zabraňuje absorpci vody, a tím si oděv zachová svou skutečnou hmotnost i po několika hodinách vystavení dešti, chrání při tlaku na textilií a zajišťuje příjemný omak.

Pro lidský organismus je tedy důležité zajištění rovnováhy mezi výdejem tepla tělem a příjmem tepla z prostředí, kde se nachází. Jde o termoregulační schopnost lidského těla udržet vnitřní teplotu organismu v daném teplotním intervalu (v tělesném jádru 37 °C). Z tohoto důvodu jsou dnes jako materiály pro vysokohorskou turistiku a oděvy do deště používána z velké části syntetická vlákna polypropylen, polyester, polyamid, z přírodních merino vlna, která nepřijímají vlhkost a odvádějí ji od těla. Zajišťují, že je oděv paropropustný, vlhkost je odvedena od těla do okolního prostředí a pot neulpívá na pokožce.

Studie Razzaque a kolektiv [2] poukazuje na protichůdné vlastnosti u bariérových oděvů, a to prodyšnost a voděodolnost, které umožňují v horkém počasí odvod potu z povrchu kůže a zároveň zabraňují nadměrné tepelné ztrátě v chladném počasí. Uvádí tři hlavní kategorie oděvního komfortu, a to hmat, tepelný komfort a estetické pohodlí, jež jsou ovlivněny hustotou tkaniny, její tloušťkou, hmotností, zvoleným materiálem a hydrostatickým odporem.

Oděvy se podle podmínek jednotlivých klimatických oblastí vrství. Základem bývají tři vrstvy. První vrstvu na tělo tvoří termoprádlo, které má za úkol odvod vlhkého potu od těla. Druhou vrstvu tvoří oděvy s počesaným vlasem uvnitř, jež mají izolační vlastnost pro

udržení tepla. Třetí vrstva, svrchní ochranná, je tvořena z hustě tkaného paropropustného materiálu, který je zároveň větruodolný. V nepříznivých extrémních okolních podmínkách se bere v úvahu vliv síly větru, chlad, intenzita UV záření a navyšuje se počet vrstev přidáním termotrika, či fleecové mikiny, softschellové bundy, bundy s membránou. [1] [3]

Wagner [4] ve svém článku specifikuje rozdíl mezi voděodolnou textilií (vodní sloupec pod hodnotou 800 mm, kdy prodyšnost u těchto materiálů je lepší, a vodotěsnými vysoce nepromokavými materiály (nad 800 mm). Knížek [1] uvádí vodní sloupec u těchto materiálů 1300 mm.

Označení odolnosti proti pronikání deště [1]:

- Waterrepelent (přibližně 0,5  $m/H_2O$ )
- Waterresistant (přibližně 1,1  $m/H_2O$ )
- Waterproof (sloupec nad 1,3  $m/H_2O$ )

Voděodolné textilie udrží nositele v suchu, pokud je vystaven dešti, ale při tlaku na oděv při sezení či klečení může oděv propustit vodu. V dnešní době lze skutečně spolehlivý a odolný vodotěsný výkon dosáhnout pomocí membrán. Chemické a fyzikální vlastnosti těchto membrán definují limity tlaku vody a jejich trvanlivost.

Úkolem membrán v oděvním výrobku je zvýšit pohodlí nositele. Chránit ho před okolním prostředím, především v chladných a větrných podmínkách, a při sportu, kdy se tělo extrémně zahřívá a vydává teplo. Membrána má tři základní funkce: paropropustnost, nepromokavost a větruodolnost. Těchto nesusoudných vlastností dokáže membrána dosáhnout díky svému složení a konstrukci. Membrány jsou vyráběny z polymerních materiálů, nejčastěji z polytetrafluoretylenu, polyesteru nebo polyuretanu. Materiál s membránou je konstruován v několika vrstvách, nejčastěji jako dvouapůl nebo třívrstvý, neboť samotná membrána je velice tenká, o nízké hmotnosti a náchylná k poničení. Tloušťka membrány je v jednotkách mikrometrů. V praxi se dvouvrstvý laminát příliš nevyskytuje, protože samotná odolnost proti proniknutí vody je stejná jako u třívrstvého laminátu a tím, že není membrána z jedné strany chráněná, dochází k jejímu brzkému poškození vlivem působení sil při nošení i působením potu. Celková kvalita tohoto laminátu je dána i materiálem vrchním a podšívkovým. Vrchní vrstva je uzpůsobena k zamezení proniknutí vlivu větrných podmínek i kapek vody pod textilií, jde o impregnaci a chemické zušlechťení tak, aby tato vrstva zůstala zároveň i paropropustná. Jednotlivé vrstvy se pojí laminací, jde o spojení membrány s textilií pomocí bodového nánosu pasty, tím se zvyšuje celková tuhost laminátu. [1] Samotné

membrány se testují praním, neboť při něm dochází k jejich největšímu opotřebování, ale i zmačkání při nošení membránu negativně ovlivňuje.

## 1.1 Požadavky kladené na oděvy do deště

Normy určují obecné požadavky na provedení výrobků, jejich kvalitu, nezávadnost, funkčnost. Uvádějí požadavky nejen na jakost daných výrobků, ale i na testování jejich mechanického namáhání.

Na lidské tělo působí během nošení oděvu tlakové síly, což je váha oděvu a tlak elastických oděvních součástí, dále na ně působí deformační síly v oblasti ohýbání rukávů i nohavic a třecí síly, které působí mezi oděvy a tělem při pohybu. [3]

Jakost ochranných oděvů je tedy ošetřena příslušnou normou, kterou musí splňovat. Pro různé druhy oděvů jsou pak tyto požadavky konkretizovány specifikujícími normami upřesňujícími stanovené bezpečnostní limity. Výrobce musí deklarovat provedení shody výrobku s normou.

Norma ČSN EN ISO 13688:2013 [5] – Ochranné oděvy, obecné požadavky. Vymezuje obecné požadavky na vyhotovení ochranných oděvů z hlediska ergonomie, nezávadnosti, označení velikostí, stárnutí. Musí docházet ke kompatibilitě označení ochranných oděvů s informacemi dodávanými výrobcem s ochrannými oděvy. Ochranný oděv nesmí obsahovat ostré ani tvrdé povrchy, které by dráždily nebo zraňovaly nositele, nesmí být ani špatné velikosti (volný, těsný), aby neomezoval v běžném pohybu. Tato všeobecná mezinárodní norma je určena k užití pouze v kombinaci s dalšími normami, obsahujícími požadavky na specifické ochranné vlastnosti jednotlivých oděvů. Správně vyhotovený ochranný oděv setrvává na místě po předvídatelnou dobu používání a zajišťuje nositeli zakrytí částí těla při předvídatelných pohybech. Pohodlnost oděvu je v souladu s úrovní ochrany před nebezpečím, ke kterému je využíván. Na tepelné ergonomické zatížení, namáhání či nepohodlí kvůli potřebné ochraně musí být upozorněno v doprovodném materiálu. Musí být uveden konkrétní údaj o vhodné délce doby nepřetržitého nošení oděvu při předpokládaném použití.

Testováním jsou jednotlivé typy ochranných oděvů zařazeny do kategorií, jež jsou udávány číslem třídy provedení. Žádná vrstva ochranného oděvu nesmí nepříznivě ovlivňovat zdraví nebo hygienu uživatele. Oděv musí obsahovat informace poskytované výrobcem, potvrzující nepřekročení koncentrací látek, které by mohly mít nepříznivý účinek na zdraví či hygienu nositelů. Stárnutím oděvu se míní změna jedné nebo více výchozích vlastností ochranného oděvu během určitého časového úseku. Výrobce udává pokyny pro praní a chemické čištění

na základě normalizovaných postupů (5 cyklů čištění). Rozměrová změna v žádném délkovém nebo šířkovém rozměru by neměla přesáhnout  $\pm 3 \%$  u tkaných materiálů a  $\pm 5 \%$  u pletenin a netkaných textilií.

Klade se důraz na snadné oblékání a svlékání oděvu s pomocí nebo bez pomoci, podle druhu oděvu. Oděv by kvůli pohodlí neměl být příliš těsný a neměl by snižovat hloubku dýchání ani nikde omezovat krevní oběh. Je důležité ověřit správné proporce i vhodné umístění průramků a rozkroku. Použitím jednoduchých praktických zkoušek by měl umět posuzovatel zkontrolovat, zda jsou informace poskytované výrobcem dostatečně srozumitelné, úplné a přesné pro správné používání a vyvarování se nebezpečných chyb. Je požadována slučitelnost oděvu s dalšími osobními ochrannými prostředky stejného výrobce.

Oděvy do deště jsou řešeny normou ČSN EN 832761: 343+A1 [6] – Ochranné oděvy-ochrana proti dešti. V této normě jsou udány vlastnosti materiálů a švů ochranného oděvu a jejich zařazení k zajištění náležité úrovně ochrany. Nejdůležitějšími vlastnostmi těchto výrobků jsou voděodolnost a odolnost vůči vodním parám. Jsou měřeny na vnější vrstvě materiálu.

Na trh se dostávají nové materiály s kombinovanými vlastnostmi, a to odolností proti pronikání vody a zároveň propustností vodní páry. Tato vlastnost zvyšuje odpařování potu, a tím významně přispívá k ochlazení těla. Tento děj přispívá k zvýšení pohodlí a snížení fyziologického napětí a prodlužuje dobu nošení v určitých klimatických podmínkách.

Odolnost vůči vodním parám je definována jako výparný odpor. Tato veličina určuje latentní výparný tepelný tok danou plochou, jako důsledek nepřetržitě působícího spádu tlaku vodních par. Odolnost vůči pronikání vody hodnotí odolnost vůči hydrostatickému tlaku, kterému materiál odolá.

V informativní části této normy je doporučena maximální doba nošení kompletního obleku sestávajícího z bundy a kalhot bez tepelné podšívky pro střední fyziologickou činnost.

Nově platí u oděvu do deště také požadavek na vysokou pevnost materiálu a podlepení švů nepropustnou fólií, protože protržením textilie a zatékáním se znehodnotí celý oděv. Při extrémních situacích je vhodné použít návleky na boty i na rukavice. K zajištění této ochrany vyhovují pogumované textilie, které se řídí dle normy ČSN EN ISO 7854 [7] – Textilie povrstvené pryží nebo plasty, zjišťování odolnosti proti poškození pohybem. Tato norma zavádí dvouosé zkoušení únavy při dlouhodobém namáhání v ohybu, kde se používá velký zkušební vzorek, který umožňuje po skončení ohýbání provádět další testování na odolnost

proti pronikání vody. Stanovuje tři metody pro vyhodnocování odolnosti povrstvených textilií proti poškození opakovaným namáháním v ohybu: metodu De Mattia, metodu podle Schildknechta a metodu mačkání a ohýbání.

Tyto tři metody se liší druhem ohybového namáhání, není možná žádná pravá korelace mezi výsledky těchto metod. Norma řeší všeobecnou přípravu zkušebních vzorků. Důležité jsou údaje o velikosti vzorků i jejich klimatizaci a kontrola zkušebního zařízení. Je upřesněn způsob odběru vzorku, jeho upnutí, průběh zkoušky s předem stanoveným počtem cyklů namáhání od uvedení do pohybu pro možnou kontrolu zjištění stupně poškození i během procesu testování. Vyhodnocení celkového vzhledu se provádí porovnáním s nenamáhaným materiálem. Podle viditelného zmačkání, tvoření trhlin, odlupování a zbarvení se zařazuje do čtyřdílné stupnice podle zhoršení vzhledu bez použití zvětšení.

Norma obsahuje informativní přílohu doporučení pro provádění zkoušek v ohybu za mokra, kdy se testované vzorky nejprve po dobu 30 minut smáčí v 2 % vodním roztoku oleanu sodného v poměru lázně 20:1 a bez oklepání či sušení se provede klasické testování.

Tyto normy jsou důležitou specifikací pro vyjádření shodnosti dohodnutých technických pravidel. Tvoří základní požadavky pro vytvoření jednotného trhu pro ochranné oděvy do deště. Namáháním textilií nošením dochází k jejich mačkání, které narušuje textilií vznikem záhybů a postupně dochází k jejímu poškození a tím k narušení bariérové ochrany těla před okolními vlivy. Při nošení je oděv zatěžován převážně v oblasti kloubů natahováním a deformováním, proto je nutné zvolit vysokou pevnost materiálu, zabránění šířkové a délkové rozměrové změny, zvolit vhodný střih (ergonomie oděvu) a důležitost určení časového úseku stárnutí oděvu a ochranu před pronikající vlhkostí k tělu.

## 2 Výzkum zaměřený na mechanické namáhání materiálů bariérových oděvů

Z provedené rešerše je patrné, že se současné výzkumy zaměřují na následující oblasti testování:

- Standardní metody se v praxi vyskytují v kombinacích – statické zkoušky mačkavosti pro simulaci reálného chování textilií během nošení.
  - mechanické namáhání textilií a jeho vliv na odolnost voděodolných textilií
- Simulace reálných podmínek nošením – cyklické namáhání ohybem, cyklické namáhání natahováním

### 2.1 Standardní metody

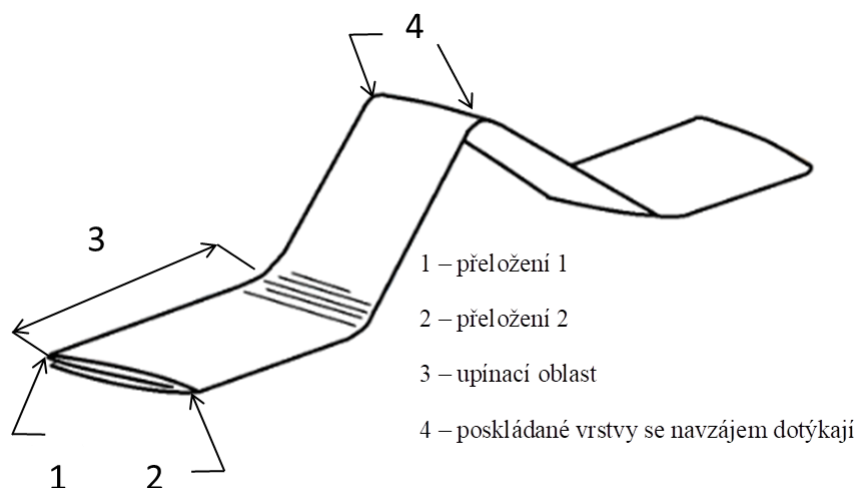
Tyto metody vychází z akreditovaných platných norem.

#### 2.1.1 Statické zkoušky mačkavosti

Materiál je namáhán zvyšující se silou do dané hodnoty, jedná se o zkoušku tahem, tlakem, ohybem, krutem).

#### Metoda de Mattia [7]

Vzorky o stanoveném rozměru 125x375 mm, (tři v podélném směru a tři v příčném směru) jsou normovaným způsobem poskládány a vloženy mezi dvojici svorek, které se k sobě ručně přiblíží, aby vzniklý požadovaný záhyb byl přibližně uprostřed. Zkušební zařízení se uvede do pohybu a zastaví se po stanoveném počtu namáhání nebo porušení povrstvené textilie, viz Obrázek 1.

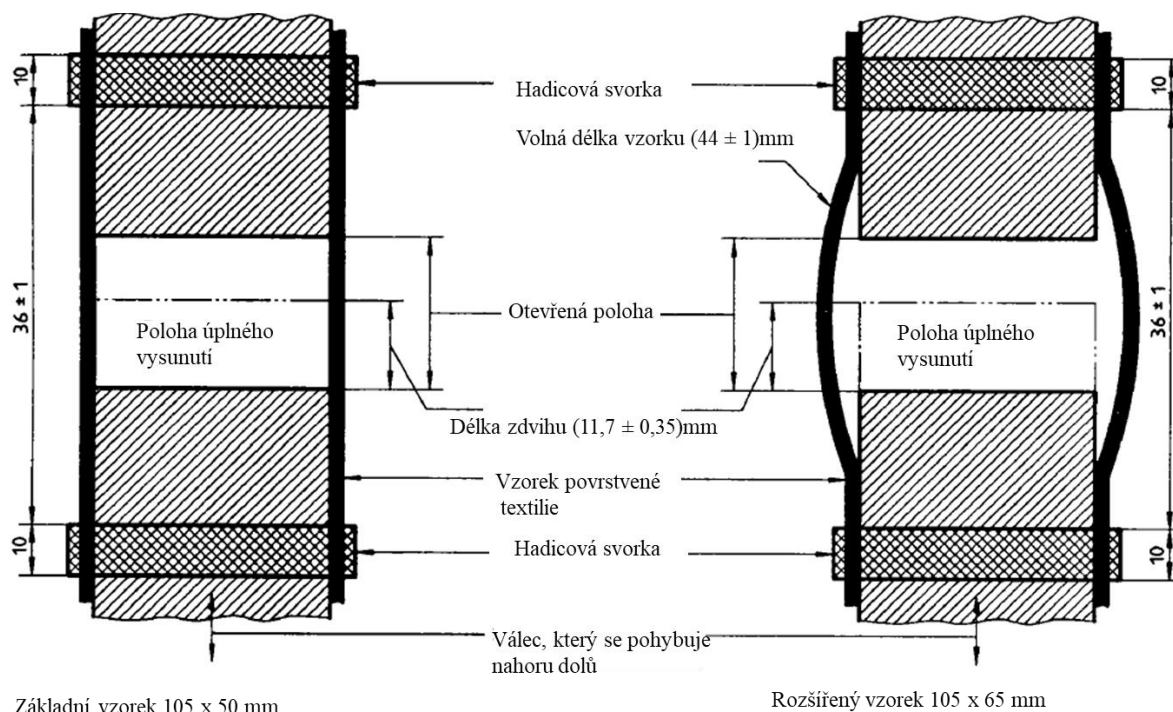


Obrázek 1: Složený vzorek pro upnutí [7]



## Metoda podle Schildknechta [7]

V této metodě je pravoúhlý proužek otočen kolem dvou protilehlých válců (vzorek 105x50 mm), tak aby získal válcovitý tvar. Následně se jeden z válců pohybuje podél své osy nahoru a dolů ( $11,7 \pm 0,35$  mm), čímž válec střídavě stlačuje a odlehčuje textilii, na které se vytvářejí přehyby, viz Obrázek 2.



Obrázek 2: Pravoúhlý proužek otočen kolem dvou protilehlých válců [7]

## Metoda mačkání a ohýbání [7]

Obdélníkový zkušební vzorek povrstvené textilie se sešije do tvaru válce (vzorek 220x190 mm), následně se upevní mezi dva kotouče. Spodní kotouč se vychyluje zhruba o 90° od své osy. Vychýlování způsobí zkroucení válcovitého vzorku povrstveného textilního materiálu. Současně se pohybuje vrchní kotouč podél své osy nahoru a dolů. Tím dochází k stlačování vzorku ve směru jeho délky po stanovený počet cyklů namáhání nebo po první prohlídce, při které vzorky vykazují známky poškození.

První dvě normované metody (De Mattia a metoda podle Schildknechta) však nesimulují namáhání reálným nošením, ale pouze ohyb. U metody mačkání a ohýbání dochází k reálnějším pohybům, simulujícím nošení oděvu, a velikost vzorku umožňuje další testování.

## Metoda UMAK [8]

V současné době se provádí zkouška mačkavosti ve Zkušebně textilních materiálů a výrobků podle normy ČSN EN 22313 [8] - Plošné textilie - Zjišťování mačkavosti - schopnosti zotavení horizontálně složeného vzorku měřením úhlu zotavení. Metodou UMAK se testuje přeložený proužek textilie mezi rameny přístroje danou silou, po stanovený čas a za předepsaných okolních podmínek. Po odstranění tlaku působícího mezi rameny vznikne na textilií ohyb, z jeho velikosti se následně měří úhel zotavení. Velikost úhlu zotavení je měřítkem schopnosti plošné textilie zotavit se po mačkání a vypovídá o sklonu textilie k mačkavosti. Provádí se odečtením úhlu mezi základnou ve vodorovné poloze pomocí pojízdné měřicí hlavy s úhломěrem s volným ramenem. Pomačkání plošných textilií se po odstranění zátěže zmenšuje různou rychlostí. Měření se opakuje po určeném čase. Změna velikosti úhlu zotavení je mírou schopnosti plošné textilie zotavit se po náhodném pomačkání. U velmi rozdílných textilií nezískáme však srovnatelné výsledky. U velmi silných a ohebných materiálů se sklonem ke kroucení (vlna, směsi vlny) je však touto metodou velmi obtížné úhel mačkavosti zjistit.

Výsledkem testování metodou UMAK [8] je pouze mechanické ohnutí, ale ne tvorba lomů. Jedná se pouze o proces namáhání, avšak nepopisuje skutečné namáhání během nošení, ale jen ohyb. Toto uměle vytvořené namáhání je však odlišné od podmínek působících v praxi. Zejména přirozené mikroklima při nošení oděvu, vytvářené během ohýbání kolem materiálu, a tepelné rozpětí, které je vyvoláno pohybem v povrstvené molekulové struktuře, působí odlišně.

Přesto se výsledné hodnoty této statické zkoušky v ohybu již dlouho a rozšířeně používají jako míra pro jakost výrobku.

Metoda UMAK může poskytnout užitečnou informaci o trvanlivosti povrstvené textilie, ale pro další potřebné testování nevyhovuje z důvodu malých rozměrů vzorků 20x50 mm.

Dříve se ještě využívala Metoda dutého válce podle české normy, která byla zrušena bez náhrady, je tedy již neplatná: ČSN 80 0871 Oděvní plošné textilie - Stanovení mačkavosti pomocí dutého válce. Vzhledem k velikosti používaného vzorku (325x200 mm) jej bylo možno využít i pro další vhodné testování vlastností materiálu, a to prodyšnosti, paropropustnosti a voděodolnosti. Nyní existuje mezinárodní metoda testování dutého válce AATCC TM 128.

### 2.1.2 Mechanické namáhání textilií

Mechanické namáhání plošných textilií ve zhotovených oděvech je testování napodobující namáhání textilie při praktickém používání. Simulační zkoušky mohou být v ploše či v hraně.

**Taberův přístroj** ČSN EN ISO 5470-1 (80 0852) [9] - Textilie povrstvené pryží nebo plasty – Zjišťování odolnosti v oděru, viz Obrázek 3.

Jde o abrazivní přístroj. Vzorek je připevněn na rotačním talíři a vystaven odírání dvěma abrazivními kolečky o určitém tlaku. Dochází k opotřebování testovaného vzorku točícího se na vertikální ose. Jeden brusný kotouč tře vzorek vně směrem ke kraji, druhý zevnitř směrem ke středu. Výsledkem jsou dvě překřížené stopy oblouků vytvářející na povrchu vzorku kruh. Umožňuje to odhalit odolnost materiálu ve všech úhlech. Přístroj je vhodný pro suché i mokré testování.



Obrázek 3: Taberův přístroj [10]

**Přístroj Martindale** ČSN EN ISO 12947-2 (80 0846) [11] - Zjišťování odolnosti plošných textilií v oděru, viz Obrázek 4. Zkouška napodobuje odírání povrchu při reálném nošení oděvu. Testovací materiál je upevněn do držáků a je odírán předepsanou silou o odírací tkaninu. Nastaví se počty otáček. Vyhodnocuje se vizuálně sadou normovaných etalonů stupnicí od 1 do 5, kdy 5 je nejlepší výsledek, nebo u oděru, kdy dojde k prodření prvního vazného bodu.



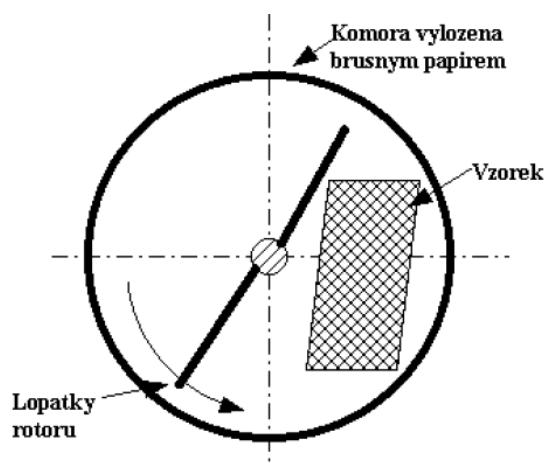
Obrázek 4: Přístroj Martindale [12]

**Vrtulkový odírač ČSN 80 0833 [13]** - Plošné textilie - Stanovení odolnosti v oděru, viz Obrázek 5.

Hodnotí se procentní úbytek hmotnosti po stanoveném čase. Vzorek se zpevněnými kraji je ve volném stavu uvnitř komory přístroje poháněn vrtulkovou lopatkou po kruhové dráze předepsanou rychlostí, kde opakovaně naráží na odírací obložení a je vystaven ohýbání, tření, nárazům, stlačování, napínání a dalším mechanickým vlivům. Hodnocení je také prováděno vizuálně sadou etalonů.

- ČSN 80 0850 [14] - Plošné textilie - Stanovení oděru v přehybu na vrtulkovém odírači.

Přístroj je používán u ostrých přehybů textilie, například u límců či manžet. Textilie se přehne přes ostrou planžetu a odírá se o abrazivní materiál.



Obrázek 5: Princip vrtulkového komorového odírače [15]

Mačkavost je přechodná změna tvaru (závislá na modifikaci chemických úprav v průběhu přípravy polymeru a vlastnostech fyzikálně mechanických vzniklých v průběhu přípravy vláken) vznikající při běžném nošení. Při zjišťování mačkavosti je textilie vystavena okolním silám, které na ni tvoří záhyby, přičemž část ohybů zůstane trvalá.

Mačkavost je vystižení vlastnosti plošné textilie ke sklonům vytvářet sklady a lomy při zatížení působením sil na textilií a jejího následného zotavení po odstranění těchto sil. Vzniká přechodnou deformací zapříčiněnou ohybem nebo tlakem a působí větší silou v oblasti plastické (nevratné) deformace. Textilie je ovlivněna všemi výrobními technologickými faktory její výroby. Schopnost zotavení textilie z deformace závisí na materiálovém složení vláken, konstrukci příze, vazbě, hustotě dostavy, tloušťky, konečnou úpravou i její pružnosti. U pružné textilie se nevykazují žádné nežádoucí ohyby. [16]

Mačkavost je nežádoucí z estetického hlediska a také zkracuje životnost oděvu vlivem tření materiálu o sebe.

Simulace opotřebení při nošení oděvu je popisována v článku autorů Liu, Fu a Wu [17]. Pro analýzu 24 tkanin byly použity dvě metody. Jako první metoda úhlu zotavení dle mezinárodního testování AATCC TM 66 – 2008. Touto metodou však není možno dostatečně vědecky popsat komplexní vrásčité chování tkaniny, neboť hodnotí materiál pouze z hlediska úhlů mačkání osnovy a útku, aniž by brala v úvahu anizotropii vlastností záhybů tkanin. Osnova a útek nejsou nutně směry, ve kterých dochází k mačkání při skutečném nošení. Další použitou metodou tohoto výzkumu je AATCC TM 128 pro simulaci mačkání formou dutého válce. Zde dochází při testování k namáhání materiálu podobně jako v procesu praní a sušení. Při testování je textilie namáhána na krut, tah tlak, smyk. Hodnocení testů bylo provedeno subjektivně dle tříd etalonů, což bývá nepřesné.

Při skutečném opotřebení jsou záhyby způsobeny častým ohýbáním a stlačováním v oblasti loktů a kolen. Proto autoři Liu, Fu a Wu [17] vyvinuli přístroj, který simuluje ohnutí kolen a loktů, viz Obrázek 6.

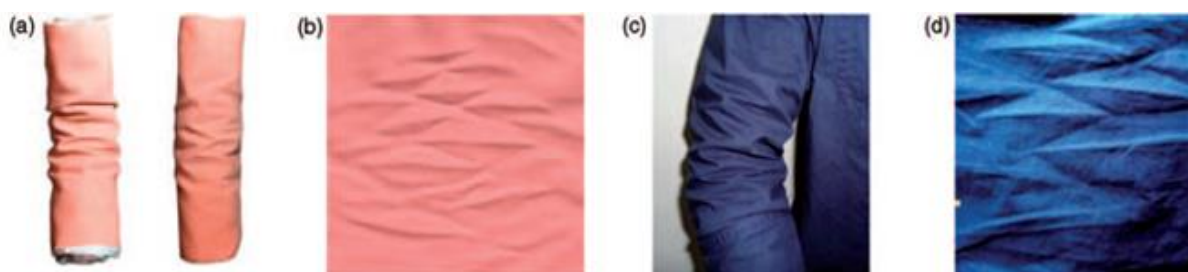


Obrázek 6: Stroj - úhel mačkání [17]

Opět analyzovali 24 tkanin, porovnávali charakter lomů a jejich hustotu v korelaci úhlů v 11 pozicích pootočených ve směru osnovy o  $10^\circ$ . Zjištěné poznatky objasňují vliv úhlu na geometrii lomů a jejich hustotu. Čím je vytvořen větší úhel zmačkání, tím je nižší zotavení fraktálního (členitého geometrického) rozměru.

Porovnali vzorky z přístroje a vzorky obnošeného oděvu, viz Obrázek 7.

Došli k závěru, že se namáhané vzorky obou způsobů mačkání podobají, tedy přístroj je k testování vhodný. Skeny vzorků byly upraveny a převedeny na binární obraz pro výpočty odhadu skutečného průběhu opotřebení oděvu. Bylo zjištěno, že odolnost proti mačkání je větší ve směru osnovy než útku, proto se osnovní směr používá jako podélný. Čím silnější látka, tím menší mačkání. Při reálném nošení dochází k mačkání nejen ve vertikálním a horizontálním směru, ale značně i pod úhlem  $45^\circ$ . Čím je vytvořen větší úhel zmačkání, tím je nižší zotavení fraktálního (členitého geometrického) rozměru. Vznikají tak záhyby ve tvaru diamantu se čtyřmi šikmými stranami. Obrázky byly zpracovány pomocí softwaru vyvinutým Matlab.



Obrázek 7: Záhyby z přístroje a, b) Vzorek z přístroje, c) Nošené oblečení, d) Vzorek z nošeného oděvu. [17]

Výsledkem experimentu bylo doporučení autorů přidat k přesnějšímu testování mačkavosti materiálů metodou úhlu zotavení AATCC TM 66 úhel  $45^\circ$ .

Pokračování tohoto výzkumu mačkání textilií bylo popsáno v dalším článku Chengxia Liu [18] o inovaci přístroje, viz Obrázek 8. Vylepšení tohoto přístroje umožnilo nastavení a udržení rozdílných úhlů mačkání, byl zpevněn box a přidáno rameno, kterým lze měnit úhel ohýbání. Dobu stlačení materiálu lze po inovaci nastavit (2 minuty). Následná relaxace materiálu (5 minut). Úhel zotavení vzorků se lišil, což mohlo být způsobeno specifickou vazební strukturou tkaní.

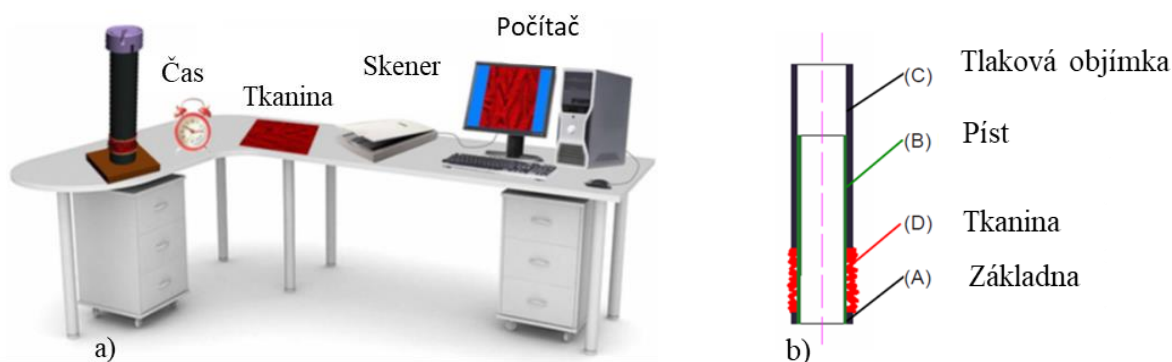


Obrázek 8: Původní přístroj - Vylepšený způsob simulace testování materiálu ohybem [18]

Výsledkem bylo zjištění, že nejmenší vztah hustoty rýh a úhlu zotavení je při  $90^\circ$ , proto se ani při simulaci ani při skutečném nošení na oděvu nevytvářejí žádné vertikální rýhy. Největší korelace je v  $0^\circ$  a dále v  $45^\circ$  a  $135^\circ$ . K testování tímto přístrojem je vhodné přidat i metodu AATCC TM 66-2008, která má lepší opakovatelnost.

Dalším výzkumem Chengxia Liu [19] byl vyvinut další systém měření mačkavosti materiálu, který se skládá ze simulátoru mačkání, skeneru a počítače software MATLAB, viz Obrázek 9.

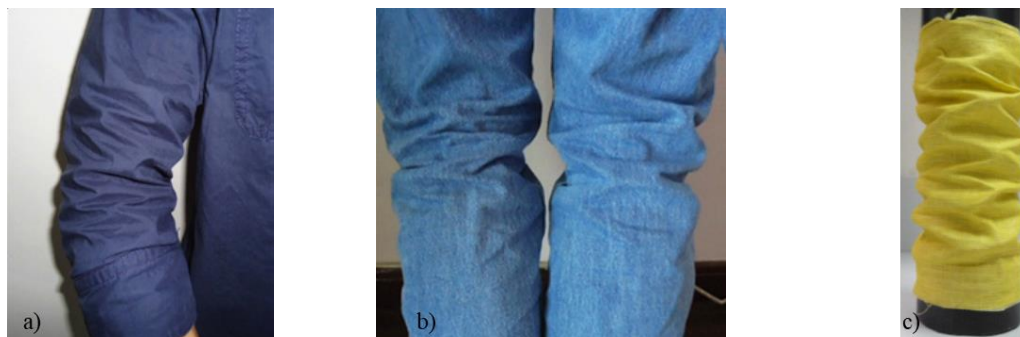
#### Simulátor mačkání tkanin



Obrázek 9: Nová metoda měření mačkavosti na základě zpracování obrazu: a) Kompletní testovací přístroj, b) Struktura simulátoru [19]

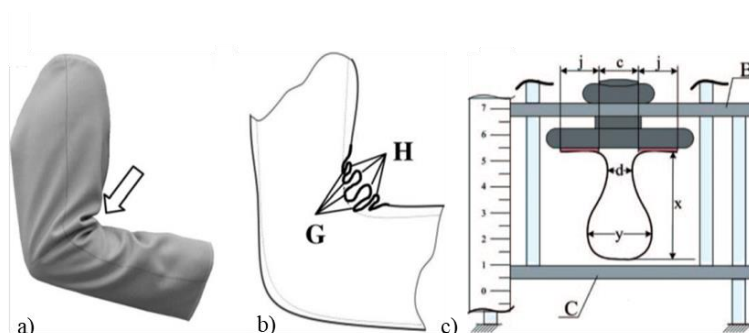
Do simulátoru se vkládá zkušební vzorek velikosti (280x150 mm). Mačkání materiálu probíhá ve stejných liniích jako u metody AATCC66. Simulátor vygeneruje záhyb stejně jako je tomu

u reálného nošení v ohybu lokte nebo kolene. Výsledky měření 15 různých textilií byly porovnány s výsledky testování normovanou metodou AATCC66 a shodovaly se, zároveň však inovovaný systém vyprodukoval záhyby realističtější a dokázal změřit vlastnosti záhybů ve skutečném opotřebení, viz Obrázek 10.



Obrázek 10: Porovnání mačkání: a) reálné loktu, b) reálné kolene, c) vzorek ze simulátoru [19]

Článek autorů Masteikaitė, Sacevičiene, Čironienė [20] analyzuje mačkání laminátové potahované textilie stlačováním v ohybu. Zaměřují se na tuhost tkaniny, která je jedním z nejdůležitějších parametrů pro odhad opotřebení a poskytování pohodlí vícevrstvých textilních materiálů. V této práci bylo pro testování použito pro upevnění vzorku speciální nastavbové prodlužovací zařízení. Strukturu deformace tkaniny na vnitřní straně rukávu lze rozdělit do dvou částí, vnitřní smyčky (G) a vnější smyčky (H). Během experimentu se zvedá spodní stlačovací deska (C), horní upevňovací deska (B) je stabilní a vnitřní strana rukávu je tím deformována, viz Obrázek 11.

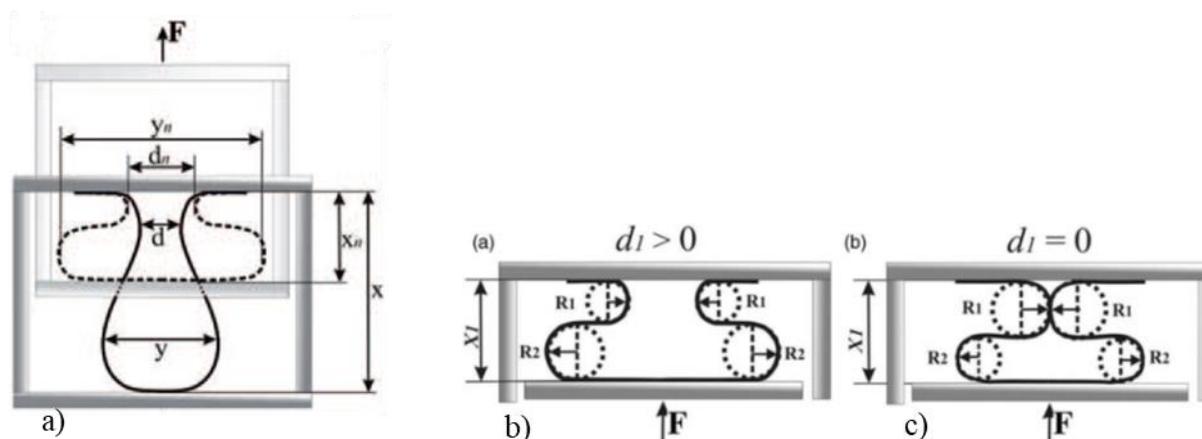


Obrázek 11: (a) Typ deformace rukávu během ohýbání ramene, (b) schematický náčrt deformace tkaniny v ohybu. (c) Schéma fixace vzorku v zařízení. [20]

V průběhu experimentu byla provedena počáteční charakteristika zkoumaného ohybu vzorku, a to jeho výška ( $x$ ) a šířka ( $y$ ) v zúžení ( $d$ ). Při kompresi ohybu se výška postupně snižuje a šířka zvyšuje. Při této metodě lze určit ohybovou tuhost pomocí numerických



a grafických výsledků, a to šířkou smyčky, velikostí poloměrů čtyř vzniklých půlkruhů, porovnáním jejich vzájemných rozdílů a rovněž jejich kontaktem, viz Obrázek 12.



Obrázek 12: a) Komprese smyčky vzorku pomocí speciálního zařízení, b) Geometrický tvar smyčky před a při kompresi c) [20]

Výzkum ukázal, že materiál s větší plošnou hmotností je odolnější tlakové síle, a to i v podélném směru. Geometrický tvar ohybu vícevrstvé textilie závisí na vlastnostech jednotlivých vrstev. Po stlačení smyčky do čtyř půlkruhů se některé části stávají konkávní, jiné konvexní. Cílem práce bylo analyzovat možnosti použití komprimované smyčky jako metody pro odhad pevnosti v ohybu u vícevrstevných tkanin. Deformace vzorku metodou stlačené smyčky, je podobná namáhání, které se projevuje během nošení stlačené.

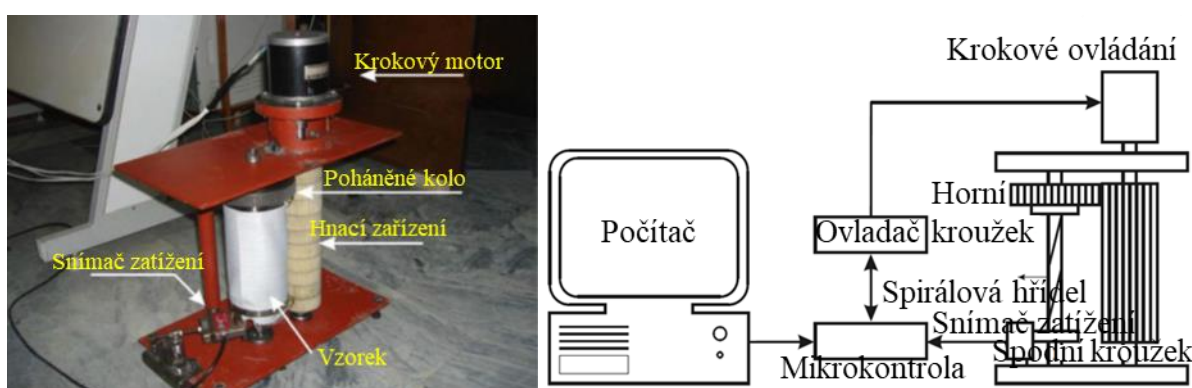
Práce autorů Qiu a Yanga [21] je zaměřena na testování voděodolných aktivních sportovních oděvů. Použili testovací metody AATCC 66 a 128. Byly hodnoceny bavlněné tkaniny ošetřené zesíťovacími činidly. Se zvyšující koncentrací zesíťujících činidel a vyšší teplotou vytvrzování se úhel regenerace záhybů ošetřené textilie stále zvyšoval, zatímco pevnost v tahu se snižovala. Testovací metoda AATCC 66 se po vyhodnocení jeví jako spolehlivá metoda kvantitativního testování. Testovací metodu AATCC 128 doporučuje revidovat.

Autoři Degirmenc a Celik [22] vylepšovali odolnosti pletených a laminovaných autopotahů proti tvorbě záhybů. Mačkání materiálu bylo testováno metodou AATCC 128 a metodou podle normy ASTM D 1776 - zotavení záhybu. Test byl proveden na pěti typech pletenin s odlišnými vlastnostmi, laminovaných i nelaminovaných, za účelem zkoumání vlivu laminace. Ta byla provedena polyuretanem a jako podšívka byla použita osnovní pletenina. Na textilií byla před testováním aplikována změkčovadla pro ošetření. Test prokázal, že

pružné příze dělají pleteninu odolnější vůči záhybům, ale jejich elasticita musí být přiměřená. Ukázalo se, že použití silikonového změkčovadla, aplikovaného v době, kdy materiál přecházel z fuláru, zajistilo trvalou vysokou odolnost proti záhybům. Celkově proces laminace regeneraci záhybů materiálu zhoršil. Strukturální vlastnosti vzorkových tkanin neměly žádný přímý vliv na zotavení záhybu vzorků tkanin.

V příspěvku autoři Najar a kolektiv [23] provedli studii chování záhybů tkaných textilií ve válcové formě měřením jejich tangenciální síly v tkaninách na různých místech úrovně rotace. Mačkání popisují jako formu trojrozměrné deformace plošné tkaniny, která se objevuje na zadní části kolena nohavice, v oblasti loktů u rukávu. Vzniká smykovou deformací ve válci při axiálním zatížení.

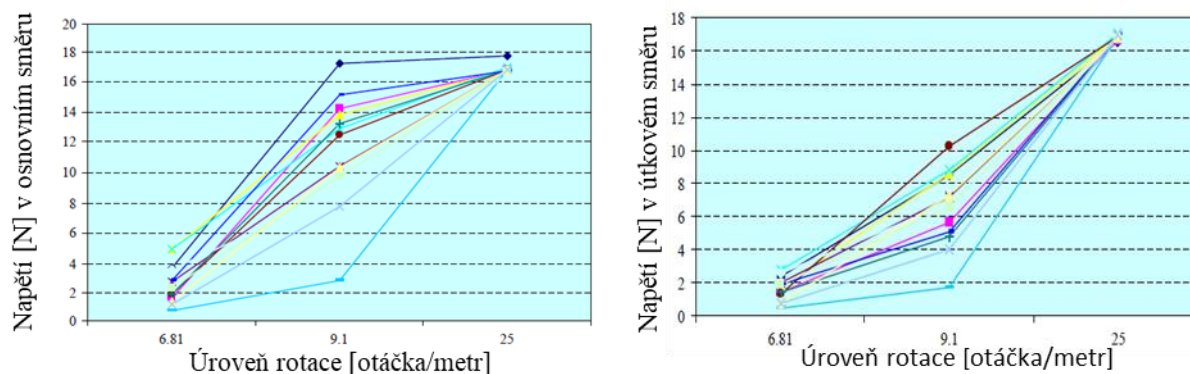
Navrhli přístroj na rotační mačkání ve válcové formě se systémem sběru dat pro kombinované vlivy kompresních a torzních deformací, viz Obrázek 13.



Obrázek 13: Přístroj SIROFAST tester s napojením na PC [23]

Zkoumání síly záhybů textilních struktur ve válcovém modelu. Proces testování sestává ze čtyř kroků: 1) Postupným otáčením horního kroužku a pohybem směrem dolů vznikne torzní a stlačovací vzpěr. 2) Zkroucení struktury tkaniny. 3) Zvýšením torzního napětí dochází k prokluzování vláken a zvyšujícímu se úhlu otáčení. 4) Vysoce stlačená a zkroucená vlákna. Stroj pracuje v rotační úrovni 6,81 otáčky, v 9,10 otáčky a v úrovni 25 otáček na metr tkaniny vložené do vzorku. Byl testován česaný materiál. Se zvyšováním krutu otáčení se zvýšila pevnost záhybů a napětí podél směru útku i osnovy. Prokázalo se, že pevnost záhybu, napětí a hystereze tkanin z česaného materiálu je významně ovlivněna fyzikálními a mechanickými vlastnostmi tkanin a vloženými otáčkami. Výsledky ukazují, že při působení o hodnotě 25 otáček na metr je pevnost záhybu všech vzorků tkanin téměř podobná a u nižších otáček je napětí záhybu ve směru osnovy výrazně vyšší než ve směru

útku. Vzorky česaných tkanin s vyšším obsahem polyesterových vláken vykazovaly vyšší hodnoty pevnosti záhybů.



Obrázek 14: Porovnání napětí kroucené tkaniny v osnovním a v útkovém směru ve třech rotačních úrovních [23]

Statické testování hodnotí estetické vlastnosti materiálu a komfort při nošení oděvu, nehodnotí však odolnost textilie v průběhu namáhání, jaké lze například při vysokohorské turistice či sportování očekávat. Při reálném nošení je oděv namáhán i dynamicky, ne pouze staticky.

Studie autorů Padleckiena a Petrulise [24] pojednává o tom, jak proces oděru působí na propustnost vzduchu a hmotnostní ztráty různých prodyšných polyuretanem potažených textilií s různě laminovanými textilními vrstvami. Testování oděru se provádělo na přístroji Martindale. Byl měněn počet cyklů oděru a poté byla zkoumána propustnost vzduchu na přístroji L14DR tester. Pozornost byla věnována nátěru a oděru textilního podkladu i vztahu mezi cykly a oděrem. Výsledkem testování bylo zjištění nevhodnosti jednostranně potažené textilie, neboť k oděru dochází oboustranně (bilaterální abraze). Za vhodnější alternativu považují autoři spojení tří vrstev: vrchní z tkaného materiálu, střední z naneseného povlaku nebo membrány a podšívka z materiálu pleteného.

Hodnoty propustnosti vzduchu a hodnoty ztráty materiálů testovaných vzorků měly tendenci zvyšovat se nelineárně s nárůstem počtu oděrů.

Ve studii o cyklickém namáhání paroprůstných textilií natahováním se autor Padleckiené a kolektiv [25] zabývali různými aspekty pohodlí při nošení oděvu z potažených textilií, a to propustností materiálu pro vodní páry, odolností textilie proti průniku vody a po cyklickém namáhání. Cyklická zkouška byla prováděna na přístroji Z005 s maximálním

počtem cyklů natahování 260, prodloužení materiálu se pohybovalo okolo 15-25 %. Byla zkoumána kinetika paropropustnosti přístrojem M259b - stanovení tepelné odolnosti a odolnost proti pronikání vody. Přístrojem M 018 byla zkoumána odolnost textilií proti pronikání vody pod tlakem - stanovení výšky vodního sloupce ( $m/H_2O$ ). Bylo zjištěno, že propustnost vodních par se u textilie v závislosti se zvyšujícími se parametry deformace zvyšuje a její poškození je nevratné. Po 260 cyklech se hodnoty propustnosti vodních par zvýšily o zhruba 20 % a prodloužení o 25 %. Rezistence materiálu proti průniku vzorku vodou klesá s rostoucími hodnotami parametrů protahování, tedy se zvyšující deformací tkanin se snižuje odolnost proti pronikání vody a zvyšuje se prodyšnost.

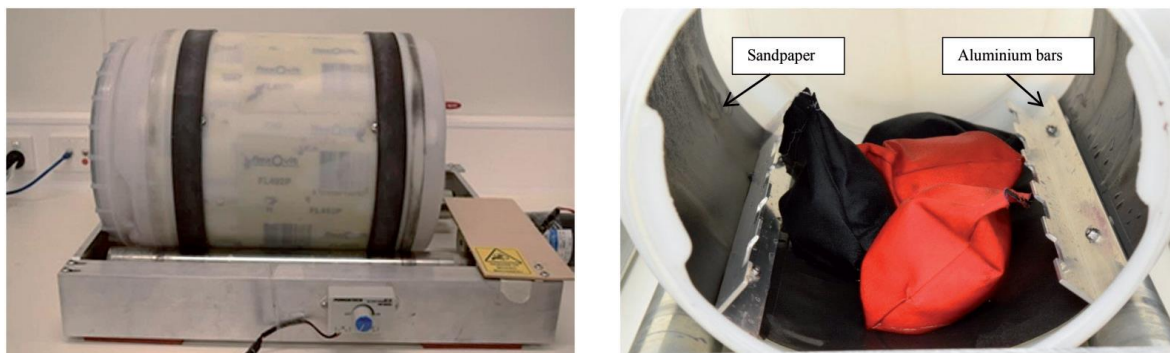
Mechanické namáhání je v oblasti malých deformací. Protržení oděvu při klasickém nošení nastává velmi zřídka, ale v extrémních okolních podmínkách je tento jev pravděpodobnější. Vnější síly, kterými je oděv namáhán, jsou tah, tlak, ohyb, krut, smyk a oděr. Mechanické namáhání rozdělujeme na statické, dynamické, jednorázové, do přetrhu, bez přetrhu, cyklické. Testuje se na pevnost, tažnost, odolnost textilie vůči vytržení zapínacího prvku, pevnost vrstev, odpor proti stlačení, tuhost ve smyku. K nasimulování jevů se využívají standardní zařízení, například testovací přístroje trhačka, Martindale, které však nevystihují podstatu namáhání oděvu při nošení.

## 2.2 Simulace reálných podmínek nošení – cyklické zkoušky namáhání

Testováním oděvu při silně zatěžujících povětrnostních vlivech, působení vody a chladu při plachtění se zabývá článek Troynikové [26]. Zkoumala laminátové membrány a nátěry na textilie z polyuretanu, polytetrafluorethylenu, akrylové a polyamidové kyseliny, které musí odolávat nárazům, oděru a porušení hydroizolace, což má jinak za následek proniknutí vody do oděvu, snížení tepelné ochrany a potenciálně hypotermie. Autorka upozorňuje na neexistující standardní metodu pro testování vodotěsné trvanlivosti tkanin v podobných náročných podmínkách. Zabývala se vyhodnocením odolnosti proti vodě s vysokou simulací opotřebení na několika komerčně dostupných přístrojích pro ohyb, oděr a cyklické natahování a na přístroji Crumple tester M262 zkoumala cyklické mačkání ve válcovém tvaru. Tyto standardní zkoušky mají však omezenou schopnost hodnocení textilních materiálů v tak náročných podmínkách, jako je plachtění, kde dochází k častému roztržení oděvu.

Autorka poukazuje, že standardní metody nepopisují reálnou úroveň namáhání, která se objevuje v podmínkách plavby. Sestavila tedy přístroj Instron 4466 k nasimulování

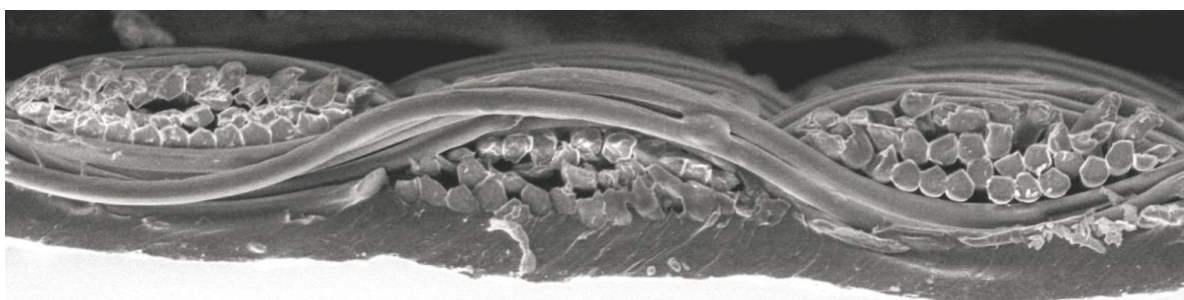
mechanického opotřebení ve vlhkém prostředí, viz Obrázek 15. Přístroj je vystlán brusným papírem, pro napodobení nárazů jsou do něho umístěny čtyři hliníkové ploché tyče s vykrojenými okraji a kuličky o různé tuhosti jsou vloženy a uzavřeny do mokrých testovacích vzorků, aby napodobily rozsah dopadů, způsobených předměty během plavby.



Obrázek 15: Navržený testovací buben [26]

Při testování kombinací různých materiálů došla autorka k závěru, že čím více spojených vrstev materiálu, tím vyšší voděodolnost sestavy, a čím vyšší plošná hmotnost materiálu a tloušťka vnitřních a vnějších tkanin, tím je potřeba i vyšší tlak pro jejich narušení.

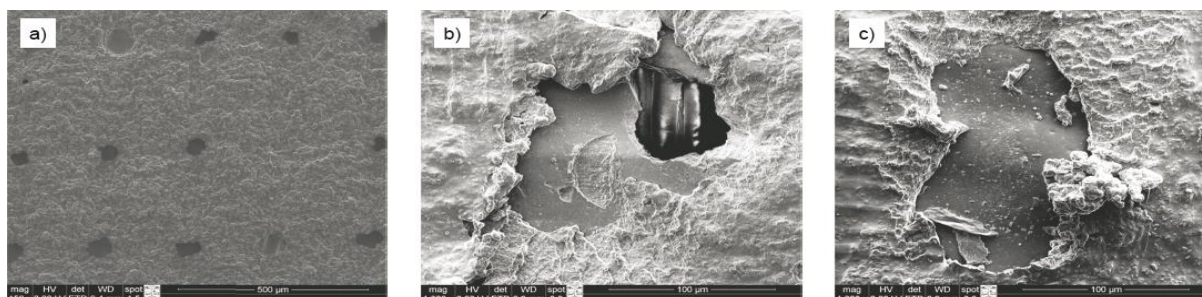
V článku Padleckienė a Petrulise [27] je popisováno testování tkaniny potažené polyuretanem metodou mačkání na přístroji Flex tester M 262 SDL. Tato metoda je velmi blízká nasimulování skutečného opotřebení.



Obrázek 16: Průřez potažené tkaniny pod el. Mikroskopem [27]

Byl zkoumán vztah mezi počtem cyklů namáhání a změnou vlastností materiálu. Byla testována voděodolnost a prodyšnost textilie, vše bylo vyhodnoceno elektronovou mikroskopií. Ve výzkumu byly použity čtyři vazby, tři plátňové a jedna keprová. Autoři testovali materiál v tisících cyklech namáhání (30, 60, 90 a 120 tisíc cyklů) s otočením o 90°.

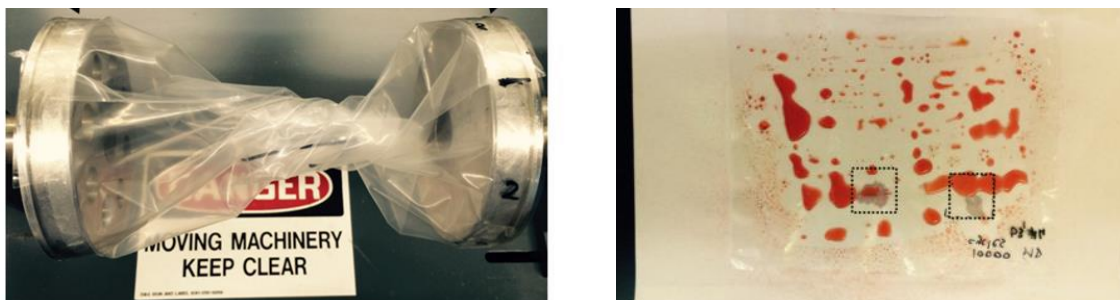
Již při menším počtu cyklů (90000) testování byly shledány různé stupně poškození ve směru osy i ve směru útku, zapříčiněné pravděpodobně rozličným napětím soustavy osnovní a útkové, viz Obrázek 16 a Obrázek 17.



**Obrázek 17: a) Počátek testování, b) Situace po 9000 cyklech ve směru osnovy, c) Po 9000 cyklech ve směru útku. Pravidelně umístěné prohlubně bez mikrotrhlin, nátěr není porušen [27]**

Prodyšnost materiálu nebyla místními prasklinami příliš ovlivněna, na rozdíl od voděodolnosti, kde byl v nejpoškozenějším místě nátěru pokles tlaku. Po 90 000 cyklech namáhání byl časový průnik prvních třech kapek tkaninou postupný, po 120 000 cyklech nastal průchod prvních třech kapek téměř současně. Čím vyšší počet cyklů namáhání materiálu, tím nižší odpor průniku vody. Použití tkané vazby či keprové vazby nemělo na životnost nátěru polyuretanu vliv. U keprové vazby byl však vzorek pevnější a delaminace byla pozorována později. Pokud potřebujeme tuhý materiál, je tedy vhodnější keprová vazba, pokud ne, je vhodné použít plátňovou vazbu.

K porozumění mechanismu deformace vlastností plastových obalů přispívá autor studie Lokhande [28]. Osvětlil vztah ohybu a poměru tuhosti a houževnatosti obalu, které jsou důležité při testování, neboť se zvyšující se tloušťkou obalu se zvyšuje napětí, což má za následek zvýšení ohybového napětí i zvýšení rychlosti tvorby otvoru. Tyto oblasti s vysokým napětím se tvoří podél linií rýh, které vznikly jako důsledek aplikovaných okrajových podmínek při rotaci a překlada. Záhyby vytvořené na folii určují místo deformace během testování plastových obalů cyklickým mačkáním, viz Obrázek 18, za použití Gelbo Testu ASTM F 392, zakroucení otočením o 440° a 90 mm posunutí pohyblivého konce.



Obrázek 18: Funkčnost přístroje Gelbo test a detekce otvorů v testovaných fóliích pomocí roztoku barviva [28]

Facciny, Vaquero, Amantia [29] zdůrazňují potenciál vývoje bariérových materiálů s nanočásticemi pro ochranné oděvy, masky a filtry. Materiál byl namáhán 1500 cykly opakované komprese a zakroucení na přístroji Gelbo test, viz Obrázek 19. Test byl zaměřen na přilnutí nanovláknenné pavučiny na podpůrnou textilii a její prodyšnost. V poškozených místech k delaminaci nedocházelo, ale byla zjištěna větší prodyšnost.



Obrázek 19: Přístroj Gelbo Flex testu a mechanické poškození nanovláknenné pavučiny po testování Gelbo Flex testu při různých zvětšeních [29]

Rovněž přístroj metody Crumple flex [30] se používá pro mačkání a ohýbání materiálu. Po dokončení zkoušky se tkanina testuje na odolnost proti pronikání vody. Přístroj umožňuje stanovit degradaci povrstvených látek v odolnosti proti vodě, způsobenou v důsledku mačkání a ohýbání materiálu. Do přístroje se vkládá vzorek o velikosti 190x220 mm, který je sešit do válcovitého tvaru, kroucen pod úhlem 90°, s možností 100 cyklů za minutu a umožňuje zkoumání 4 vzorků zároveň. Crumple flex Tester je vybaven elektronickým přednastaveným počítadlem s automatickým zastavením po předem určeném počtu cyklů a opatřen bezpečnostním krytem z akrylového plastu. Je hodnoceno spojení jednotlivých vrstev a výška vodního sloupce.

Tyto metody mačkání a ohýbání jsou hodnotné, ale vycházejí z principu testování plastových obalů a ochranných oděvů z netkané textilie. Nejsou vhodné pro vodotěsné prodyšné tkaniny určené do deště.

Přístroje na testování cyklické deformace pracují nejčastěji třemi způsoby, vzorek je ve tvaru válce [31]:

1. Přímý pohyb horní hlavice dolů a nahoru, kdy je spodní hlavice nečinná
2. Točivý pohyb horní hlavice dolů a nahoru, spodní hlavice je v nečinnosti
3. Přímý pohyb horní hlavice dolů a točivý pohyb spodní hlavice

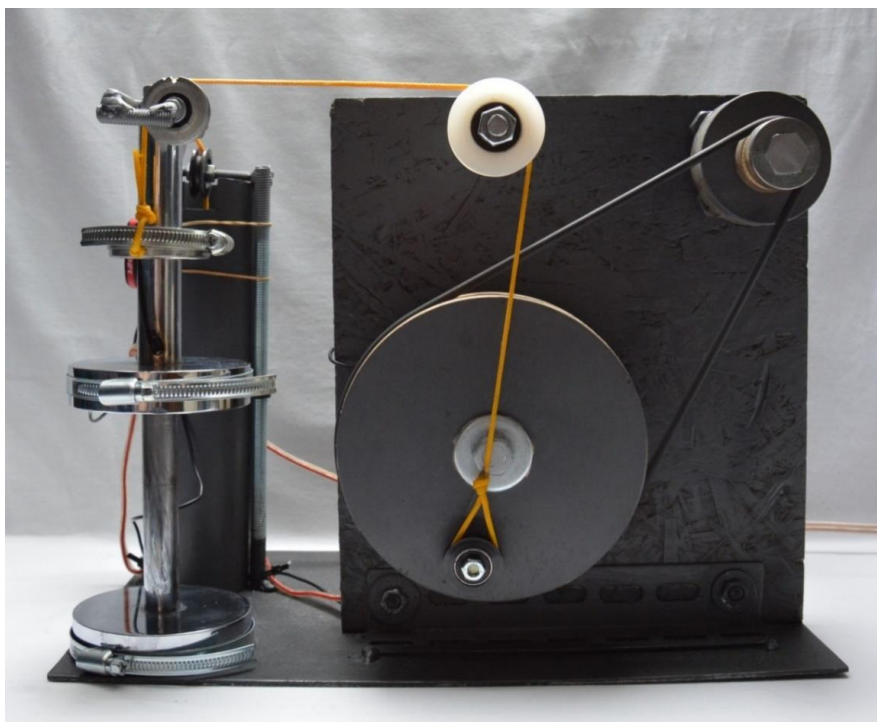
Klady těchto přístrojů na testování cyklického namáhání: rychlost, možnost nastavení počtu cyklů, možná volba velikosti zakroucení, deformovaný vzorek je možno použít pro další testování. Z tohoto důvodu se jeví jako správná volba k testování pro bariérové textilie do deště použití zautomatizovaného dutého válce.

Mádlová [31] navrhla a zkonstruovala přístroj, který cyklicky namáhá plošnou textilií ve formě válce, a tím simuluje reálné nošení. Jde o zautomatizování v současnosti mezinárodní metody dutého válce. Použila ve své práci jako testovací materiál lamináty s hydrofilní membránou, vhodné pro outdoorové a bariérové oděvy, a to Gelantos, Entrant a Dermizax.

Prototyp přístroje, který autorka nazvala M1, vychází z metody dutého válce a slouží pro určení degradace odolnosti bariérových textilií v důsledku tahu, krutu, smyku a tlaku. Byl do něj zabudován stejnosměrný motor s řízeným napětím v rozsahu 1-12 V, běžně využívaný například pro 12 V aku vrtačku. Pro výpočet cyklů slouží tachometr pro jízdní kola, časovač s přesností na vteřiny umožňuje nastavení času, kdy se má přístroj zastavit. Po zasunutí adaptéru do zásuvky se rozběhne motor (otáčky ve směru hodinových ručiček), je roztočena primární řemenice a pomocí hnacího řemene je uvedena do pohybu i sekundární řemenice, obě jsou umístěny v kuličkovém ložisku. Hlavice sjede do nejnižší pozice vlivem závaží. Velikost zkoumaných vzorků byla 295x 170 mm + 10 mm na uchycení.

Přístroj M1, viz Obrázek 20, slouží k simulaci reálného nošení oděvů. V průběhu procesu testování se osvědčil, byl funkční ve více jak 350 000 pracovních cyklech, dokázal plynule pracovat při nepřerušném provozu 20 000 deformačních cyklů.





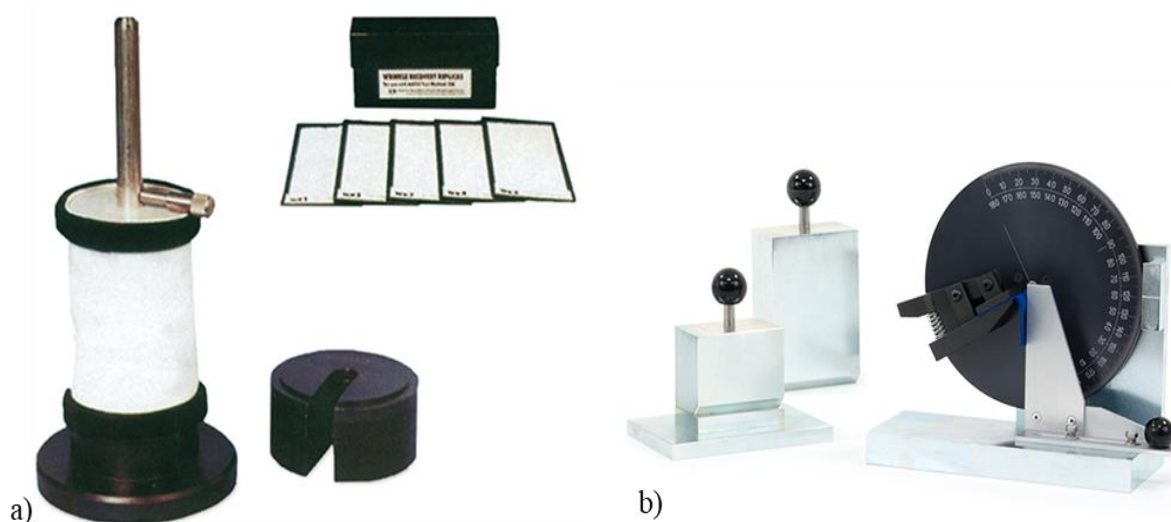
Obrázek 20: Finální verze prototypu zařízení pro simulaci cyklického mačkání, čelní pohled [31]

### 2.3 Dílčí zhodnocení rešeršní části

Touto problematikou se zabývá poměrně velké množství autorů, neboť současná doba klade důraz a vysoké nároky na komfortní vlastnosti materiálů, na vývoj nových materiálů i estetické hledisko oděvu. Lidé dnes od oděvu očekávají nejen klasickou ochranu a zahřátí, ale i něco navíc, přidanou hodnotu oděvu. Jsou vyvíjeny nové smart materiály, velký důraz je kladen na bariérové oděvy a oblečení pro aktivní sportování i za nepříznivých podmínek. Deformační vlastnosti plošných textilií jsou významné. Rozlišují se deformace tahové, ohybové, smykové, příčné stlačení nebo deformace polovinou cyklu (u destrukce pleteniny), dále celým cyklem (zatížení a odlehčení) a více cykly (hodnocení i únavy textilie). Mačkavost je způsobena viskózní a třecí složkou deformace, čili vnitřním třením textilie. Mačkavější zaplněné tkaniny, neboť v nich působí větší kontaktní síly mezi vlákny [32]. Výrobci tedy chtějí zajistit nejen vzhled (nemačkavost), ale také trvanlivost materiálu a jeho schopnost ochrannou, proto jsou textilie zkoumány v různých zátěžových situacích.

Výzkum probíhal v různých zemích, materiál byl většinou testován v přístroji tvaru válce, často cyklickou deformací. Vzorky byly deformovány natahováním i mačkáním. Byly vytvořeny různé druhy přístrojů k simulaci reálného nošení, neboť existují pouze dvě

mezinárodní metody testování mačkavosti – AATCC: Metoda úhlu zotavení Crease recovery AATCC 66 a Metoda dutého válce Wrinkle recovery tester AATCC 128, viz Obrázek 21.



Obrázek 21: Dutý válec s etalony, AATCC 128, ISO 9867, b) Metoda úhlu zotavení, AA TCC 66, ISO 2313 [33]

V ČR se provádí mačkání textilií testovací metodou ohybem - ČSN EN 22313 Plošné textilie - Zjišťování mačkavosti – schopnosti zotavení horizontálně složeného vzorku měřením úhlu zotavení.

V mém výběru článků byly testovány převážně laminované materiály a potažené nepromokavé textilie, ale i nanovláknenné materiály, které jsou vhodné pro bariérové oděvy. Některé práce se soustředily i na jiné druhy textilií, například pro autosedačky z pružného materiálu a s povrchovou úpravou, či na plastové obaly.

Někteří autoři se zabývali výpočty sklonu textilie k mačkání z hodnot regenerace materiálu po mačkání i z hodnot struktury deformace tkaniny. Vyhodnocení testování bylo nejčastěji prováděno porovnáváním vzorků podle etalonů. Někteří autoři se však hodnocení snažili zpřesnit pomocí počítače.

Výsledkem jednotlivých výzkumů bylo doporučení způsobu výroby vrstveného materiálu, vhodné laminace a výběr materiálu do nepříznivého prostředí, inovování přístrojů pro přiblížení testování reálnému nošení a doporučení přidání úhlu 45° k testovaným normám AATCC (měření úhlů v osnově a útku je nedostačující). Závěry zkoumání se často vzájemně potvrzují, přestože testování bylo prováděno na různých typech přístrojů v různých zemích.

Vzorky byly namáhány na požadovaný počet cyklů, některé přístroje umožňovaly i testování více vzorků současně. Významný vliv na mačkavost materiálu vykazuje plošná hmotnost textilie, její ohybová tuhost a elasticita, druh vláken i finálních úprav.

## **2.4 Zařízení pro testování cyklického namáhání**

Po shrnutí poznatků, hodnotících přístroje pro testování cyklického namáhání textilií, se jeví jako nejvíce vyhovující princip testování vzorku ve válci, neboť se vytvářejí záhyby, vznikající jako u reálného nošení. Přístroj je vhodné doplnit počítadlem, zaznamenávajícím každé stlačení. Také je vhodné nastavení nulové polohy na přístroji pro různé tloušťky materiálu, aby se zajistilo srovnatelné působení stlačující síly. Velikost vzorku vyhovuje pro další možná testování.

## **2.5 Zkoušky funkčnosti stávajícího zařízení pro testování cyklické mačkavosti na KOD**

Cílem této práce bylo upravit prototyp zařízení M1 pro cyklické zatěžování textilií. Přístroj M1 je funkční, ale v průběhu testování vyplynuly po určitém počtu cyklů deformace materiálu některé jeho závady. Výsledky poté neodpovídají reálnému opotřebení nošením a testovaná textilie je shrnována. Jak již bylo řečeno výše, v dnešní době se vývoj nových textilií ubírá směrem ke zvýšení trvanlivosti i estetického vzhledu. Podobné přístroje jsou tedy potřebné.

Během testování přístroje M1, bylo zjištěno několik poměrně závažných problémů:

- 1) Hlučnost přístroje. Pro její snížení autorka doporučila vložit pod M1 molitan či gumovou podložku a přiklopit jej polyesterovou krabicí.
- 2) Lanko ve vodící kladce se vysmekávalo.
- 3) Nebyl brán zřetel na tloušťku stlačovaného vzorku, tedy nastavení nulové polohy nebylo při různé tloušťce materiálu odpovídající. Některé materiály byly proto zmačkány více a některé méně, což neodpovídalo propočtům.
- 4) Vlivem zbytkového vzduchu v materiálu a možným zahřátím pravděpodobně docházelo k zvýšení tlaku a materiál kladl odpor. Do určitého počtu namáhání byly změny nezjistitelné, ale po více cyklech (přibližně 5000) docházelo ke zpomalování procesu stlačování (z počátečních 3 s až na 5 s), takže konečný výsledek stupně mačkavosti vzorku tím byl ovlivněn (méně cyklů).

- 5) Působením přetlaku vzduchu docházelo po čase k shrnování vzorku na horní hlavici v oblasti upevnění, což opět způsobovalo tvoření tvarů rýh, odlišné od reálného opotřebovávání.

Navrhované úpravy přístroje M1:

- 1) Snížit hlučnost přístroje.
- 2) Sestrojení přístroje bez použití kladky a lanka.
- 3) Nastavení nulové polohy podle tloušťky vzorku.
- 4) Odstranění zbytkového vzduchu materiálu vytvořením otvorů v přístroji.
- 5) Zdrsnění povrchu hlavice k upevnění textilie.

### 3 Experimentální část

Experimentální část byla zaměřena na úpravu nedostatků prototypu M1, umožňujícího cyklické deformování textilních vzorků. Výzkum byl realizován s koncentrací na zkoumání snížení funkcí vlastností textilie vlivem počtu deformačních stlačení tlakem, tahem, krutem a smykem. Výzkum sestával z hodnocení namáhání bariérových textilií vůči cyklickému zatěžování po osnovním směru, jejích základních vlastností (propustnost vodních par, voděodolnost) před a po cyklické deformaci a mikroskopické vizuální charakteristiky před a po cyklickém namáhání. Testování bariérových textilií probíhalo cyklickým mačkáním metodou dutého válce u čtyř třívrstvých a dvou dvouvrstvých vzorků, každý materiál obsahoval rozdílnou membránu. Experimentální část byla rozdělena do tří sekcí:

1 Nedostatky prototypu M1

2 Realizace inovativního zařízení M2 s úpravou dutého válce pro uzpůsobení bariérovému materiálu

3 Volba materiálu a stanovení metodik testování

#### 3.1 Nedostatky prototypu M1

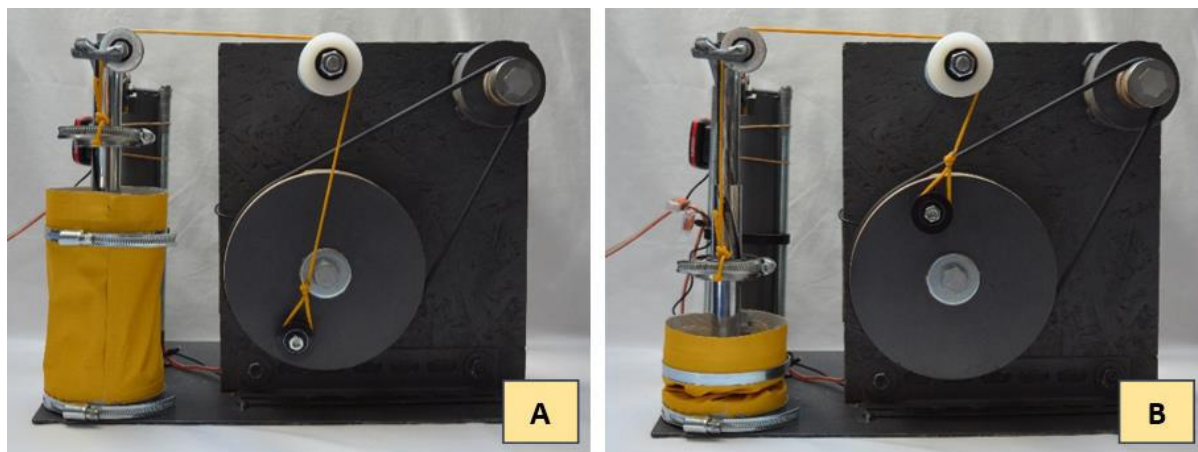
Prototyp přístroje M1 vycházel z metody dutého válce, který byl upraven pro cyklickou simulaci. Přístroj M1 vykazoval určité nedostatky:

- a) Špatné zabezpečení lanka ve vodící kladce.
- b) Vlastností větruodolnosti bariérové textilie nedocházelo k správnému stlačování v dutém válci. (Nebyl umožněn dostačující odvod vzduchu ve vnitřním prostoru mačkání, neboť větruodolná textilie je zcela neprodyšná.)
- c) Cykly nejsou počítány v M1 jednotlivě, ale průměrným výpočtem jednoho cyklu za určitý čas. Vlivem nedostatku odvodu vzduchu z vnitřního prostoru textilie docházelo ke zpomalování cyklu.
- d) Nebyl brán zřetel na tloušťku stlačovaného vzorku.
- e) Koncovka na 220 V, která po zapojení do elektrického obvodu ihned spustila přístroj M1.

##### 3.1.1 Úprava nedostatků prototypu M1

Prototyp přístroje, který autorka nazvala M1, viz Obrázek 22, vychází z metody dutého válce a slouží pro určení degradace odolnosti bariérových textilií. Stejnoseměrný motor

s řízeným napětím v rozsahu 1-12 V. Výpočet cyklů tachometrem pro jízdní kola, časovač umožňuje nastavení času, zastavení přístroje. Po zasunutí adaptéru do zásuvky se rozběhne motor, roztočí primární řemenice a pomocí hnacího řemene je uvedena do pohybu i sekundární řemenice, obě jsou umístěny v kuličkovém ložisku. Hlavice sjede do nejnižší pozice vlivem závaží.



Obrázek 22: Pracovní cyklus prototypu M1, A – maximální poloha, B – minimální poloha [31]

Zvolení potřebných úprav na přístroji M1:

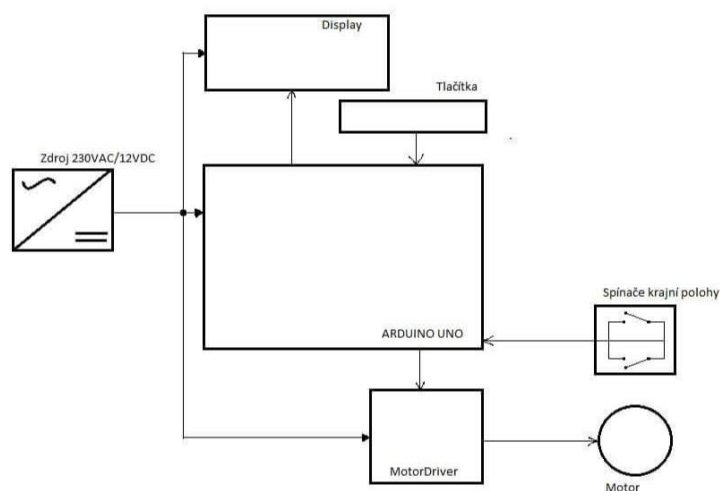
- Sestrojení přístroje bez použití kladky a lanka
- Nastavení nulové polohy podle tloušťky vzorku
- Odstranění zbytkového vzduchu materiálu (vytvořením otvorů v přístroji)
- Zdrsnění povrchu hlavice k upevnění textilie
- Automatizace počítání cyklů
- Nastavení počtu cyklů

Po prozkoumání možností tohoto zařízení a určení nedostatků přístroje M1 byl zkonstruován nový přístroj s ponecháním pouze části dutého válce a stahovací spony na uchycení textilie. Změnou sestavení konstrukce stroje bylo odstraněno lanko ve vodící kladce. Pomocí mikrosplínačů lze přizpůsobit stlačení tloušťce materiálu. Odvod vzduchu byl zajištěn vyvrtáním otvorů do vrchní části pístu dutého válce a neslepováním kraje testovaného vzorku lepicí páskou 7x7 mm. Změnou technologie ovládání (přímý pohon s převodovkou) stroje lze odstranit závaží (motor s mechanickým vačkovým převodem s protizávažím). Pro automatické počítání s možností nastavení cyklů byla zakomponována zobrazovací jednotka (display) a zvolen software Arduino UNO.

### 3.2 Realizace inovativního zařízení M2

Navrhovaný inovativní přístroj vychází z metody dutého válce pro testování mačkovosti v rozsahu krutu od  $0^\circ$  do  $180^\circ$ , simuluje zkoušku nošením cyklickým namáháním v určitém počtu deformačních cyklů, viz Obrázek 35: Průběh pohybu válce při jednom cyklu.

Nejprve byl zvolen rozsah potřebných úprav na přístroji M1, dále byly vybrány komponenty a elektrosoučástky potřebné k sestavení stroje. Následně byl vytvořen jednoduchý nákres umístění komponentů na základovou desku přístroje se zapojením do elektrické sítě, viz Obrázek 23.



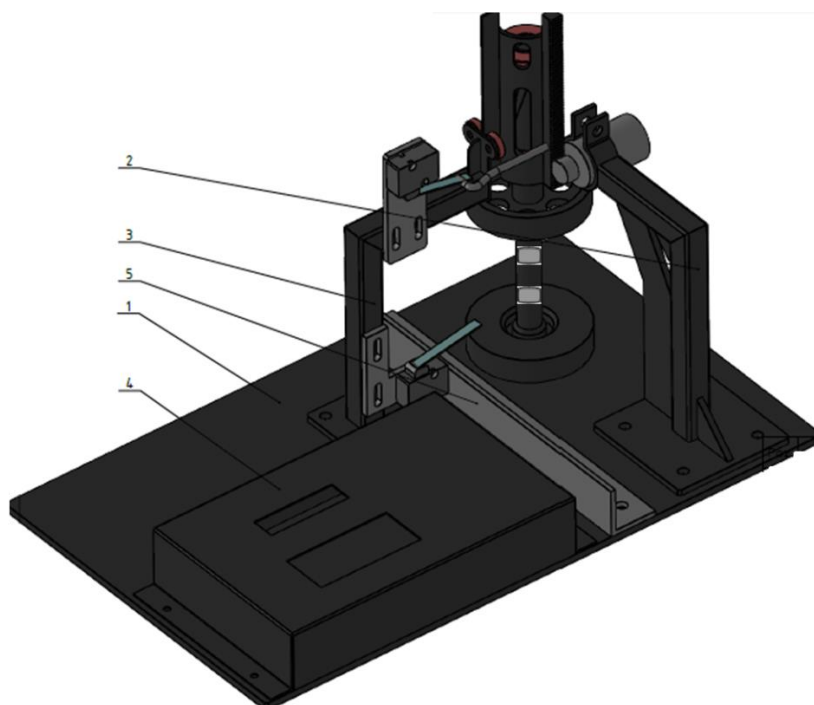
Obrázek 23: Elektrické zapojení přístroje

#### a) Komponenty pro sestavení přístroje M2:

- Základní deska
- Spodní část pístu dutého válce
- Sestavení horního pístu s domkem
- Vrchní část pístu je spojena se spodní částí pístu čepem
- Držák na motorek s výztuhou, upevnění motorku
- Držák stabilizace nastavby, držáky mikrospínačů
- Instalace el. komponentů a následné zapojení zakryté rozvaděčem
- Nahrání softvéru
- Zpevnění základní desky L profilem
- Montáž krytu elektrokomponentů

- Gumové nožičky
- Stahovací spony na uchycení materiálu

Základní sestava komponentů přístroje M2, viz Obrázek 24.



Obrázek 24: Přípravek, sestava přístroje bez zapojení

1.	Základní deska 6x300x500 mm
2.	Sestava držáku motoru
3.	Sestava osy
4.	Rozvaděč
5.	L profil 40x40/4 mm

Počáteční problémy při konstrukci přístroje M2:

- Prohýbání základní desky
- Nalezení vhodného motoru
- Výměna železného kolíku za polyamidový – snížení špinění způsobené třením kovových částí.
- Při vývoji stroje nebyl v počátku konstrukce brán zřetel, na možnost špinění textilu vlivem tření kovu o kov středních os. Začátek testování provázelo špinění materiálu, které bylo způsobováno třením vrchního dílu pístu o hřídel spodního dílu. Proto byla



instalována pružinka s igelitem k zabránění špinění. Tato úprava se ukázala jako nedostačující. Následně byla provedena změna u spodní části tyče pístu, a to jeho zúžení o průměru 2 mm a přidání pěti teflonových kroužků.

#### **b) Podrobnější popis komponentů stroje:**

##### *Základní deska:*

Příprava základní desky pro následné připevnění komponentů stroje: vyvrtání otvorů a závitů, odhranění hran, odmaštění a nátěr ocelové ploché desky (číslo materiálu 11373). Rozměr desky 500x300x6 mm.

##### *Spodní část dutého válce:*

Prvotní úprava spodní části dutého válce zahrnovala vysoustružení drážky pro pružinku a pro igelitovou ochranu, neboť třením (nevhodný povrch) mezi horním a spodním dílem dutého válce stroje docházelo ke špinění testované textilie. Následně byla připevněna na základní desku dvěma šrouby.

Zhruba po 180 000 cyklech horní píst prodřel povrchovou chromovou vrstvou až na železný materiál, ze kterého byl vyroben. Horní díl se počal zadírat a velmi špinit, až docházelo k zastavování motorku.

Proto byla zvolena místo pružiny a igelitové zábrany k zamezení špinění další úprava: nová spodní tyč (nerez 17240). Průměr spodní části pístu byl zmenšen o 2 mm na 16 mm. Dále bylo na tyč umístěno pět teflonových kroužků o vnějším průměru 18 mm a vnitřním 14 mm, a to na drážky o hloubce 2 mm vyhloubené v tyči, optimálně rozpočítáno na pěti místech. Důvodem bylo omezení tření kovu o kov.

Zároveň vrchní část pístu postoupila chemické niklování za tepla. Tím došlo k vytvrzení vnitřní části trubky pro zamezení špinění. Poniklování (nanesení povlaku niklu) vnitřního průměru vrchního pístu posloužilo ke snížení tření.

*Horní část dutého válce:*

Úprava horní části dutého válce: odlehčení horního pístu (vysoustružení a odvrtání děr pro odvod vzduchu z vnitřní části materiálu při testování). Výměna původního kovového kolíčku za polyamidový z důvodu snížení mechanického tření.

*Sestavení horního pístu s domkem:*

Výroba domku pro umožnění cyklického pohybu a otáčení o 180°.

Byla použita dvě ložiska s vnitřním průměrem stejným jako vnější průměr trubky horního dílu. Dále trubka s vnitřním průměrem, který je menší, než je vnější průměr ložiska. Trubka je osoustružena do požadované hloubky na přesný vnější průměr ložisek. Nad ložiska se na soustruhu vysoustruží zápich pro zajištění ložiska pomocí segrové pružiny, který zajistí umístění ložisek (44/22/12-2RS).

Dále je trubka odlehčena vyfrézováním drážek pro snížení její hmotnosti. Na vnější průměr trubky je navařena v požadované délce příslušná závitová tyč, v úhlu 90° se navaří plochá ocel pro zajištění proti aretaci (otáčení) trubky horního dílu. Následuje úprava lakováním a následné nalisování na trubky horního pístu do požadované polohy. Horní píst s domkem je nasunut na tyč spodního dílu dutého válce.

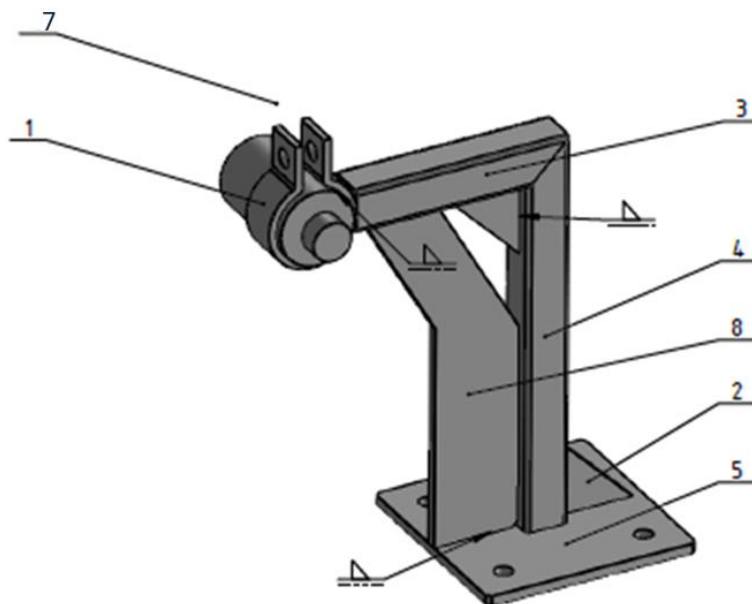
Spojení horního dílu se spodním dílem pístu polyamidovým čepem, viz Obrázek 25.



Obrázek 25: Vrchní část pístu bez kolíčku s polyamidovým kolíčkem

*Sestava držáku motoru:*

Nařezán příslušný materiál (jackel 20x20 mm) požadované délky a úhlu, následné svaření nařezaných částí a nalakování. Přišroubování držáku motoru, viz Obrázek 26.



Obrázek 26: Sestava držáku motoru

1.	Držák motoru 20x3,5x35 mm
2.	Žebro držáku 5x35x35 mm
3.	Profil držáku 20x20 mm
4.	Profil držáku 20x20 mm
5.	Deska držáku motoru 5x100x100 mm
6.	Motor 12 voltů
7.	Pastorek
8.	Výztuha držáku 5x165x75 mm

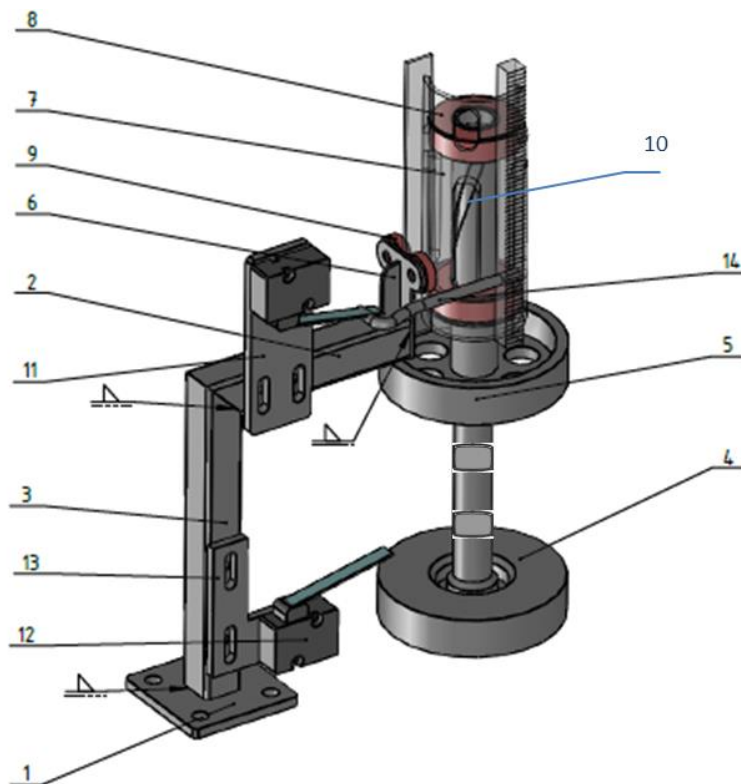
Následné přišroubování celého dílu k základní desce. Do držáku upevněn motor, viz Obrázek 27. Motor s převodem Modelcraft RB350050-0A101R, 12V, 50:1, DC stejnosměrný motor. Směr otáčení určen polaritou napájení. Vstupující proud při zatížení 2,1 ampéry. Otáčky bez zatížení 120 (*ot. /min*), se zatížením 104 (*ot. /min*). Zatížení převodovky maximálně 9 (*kg/cm*), permanentní zatížení 3 (*kg/cm*).



Obrázek 27: Motor 12V, převodový poměr 1:50, Ø motorku 35 mm, Ø převodovky-37 mm [34]

*Držák stabilizace nástavby s držáky mikrospínačů:*

Dále byl vyroben držák ložisek (zajištění proti otáčení) a mikrospínačů, viz Obrázek 28. Nařezání jucklů 20x20 mm, dále vzpěry držáků, dále výroba desky (odhranění děr a hran). Držák ložisek byl vyroben svařením částí, odmaštěn a nalakován. Výroba držáků mikrospínačů: vyvrtání a vyfrézování otvorů, nalakování a přišroubování k jackelům.



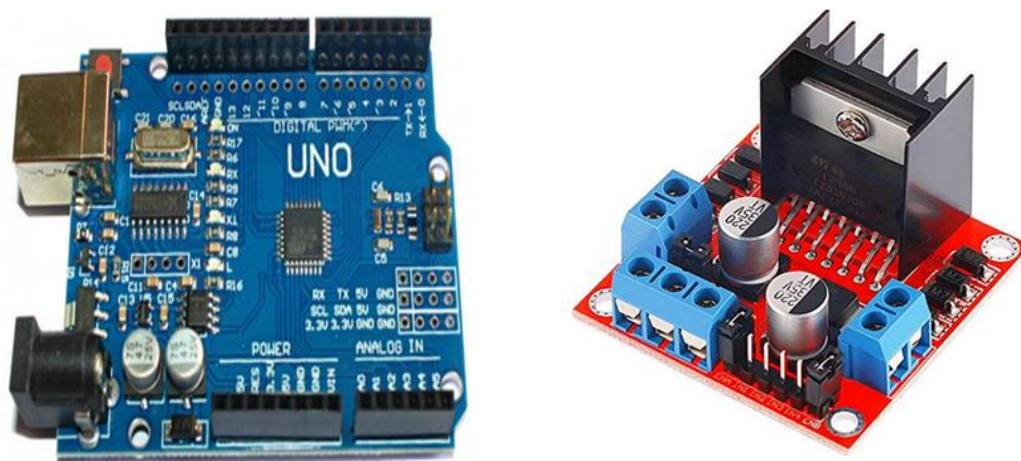
Obrázek 28: Sestava osy dutého válce s mikrospínači

1.	Podstavec držáku osy
2.	Profil držáku 20x20 mm
3.	Profil držáku 20x20 mm
4.	Spodní část pístu
5.	Vrchní část pístu
6.	Držák ložisek
7.	Domek s hřebenem
8.	Ložiska
9.	Ložiska
10.	Kolík
11.	Pružina tlačná
12.	Deska mikrospínače
13.	Mikrospínač
14.	Deska mikrospínače

Pod víko rozvaděče je připevněn minipočítač Arduino UNO (UNO R3 pro Arduino MEGA328P Originální čip ATMEGA16U2), dále modul desky řídicí jednotky DC krokového motoru L298N k rozvodu napětí, viz Obrázek 29. Na víko rozvaděče je přišroubován display a nalepena samolepicí tlačítka.

#### *Instalace elektrických komponentů:*

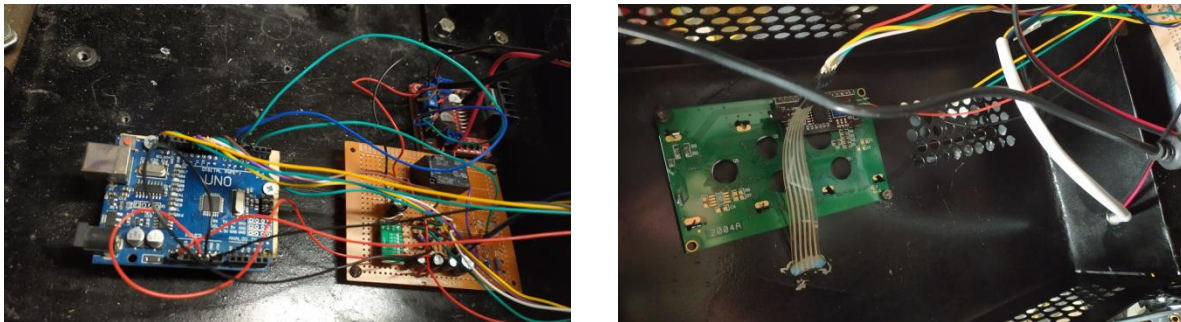
Všechny komponenty byly propojeny dle elektrické dokumentace. Dále byl připojen napájecí zdroj (propojeno kabely).



Obrázek 29: Arduino UNO [35], modul desky [36]

### *Software:*

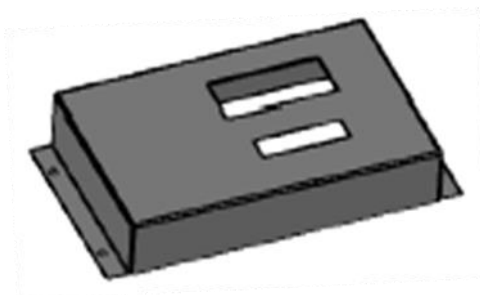
Základním ovládacím prvkem stroje M2 je minipočítač Arduino UNO a program v něm nahráný v jazyku C++, který stroj ovládá. Minipočítač typu Arduino UNO, ve kterém je nahrán program, počítá jednotlivé cykly podle zátěže motorku, po dojetí poloviny cyklu přepne po najetí na mikrospínač do reverzního (zpětného chodu) počáteční polohy. Napájení M2 trafem s výstupním elektrickým proudem 3 ampéry a zatížitelností 36 wattů. Zapojení komponentů viz Obrázek 30.



Obrázek 30: Zapojení komponentů do elektrického obvodu

### *Montáž krytu elektrokomponentů:*

- Přiklopení víka rozvaděče a jeho přišroubování k základní desce, viz Obrázek 31.



Obrázek 31: Rozvaděč

### *Zpevnění základní desky L profilem:*

Na základní desku byl přišroubován L profil z důvodu zpevnění, neboť při stlačení textilie docházelo k prohýbání základní desky.

*Gumové nožičky:*

Pryžové nožičky kruhového tvaru, průměr 30 mm a výška 20 mm.

Pro zamezení vibrací, snížení tření podkladové desky, na které stroj stojí (stůl) a k vytvoření prostoru pro šrouby držící komponenty z její spodní strany byly na základní desku nalepeny gumové nožičky.

*Stahovací spona:*

Pro zabezpečení pevného uchycení testovaného materiálu slouží hadicová spona s lisovaným závitem, viz Obrázek 32.



**Obrázek 32: Hadicová spona [37]**

K spuštění M2 dochází po zasunutí vidlice do zásuvky, stroj je tím aktivován do pracovní činnosti. Na display je navolen (plusy a mínusy) požadovaný počet cyklů mačkání, odcentrováním a tlačítkem start dojde ke spuštění stroje.

### 3.3. Charakteristika testovaných materiálů

K testování byly vybrány laminované materiály s membránou. Membrána je velmi tenká folie, tloušťky okolo 0,2 mm, jež se nedá zpracovávat samostatně. Musí být laminována na textilní nosič. Testované materiály, sloužící jako nosič, jsou v tomto případě chemická polyesterová a polyamidová velmi pevná vlákna s tvarovou stálostí, která téměř neabsorbují molekuly vody. Jedná se o hustě tkané nemačkové plátňové vazby.

Spojení tří materiálů reprezentuje laminaci vrchní látky, membrány a podšívky v jedno, jedná se tedy o třívrstvý laminát. U spojení vrchní tkaniny a membrány se jedná o dvouvrstvý laminát. Tyto textilie jsou prodyšnější oproti třívrstvým, ale s menší mechanickou odolností a bez ochrany membrány. Tkanina musí být plochá a dimensionálně stabilní. Spojování se provádí pomocí polyuretanového lepidla, které zajistí, aby nedošlo k delaminaci nebo selhání při používání. Laminace vyžaduje dovednosti a znalosti, jde o složitý proces technologie laminace, komplikovaný výběr pojiva a jeho nános na textili. Pro zajištění výsledných specifických vlastností laminátů s využitím nových materiálů a technologií. Zvyšování drsnosti povrchu obecně zlepšuje pevnost spojení. [38]

Laminace na textilní nosič je prováděna pomocí pojiva, tlaku, tepla.




Vlastnosti testovaných materiálů jsou nepromokavost, paropropustnost, větruodolnost, mechanická odolnost, odolnost vůči UV záření, odolnost vůči nízkým teplotám a vyšší životnost.

Jako membrány v testovacích textiliích byly zvoleny Gelanots, Dermizax, Ezanagi a Diaplex - jde o neporézní hydrofilní membrány (polyuretan), u nichž je přenos vlhkosti založen na chemicko-fyzikálním principu, kdy se voda na určitou dobu stává součástí membrány. Dále Entrant, což je mikroporézní membrána. V její struktuře, je velké množství malých pórů, které umožní molekulám vodních párů prostup z vnitřní strany na vnější, ale pro kapky vody z vnější strany do vnitřní jsou neprůchodné. [1]




Reprezentativní soubor tkanin sestával ze šesti vzorků. Z toho byly tři třívrstvé a tři dvouvrstvé materiály. Charakteristika použitých vzorků viz Tabulka 1, Tabulka 2.



Tabulka 1: Charakteristika testovaného třívrstvého materiálu

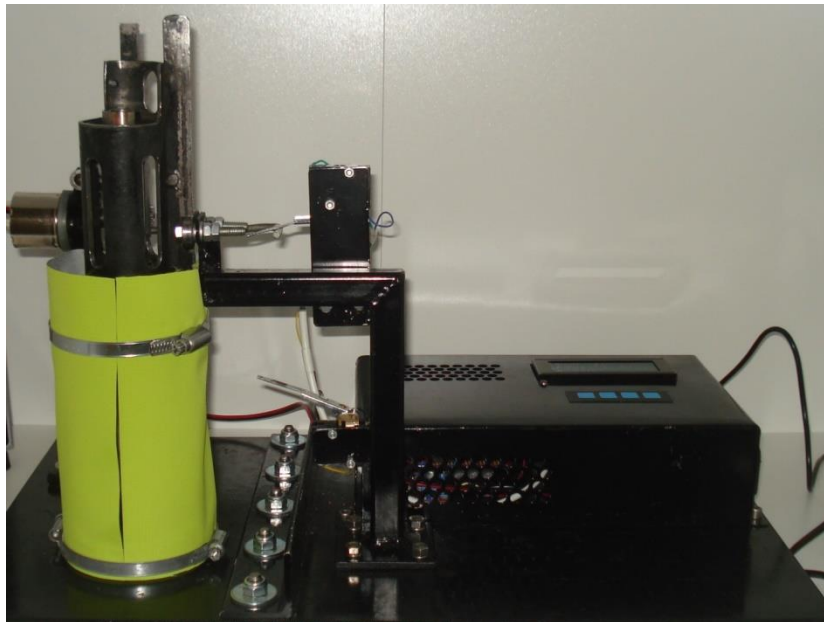
Tab. 1 Charakteristika použitých materiálů – třívrstvý laminát			
Označení	T1	T2	T3
Třívrstvý laminát barva	ŽLUTÁ 	ZELENÁ 	MODRÁ 
Složení	100% Polyamid	100% Polyamid	100% Polyamid
Membrána	Gelantos	Diaplex	Ezanagi
Výška vodního sloupce ( $m/H_2O$ )	20	20	20
Propustnost vodních par ( $g/m^2/24\text{ hod}$ )	39 000	20 000	20 000
Plošná hmotnost ( $g/m^2$ )	91	162	91
Tloušťka (mm)	0,24	0,34	0,26

Tabulka 2: Charakteristika testovaného dvouvrstvého materiálu

Tab. 2 Charakteristika použitých materiálů – dvouvrstvý laminát			
Označení	T4	T5	T6
Dvouvrstvý laminát barva	TMAVĚ ŠEDÁ 	ŠEDIVÁ 	ČERNÁ 
Složení	100% Polyester	100% Polyester	100 % Polyamid
Membrána	Dermizax	Entrant	Bez názvu, taiwanský výrobce, Polyuretanová
Výška vodního sloupce ( $m/H_2O$ )	20	20	10
Propustnost vodních par ( $g/m^2/24\text{ hod}$ )	10 000	20 000	10 000
Plošná hmotnost ( $g/m^2$ )	173	90	51
Tloušťka (mm)	0,29	0,13	0,07

### 3.4 Metodika a charakteristika zařízení pro cyklické mačkání materiálu

Zhotovený inovovaný stroj M2, viz Obrázek 33, pracuje na principu dutého válce. Mezinárodní metoda testování dutého válce je AATCC TM 128.



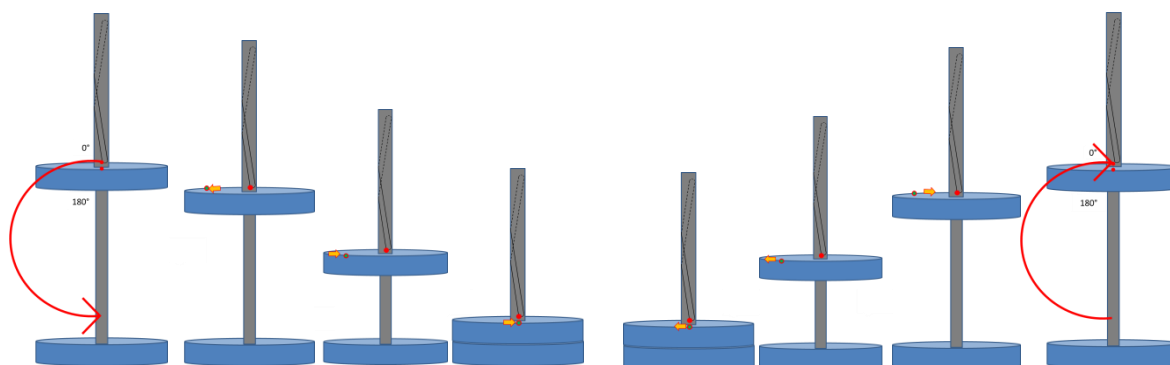
Obrázek 33: Stroj M2

Pohyb a směr válce při jednom cyklu, viz obrázek: Pohyb začíná v horní nulové poloze a válec sjíždí směrem dolů. V půlce cyklu se válec nachází v nejnižší dolní poloze. Pak opět válec stoupá směrem nahoru do počáteční polohy. Pohyb je veden vyfrézovanou drážkou, která zajišťuje pootočení o  $180^\circ$ , viz Obrázek 34 .



Obrázek 34: Pracovní cyklus směru stroje, pohyb hlavice o  $180^\circ$

Čas trvání jednoho cyklu v otočení o  $180^\circ$  a stlačení textilie trvá 2,3 sekundy, což je 26 cyklů za minutu. Ukázka pohybu válce, viz Obrázek 35.



Obrázek 35: Průběh pohybu válce při jednom cyklu

Podle normy ČSN EN ISO 7854 [7] – Textilie povrstvené pryží nebo plasty, zjišťování odolnosti proti poškození pohybem, je testován textilní vrstvený materiál na opakovaný pohyb počtem cyklů 9000 metodou mačkání a ohýbání.

Pro toto testování byl zvolený počet cyklů mačkání textilie (v tisících) 2-4-6-8-10-15-20.

Bylo zvoleno okolní prostředí: teplota okolí  $20\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ , vlhkost okolí  $43\% \pm 2\%$ .

Stanovená velikost vzorku: šířka 285 mm (obvod hlavice), délka: 180 mm (z důvodu velikosti vzorku pro následné testování). Deformace vzorku je v osnovním směru. Nejvíce namáhaná plocha vzorku je o velikosti 105x285 mm.

Vzorky před deformací musí být neporušeny.

### 3.4.1 Upnutí testovacího vzorku do přístroje M2

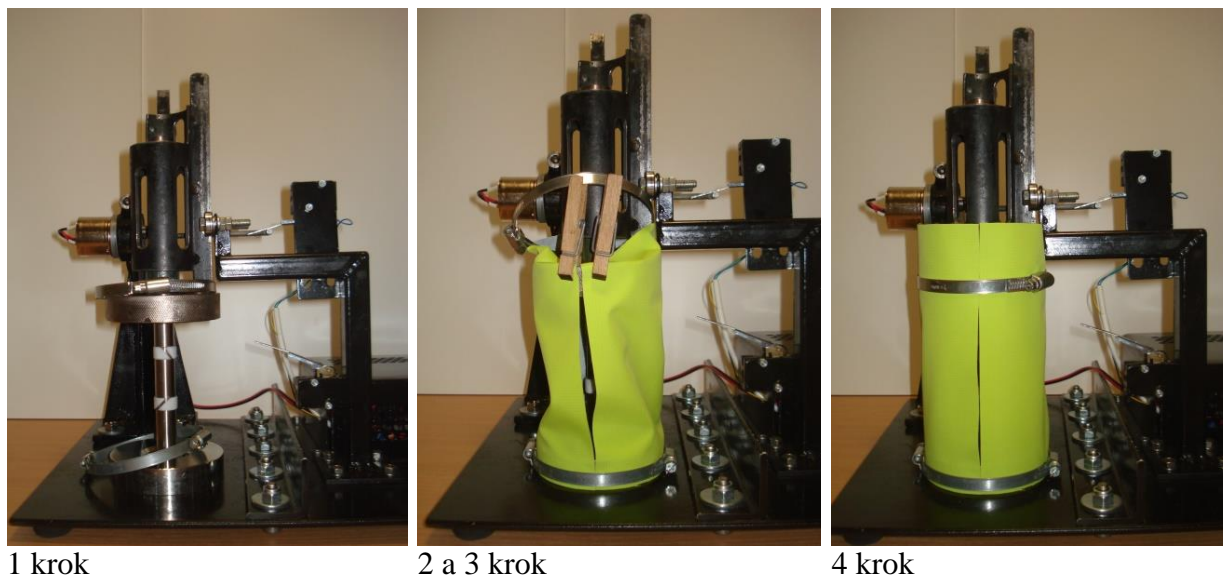
Testovaný vzorek 285x180 mm je upnut do přístroje dvěma hadicovými sponami na vrchní a spodní část pístu. Pomocnými nástroji jsou dva kolíčky pro přichycení textilie na vrchní část pístu a k utáhnutí je použit hadicový šroubovák se šestiúhelníkovým zakončením o  $\text{Ø } 7\text{ mm}$ , bezdrátová meteostanice zobrazuje teplotu a vlhkost okolí stroje, viz Obrázek 36.



Obrázek 36: Nářadí pro upevnění textilie a nastavení polohy dojezdu válce

Postup jednotlivých kroků, viz Obrázek 37:

- 1) Hadicové spony se položí na písty.
- 2) Textilie je obtočena kolem vrchního pístu a zajištěna kolíčky.
- 3) Obtočení textilie kolem spodního pístu a utažení hadicovou sponou napevno.
- 4) Sundání pomocných kolíčků a pevné utažení hadicové spony na vrchním pístu.



Obrázek 37: Upnutí textilie do M2

### 3.4.3 Spuštění stroje M2

K spuštění stroje a k zobrazování počtu provedených cyklů slouží LCD Display Monitor 2004 20x4 (počet míst) s napájením 5 V, viz Obrázek 38.

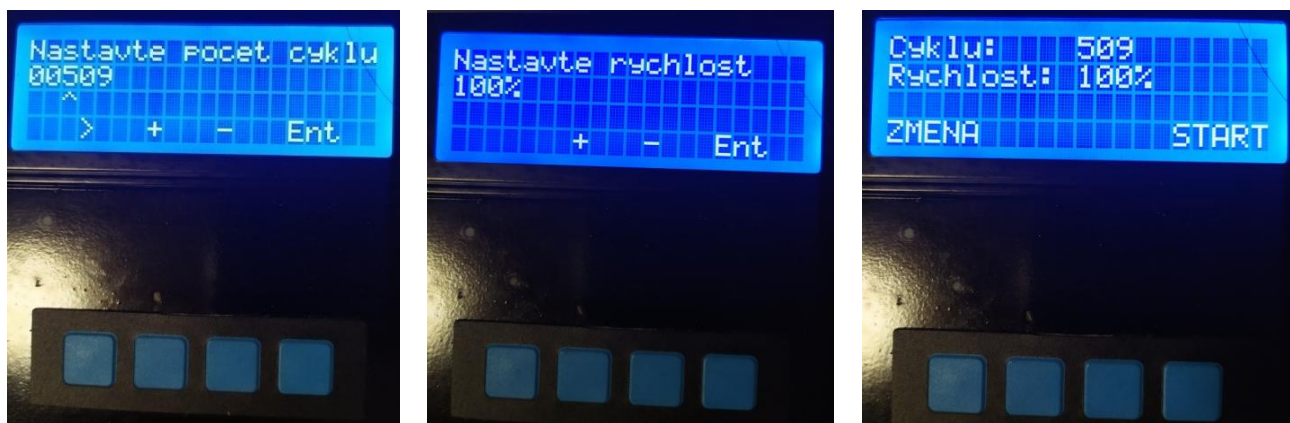
Spuštění stroje dochází zapnutím do elektrického obvodu, navolením požadovaných cyklů tlačítka a potvrzením startu. Tlačítka jsou upevněna na rozvaděči. Lze nastavit maximální počet cyklů 39 999.

Ovládání tlačítek:

První tlačítko ovládá šipku  $\wedge$ . Šipka umožňuje posouvání zleva doprava o pět míst pod čísly.

Druhé a třetí tlačítko umožňuje nastavení čísel od 1 do 9. Druhé tlačítko  $+$  přidává hodnotu u čísla, pod kterým je umístěna šipka  $\wedge$ . Třetí tlačítko naopak ubírá hodnotu u čísla, pod kterým je šipka  $\wedge$  umístěna.

Čtvrté tlačítko umožní prvním stlačením potvrzení nastavených cyklů (Ent), druhé stlačení umožní potvrzení rychlosti od 60 % do 100 % (Ent) a třetí stlačení spustí stroj M2 (START).



Obrázek 38:: Nastavení počtu cyklů

Pokud náhle dojde k výpadku elektrického proudu nebo se z jiných příčin přeruší testování, přístroj M2 dokáže konečný stav cyklů, který byl dosažen před vypnutím, uložit do paměti (Arduino UNO) a následně pokračovat z místa ukončení před vypnutím, až dosáhne nastavený počet cyklů, kdy se stroj sám zastaví.

Pokud je potřeba navolit nové testování po stlačení prvního tlačítka start se objeví na displayi pokyn k nastavení počtu cyklů, viz Obrázek 39.



Obrázek 39: Dokončení navoleného testování

Nastavení mikropsínačů provedeme poté, co dojde k upevnění testované textilie na válec. Ručně zatlačíme na horní část pístu. Píst sjede dolů a stlačí textílii. Na držáku stabilizace následně mikropsínač pomalu ručně zvedneme, neuslyšíme cvaknutí. V této poloze utáhneme spodní šroub u tohoto mikropsínače. Ručně vyjedeme s válcem do horní polohy a utáhneme horní šroub mikropsínače. Vyzkoušíme jeden cyklus a dotáhneme šrouby. K povolení a dotažení je použit imbusový klíč o velikosti 5, viz Obrázek 36.

### 3.4.4 Laboratorní testování - Přístroj PERMETEST, termofyziologické vlastnosti

ČSN EN ISO 11092 (800819): Textilie - Fyziologické účinky - Měření tepelného odporu a výparného odporu za stálých podmínek (zkouška pomocí vyhřívané desky simulující efekt pocení).



Obrázek 40: PERMETEST KHT [39]

Podstatou zkoušky je měření tepelného toku. Vyhřívaná a zvlhčovaná porézní deska slouží k simulaci přenosu tepla a hmoty. [40] Měření paropropustnosti (RWVP), [g/m<sup>2</sup>/24 hod] - čím vyšší hodnota, tím je materiál paropropustnější. Měření výparného odporu (Ret), [m<sup>2</sup>\*Pa\*W<sup>-1</sup>] - čím nižší hodnota, tím paropropustnější textilie. Přístroj je založen na přímém měření tepelného toku, procházejícího povrchem tohoto tepelného modelu lidské pokožky, kdy porézní a zvlhčovaný povrch modelu simuluje ochlazování pocením. Na tento povrch je položena separační folie a testovaný vzorek textilie, který je z vnější strany ofukován. Měřicí hlavice (skin model) má teplotu okolního vzduchu, který je do přístroje nasáván. Speciální snímač měří výparný tepelný tok, jehož hodnota je přímo úměrná paropropustnosti textilie či nepřímo úměrná jejímu výparnému odporu. Výslednou hodnotou přístroje Permetest, (Obrázek 40) je relativní propustnost vodních par p [%], jež je vypočítána dle vzorce:

$$P = \frac{P_1}{P_0} [\%]$$

$P_1$  – maximální ustálená hodnota propustnosti po vložení vzorku do přístroje [mV]

$P_0$  – maximální ustálená hodnota propustnosti před vložení vzorku do přístroje [mV] [40]

Měření probíhalo na Katedře hodnocení textilií v Liberci podle IN 23- 304 -01/01. Stanovení termofyziologických vlastností textilií na přístroji Permetest [39]. Jde o nedestruktivní testování, vkládá se celý vzorek 28,5x18 cm.

### 3.4.5 Laboratorní testování - Stanovení odolnosti proti pronikání vody. Zkouška tlakem vody

ČSN EN ISO 811 (800818): Textilie - Stanovení odolnosti proti pronikání vody - Zkouška tlakem vody. [41]

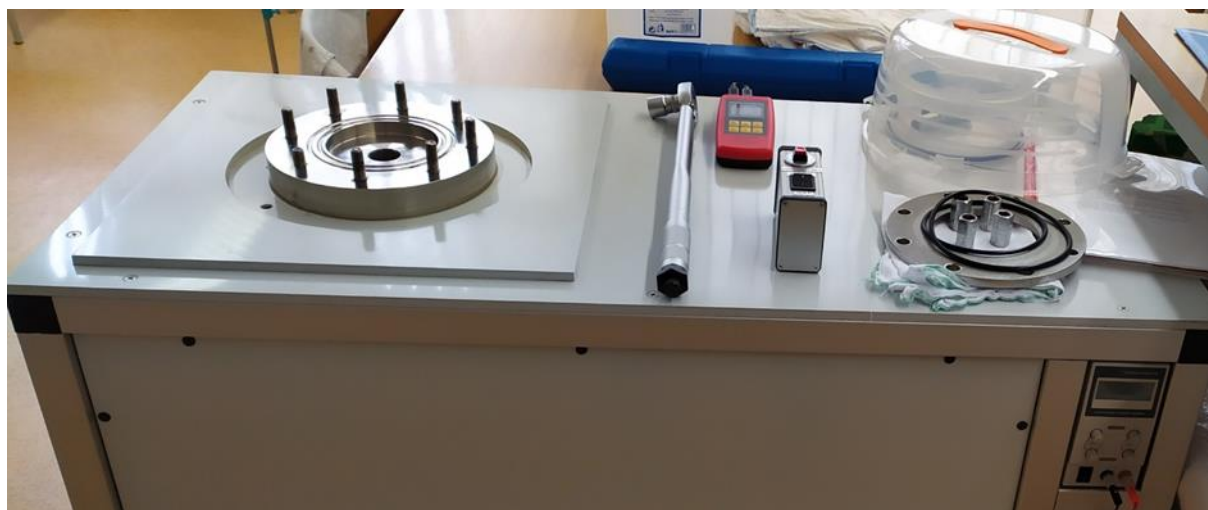
Tato metoda je určena pro tkaniny s hustou dostavou a povrstvené plošné textilie.

Metoda stanovení odolnosti plošných textilií proti pronikání vody pomocí hydrostatického tlaku. Vyjadřuje se výškou vodního sloupce m, kterou textilie udrží. Na testovaný materiál působí stále se zvyšující tlak vody. Textilie je vzrůstajícímu tlaku vody vystavena dokud nedojde k proniknutí vody na třech místech vzorku. Měří se čas tohoto proniknutí vody na třech místech.

Jde o destruktivní testování. Velikost vzorku je dána tvarem držáku textilie, který zajistí utěsnění materiálu v přístroji. Kruh nebo čtverec o vnitřní straně 17 cm.

Testovaný vzorek je vystaven trvalému tlaku z jedné strany po určitý časový úsek.

Měření probíhalo na Katedře hodnocení textilií v Liberci na přístroji Shirley Hydrostatic Head Tester SDL M018, viz Obrázek 41.



Obrázek 41: Shirley Hydrostatic Head Tester SDL M018, KDO [41]

### **3.5 Vyhodnocení cyklického mačkaní voděodolných textilií - vizuální hodnocení zmačkaného povrchu**






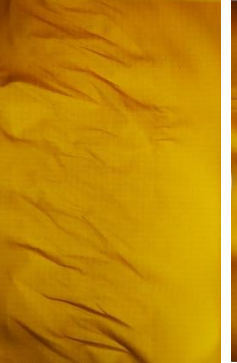










Cílem testování bylo porovnání experimentálně mačkaných šesti vzorků (tři třívrstvé a tři dvouvrstvé materiály) v cyklickém namáhání po cyklech 2000, 4000, 6000, 8000, 10000, 15000, 20000. Pro vyhodnocení poškození materiálu cyklickou deformací na přístroji M2 byly nejprve vizuálně zhodnoceny viditelné lomy vzorků po deformaci. Textilie byly poté podrobeny laboratornímu hodnocení termofyziologických vlastností a zkoušce tlakem vody. Pro zjištění poškození vnitřní struktury textilie byla použita obrazová analýza.

Cyklická deformace testovaných vzorků je uvedena v Tabulka 3, Tabulka 4, Tabulka 5, Tabulka 6, Tabulka 7, Tabulka 8.

















Je zde znázorněn proces od původního nedeformovaného materiálu až po stadium 20 000 deformačních cyklů. U vzorků s větší tloušťkou textilie (třívrstvý laminát vzorek T2) nejsou lomy na lícové straně tak výrazné jako na rubové straně. U vzorků nedocházelo k stejnému vykreslení lomů. Docházelo k deformaci po celé části vnitřního vzorku vlivem zakroucení.

















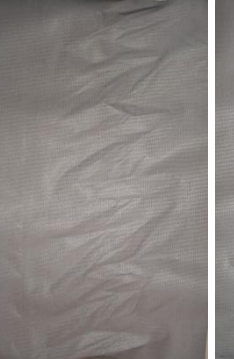

Tabulka 3: Vizuální hodnocení deformace textilie vzorku T1

Třívrstvý laminát – ŽLUTÝ - T1							
Líc textilie							
0 cyklů	2 000	4 000	6 000	8 000	10 000	15 000	20 000
							
Rub textilie							
0 cyklů	2 000	4 000	6 000	8 000	10 000	15 000	20 000
							

Tabulka 4: Vizuální hodnocení deformace textilie vzorku T2

Třívrstvý laminát – ZELENÁ – T2							
Líc textilie							
0 cyklů	2 000	4 000	6 000	8 000	10 000	15 000	20 000
							
Rub textilie							
0 cyklů	2 000	4 000	6 000	8 000	10 000	15 000	20 000
							

Tabulka 5: Vizuální hodnocení deformace textilie vzorku T3

Třívrstvý laminát – MODRÁ – T3							
Líc textilie							
0 cyklů	2 000	4 000	6 000	8 000	10 000	15 000	20 000
							
Rub textilie							
0 cyklů	2 000	4 000	6 000	8 000	10 000	15 000	20 000
							

















Tabulka 6: Vizuální hodnocení deformace textilie vzorku T4

Dvouvrstvý laminát – TMAVĚ ŠEDÁ – T4							
Líc textilie							
0 cyklů	2000	4000	6000	8000	10 000	15 000	20 000
							
Rub textilie							
0 cyklů	2 000	4 000	6 000	8 000	10 000	15 000	20 000
							

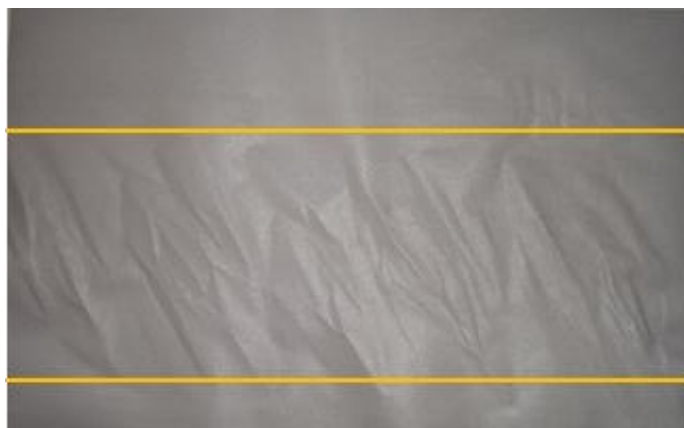
Tabulka 7: Vizuální hodnocení deformace textilie vzorku T5

Dvouvrstvý laminát – ŠEDIVÁ SVĚTLÁ – T5							
Líc textilie							
0 cyklů	2 000	4 000	6 000	8 000	10 000	15 000	20 000
							
Rub textilie							
0 cyklů	2 000	4 000	6 000	8 000	10 000	15 000	20 000
							

Tabulka 8: Vizuální hodnocení deformace textilie vzorku T6

Dvouvrstvý laminát – ČERNÁ – T6							
Líc textilie							
0 cyklů	2 000	4 000	6 000	8 000	10 000	15 000	20 000
							
Rub textilie							
0 cyklů	2 000	4 000	6 000	8 000	10 000	15 000	20 000
							

Jednou z možností, jak zhodnotit deformaci testovaného materiálu, je subjektivní hodnocení pomocí zraku. Vizuálně byly posouzeny materiály po 2, 4, 6, 8, 10, 15 a 20 tisících cyklech namáhání na přístroji M2. Po dokončení cyklů byly patrné lomy na všech testovaných textiliích, a to se vzrůstající tendencí podle zvyšujícího se počtu cyklů deformace. Lomy z rubové strany se jevíly viditelnější než ze strany lícové. Deformace vzorku byla v osnovním směru. Nejvíce namáhaná plocha vzorku byla o velikosti 105x285 mm, viz Obrázek 42.



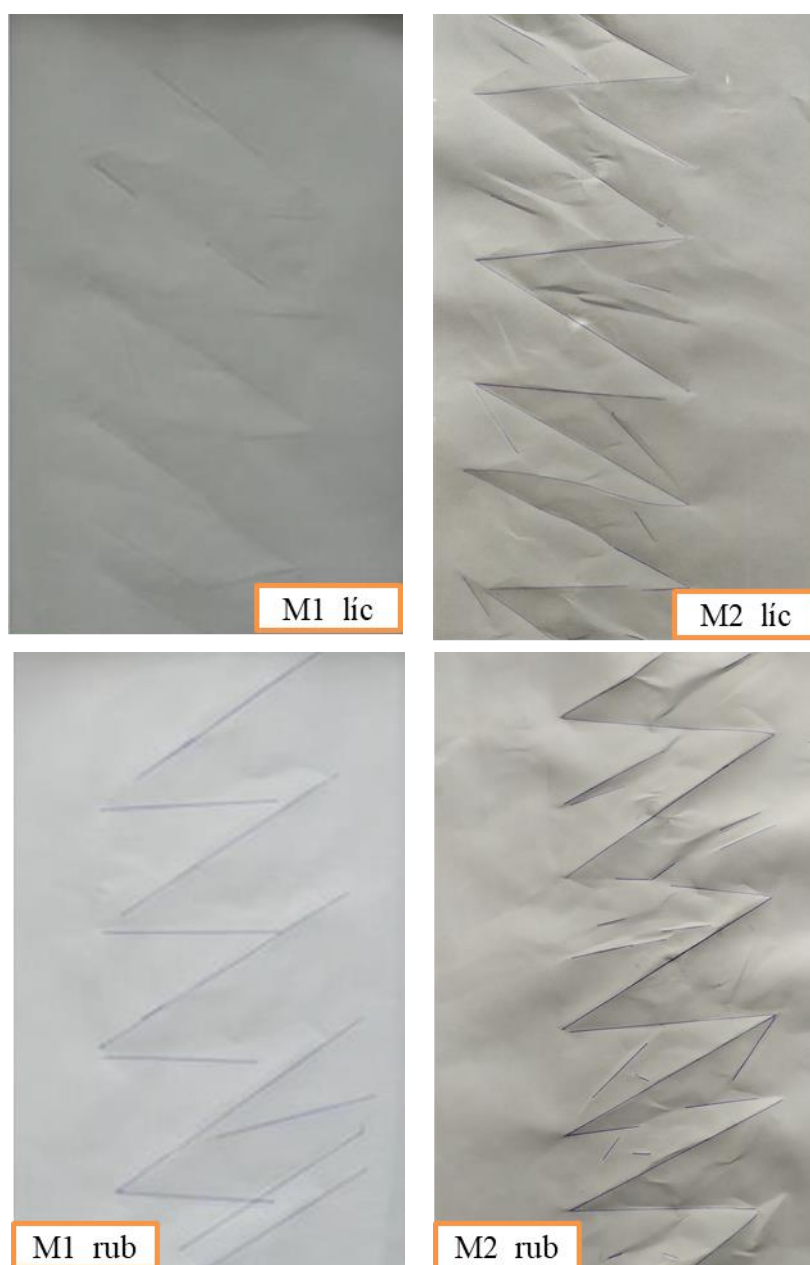
Obrázek 42: Namáhaná plocha vzorku

Po 48 hodinovém ustálení byly lomy patrné na všech testovaných vzorcích, ale v menší objemnosti (nižší). Po 14 dnech byly u všech testovaných vzorků třívrstvého materiálu T1, T2, T3 a stále sledány lomy. U vzorků dvouvrstvého materiálu šedý T5 byly lomy zřetelné i po 14 dnech na všech vzorcích, naopak u vzorku dvouvrstvého T6 černého byly lomy patrné, ale výrazněji méně než po dokončení testování. Vzorek T6 je nejslabší, s nejmenší plošnou hmotností ze všech zkoumaných vzorků. Přetrvávající výraznější lomy se jevíly u textilie T4, která je z testovaných vzorků nejtužší a má největší plošnou hmotnost.

Po 14 dnech relaxace byly lomy u všech testovaných textilií kromě vzorku T2 po 20 000 cyklech namáhání vzorku méně patrné oproti týmž vzorkům podrobeným nižšímu počtu deformací. Zřejmě po dosažení určité výše počtu cyklů dojde vlivem krutu o 180° k degradaci materiálu a k širší ploše namáhání než jen v oblasti lomů, neboť lomy se nevykreslují pravidelně, ale jeví se dvojité, na rozdíl od statického zatížení dutého válce, kdy dochází po zatížení k proznačování stejných pravidelných lomů.

Další možností vyhodnocení četnosti deformací je viditelné zvýraznění lomů jejich obtažením. Porovnání, zda změnou konstrukce a pohonu stroje M2 došlo ke změně vykreslených lomů – viz Obrázek 43.

Porovnali se stejné vzorky T4 s membránou Dermizax po cyklickém namáhání na dvou rozdílných přístrojích po 5 000 cyklech. Testovaná textilie z přístroje M1 Mádlové z pohledu v levé části a v pravé části testovaná textilie na inovativním přístroji M2. Vykreslení lomů z přístroje M2 bylo zřetelnější. Materiál je více namáhán z důvodu umožnění vytlačení vzduchu z vnitřní části upevněného vzorku mezi hlavicemi a většího tlaku stroje.

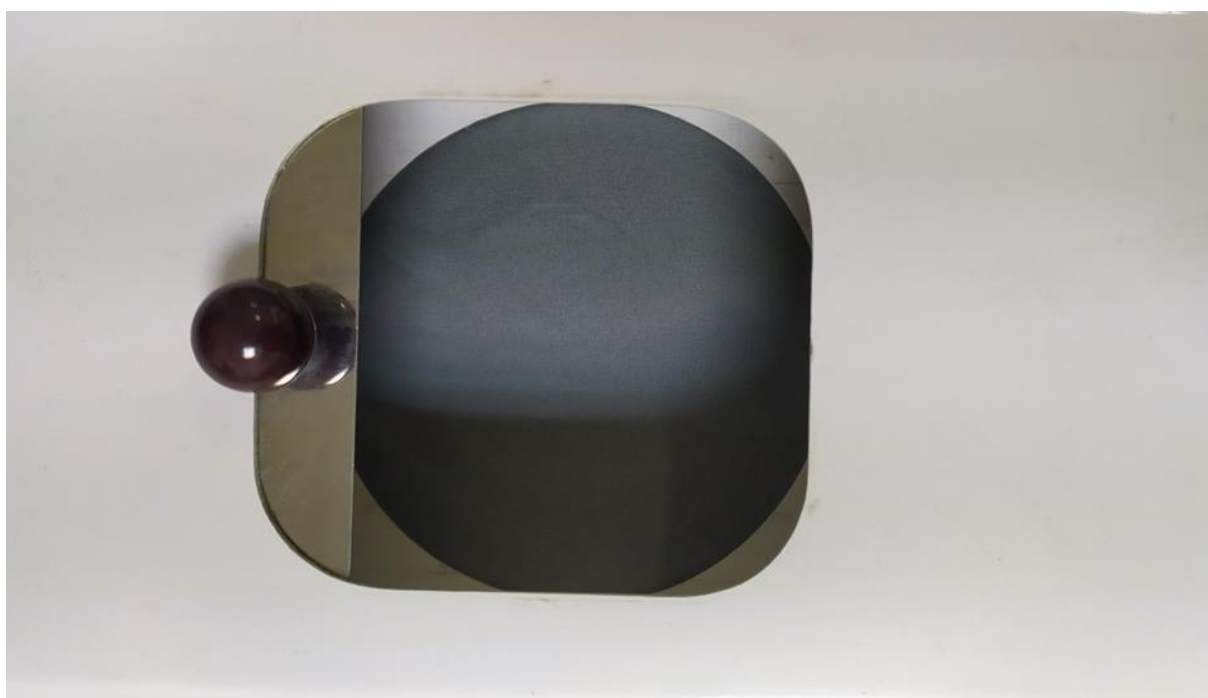


Obrázek 43: Zakreslení lomů na vzorku stejné textilie stroj M1 [31] a M2



### 3.5.1 Vliv cyklického mačkání na hodnotu relativní propustnosti vodních par voděodolných textilií

Pro měření relativní propustnosti textilií pro vodní páry a výparného odporu textilie byl zvolen přístroj Permetest v rámci vnitřní normy TUL na Katedře hodnocení textilií, viz příloha číslo 3. Přístroj měří relativní propustnost textilií pro vodní páry  $p$  [%]. Jde o nenormalizovaný, ale velmi praktický parametr, kdy 100 % propustnosti představuje tepelný tok vyvozený odparem z volné hladiny měřicího přístroje o stejném průměru, jaký má měřený vzorek. Po zakrytí této hladiny testovanou textilií se pak jeho tepelný tok sníží, viz Obrázek 44. [39]



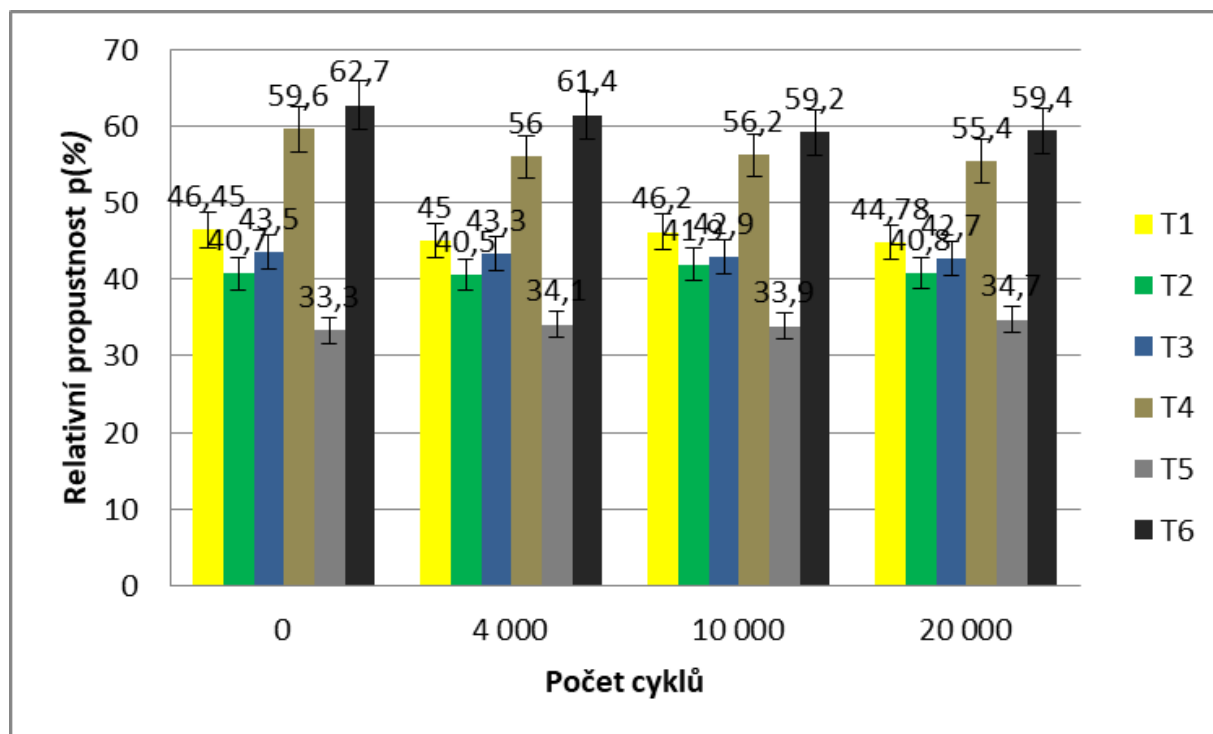
Obrázek 44: Vložení vzorku v přístroji PERMETEST

Testované vzorky byly jednotlivě vystaveny trvalému tlaku z rubní strany po určitý časový úsek při izotermních podmínkách měření (teplota okolního vzduchu 20 – 23 °C, teplota měřicí hlavice 35 °C). Měřila se výše tepelného toku, procházejícího skrz testovaný vzorek, za účelem získání poznatku o vlivu počtu cyklického mačkání na hodnotu propustnosti vodních par voděodolné textilie. Výsledky testování relativní propustnosti vodních par uvádí Tabulka 9. Testování byly vystaveny třívrstvé materiály (T1, T2, T3) a dvouvrstvé materiály (T4, T5, T6).

Výsledné hodnoty měření relativní propustnosti vodních par na Permetestu (Obrázek 45), ukázaly velmi dobrou relativní propustnost vodních par všech testovaných tkanin před a po testování. Vliv počtu cyklů namáhání (4 000–10 000–20 000) neprokázal významný pokles naměřených hodnot u testovaných vzorků.

Tabulka 9: Vyhodnocení průměru naměřené hodnoty relativní propustnosti vodních par v závislosti na výši cyklů

Průměr relativní propustnosti vodních par p (%)				
Materiál	Počet cyklů 0	Počet cyklů 4 000	Počet cyklů 10 000	Počet cyklů 20 000
T1	46,45	45,0	46,2	44,78
T2	40,7	40,5	41,9	40,8
T3	43,5	43,3	42,9	42,7
T4	59,6	56,0	56,2	55,4
T5	33,3	34,1	33,9	34,7
T6	62,7	61,4	59,2	59,4



Obrázek 45: Graf relativní propustnosti testovaného materiálu před a po cyklickém mačkání

Z naměřených hodnot bylo vypočítáno vyhodnocení poklesu či zvýšení relativní propustnosti testovaných materiálů v procentech, viz Tabulka 10.

Tabulka 10: Vyhodnocení testovaných vzorků v (%) od základního vzorku

Vyhodnocení testovaných vzorků průměru relativní propustnosti vodních par v (%)				
Materiál	Počet cyklů 0	Počet cyklů 4 000	Počet cyklů 10 000	Počet cyklů 20 000
T1	0	3,07	0,54	3,61
T2	0	0,55	-2,83	-0,25
T3	0	0,40	1,44	2,01
T4	0	5,67	5,67	7,05
T5	0	-2,40	-1,73	-4,13
T6	0	2,08	5,47	5,19

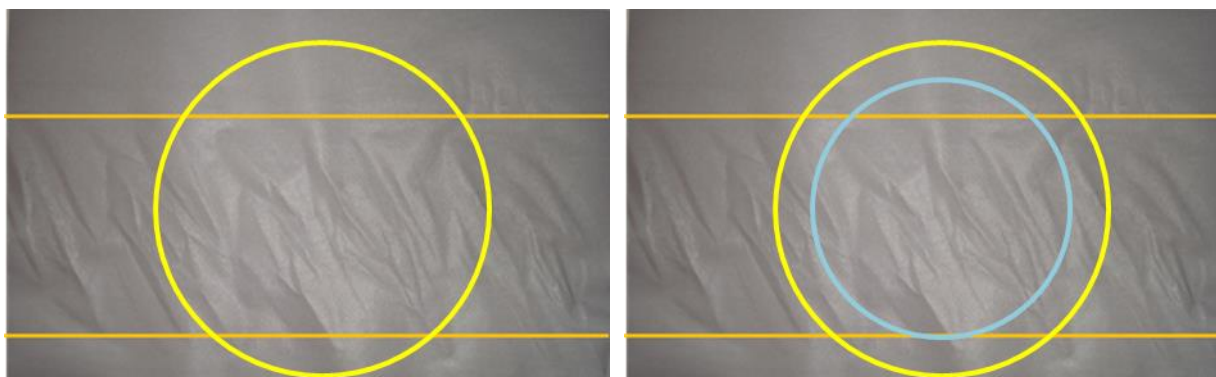
Průměr relativní propustnosti vodních par je vypočítán ze čtyř měření. Celková měření viz příloha číslo 3. Účinek při počtu 20 000 cyklů deformace textilie poklesl tepelný tok odparem z vodní hladiny nejvíce u materiálu T4 a to o 7,05 %, dále u T6 o 5,19 %, T1 o 3,61 %, T3 o 2,01 %. U vzorku T2 zůstal relativně stejný tepelný tok, zvýšil se pouze o 0,25 %. Největší zvýšení relativní propustnosti vodních par bylo zjištěno u vzorku T5 o 4,13%.

### 3.5.2 Vliv cyklického mačkání na testování zkoušky tlakem vody

Testování proběhlo na TUL na Katedře hodnocení textilií, na přístroji SDL Atlas Hydrostatic Head Tester. Testovaný vzorek byl vystaven trvalému zvyšujícímu se tlaku vody z lící strany materiálu po určitý časový úsek, dokud nedošlo k průniku vody na rubní část zkoumaného vzorku za stejných klimatických podmínek.

Teplota okolí 20 °C ±5 °C, vlhkost vzduchu 65 % ± 4 %.

Výřez kruhu pro testování výšky vodního sloupce, viz Obrázek 46. Testovaný vzorek Ø170 mm překrývá i část upevnění vzorku do přístroje, proto je důležité, aby stlačení vzorku nebylo prováděno maximálním stlačením pístu stroje a vzorek při upevňování nebyl porušen.



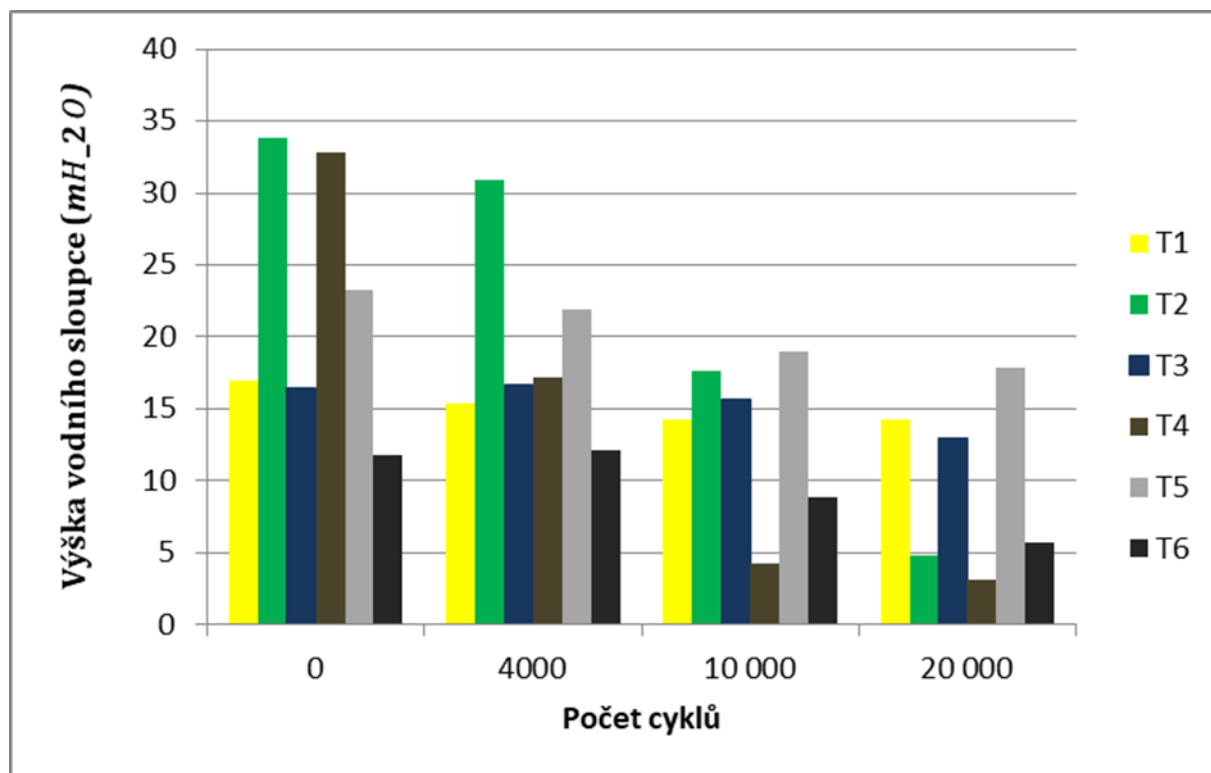
Obrázek 46: Oblast pro testování vodního sloupce

## Testování č. 1

Byl zkoumán vliv počtu deformačních cyklů na změnu výšky vodního sloupce voděodolné textilie, viz Tabulka 11. Testování byly vystaveny třívrstvé materiály (T1, T2, T3) a dvouvrstvé materiály (T4, T5, T6) o velikosti vzorku  $\varnothing 17$  cm. Měření probíhalo v milibarech. V průběhu testování nepronikla voda mezi materiál a těsnění.

Tabulka 11: Vyhodnocení průměru naměřené hodnoty výšky vodního sloupce ( $mH_2O$ )

Průměr výšky vodního sloupce ( $mH_2O$ )				
Materiál	Počet cyklů 0	Počet cyklů 4 000	Počet cyklů 10 000	Počet cyklů 20 000
T1	16,98	15,41	14,22	14,24
T2	33,79	30,87	17,67	4,82
T3	16,42	16,47	15,71	12,94
T4	32,79	17,12	4,18	3,12
T5	23,24	21,88	18,92	17,85
T6	11,79	12,08	8,85	5,71



Obrázek 47: Vyhodnocení průměru naměřené hodnoty výšky vodního sloupce ( $mH_2O$ ) Tabulka 11

Výsledek testování hydrostatického tlaku vody ukazuje chování textilií vystavených krátkodobému nebo střednědobému působení stále se zvyšujícímu tlaku vody,

viz Obrázek 47. U všech prvotních testování cyklicky nenamáhané (neporušené) textilie tlakem vody zespodu po lícni straně nahoru vzorky praskly při dosažení jejich nejvyšší možné hodnoty, kromě T2 třívrstvého zeleného laminátu, který se nafukoval jako balonek a přístroj nebyl již schopen doměřit maximální výši tlaku (omezení měřícího zařízení).

Testování vzorků namáhaných 4000 cykly deformace textilie vykazovalo jen mírný pokles výše vodního sloupce u dvouvrstvých slabších laminátů (T5, T6) a u třívrstvého laminátu T3, který po dosažení maximálního tlaku opět praskl. U třívrstvých textilií a dvouvrstvého vzorku T4 testování končilo prostupem tří kapek. Tyto kapky se objevovaly postupně se vzrůstajícím tlakem. U vzorku T4 se první objevila zhruba při tlaku 300 milibar, druhá při tlaku 900 milibar a třetí 1750 milibar. Což odpovídá tlaku u první kapky 3,06, druhé 9,18 a třetí 17,85 metrů vodního sloupce ( $mH_2O$ ).

Testování výše vodního sloupce po 10 000 cyklech deformace již prokázalo pokles oproti neporušenému vzorku. U všech testovaných vzorků docházelo k průniku vody v záhybech (malé trhlinky) na konci či počátku lomů. Viditelněji se to dalo posoudit u dvouvrstvých laminátů, kde lomy byly patrné i po skončení testování, především u vzorku T4, viz Obrázek 48. Kapky vznikaly postupně, ale v menším časovém rozestoupení než u deformace 4000 cykly. Vlivem působení tlaku a vody vzorky změnily své vlastnosti.

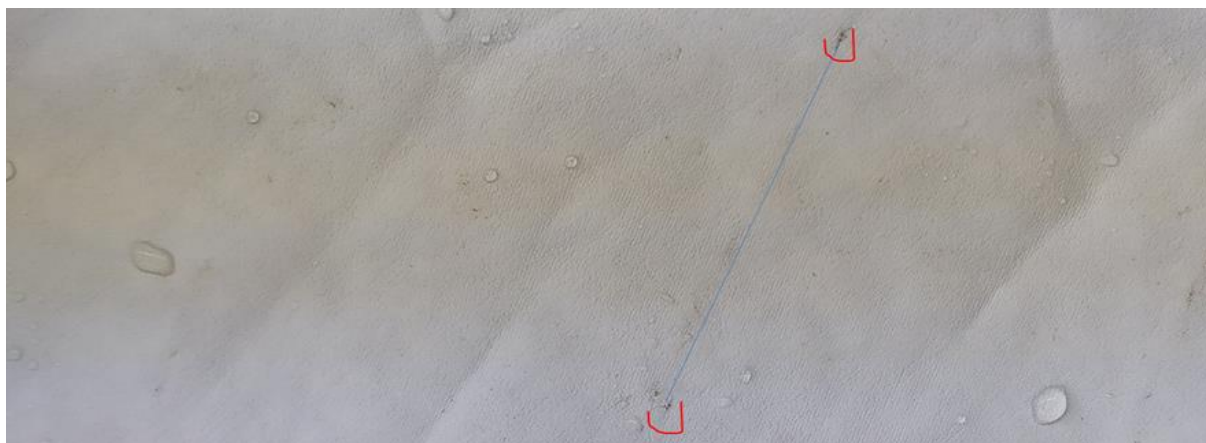
Třívrstvé materiály po deformaci změkly a prostřední část zůstala stále vytažená ve tvaru misky.

Také testovaný dvouvrstvý materiál T5 po deformaci zůstal na omak téměř stejný a jen v oblasti působení tlaku se miskovitě vytáhl. Zdeformovaný vzorek T6 po uvolnění příruby se sroloval z každé své strany. Při sundání testovaného vzorku T4 byly lomy stále viditelné. Materiál nepatrně ztuhl a kraje se srolovaly, (viz Obrázek 76, příloha 3, výřez Obrázek 49).

Po deformaci 20 000 cykly vznikaly kapky působením tlaku vody téměř zároveň a trhlinky byly větší než po 10 000 cyklech. Výše vodního sloupce poklesla.



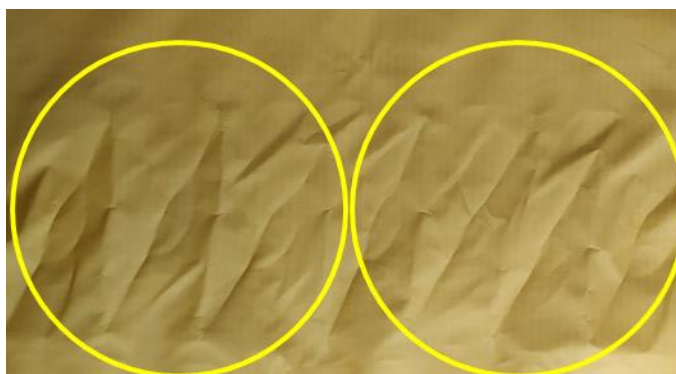
Obrázek 48: Testování vodního sloupce, konec testu průnik vody na třech místech



Obrázek 49: Trhliny na vzorku po ukončení testování na výši vodního sloupce

## Testování č. 2

Po prvním testování zjištěna nevhodnost velikosti vzorku. Proto velikost změněna pro přístroj M2 na 340x180 mm, viz Obrázek 50.

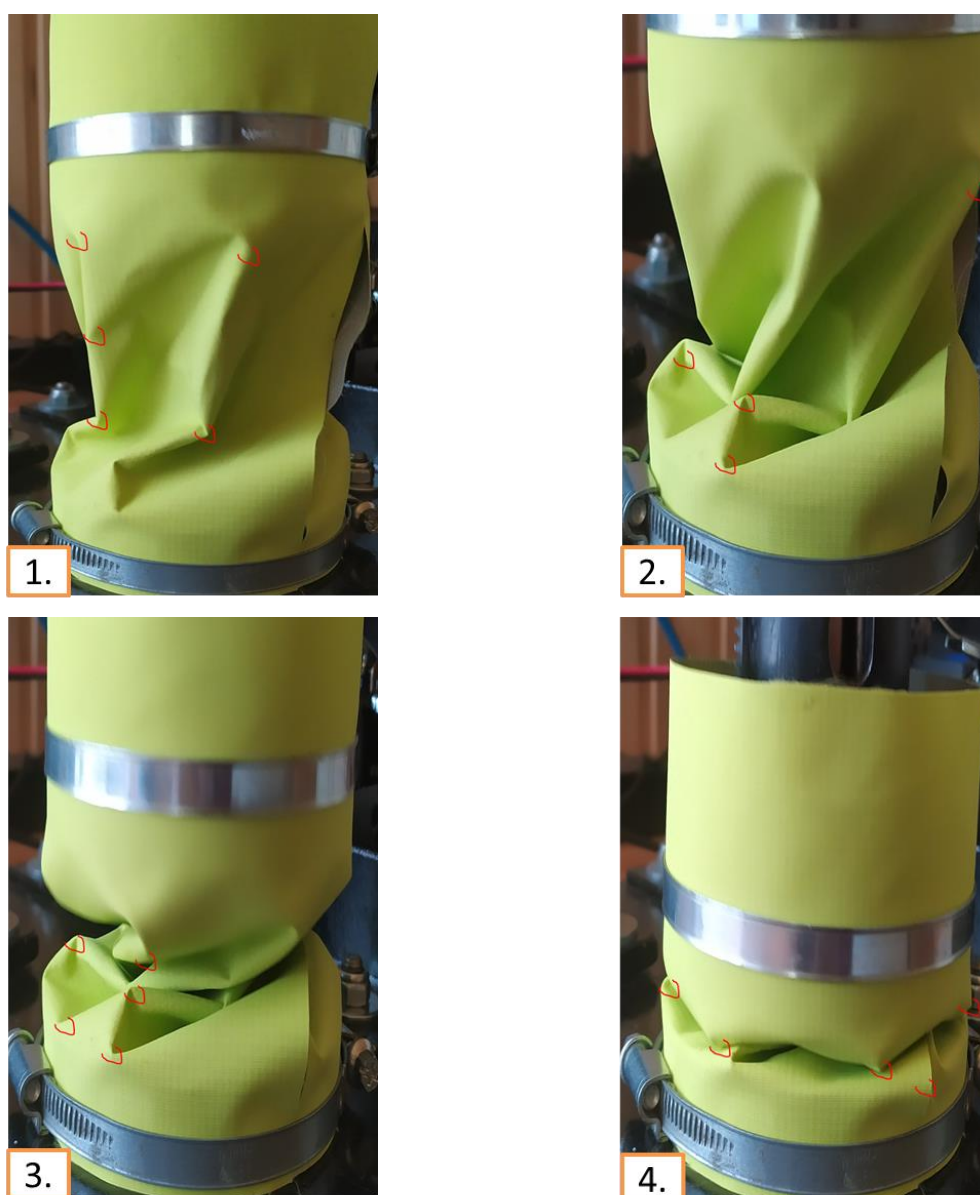


Obrázek 50: Zvětšení oblasti pro testování vodního sloupce

Dále poznatkem rozboru testování materiálů T4 bylo navrženo navýšení počtu deformačních cyklů na 30 000.

U vzorků T1 a T3 bylo provedeno testování 30 000 cyklů namáhání. Po dokončení testu na M2 byl vizuálním zhodnocením objeven významný poznatek vzniku trhlinek na testovaném materiálu.

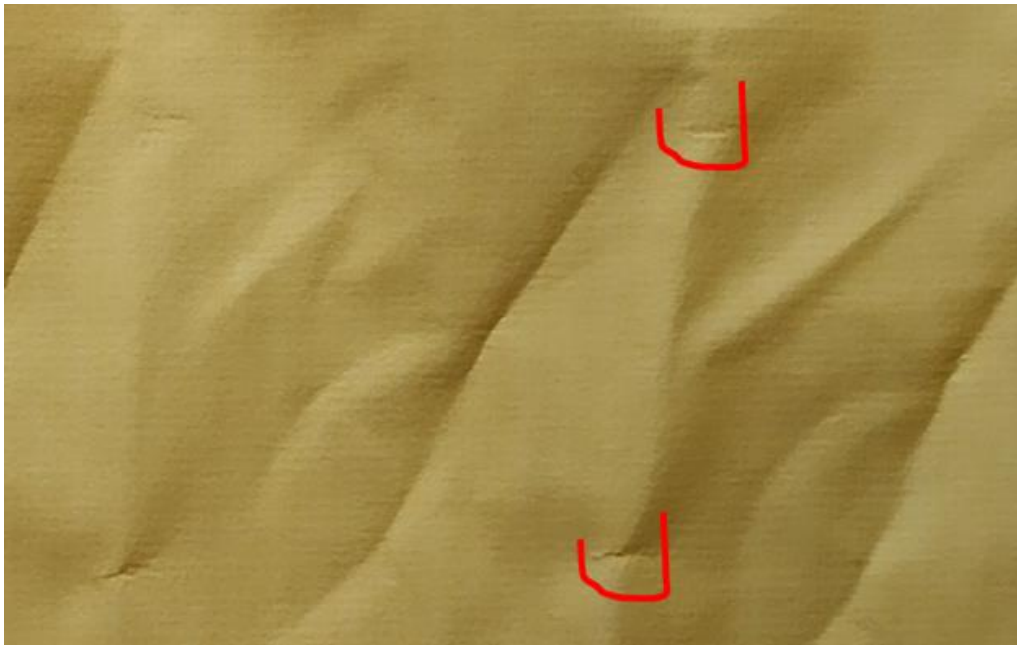
Trhlinky se neobjevují u všech záhybů, nejčastěji vznikají při pohybu hlavice dolů a současném zakroucení v oblasti střední části vzorku. Textilie se v tomto bodě zlomí a následně se složí do úkosu v prostřední části vzorku. Tím vznikají ostré lomy, v kterých dochází k poškození při testování na výši vodního sloupce, viz Obrázek 48.



Obrázek 51: Průběh stlačení materiálu přístrojem M2

Byl potvrzen předpokládaný vznik a tvar trhlin, které ovlivňují výšku vodního sloupce. Předpokládaný vznik trhlin ukazuje Obrázek 51. Kde vlivem zakroucení a stlačení hlavice dochází k deformaci textilie. Takové lomy mohou vznikat i při nošení oděvů. Testovaná textilie byla namáhána 30 000 cykly. U namáhání materiálu 20 000 cykly tento jev patrný nebyl.

Ukázka vzniklých lomů po 30 000 cyklech namáhání: zvětšený vzorek T1 Obrázek 52, a rozložení vzniklých lomů po celém vzorku materiál T3, viz Obrázek 53.



Obrázek 52:Vznik namáhavých míst krutem o 180° na přístroji M2, materiál T1 po 30 000 cyklech



Obrázek 53: Označení některých trhlinek na materiálu T3 po 30 000 testech



30 000 deformačních cyklů umožnilo zviditelnění lomů a bližší prozkoumání jejich vzniku. Velikost rýh nebo lomů je do 7 mm. Více lomů vzniká v dolní části testovaného materiálu kolem hlavice vlivem gravitační síly. Při sjíždění pístu do dolní polohy se materiál vyvěšuje.

Průběh testování výšky vodního sloupce s mírným přitlakem hlavice v počtu cyklů 4000–10 000–20 000–30 000 ukázal razantní pokles odolnosti vůči pronikání vody u textilií T1 i T3 při 30 000 cyklech namáhání, Tabulka 12.

**Tabulka 12: Průměr výšky vodního sloupce ( $mH_2O$ ) materiálu T1, T3 mezera 6 mm**

Průměr výšky vodního sloupce ( $mH_2O$ ) mezera 6 mm					
Materiál/ počet cyklů	0	4 000	10 000	20 000	30 000
T1 žlutá	16,98	15,41	14,22	14,24	4,22
T3 modrá	16,42	16,47	15,71	12,94	7,72

### Testování č. 3

V normě ČSN EN ISO 7854 [7] – Textilie povrstvené pryží nebo plasty, zjišťování odolnosti proti poškození pohybem je uváděno nedojíždění hlavice do konečné polohy 70 mm při testování způsobem C a krutem o 90°.

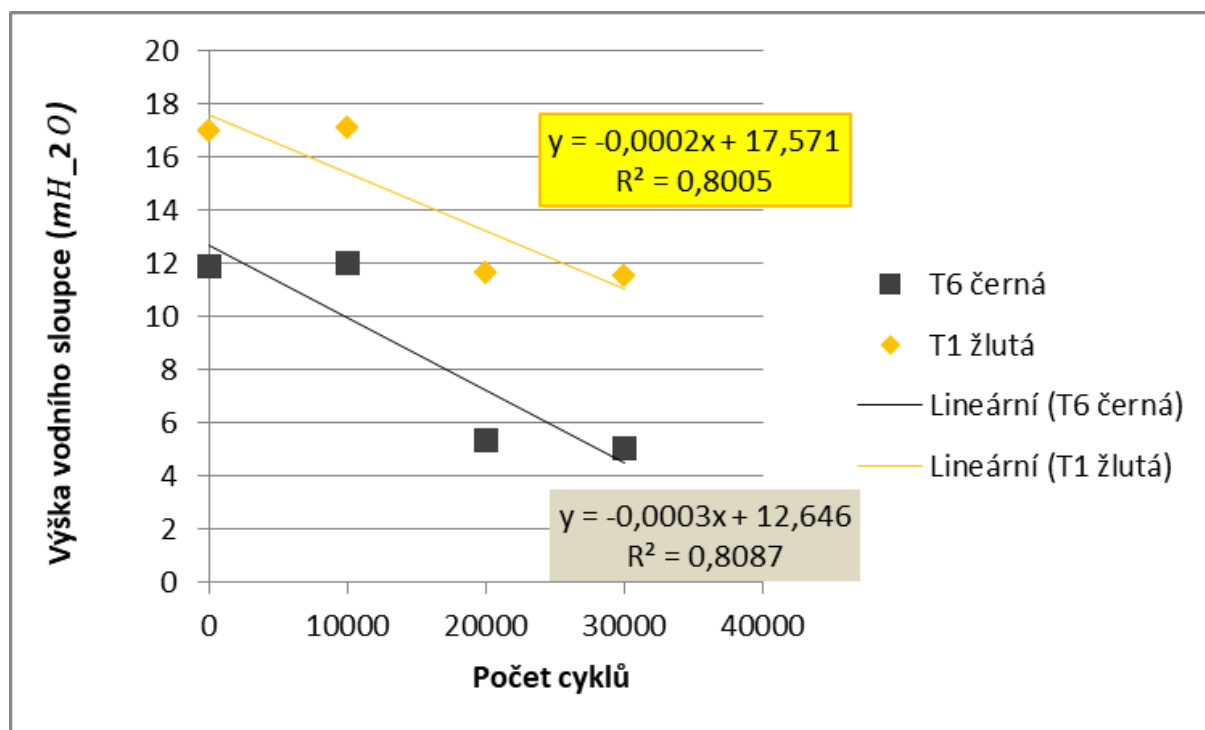
Další výzkum byl tedy zaměřen na objasnění vlivu stlačení materiálu hlavicí.

Byl testován třívrstvý laminát T1 a dvouvrstvý laminát T6 10 000–20 000–30 000 cykly s minimálním přitlakem materiálu mezi hlavicemi. Mezera mezi hlavicemi byla 14 mm bez materiálu. Materiál byl tedy převážně namáhán ohybem a krutem, ne tolik tlakem Tabulka 13.

**Tabulka 13: Průměr výšky vodního sloupce ( $mH_2O$ ) materiálu T1 a T6 mezera 14 mm**

Průměr výšky vodního sloupce ( $mH_2O$ ) mezera 14 mm				
Materiál/ počet cyklů	0	10 000	20 000	30 000
T1 žlutá	16,98	17,07	11,63	11,53
T6 černá	11,89	12,00	5,31	5,04

Porovnáním poklesu vodního sloupce vlivem počtu cyklů a dojezdem hlavice s mezerou 14 mm bez materiálu. U rozdílných materiálů vyplynula podobná křivka snížení výše vodního sloupce při testování. Bez přítlaku materiál vykazoval větší pokles odolnosti až po 10 000 cyklů do 20 000, a podobný pokles mezi 20 000 do 30 000 cyklů namáhání, viz Obrázek 54. Hodnota  $R^2$  (koeficient determinace) v grafu, označuje míru kvality, vystižení odhadu budoucích hodnot skutečného průběhu. Dokonalá predikce má hodnotu 1.



Obrázek 54: Graf porovnání výšky vodního sloupce z grafů 13, materiál T1 a T6

#### Testování č. 4

Toto testování sledovalo poškození vzorku T4 při plném zatížení (síla tlaku motorku 9 kg) v maximální nulové poloze po 20 000 cyklech. Tento tlak znehodnotí membránu, viz Obrázek 55 a mikroskopický snímek Obrázek 60. Důsledkem stlačením hlavice bylo zjištěno výrazné poškození struktury textilie. Ve střední části vzorku T4 došlo k odloupení membrány na rubové straně. Z lícové strany byl patrný otlak, viz Obrázek 58. Při použití velkého tlaku na bariérové textilie dochází k jejich znehodnocení (delaminaci membrány) pro testování na výšku vodního sloupce nevhodné.



Obrázek 55: Rubová strana s odloupnutou membránou T4

### 3.5.3 Elektronový mikroskop TESCAN VEGA3

Řádková (rastrovací) elektronová mikroskopie je založena na využití emitovaných elektronů povrchem zkoumaného vlákna. Rozlišení  $10(\mu m)$ . Základem řádkovacích mikroskopů je, že netvoří obraz vcelku a najednou, nýbrž bod po bodu, řádkováním. Tato metoda je používána k posouzení struktury, geometrie vzorku.

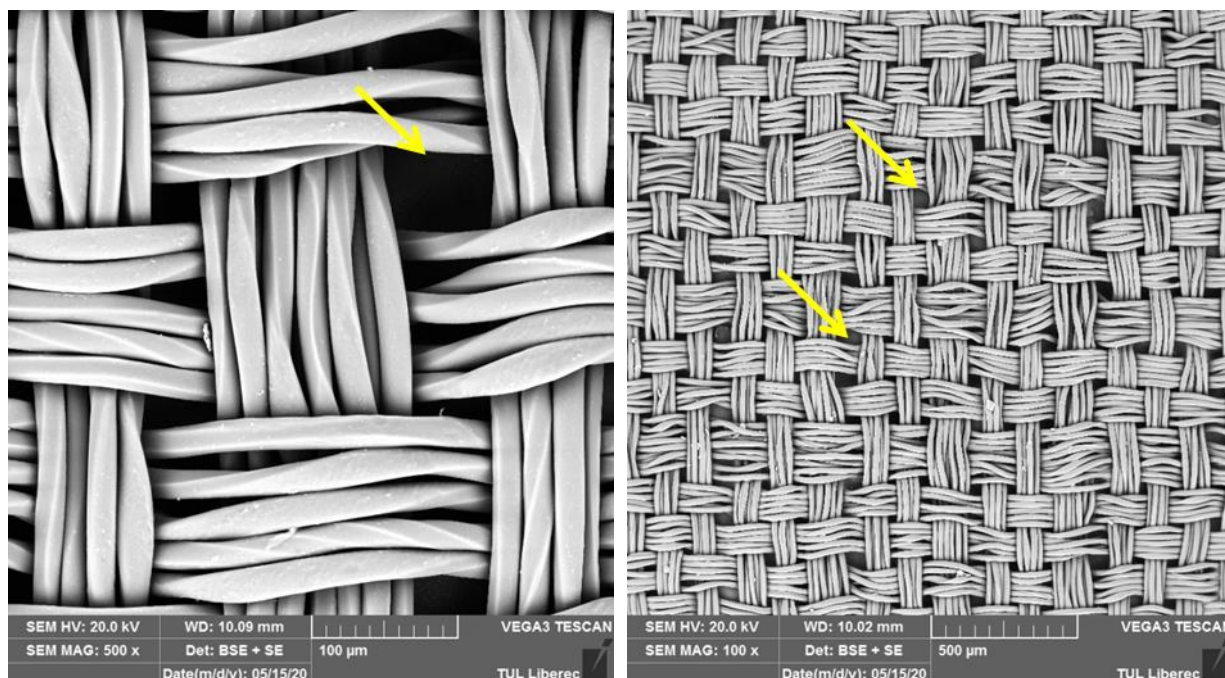
Snímky z elektronové mikroskopie poukazují na vliv velikosti působení tlaku dutého válce na textilii. Pro simulaci reálným nošením není tlak významným prvkem, protože při nošení oděvu dochází k malým deformacím tlakem.

Pro mikroskopickou analýzu byly vybrány vzorky T1 třívrstvý laminát, T4 a T6 dvouvrstvý laminát.

Je zachycena lícová a rubová strana a řez vzorků před deformací a po 20 000 cyklech. Pro vzorky T1 a T6 byl zvolen střední přítlak dojezdu hlavic 6 mm. Pro vzorek T4 také, maximální přítlak dojezdu hlavic.

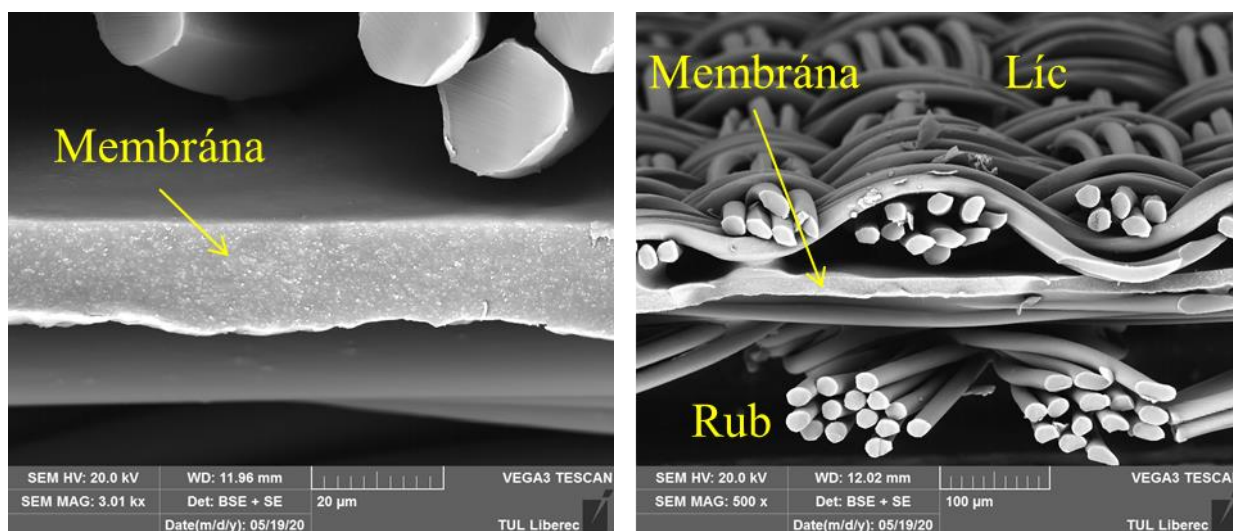
#### **Materiál T1**

Vzorek T1 - žlutý třívrstvý materiál. Obrázek 56 ukazuje porušený materiál deformací 20 000 cykly na lícové straně textilie, kde je patrné narušení tkané vazby (šipka). Deformací textilie vznikly v lomech nepravidelné rozestupy mezi osnovními a útkovými přízemi.



Obrázek 56: Vzorek T1 Gelantos porušený vzorek po 20 000 cyklech

Obrázek 57 ukazuje řez vzorku materiálu T1 po testování. Na obou řezech je vidět absence pojiva a na druhém je patrné opotřebení přízí na lícové straně.



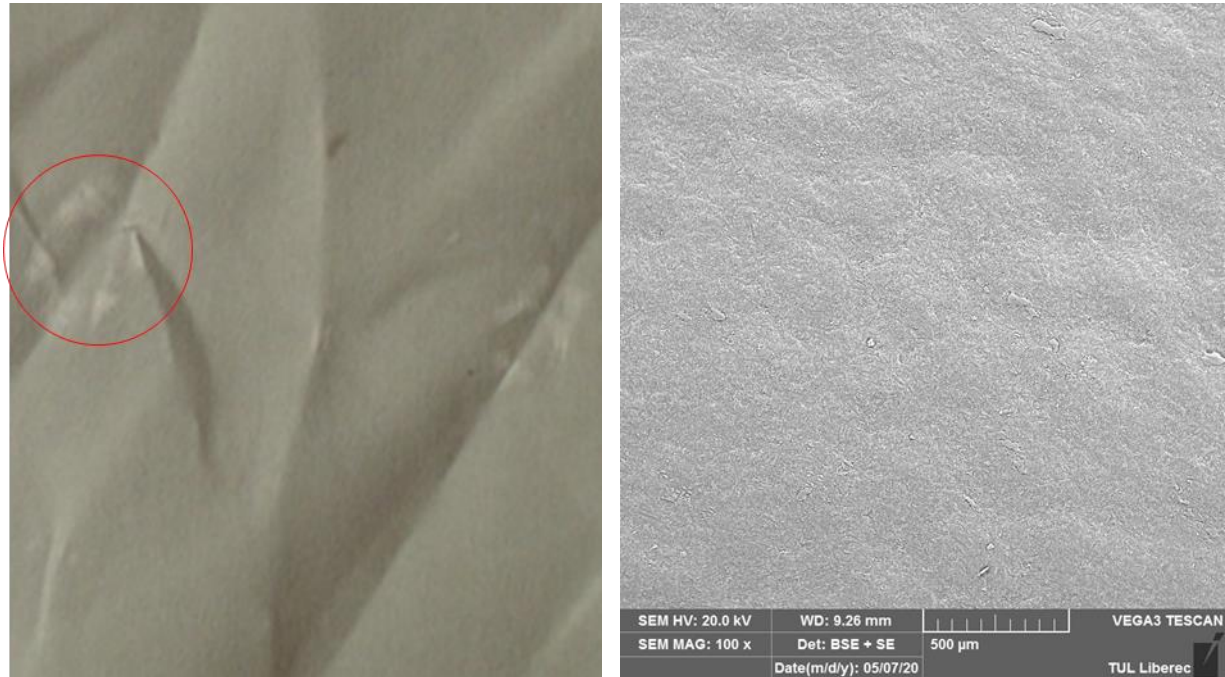
Obrázek 57: Vzorek T1 Gelantos řez porušeným vzorkem po 20 000 cyklech

## Materiál T4

U vzorku T4 při plném zatížení (9 kg maximální nulové poloze) po 20 000 cyklech dojde až k protržení membrány Dermizax a podšívky. Tento dvouvrstvý materiál je nejužší ze všech testovaných materiálů, a tím byl u něho tento jev nejviditelnější. Porušení vznikl ve střední části vzorku, (viz Obrázek 77, příloha 3). Současný pohyb zakroucení a sjetí hlavice do

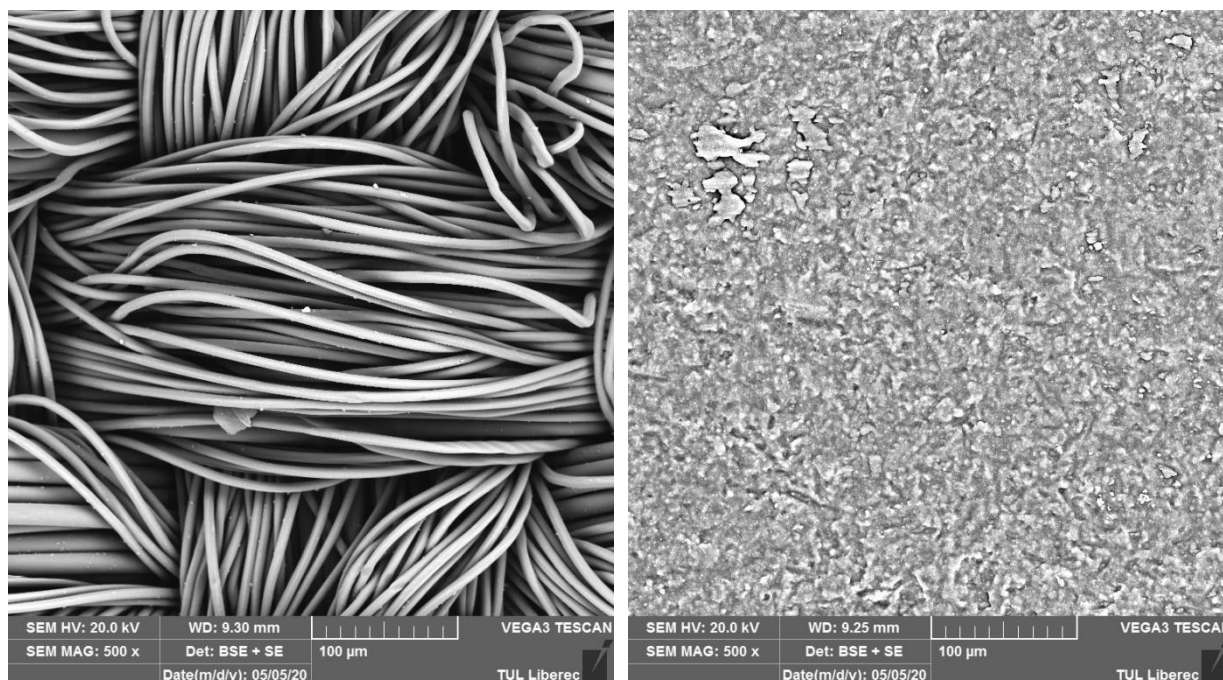
spodní polohy zapříčiní větší stlačení materiálu v oblasti okolo vertikální osy a tím viditelnou deformaci.

U cyklické simulace namáhání silným tlakem membrána degraduje příliš již při menším počtu cyklů. Na Obrázek 58 je výřez materiálu T4 z jeho lícní strany, kde je v oblasti výseče vidět protlačené místo vlivem tlaku hlavice. Na mikroskopickém snímku lze vidět na rubové straně protlačení membrány do základní textilie.



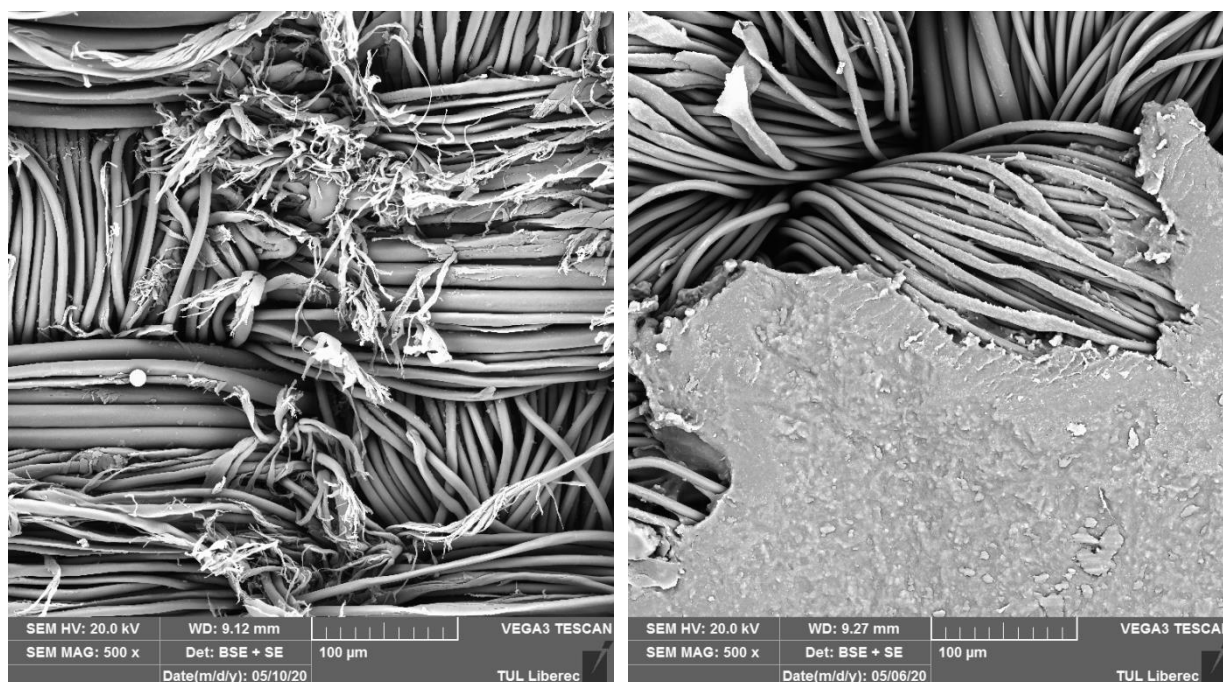
**Obrázek 58: Vzorek T4 Dermizax zatížení 9 kg po 20 000 cyklech vizuální pohled z líce a mikroskopický rub daného místa**

Další Obrázek 59 mikroskopického pohledu vzorku T4 Dermizax. První snímek ukazuje lícovou stranu neporušené tkaniny, její strukturu provázání a druhý snímek rubovou stranu dvouvrstvé tkaniny, jejíž membrána má zrnitý povrch.



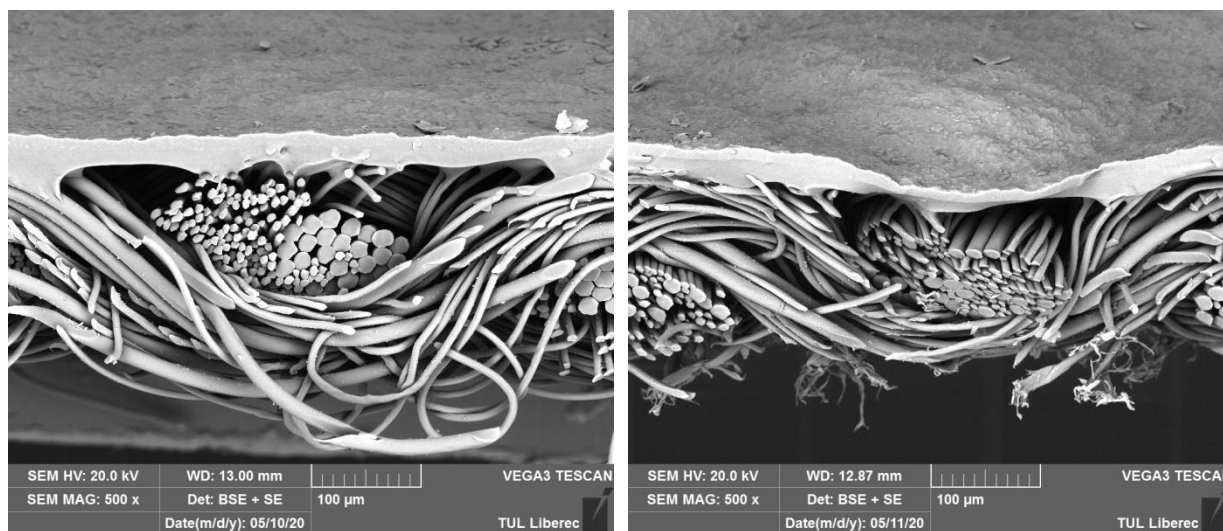
Obrázek 59: Vzorek T4 Dermizax původní neporušený vzorek líc a rub

Mikroskopický Obrázek 60, Obrázek 61 materiálu T4 ukazuje na porušení membrány po nastavení maximální nulové polohy po 20 000 cyklech. Velmi záleží na zvoleném přtlaku textilie. Tlakem je membrána mnohem více namáhána místně a její struktura je v té části velmi poničena. Snímky zachycují pohled na lícovou a rubovou stranu materiálu. Na lícové straně testovaného vzorku je patrné porušení tkaniny ve vazném bodě, kde došlo k přetržení několika přízí. Z rubové strany došlo k odhalení spodní strany vrchové části textilie a odtržení membrány.



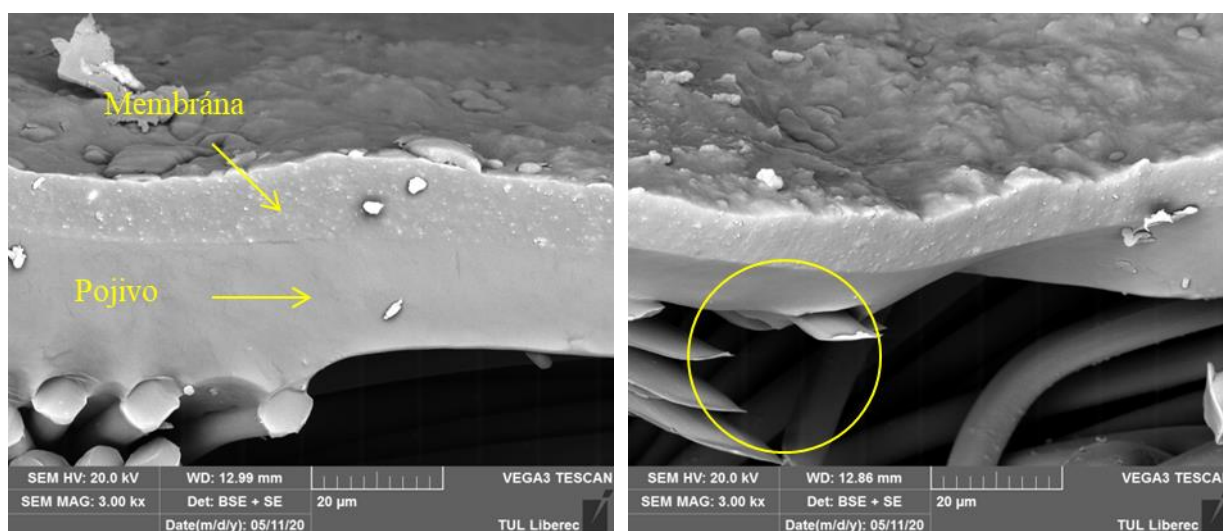
Obrázek 60: Vzorek T4 Dermizax porušený vzorek po 20 000 cyklech líc, rub materiálu

Obrázek 61 zachycuje řez tkaninou T4. První snímek vystihuje neporušený materiál před testováním a druhý snímek po testování, kde je vidět následek zatížení vzorku testováním v porušení přízi a vazného bodu i oddělení a ztenčení části membrány. Membrána začíná cyklickým namáháním postupně kopírovat povrch tkaniny, až na exponovaných místech dojde k jejímu protržení.



**Obrázek 61: Řez vzorku T4 Dermizax neporušený a porušený vzorek po 20 000cyklech**

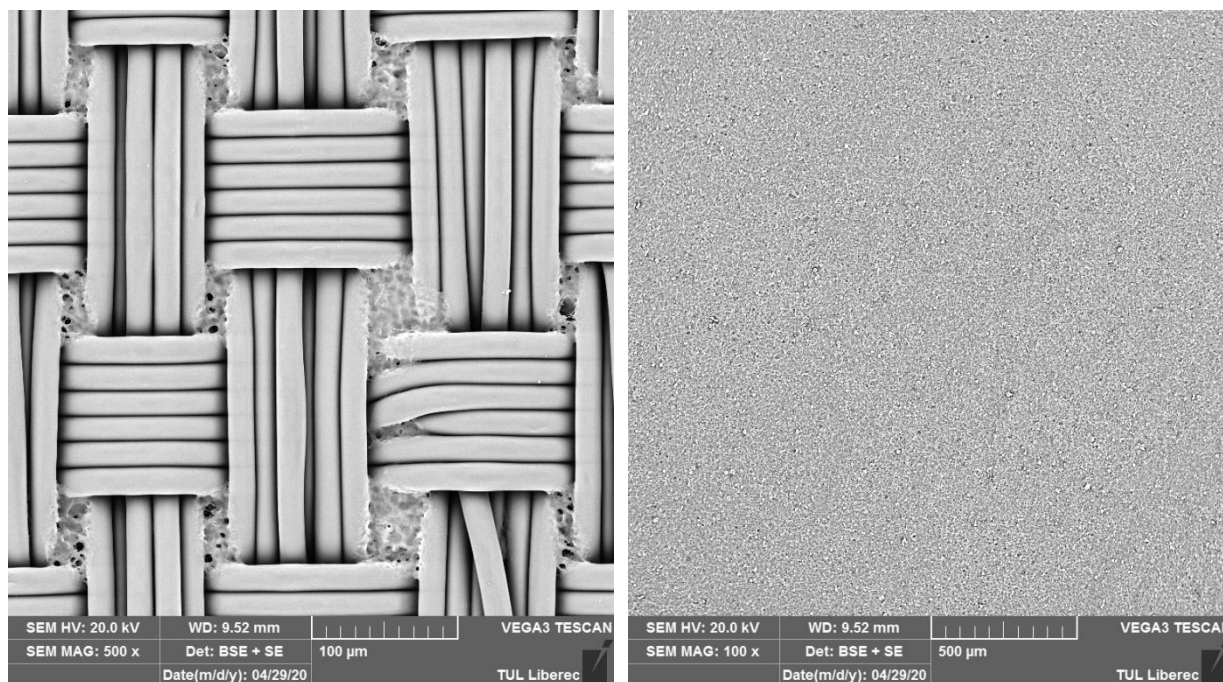
Na detailním neporušeném snímku T4, viz Obrázek 62 je patrné rozhraní mezi membránou a pojivem. Membrána je ta jemně zrnitá vrstva. Z druhého snímku, po testování, dojde k stlačení průřezů přízi a k vtažení syntetického pojiva do membrány, a tím k malému snížení relativní propustnosti vodních par u tohoto materiálu.



**Obrázek 62: Řez rozhraní vzorku T4 Dermizax mezi membránou a lepidlem, neporušený a porušený vzorek**

## Materiál T6

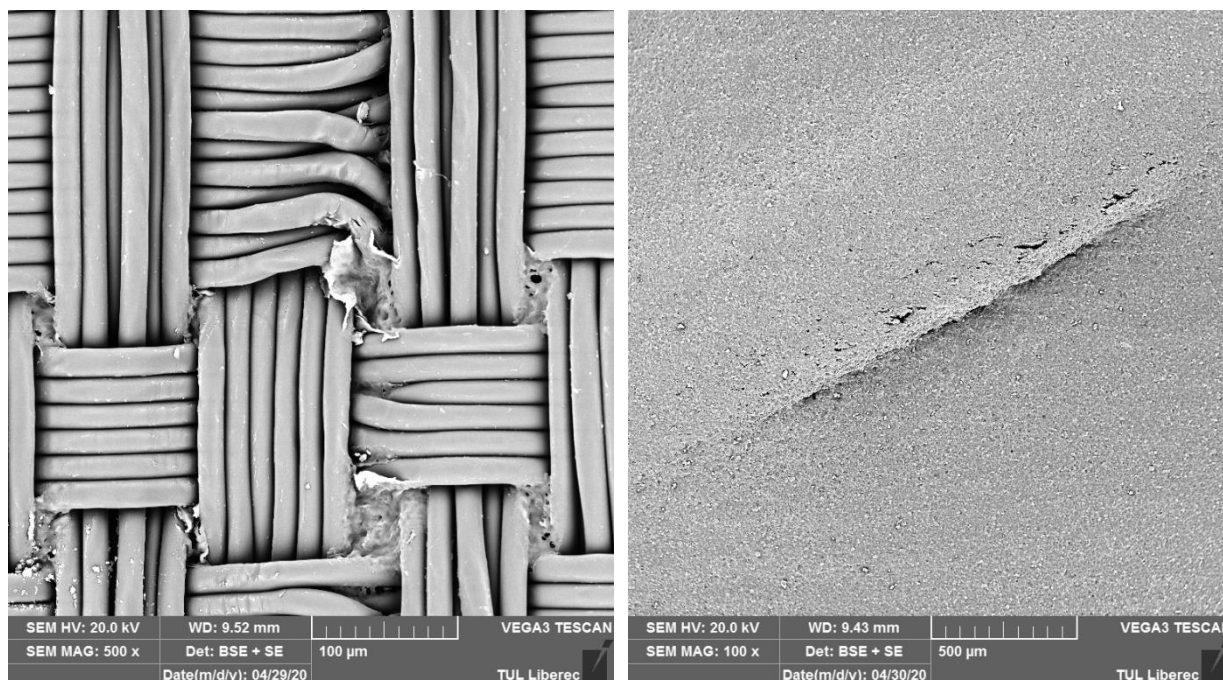
Mikroskopický Obrázek 63 testovaného dvojvrstvého materiálu T6 ukazuje neporušený materiál z lícové a rubové strany. Ze snímku je však patrné, že do pórů lícové strany při výrobě vypěnilo lepidlo.



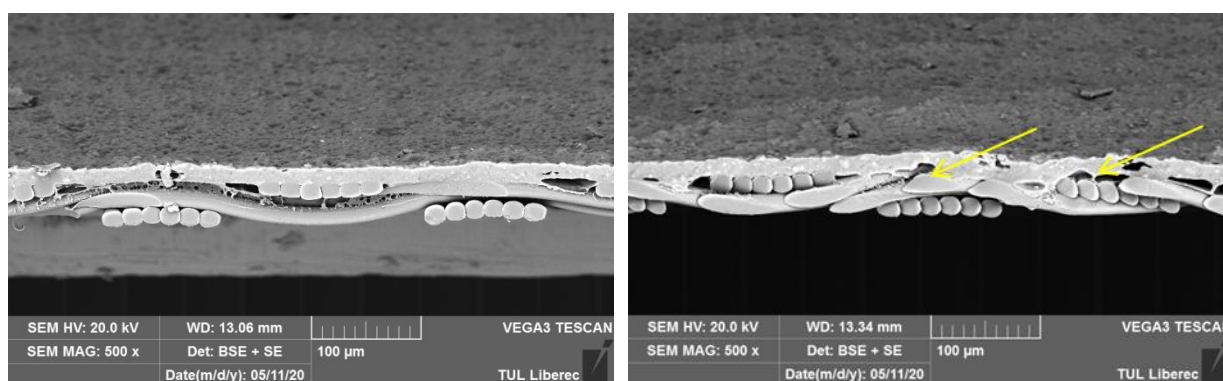
Obrázek 63: Vzorek T6 původní neporušený vzorek

Další snímek Obrázek 64 ukazuje materiál T6 po deformaci 20 000 cykly z lícové a rubové strany a oblast řezu, viz Obrázek 65, kde je patrné mechanické narušení bariérové textilie vlivem testování a změna struktury laminace, která vedla ke vzniku trhlin i delaminace. Membrána se testováním zeslabuje, tím vzniká v lomech větší poškození. Na lícové straně vzorku T6 je patrná deformace vazných bodů vláken. Na rubové straně dochází k delaminaci materiálu a na vrcholu lomu vzniká prasklina.





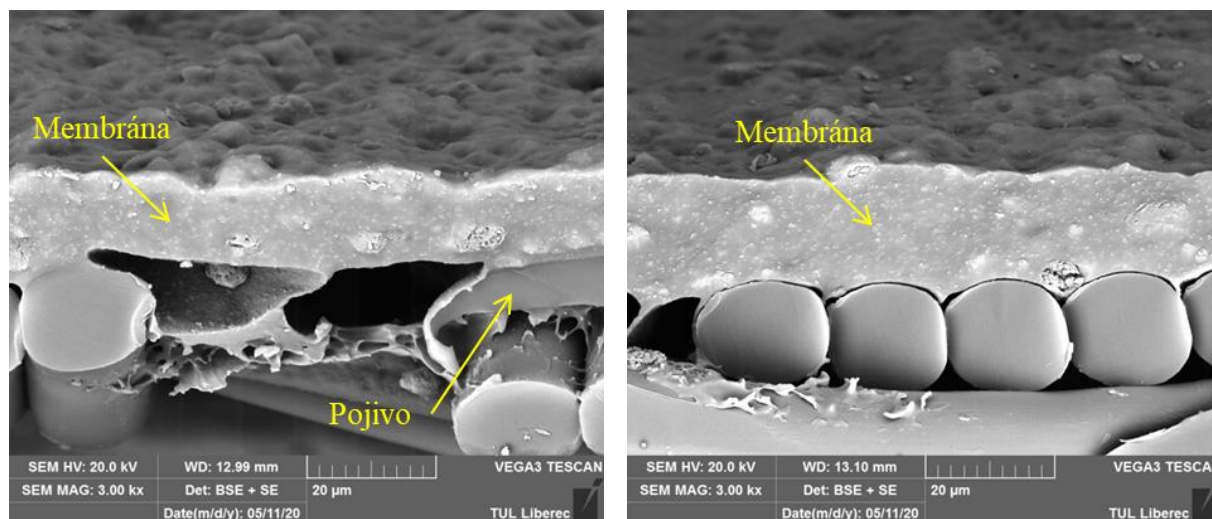
Obrázek 64: Vzorek T6 porušený vzorek po 20 000 cyklech líc, rub



Obrázek 65: Řez vzorku T6 neporušený a porušený vzorek po 20 000 cyklech

Obrázek 65 ukazuje řez vzorku T6. Na prvním snímku vidíme neporušený vzorek a na druhém snímku pod šipkami narušení membrány po testování. V tomto místě je předpoklad vzniku praskliny. V porovnání s neporušeným vzorkem, řez testované textilie působí celkově pomačkaně s volností mezi vrstvami.

Na detailním neporušeném vzorku prvního snímku řezu materiálu T6, (viz Obrázek 66) je vidět vrstva lepidla bodově k spojení membrány a vrchní textilie. Na druhém snímku je vzhled řezu tkaniny po cyklickém namáhání, kde opět došlo k zatlačení pojiva, do membrány a nosné textilie stejně jako u vzorku T4.



Obrázek 66: Řez vzorku T6 neporušený a porušený vzorek po 20 000 cyklech

Porovnáním dvouvrstvých vzorků T4 a T6 mezi sebou se zdá membrána oproti vrchní textilii silnější u vzorku T6 černého, než u vzorku T4, který však obsahuje více spojovacího pojiva. Materiál T4 je velmi tuhý s velkou plošnou hmotností a provázanější vazbou většího počtu přízí ve vazných bodech, což zřejmě přispělo vlivem cyklického namáhání k proznačování lícové tkaniny na rubovou stranu vzorku.

U černé tkaniny T6 díky tomu, že je hladká a s malou plošnou hmotností, k proznačování nedocházelo.

## 4 Diskuse výsledků

Dosažené výsledky diplomové práce odpovídají zadaným bodům:

### 1. Inovace zařízení pro cyklické namáhání textilií vlivem mačkání

Analýzou řady výzkumů zabývajících se problematikou mačkání simulací reálných podmínek nošením byl shledán nedostatek vhodných přístrojů pro nasimulování reálného mechanického opotřebení. Autoři sami sestavují a testují vhodné přístroje. Kladem těchto přístrojů na testování cyklického namáhání je rychlost, možnost nastavení počtu cyklů, možná volba velikosti zakroucení i možnost použít deformovaný vzorek pro další testování. Rozborem výsledků testování reálného mechanického opotřebení bariérových textilií se vhodnou volbou jeví použití zautomatizování dutého válce (AATCC 128, ISO 9867).

Hlavním cílem a přínosem této diplomové práce bylo v rámci experimentální části upravit prototyp M1 [31], u kterého v průběhu testování vyplynuly po určitém počtu cyklů deformace materiálu některé jeho závady. Výsledky poté nekorespondovaly s reálným opotřebením nošením. Po určení potřebných úprav na přístroji M1 byl zkonstruován přístroj M2 pro simulaci cyklického mačkání plošné textilie, vycházející z metody dutého válce.

Navrhovaný inovativní přístroj M2 s ponecháním pouze části dutého válce a stahovacích spon na uchycení textilie vychází z metody dutého válce pro testování mačkavosti v rozsahu krutu od 0° do 180°.

Byla provedena změna konstrukce stroje. Pro dosažení přizpůsobení stlačení válce tloušťce materiálu byly přidány mikrospínače. Do vrchní části pístu dutého válce byly vyvrtány otvory. Technologie ovládání a mechanismus zvedání stroje byly změněny. Pro automatické počítání s možností nastavení cyklů byla zakomponována zobrazovací jednotka a zvolen minipočítač Arduino UNO, což umožní zapnutí stroje až po navolení cyklů a v případě výpadku elektrického proudu zajistí rozváděcí trafo pozastavení elektrického toku, postačujícího k uchování počtu provedených cyklů ve vnitřní paměti stroje. Po obnově výpadku je možno následně pokračovat v místě přerušení počtu cyklů až do výše prvotně nastaveného počtu. K ztišení chodu stroje přispělo zvolení jiného typu motoru, a to 50:1AC asynchronního jednofázového motoru.

Při testování funkčnosti inovativního stroje M2 bylo provedeno 600 000 cyklů. Přístroj pracoval bez závad. Po úpravách střední osy spodního dílu pístu trvá jeden cyklus (pootočení válce o 180° do dolní polohy a zpět) 2,3 sekundy. Stroj M2 byl tedy v pracovním chodu okolo

385 hodin. Následně byl vyměněn motor. Důvodem byla nefunkčnost jeho převodní části opotřebením za motor stejného typu a opět byl stroj v provozu kolem 200 000 cyklů.

Porovnání zařízení M2 s metodou C normy ČSN EN ISO 7854 [7]:

- Dráha sjezdu hlavice je u přístroje M2 – 90 mm, v normě – 70 mm.
- Krut u přístroje M2 – 180°, v normě 90°

Přístroj M2 má delší sjezd hlavice o 20 mm, což je zhruba o 30 %, ale zakroučí se na dané vzdálenosti o 90 % více oproti normě. Větší zakroučení přispívá k vyšší deformaci testovaného materiálu na přístroji M2.

## **2. Zhodnocení vlivu cyklického mačkání na vzhled, relativní propustnost vodních par a hladinu výše vodního sloupce**

Pro tuto práci bylo namačkáno 6 druhů laminovaných bariérových textilií v osnovním směru v počtu 2-4-6-8-10-15-20 tisíc cyklů (75 000 pro jeden druh textilie). Následně bylo provedeno vizuální zhodnocení deformací. Další hodnocení bylo provedeno po 14 dnech.

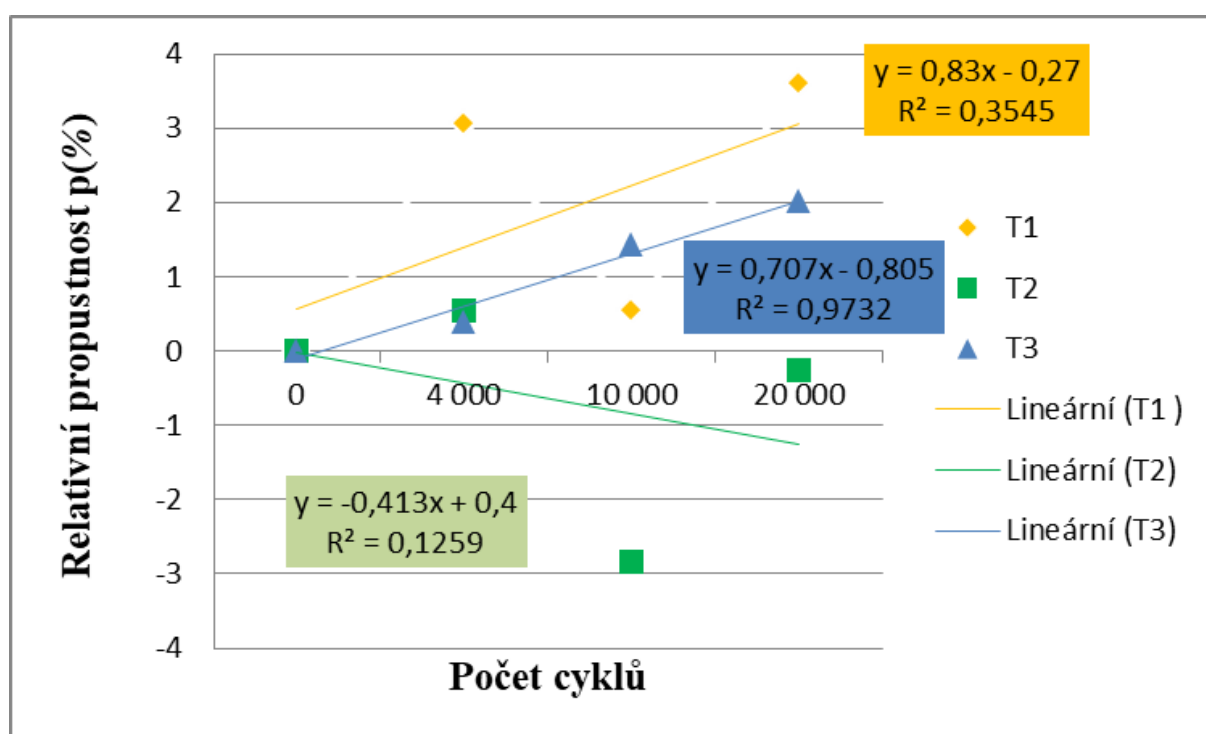
U vzorků třívrstvého materiálu T1, T2, T3 byly shledány lomy na všech testovaných textiliích. Přetrvávající výraznější lomy byly shledány u textilie T4, která je z testovaných vzorků nejtuzší a má největší plošnou hmotnost. Ze všech testovaných materiálů byly u dvouvrstvého vzorku T6 po 14 dnech lomy patrné, ale výrazněji méně než po dokončení testování. Tento vzorek je nejslabší a má ze všech vzorků nejmenší plošnou hmotnost.

Předpokládaný výskyt trhlin v průběhu mačkacího procesu stlačení viz Obrázek 51. Při sjíždění válce dolů a otočení o 180° vznikají lomy záhybů. V tomto místě zvýšeného namáhání vzniká interakce materiálu, mechanického působení krutu a stlačení směrem dolů. Pokud dojde k trhlince únavou materiálu, tato skutečnost ovlivní výši vodního sloupce již v počátku měření. Trhliny vznikají vlivem krutu a sjíždění hlavice. Oblastí častějších deformací byl nejen obvod hlavic, ale především prostřední část vzorku, kde docházelo k většímu namáhání ohybem (vznik špičky), příčným stlačením a následným vytažením po úhlu krutu šikmo a opětovným vyrovnáním směrem nahoru. Při cyklickém namáhání se mění struktura a vlastnosti materiálu vlivem jeho zatěžování sice malými silami, které však počtem cyklů následně ovlivňují rozklad (porušení) textilie. Oblast lomů se po 20 000 cyklech jevila na textiliích na dotyk měkčí.

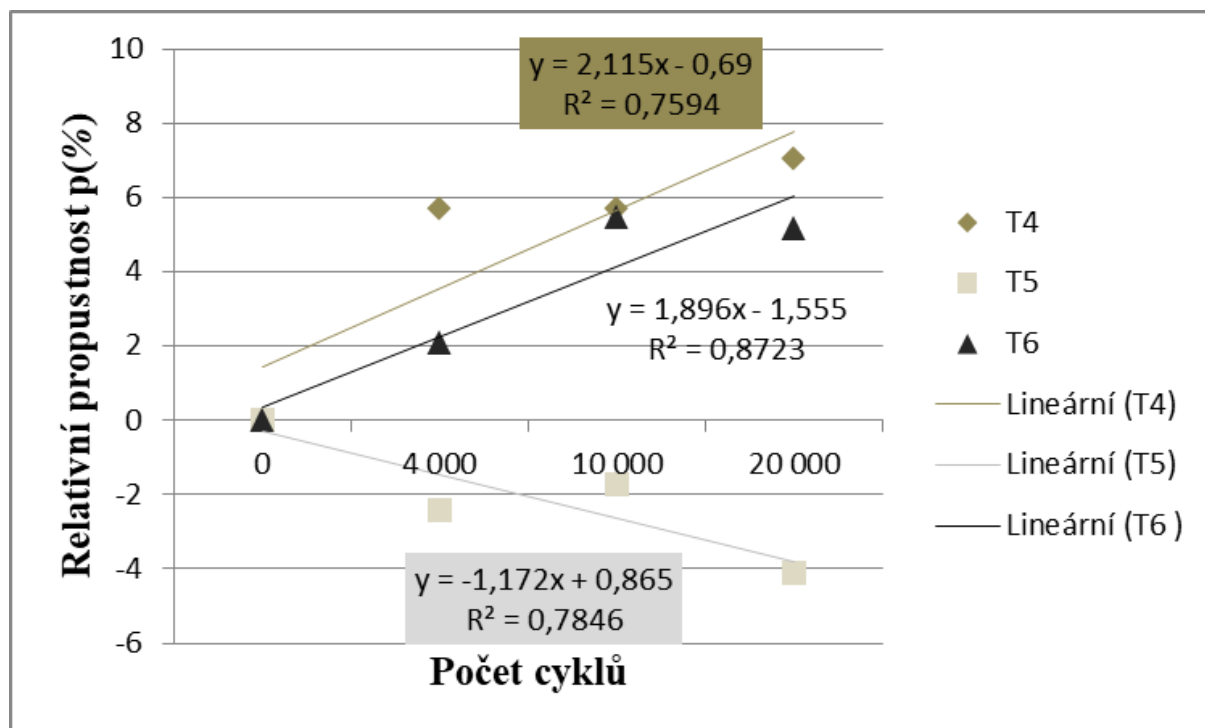
## Relativní propustnost vodních par

Laboratorní testování zhodnotilo vliv cyklického mačkání (cyklů 4 000–10 000–20 000) na relativní propustnost vodních par.

Posuzování naměřených výsledků relativní propustnosti textilií pro vodní páry ukázaly velmi dobré hodnoty všech testovaných tkanin před i po testování. Nebyl prokázán žádný významný vliv počtu deformačních cyklů na bariérovou textilií. Největší pokles relativní propustnosti vodních par byl u vzorku T4 o 7,05 %. Mikroskopické zhodnocení ukázalo velkou vrstvu spojovacího lepidla mezi nosnou textilií a membránou, které se po cyklickém namáhání vtlačilo do membrány, a tím byla zřejmě oslabena její funkčnost. Vyhodnocení změny relativní propustnosti vodních par v procentním vyjádření od základního vzorku třívrstvých a dvouvrstvých testovaných vzorků, viz Obrázek 67 a Obrázek 68. Lineární přímky ukazují proložení naměřených jednorozměrných dat.



Obrázek 67: Vyhodnocení relativní propustnosti vodních par třívrstvých testovaných vzorků v procentech, Tabulka 9



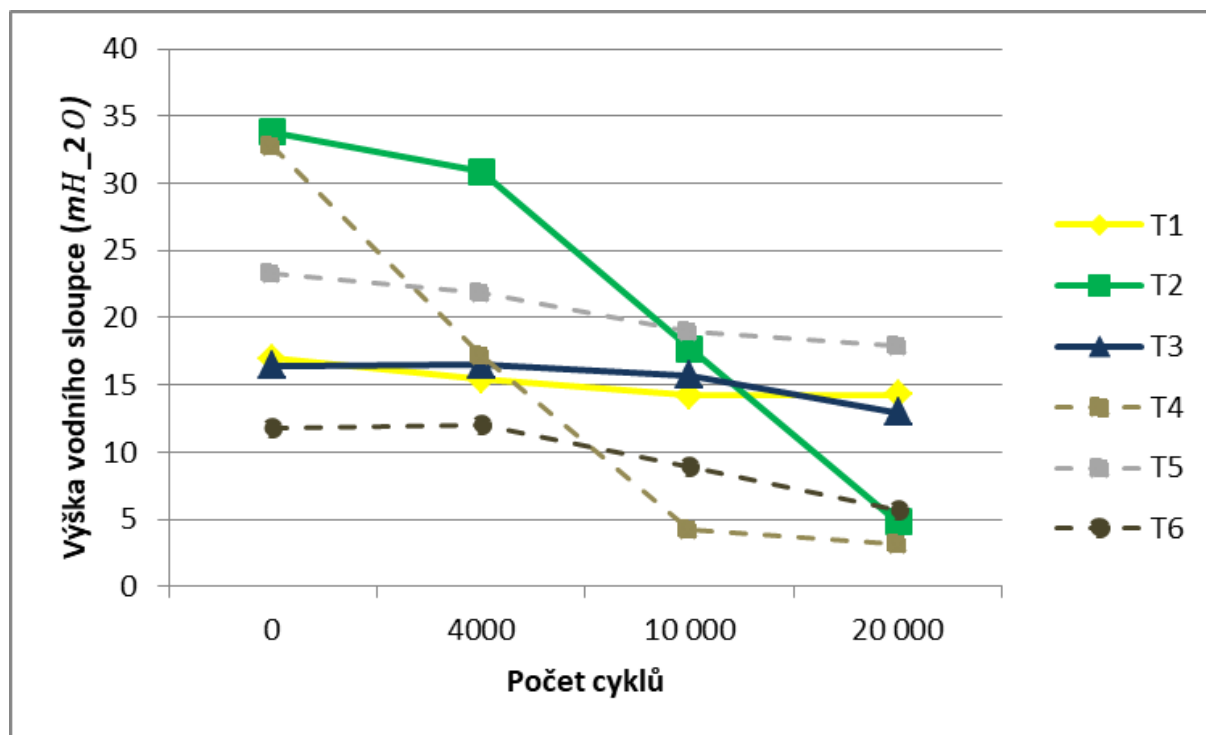
Obrázek 68: Vyhodnocení relativní propustnosti vodních par dvouvrstevých testovaných vzorků v procentech, Tabulka 9

### Odolnost vůči pronikání vody

Laboratorní testování zhodnotilo vliv cyklického mačkání na voděodolnost testovaných materiálů. (cyklů 4 000–10 000–20 000–30 000)

Pokles výšky vodního sloupce byl znatelný po 10 000 cyklech namáhání u všech testovaných vzorků, poté při testu voda pronikala na rubovou stranu textilie vždy trhlinou. Rozdílná byla pouze rychlost průniku kapek vzorkem. Po 10 000 cyklech kapky vznikaly postupně. Po 20 000 cyklech se kapky objevovaly téměř zároveň.

Výsledky testování tlakem vody jsou uvedeny v grafické podobě z průměrných hodnot měření, viz Tabulka 11.



Obrázek 69: Graf závislosti výšky vodního sloupce na počtu deformačních cyklů Tabulka 11

Zhodnocením grafu, viz Obrázek 69 je zřejmé, že plošná hmotnost textilií ovlivňuje degradaci textilie, což ukazují tvary křivek poklesu výšky vodního sloupce. Z grafu lze porovnat materiály podle plošné hmotnosti.

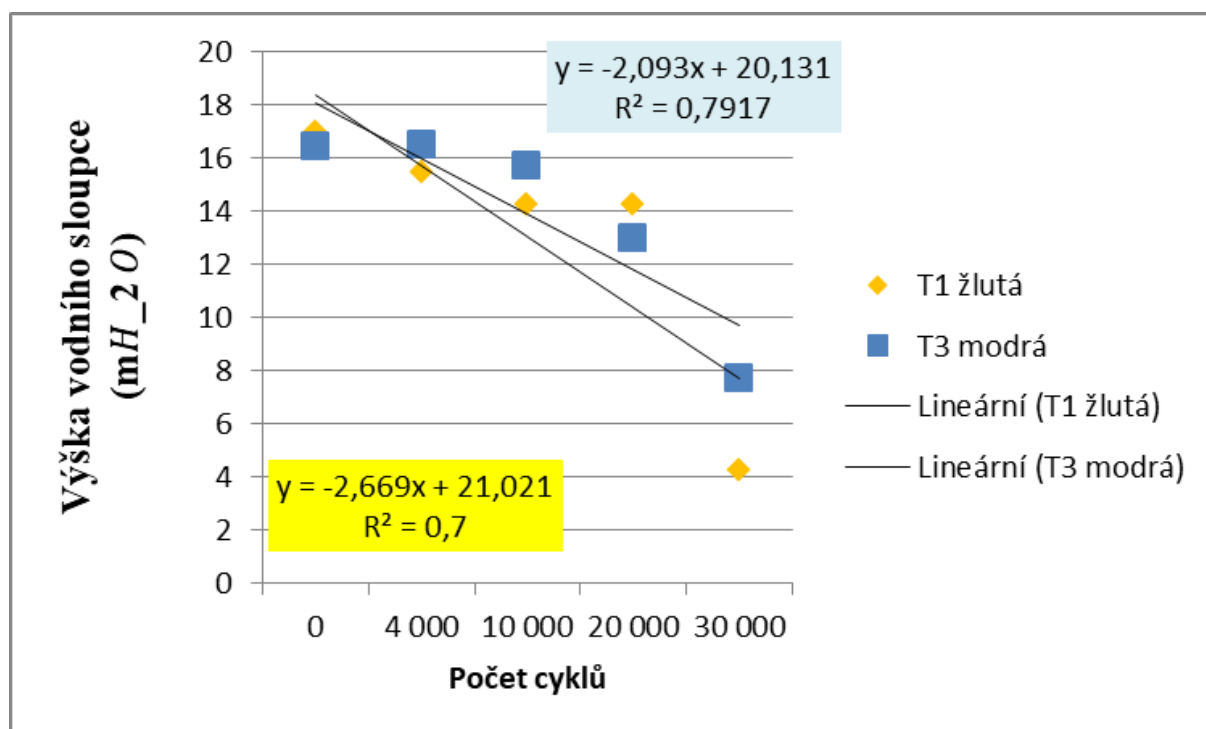
Materiál T2 160(g/m<sup>2</sup>) třívrstvý laminát a T4 170(g/m<sup>2</sup>) dvouvrstvý laminát o vysoké plošné hmotnosti i tuhosti oba vykazují strmější průběh degradace. Pokles výšky vodního sloupce je u nich vysoký v průměru 88 %.

Porovnání materiálů T1, T3 třívrstvý laminát a T5 dvouvrstvý laminát o nižší plošné hmotnosti 90(g/m<sup>2</sup>), byl viděn pozvolný průběh poklesu odolnosti. Jejich pokles výšky vodního sloupce je v průměru 20 %.

Materiál T6 dvojevrstvý laminát o plošné hmotnosti 51(g/m<sup>2</sup>), vykazoval pokles odolnosti vůči pronikání vody o 51 %.

Je patrné, že po cyklickém namáhání při dojezdu hlavice s mírným přitlakem materiálu je po mezi 10 000 a 20 000 cyklech výše vodního sloupce na podobné úrovni u všech testovaných vzorků. Pokles vůči pronikání vody byl pozvolný (mimo vzorek T2 a T4, který degradoval strměji).

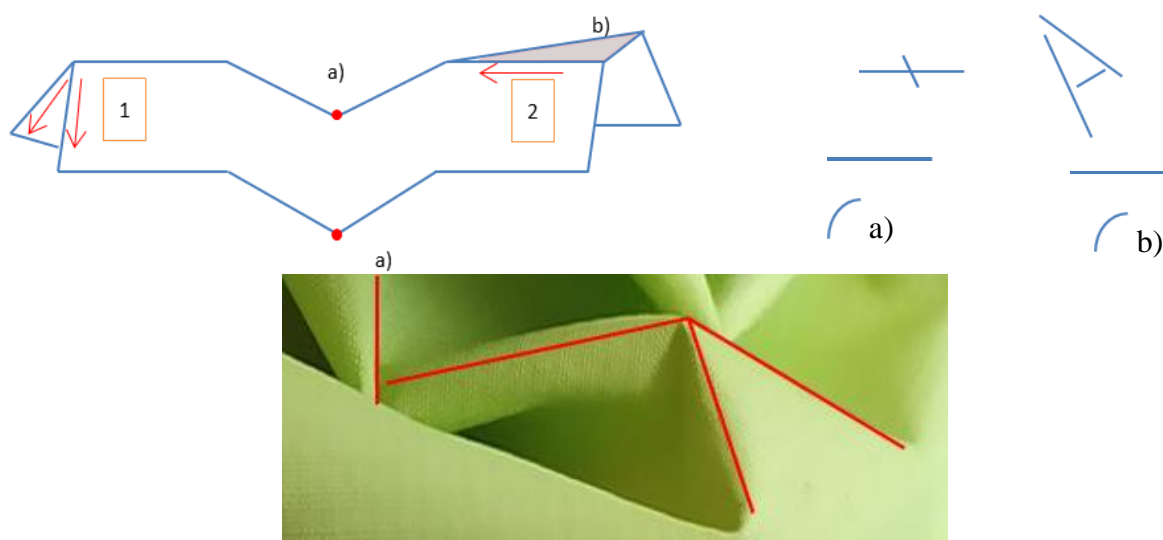
Testování navýšeno o počet cyklů 30 000 u materiálu T1 a T3 , viz Obrázek 70.



Obrázek 70: Graf závislosti výšky vodního sloupce na počtu deformačních cyklů T1 a T3 z Tabulka 12

Z grafu je patrný další pokles výšky vodního sloupce. Testovaný materiál T1 poklesl přibližně o 60 % a testovaný materiál T3 o 32 % v rozmezí od 20 000 cyklů do 30 000 cyklů namáhání. Celkový pokles výšky vodního sloupce u materiálu T1 je 75 % a u T3 53 % od nepoškozeného vzorku do 30 000 cyklů.

Také po 30 000 cyklech byly na vzorku na první pohled viditelné zhruba 7 mm dlouhé rýhy. Po vizuálním prozkoumání bylo patrné, že se jedná o víceosé poškození.



Obrázek 71: 3 D zobrazení vznikajících oblastí lomů poškození, výřez Obrázek 51



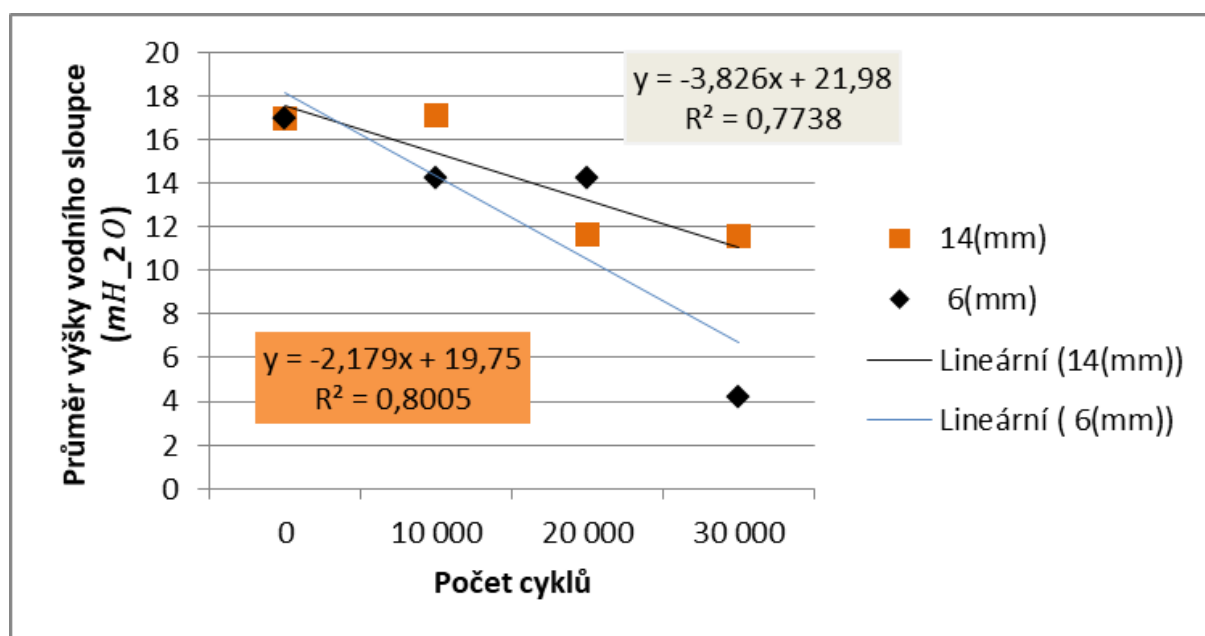
Obrázek 71. ukazuje namáhání vzorku formou dutého válce, směr složení (1) a směr stlačení vzorku (2). Upnutí vzorku je po stranách u základny trojúhelníku. Vlivem krutu dochází k přeložení látky a na vrcholu přeložení dojde ke zlomu vlivem stlačení. Vznikají i další odlišné tvary lomů.

Pro další analýzu porovnání namáhání materiálu s mírným přitlakem a bez přitlaku byl použit vzorek T1. Mezera mezi hlavicemi pro mírný přitlak byla 6 mm a bez přitlaku 14 mm bez materiálu.

Textilie namáhané 10 000 cykly nejevily snížení hodnoty vodního sloupce. Jeho snížení nastalo až na 20 000 cyklech namáhání, Tabulka 14.

Tabulka 14: Průměr výšky vodního sloupce

Průměr výšky vodního sloupce ( $mH_2O$ )				
Tlžlutá/počet cyklů	0	10 000	20 000	30 000
Mezera (6mm)	16,98	14,22	14,24	4,22
Mezera (14mm)	16,98	17,07	11,63	11,53



Obrázek 72: Průměr výšky vodního sloupce Tabulka 14

Analýza vlivu mezer mezi hlavicemi přístroje M2. Bez mezery je dráha horní hlavice při testování 105 mm a krut 180°. Pro materiál s mezerou 6 mm je dráha hlavice zkrácena o 5,71 % z její délky a krut o 3,53°. Pro materiál s mezerou 14 mm pak zkrácení dráhy je

o 13,3 % z její délky a krut o  $8,17^\circ$ . Jeden mm dráhy tedy představuje 0,95 % celkové délky a  $0,583^\circ$  krutu.

Nastavení spodní polohy 6 mm mezi dojezdovými hlavicemi mačká s větším tlakem, proto se u tohoto testování projevuje větší poškození u materiálu, oproti materiálu mačkaného s mezerou 14 mm. Větší tlak, při delší dráze a menší mezeře způsobuje větší zakroucení. Analýzou průběhu vidíme snížení výšky vodního sloupce po 10 000 cyklech, podobné hodnoty u 20 000 cyklů a následné snížení hodnot při 30 000 cyklech.

U nastavené polohy mačkaného materiálu s mezerou 14 mm protitlak nebyl tak významný, materiál se o sebe při zakroucení opíral méně. Menší tlak způsobil do 10 000 cyklů méně degradace a proto vyšší odolnost výše vodního sloupce oproti vzorku 6 mm. Poškození se projevilo po 20 000 cyklech. Hodnoty výšky vodního sloupce u neporušeného vzorku a po 10 000 cyklech jsou vyrovnané, stejně jako následné snížené hodnoty u 20 a 30 tisících cyklů.

Z grafu je patrné, že nejen krut, ale i tlak vyvíjený při testování má vliv na snížení funkce testovaných vzorků.

Porovnáním výsledků těchto tří etap testování a přístroje z normy ČSN EN ISO 7854 [7] se ukázalo, že pokud se chceme více přiblížit poškození textilie reálným nošením, testování bariérového materiálu by mělo probíhat krutem a ohybem i tlakem. Norma doporučuje hodnotit 9000 cykly namáhání s nedojetím hlavic k sobě, avšak testování ukazuje, že do 10 000 cyklů s minimálním přitlakem 14 mm jsou změny oproti původnímu vzorku minimální a větší poškození nastává při 20 000 cyklech.

## 5 Možnosti dalšího výzkumu

V průběhu vývoje přístroje a následného testování vznikaly nové koncepce možných úprav přístroje M2 a možnosti dalšího výzkumu:

- Zaměnit mikrosplínače za laserové či magnetické snímače polohy pro snadnější posunutí stlačení textilie do nulové polohy.
- Technologicky změnit koncepci stroje: otočit celý kus dutého válce o 180°, čímž by došlo k lepšímu přístupu nasazení materiálu na válec a tvořené šupinky na vnějším pístu by vlivem gravitační síly padaly dolů. Omezilo by se tím špinění testované textilie.
- Umístit do vnitřku pístu teflonovou trubku (vnější  $\varnothing$  20 mm a vnitřní  $\varnothing$  18 mm) s výřezem pro vodící čep, a to k zabránění tvorby šupinek.
- Přístroj M2 byl již použit k deformaci mačkáním softschellového materiálu a uspěl. Lze ho tedy doporučit i pro další bariérové nebo jiné druhy tkané či pletené textilie.
- Přístroj M2 je vhodný k vizuálnímu hodnocení tvaru lomů.
- Možnost porovnat počet pracovních cyklů na M2 s běžným nošením textilie.

## Závěr

Cílem této diplomové práce bylo inovovat zařízení pro cyklické zatěžování textilií a experimentálně zhodnotit vliv deformace v závislosti na počet cyklů.

Práce popisuje voděodolné bariérové materiály a rovněž normy určující obecné požadavky na provedení výrobků, jejich kvalitu, nezávadnost i funkčnost. Rešeršní část analyzuje klady a zápory současných zařízení testování mačkavosti. Po shrnutí poznatků, hodnotících přístroje pro testování cyklického namáhání textilií, se jevil jako nejvíce vyhovující princip testování vzorku ve válci.

Stěžejní částí této práce byla tedy inovace prototypu M1, u kterého bylo zjištěno několik poměrně závažných problémů, jež byly v praktické části popsány a zahrnuty do inovace. Zhotovený přístroj M2 prošel celkovou úpravou, změnou konstrukce. Byl doplněn počítačem, zaznamenávajícím každé stlačení, a mikropínači k nastavení nulové polohy u různých tloušťek materiálů.

Zkonstruovaný přístroj M2 k simulaci cyklické deformace mačkáním se při testování osvědčil (800 tisíc cyklů). Jeho celková váha činí 13 kg. Má nastavitelný počet cyklů na 39 999 s možností opakování. U stroje lze nastavit nulovou polohu dojezdu hlavice do spodní části 5 -14 mm.

Vizuální zhodnocení prokázalo v důsledku testování vznik lomů v textilií. Po 48 hodinovém ustálení byly lomy patrné na všech testovaných vzorcích, ale v menší objemnosti (nižší). Vyšší plošná hmotnost u dvojrstvých textilií zřetelněji vykazovala výskyt lomů. Lomy se nevykreslují pravidelně, ale jeví se dvojité. Viditelnost trhlinek, byl prokázán po 30 000 cyklech.

Vliv počtu cyklů na relativní propustnost vodních par se ukázal nízký. Neovlivňuje tedy schopnost textilie propouštět vlhkost produkovaného tělem do okolí.

Cyklické namáhání ovlivňuje pokles výšky vodního sloupce. Ukázala se souvislost s plošnou hmotností vzorku. Větší plošná hmotnost a tuhost vzorku vykazovala větší pokles vodního sloupce.

V závěru práce byly uvedeny snímky z elektronového mikroskopu, které zhodnotily vliv deformačních cyklů a působení tlaku hlavice dutého válce na textilie. Vlivem namáhání testováním byly poškozeny jednotlivé příze, u některých došlo k přetrhu. Dále docházelo k narušení vazných osnovních a útkových bodů a k vmáčknutí pojiva do membrány.

U membrány docházelo k jejímu ztenčení a oddělení od laminátu. V průběhu testování u vzorku T4 docházelo k zatlačování membrány do nosné textilie.

Cyklickým namáháním textilie dochází k zpomalení zotavovací schopnosti poškozené textilie a ztrátě jejích původních vlastností. Metoda cyklického namáhání pomocí dutého válce může přispět k praktickému testování bariérových textilií.

Podobné lomy mohou vznikat i při běžném nošení především v oblasti vnitřní části loktů po dlouhodobém užívání.

Porovnal se přístroj M2 a norma ČSN EN ISO 7854 [7] při testování vzorků bariérových textilií. V přístroji M2 je materiál namáhán více oproti normě. Proto se domnívám, že testování typu C na 9000 cyklů je pro testování bariérových textilií nedostatečné a počet deformačních cyklů je třeba navýšit. Doporučila bych navýšení cyklů minimálně na 30 000 s mezerou mezi přitlačnými hlavicemi 6 mm bez materiálu, neboť důsledkem plného mechanického dotýkání hlavic je místní porušení membrány materiálu, především u dvouvrstvých laminátů a test na vodní sloupec je poté nevýznamný.

## Citovaná literatura

- [1]. **Knížek, R.** *Oděvy pro sportovní a outdoorové aktivity*. Liberec: Technická univerzita, 2013. 978-80-7494-012-5.
- [2]. **Razzaque, A.; Tesinová, P.; Hes, L.; Arumugam, V.** Hydrostatic Resistance and Mechanical Behaviours of Breathable Layered Waterproof Fabrics. *FIBRES and TEXTILES in Eastern Europe*. Liberec: Technická Univerzita, 2018. Sv. 26, 1(127):108-112. 10.56004/01.3001.0010.7805, stránky 108-112.
- [3]. **Hes, I. a Sluka, P.** *Úvod do komfortu textilií*. Liberec: Technická univerzita, 2005. 80-7083-926-0.
- [4]. **Wagner, A.** Waterproof vs. Water repellent. *Get special intel. Subscribe for news*. [Online] 06. 07 2017. [Citace: 26. 06 2018.] <https://ufpro.com/blog/article/waterproof-vs-water-repellent>, stránky 1-11.
- [5]. ČSN EN ISO 13688. *Ochranné oděvy - Obecné požadavky*. Praha: Český normalizační institut, Leden 2014.
- [6]. ČSN EN 343 +A1 (83 2761). *Ochranné oděvy- Ochrana proti dešti*. Praha: Český normalizační institut, Březen 2008.
- [7]. ČSN EN ISO 7854 (804621). *Textilie povrstvené pryží nebo plasty, zjišťování odolnosti proti poškození ohybem*. Praha: Český normalizační institut, Srpen 1998.
- [8]. ČSN EN 22313 (800820). *Plošné textilie. Zjišťování mačkovosti - schopnosti zotavení horizontálně složeného vzorku měřením úhlu zotavení*. Praha: Český normalizační institut. Červenec 1994.
- [9]. ČSN EN ISO 5470-1 (800852). *Textilie povrstvené pryží nebo plasty Textilie povrstvené pryží nebo plasty - Zjišťování odolnosti v oděru - Část 1: Taberův přístroj na zkoušení oděru*. Praha: Český normalizační institut. Červenec. 2017.
- [10]. Taberův přístroj. *Proinex Instruments, s.r.o.* . [Online] [Citace: 05. 07. 2017] <https://www.proinex.cz/cs/52-taber-abraser-testovani-odolnosti-proti-oteru-a-omyvatelnost.html>.
- [11]. ČSN EN ISO 12947-2 (800846). *Textilie - Zjišťování odolnosti plošných textilií v oděru metodou Martindale - Část 2: Zjišťování poškození vzorku*. Praha: Český normalizační institut. Zář 2017.

- [12]. Technická univerzita v Liberci. *Laboratoř fyziologického komfortu a speciálních měření*. [Online] Fakulta textilní. [Citace: 04. 07 2019.] <http://www.ft.tul.cz/katedry/katedra-odevnictvi-laboratore/laborator-fyziologickeho-komfortu-a-specialnich-mereni>.
- [13]. ČSN EN ISO 80 0833. *Plošné textilie. Stanovení odolnosti v oděru na vrtulkovém odírači*. Praha: Český normalizační institut. Březen 1993
- [14]. ČSN EN ISO 800850. *Plošné textilie. Stanovení oděru v přehybu na vrtulkovém odírači*. Praha: Český normalizační institut. Březen 1984
- [15]. Technická univerzita v Liberci. *Stálosti a odolnosti plošných textilií 7*. [pdf] Liberec: Studijní materiál, 2019. 12-38-08.
- [16]. **KOVAČIČ, V.** *Kapitoly z textilního zkušebnictví*. Liberec: Technická univerzita, 2004. ISBN 80-7083-823-X.
- [17]. **Liu Ch., Fu Y., Wu N.** *Novel testing equipment for fabric wrinkle resistance simulating actual wear*. China : Textile Research Journal, 2014. 10.1177/0040517513517963, stránky 1059-1069.
- [18]. **Liu, Ch.** *Investigation on the novel measurement for fabric wrinkle simulating actual wear.*. Fashion Design & Engineering Department, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou, China: The Journal of The Textile Institute, 2017. 10.1080/00405000.2016.1165384, stránky 279-286.
- [19]. **Liu Ch.** *New Method of Fabric Wrinkle Measurement Based on Image Processing.*. Hangzhou, China : FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe, 2014. 1(103): 51-55, stránky 51-55.
- [20]. **Masteikaitė, V., Sacevičiene, V. a Čironienė, V.** *Compressed loop method for the bending behaviour of coated and laminated fabrics analysis*. UK: Journal of Industrial Textiles, 2014. 10.1177/1528083712454154, stránky 350-365.
- [21]. **Qiu, XQ , Yang, Ch.** *Wrinkle recovery angle and wrinkle recovery appearance rating for durable press finished cotton fabrics*. University of Georgia: Aatcc Review, 2005, stránky 34-38.
- [22]. **Degirmenc, Z a Celik, N.** *The effects of selected improving methods on wrinkle resistance of warp knitted and laminated car seat cover fabrics*. Gaziantep, Adana-Turkey : Journal of Industrial Textiles SAGE, 2016. Downloaded from [jit.sagepub.com](http://jit.sagepub.com) at PENNSYLVANIA STATE UNIV on March 6, 2016, stránky 245-256.

- [23]. **Najar, S.; Hezavehi, E.; Hoseini Hashemi, S.; Rashidi, A.** *Investigation into wrinkle behavior of woven fabrics in a cylindrical form by measuring their tangential force*. Teheran, Iran : International Journal of Clothing Science and Technology, 2009. 10.1108/09556220910923728. Stránky 7 -30.
- [24]. **Padleckienė, I. a Petrulis, D.** *Effect of Abrasion on the Air Permeability & Mass Loss of Breathable-Coated Fabrics*. Lithuania : FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe , 2009, Sv. Kaunas University of Technology, stránky 50-54.
- [25]. **Padleckienė, I.; Petrulis, D; Rubežienė, V; Valienė, V; Abraitienė, A.** *Breathability and Resistance to Water Penetration of Breathable-Coated Textiles after Cyclic Mechanical Treatments*. Kaunas, Lithuania: Materials Science, 2009. ISSN 1392–1320 MATERIALS SCIENCE (MEDŽIAGOTYRA), stránky 69-74.
- [26]. **Troynikov, O a Nawaz, N, Watson, CH.** *Durability of vapor-permeable waterproof textile materials used in sailing protective apparel*. UK: Textile Research Journal, 2017. 10.1177/0040517517732079, 1-16.
- [27]. **Padleckienė, I. a Petrulis, D.** *Monitoring Flexing Fatigue Damage in the Coating of a Breathable-Coated Textile*. Lithuania: FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe, 2010, stránky 73-77.
- [28]. **Ashish, A. a kol.** *Role of Polymer Film Mechanical Behavior in Liquid Packaging Application: Deformation Modeling of Gelbo Test: The Dow Chemical Company, SPE ANTEC®*, 2017. 4.2017 Lokhand\_gelbotester model. pdf. Stránky 967-971.
- [29]. **Faccini, M., Vaquero, C. a Amantia, D.** *Development of Protective Clothing against Nanoparticle Based on Electrospun Nanofibers*. Terrassa, Spain: Hindawi Publishing Corporation, 2012. 10.1155/2012/892894, stránky 1-10.
- [30]. Evropská norma EN ISO 7854. *Metoda C - Crumple / flex metoda*. Brusel: Švédská norma. 1997.
- [31]. **Mádlová, J.**, *Funkčnost bariérových textilií po simulovaném kombinovaném cyklickém namáhání*. Liberec, 2018. Diplomová práce. Fakulta textilní Technické univerzity v Liberci, Katedra oděvnictví. Vedoucí diplomové práce Zelová, K.
- [32]. **Kovář, R.** *Struktura a vlastnosti plošných textilií*. Liberec: Technická univerzita, 2003. ISBN 80-7083-676-8.



- [33]. Mesdan. *Lab division - Wrinkle recovery tester*. [Online] MESDAN S.p.A. [Citace: 04. 07 2019.] <https://www.mesdan.it/en/mesdan-lab/products/fabrics/physical-testing/Pages/Wrinkle-recovery-tester.aspx>.
- [34]. Conrad. *Hobby*. [Online] [Citace: 18. 2 2020.] [<https://www.conrad.cz/motor-s-prevodem-modelcraft-rb350050-0a101r-12-v-50-1.k227552>].
- [35]. MonkeyTech. *UNO R3, Arduino kompatibilní, ATmega328P-AU*. [Online] [Citace: 16. 03 2020.] <https://shop.monkeytech.cz/uno-r3>.
- [36]. Amazon. *Amazon.com*. [Online] [Citace: 18. 02 2020.] <https://www.amazon.com/Driver-Controller-Stepper-H-Bridge-Mega2560/dp/B07T537ZXY>.
- [37]. MULTIPLAST. *E-Shop*. [Online] [Citace: 16. 03 2020.] <https://www.multiplast.cz/eshop/prislusenstvi-hobby-d32-79/hadicova-spona-50-70-mm-483>.
- [38]. FUNG, W. *Coated and Laminated Textiles*. Cambridge England: The Textile Institute, Woodhead Publishing, 2002. ISBN 1855735768.
- [39]. IN 23- 304 -01/01. *Stanovení termofyziologických vlastností textilií*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, Fakulta textilní. .
- [40]. **Hes, L.** *Základy komfortu textilií*. Liberec: TU, TU - fakulta textilní, 2018.
- [41]. ČSN EN 20811 (80 0818). *Textilie. Stanovení odolnosti proti pronikání vody. Zkouška tlakem vody*. Praha: Český normalizační institut, 1994. .

**Seznam obrázků:**

Obrázek 1: Složený vzorek pro upnutí [7] .....	16
Obrázek 2: Pravoúhlý proužek otočen kolem dvou protilehlých válců [7].....	17
Obrázek 3: Taberův přístroj [10].....	19
Obrázek 4: Přístroj Martindale [12] .....	20
Obrázek 5: Princip vrtulkového komorového odírače [15].....	20
Obrázek 6: Stroj - úhel mačkání [17] .....	22
Obrázek 7: Záhyby z přístroje a, b) Vzorek z přístroje, c) Nošené oblečení, d) Vzorek z nošeného oděvu. [17] .....	22
Obrázek 8: Původní přístroj - Vylepšený způsob simulace testování materiálu ohybem [18]	23
Obrázek 9: Nová metoda měření mačkavosti na základě zpracování obrazu: a) Kompletní testovací přístroj, b) Struktura simulátoru [19] .....	23
Obrázek 10: Porovnání mačkání: a) reálné loktu, b) reálné kolene, c) vzorek ze simulátoru [19] .....	24
Obrázek 11: (a) Typ deformace rukávu během ohýbání ramene, (b) schematický náčrt deformace tkaniny v ohybu. (c) Schéma fixace vzorku v zařízení. [20].....	24
Obrázek 12: a) Kompresie smyčky vzorku pomocí speciálního zařízení, b) Geometrický tvar smyčky před a při kompresi c) [20].....	25
Obrázek 13: Přístroj SIROFAST tester s napojením na PC [23] .....	26
Obrázek 14: Porovnání napětí kroucené tkaniny v osnovním a v útkovém směru ve třech rotačních úrovních [23] .....	27
Obrázek 15: Navržený testovací buben [26] .....	29
Obrázek 16: Průřez potažené tkaniny pod el. Mikroskopem [27].....	29
Obrázek 17: a) Počátek testování, b) Situace po 9000 cyklech ve směru osnovy, c) Po 9000 cyklech ve směru útku. Pravidelně umístěné prohlubně bez mikrotrhlin, nátěr není porušen [27] .....	30
Obrázek 18: Funkčnost přístroje Gelbo test a detekce otvorů v testovaných fóliích pomocí roztoku barviva [28] .....	31
Obrázek 19: Přístroj Gelbo Flex testu a mechanické poškození nanovláknenné pavučiny po testování Gelbo Flex testu při různých zvětšeních [29] .....	31
Obrázek 20: Finální verze prototypu zařízení pro simulaci cyklického mačkání, čelní pohled [31] .....	33

Obrázek 21: Dutý válec s etalony, AATCC 128, ISO 9867, b) Metoda úhlu zotavení, AA TCC 66, ISO 2313 [33] .....	34
Obrázek 22: Pracovní cyklus prototypu M1, A – maximální poloha, B – minimální poloha [31] .....	38
Obrázek 23: Elektrické zapojení přístroje .....	39
Obrázek 24: Přípravek, sestava přístroje bez zapojení .....	40
Obrázek 25: Vrchní část pístu bez kolíčku s polyamidovým kolíčkem .....	42
Obrázek 26: Sestava držáku motoru .....	43
Obrázek 27: Motor 12V, převodový poměr 1:50, Ø motorku 35 mm, Ø převodovky-37 mm [34] .....	44
Obrázek 28: Sestava osy dutého válce s mikropsínači .....	44
Obrázek 29: Arduino UNO [35], modul desky [36] .....	45
Obrázek 30: Zapojení komponentů do elektrického obvodu .....	46
Obrázek 31: Rozvaděč .....	46
Obrázek 32: Hadicová spona [37] .....	47
Obrázek 33: Stroj M2 .....	50
Obrázek 34: Pracovní cyklus směru stroje, pohyb hlavice o 180° .....	50
Obrázek 35: Průběh pohybu válce při jednom cyklu .....	51
Obrázek 36: Náčiní pro upevnění textilie a nastavení polohy dojezdu válce .....	51
Obrázek 37: Upnutí textilie do M2 .....	52
Obrázek 38: Nastavení počtu cyklů .....	53
Obrázek 39: Dokončení navoleného testování .....	53
Obrázek 40: PERMETEST KHT [39] .....	54
Obrázek 41: Shirley Hydrostatic Head Tester SDL M018, KDO [41] .....	55
Obrázek 42: Namáhaná plocha vzorku .....	63
Obrázek 43: Zakreslení lomů na vzorku stejné textilie stroj M1 [31] a M2 .....	64
Obrázek 44: Vložení vzorku v přístroji PERMETEST .....	65
Obrázek 45: Graf relativní propustnosti testovaného materiálu před a po cyklickém mačkání .....	66
Obrázek 46: Oblast pro testování vodního sloupce .....	67
Obrázek 47: Vyhodnocení průměru naměřené hodnoty výšky vodního sloupce (mH2O) Tabulka 11 .....	68
Obrázek 48: Testování vodního sloupce, konec testu průnik vody na třech místech .....	70

Obrázek 49: Trhliny na vzorku po ukončení testování na výši vodního sloupce.....	70
Obrázek 50: Zvětšení oblasti pro testování vodního sloupce.....	70
Obrázek 51: Průběh stlačení materiálu přístrojem M2.....	71
Obrázek 52:Vznik namáhavých míst krutem o 180° na přístroji M2, materiál T1 po 30 000 cyklech .....	72
Obrázek 53: Označení některých trhlinek na materiálu T3 po 30 000 testech.....	72
Obrázek 54: Graf porovnání výšky vodního sloupce z grafů 13, materiál T1 a T6.....	74
Obrázek 55: Rubová strana s odloupenou membránou T4 .....	75
Obrázek 56: Vzorek T1 Gelantos porušený vzorek po 20 000 cyklech.....	76
Obrázek 57: Vzorek T1 Gelantos řez porušeným vzorkem po 20 000 cyklech.....	76
Obrázek 58: Vzorek T4 Dermizax zatížení 9 kg po 20 000 cyklech vizuální pohled z líce a mikroskopický rub daného místa .....	77
Obrázek 59: Vzorek T4 Dermizax původní neporušený vzorek líc a rub.....	78
Obrázek 60: Vzorek T4 Dermizax porušený vzorek po 20 000cyklech líc, rub materiálu.....	78
Obrázek 61: Řez vzorku T4 Dermizax neporušený a porušený vzorek po 20 000cyklech.....	79
Obrázek 62: Řez rozhraní vzorku T4 Dermizax mezi membránou a lepidlem, neporušený a porušený vzorek .....	79
Obrázek 63: Vzorek T6 původní neporušený vzorek.....	80
Obrázek 64: Vzorek T6 porušený vzorek po 20 000 cyklech líc, rub.....	81
Obrázek 65: Řez vzorku T6 neporušený a porušený vzorek po 20 000 cyklech .....	81
Obrázek 66: Řez vzorku T6 neporušený a porušený vzorek po 20 000 cyklech .....	82
Obrázek 67: Vyhodnocení relativní propustnosti vodních par třívrstevných testovaných vzorků v procentech, Tabulka 9 .....	85
Obrázek 68: Vyhodnocení relativní propustnosti vodních par dvouvrstevných testovaných vzorků v procentech, Tabulka 9 .....	86
Obrázek 69: Graf závislosti výšky vodního sloupce na počtu deformačních cyklů Tabulka 11 .....	87
Obrázek 70: Graf závislosti výšky vodního sloupce na počtu deformačních cyklů T1 a T3 z Tabulka 12.....	88
Obrázek 71: 3 D zobrazení vznikajících oblastí lomů poškození, výřez Obrázek 51 .....	88
Obrázek 72: Průměr výšky vodního sloupce Tabulka 14 .....	89
Obrázek 73: přístroj PERMETEST.....	118

Obrázek 74: Graf naměřených hodnot odolnosti vůči vodním parám Ret [ $m^2 \cdot Pa \cdot W - 1$ ] testovaných materiálů.....	124
Obrázek 75: Mechanismus pro upevnění vzorku .....	125
Obrázek 76: Vzorek T4 Dermizax po testování na vodní sloupec.....	125
Obrázek 77: Materiál T4 po 20 000 cyklech testování .....	129
Obrázek 78: Elektronový mikroskop na TUL.....	129

## Seznam tabulek:

Tabulka 1: Charakteristika testovaného třívrstvého materiálu.....	49
Tabulka 2: Charakteristika testovaného dvouvrstvého materiálu .....	49
Tabulka 3: Vizuální hodnocení deformace textilie vzorku T1 .....	57
Tabulka 4: Vizuální hodnocení deformace textilie vzorku T2.....	58
Tabulka 5: Vizuální hodnocení deformace textilie vzorku T3.....	59
Tabulka 6: Vizuální hodnocení deformace textilie vzorku T4.....	60
Tabulka 7: Vizuální hodnocení deformace textilie vzorku T5.....	61
Tabulka 8: Vizuální hodnocení deformace textilie vzorku T6.....	62
Tabulka 9: Vyhodnocení průměru naměřené hodnoty relativní propustnosti vodních par v závislosti na výši cyklů .....	66
Tabulka 10: Vyhodnocení testovaných vzorků v (%) od základního vzorku .....	66
Tabulka 11: Vyhodnocení průměru naměřené hodnoty výšky vodního sloupce ( $mH_2O$ ).....	68
Tabulka 12: Průměr výšky vodního sloupce ( $mH_2O$ ) materiálu T1, T3 mezera 6 mm.....	73
Tabulka 13: Průměr výšky vodního sloupce ( $mH_2O$ ) materiálu T1 a T6 mezera 14 mm.....	73
Tabulka 14: Průměr výšky vodního sloupce .....	89
Tabulka 15: Tloušťka materiálu ( $mm$ ).....	116
Tabulka 16: Plošná hmotnost ( $g/m^2$ ) .....	116
Tabulka 17: T1 relativní propustnost vodních par hodnoty měření p (%).....	118
Tabulka 18: T2 relativní propustnost vodních par hodnoty měření p (%).....	119
Tabulka 19: T3 relativní propustnost vodních par hodnoty měření p (%).....	119
Tabulka 20: T4 relativní propustnost vodních par hodnoty měření p (%).....	120
Tabulka 21: T5 relativní propustnost vodních par hodnoty měření p (%).....	120
Tabulka 22: T6 relativní propustnost vodních par hodnoty měření p (%).....	121
Tabulka 23: T1 naměřené hodnot odolnosti vůči vodním parám Ret ( $m^2 \cdot Pa \cdot W - 1$ ).....	121

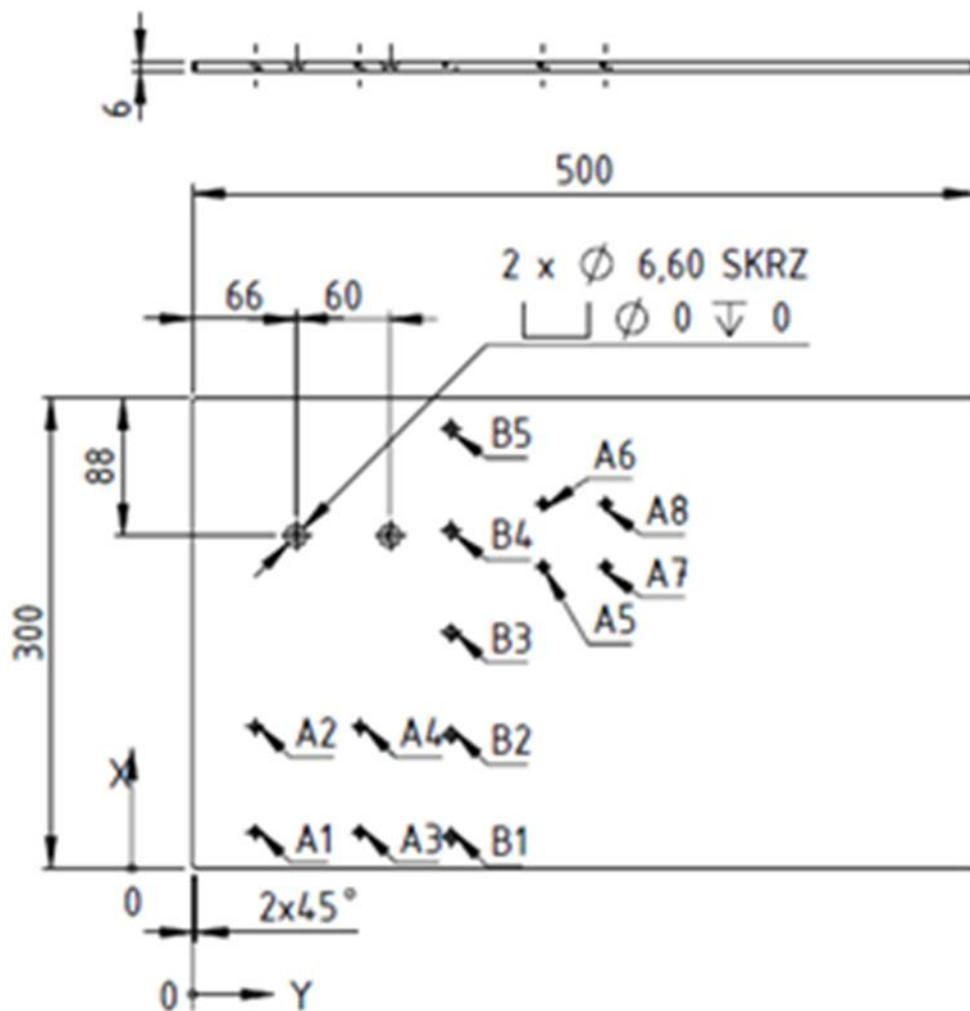
---

Tabulka 24: T2 naměřené hodnot odolnosti vůči vodním parám Ret ( $m^2 \cdot Pa \cdot W - 1$ ).....	122
Tabulka 25: T3 naměřené hodnot odolnosti vůči vodním parám Ret ( $m^2 \cdot Pa \cdot W - 1$ ).....	122
Tabulka 26: T4 naměřené hodnot odolnosti vůči vodním parám Ret ( $m^2 \cdot Pa \cdot W - 1$ ).....	123
Tabulka 27: T5 naměřené hodnot odolnosti vůči vodním parám Ret ( $m^2 \cdot Pa \cdot W - 1$ ).....	123
Tabulka 28: T6 naměřené hodnot odolnosti vůči vodním parám Ret ( $m^2 \cdot Pa \cdot W - 1$ ).....	124
Tabulka 29: Výsledky vyhodnocení relativní propustnosti vodních par po cyklickém namáhání .....	124
Tabulka 30: Výsledné hodnoty měření pro materiál T1 výšky vodního sloupce v milibarech .....	126
Tabulka 31: Výsledné hodnoty měření pro materiál T2 výšky vodního sloupce v milibarech .....	126
Tabulka 32: Výsledné hodnoty měření pro materiál T3 výšky vodního sloupce v milibarech .....	126
Tabulka 33: Výsledné hodnoty měření pro materiál T4 výšky vodního sloupce v milibarech .....	126
Tabulka 34: Výsledné hodnoty měření pro materiál T5 výšky vodního sloupce v milibarech .....	127
Tabulka 35: Výsledné hodnoty měření pro materiál T6 výšky vodního sloupce v milibarech .....	127
Tabulka 36: Závislosti výšky vodního sloupce na počtu deformačních cyklů vzorku T1 .....	127
Tabulka 37: Výšky vodního sloupce ( $mH_2O$ ) materiálu T3 bez přtlaku.....	127
Tabulka 38: Výšky vodního sloupce ( $mH_2O$ ) materiálu T1 bez přtlaku.....	128
Tabulka 39: Výšky vodního sloupce ( $mH_2O$ ) materiálu T1 bez přtlaku.....	128

## **Příloha:**

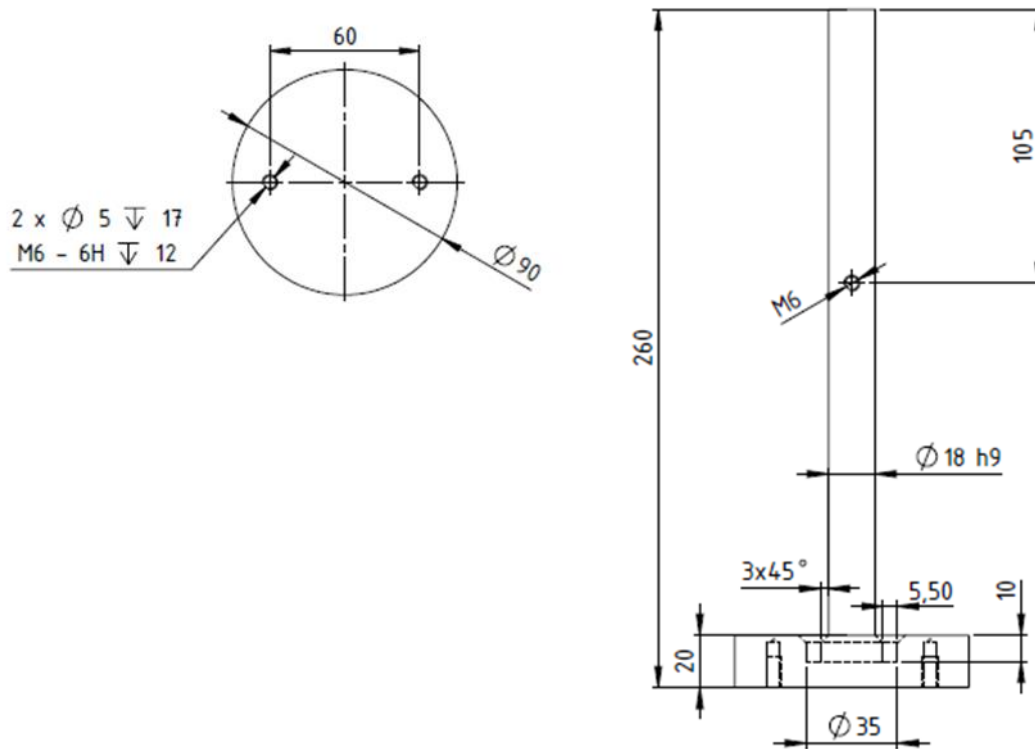
### **Příloha číslo 1 - Nákres strojních součástí stroje M2**

## Základová deska (mm)

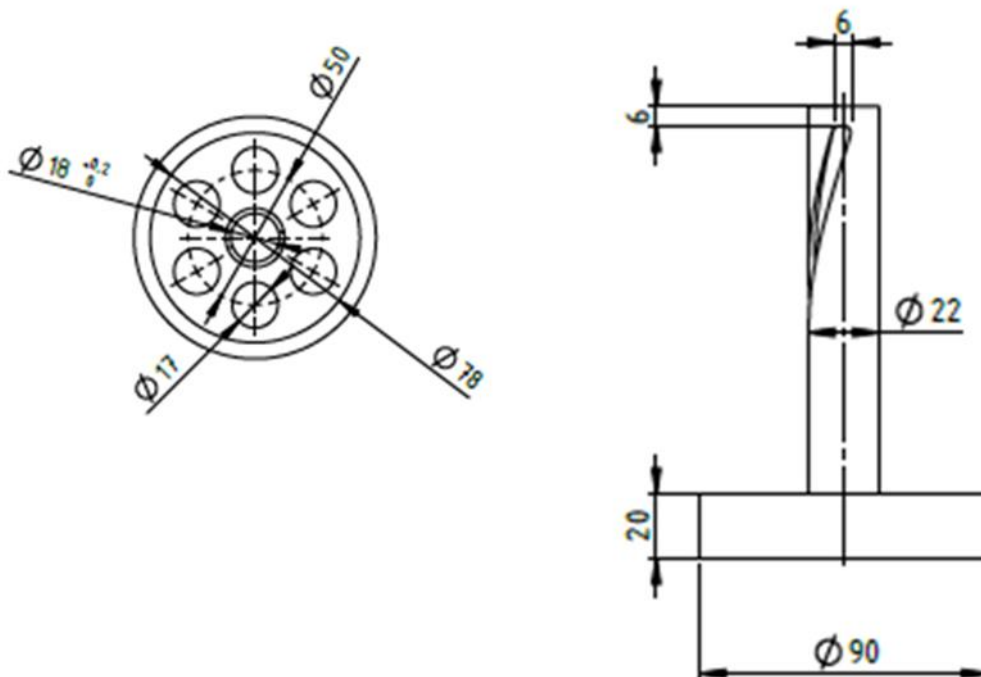




## Spodní část pístu (mm)

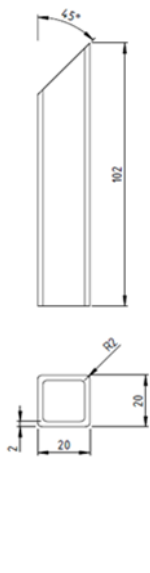


## Vrchní část pístu (mm)

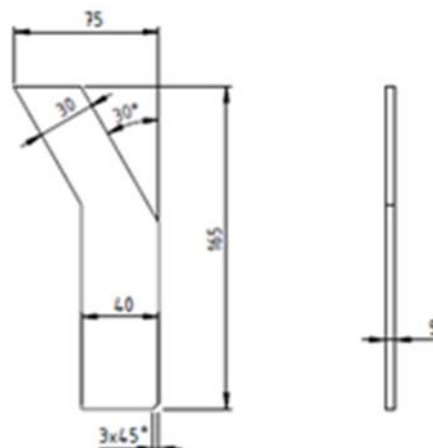
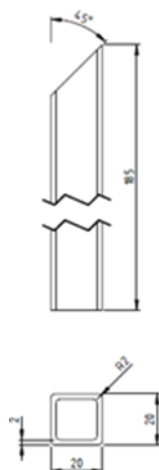




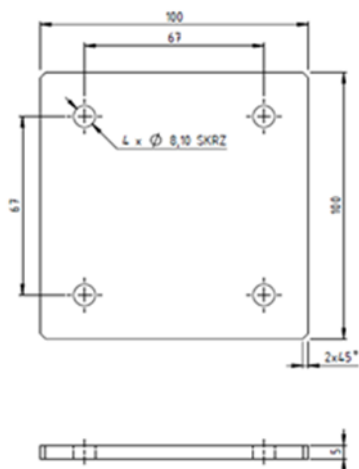
## Komponenty pro sestavení držáku motoru (mm)



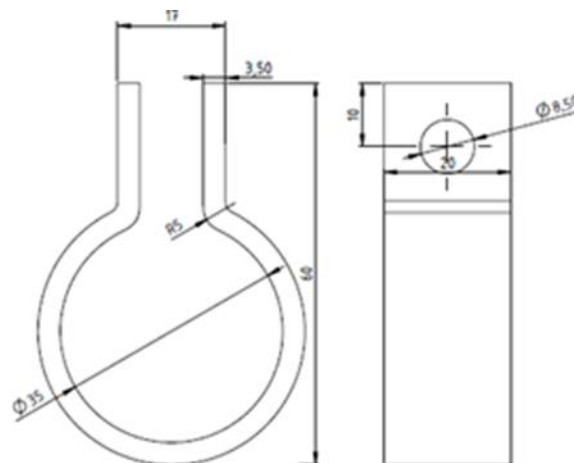
Profily držáku motoru



Výztuha držáku

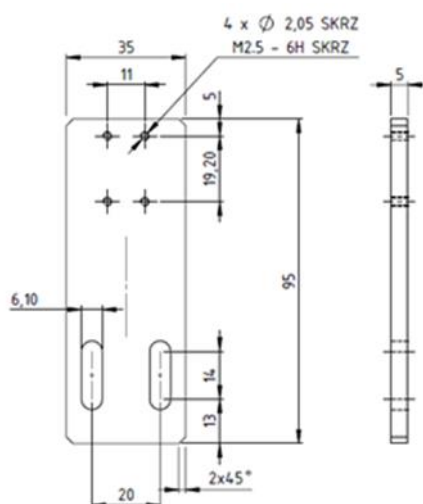


Deska držáku motoru

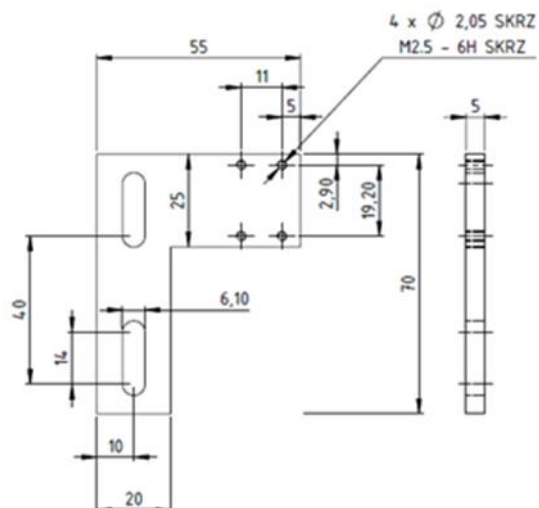


Držák motoru

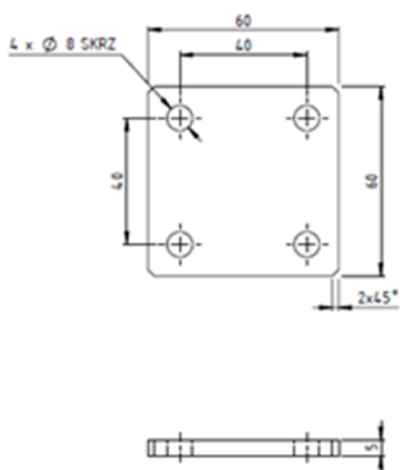
### Držák stabilizace nástavby s držáky mikrospínačů (mm)



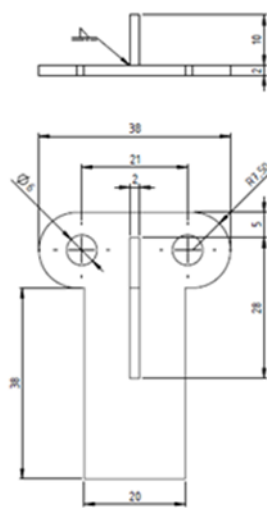
Deska mikrospínače



Deska mikrospínače

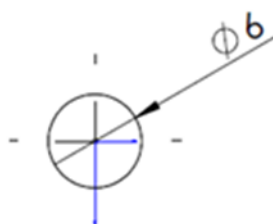
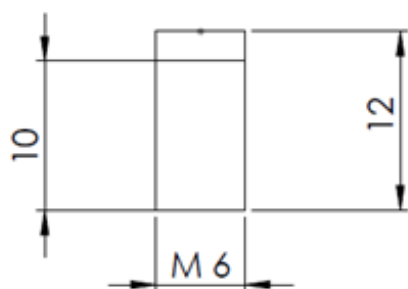


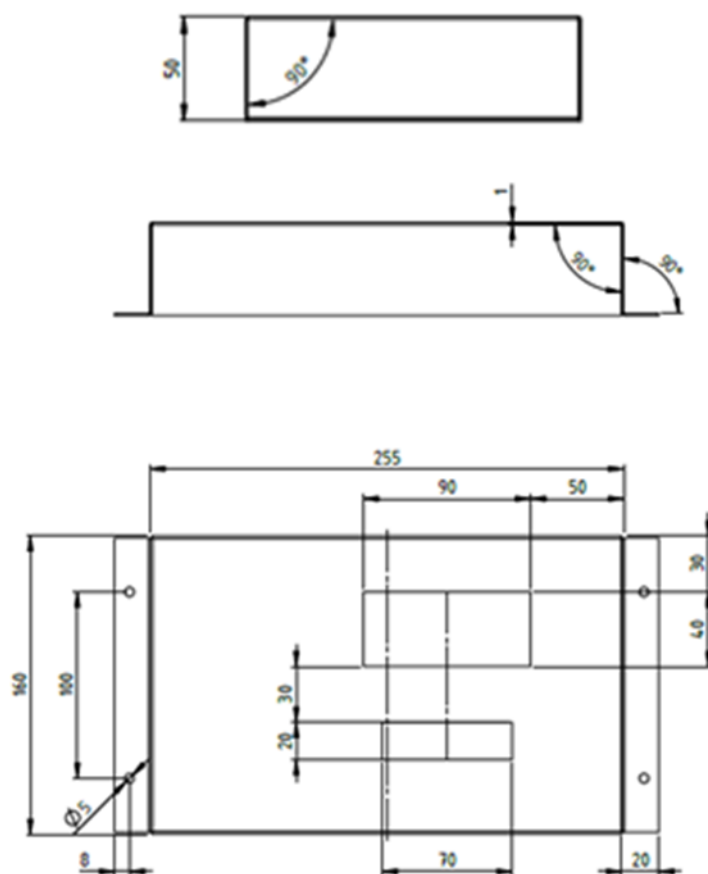
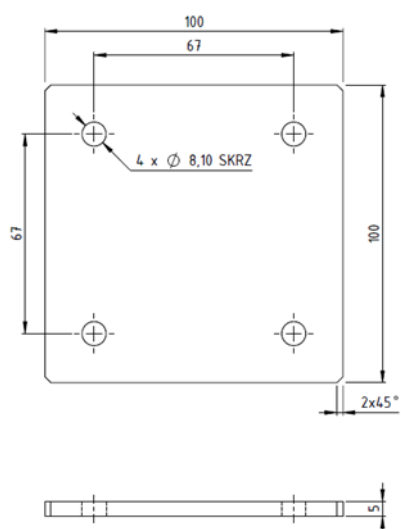
Podstavec držáků

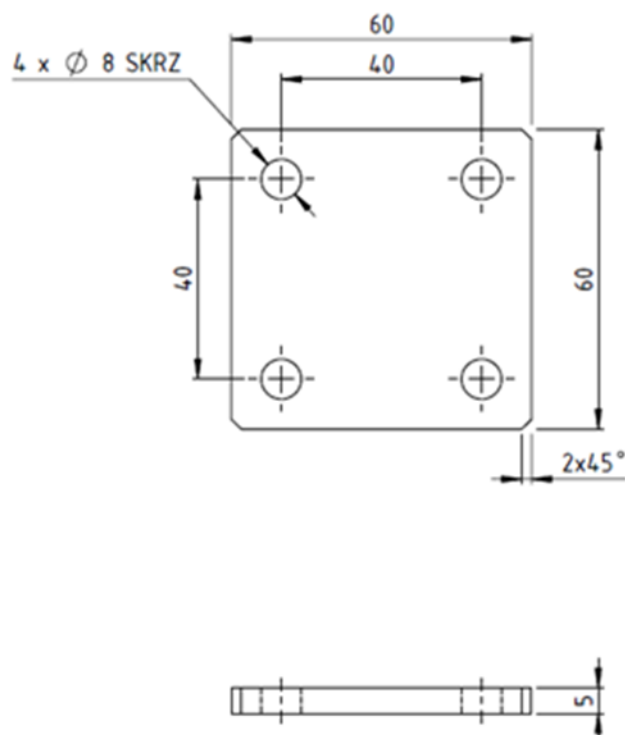
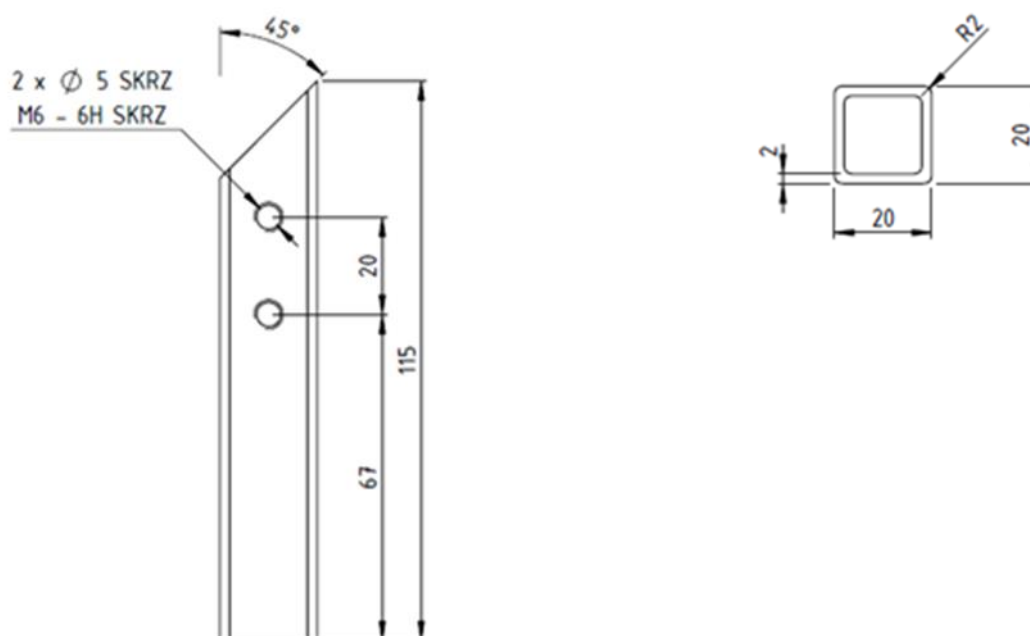


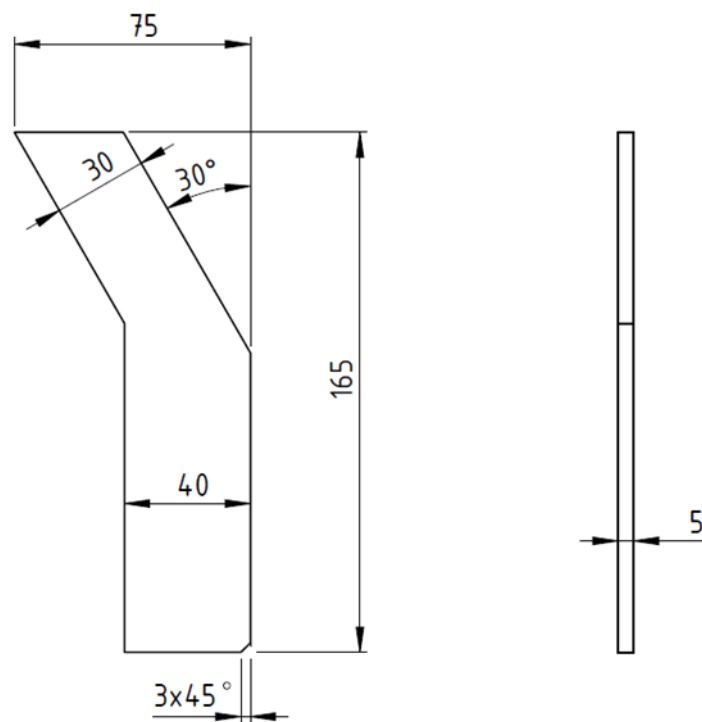
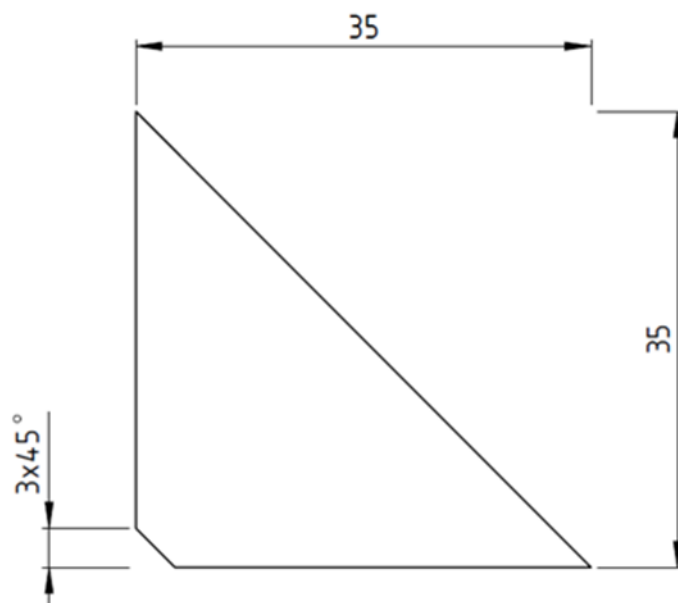
Držák ložisek

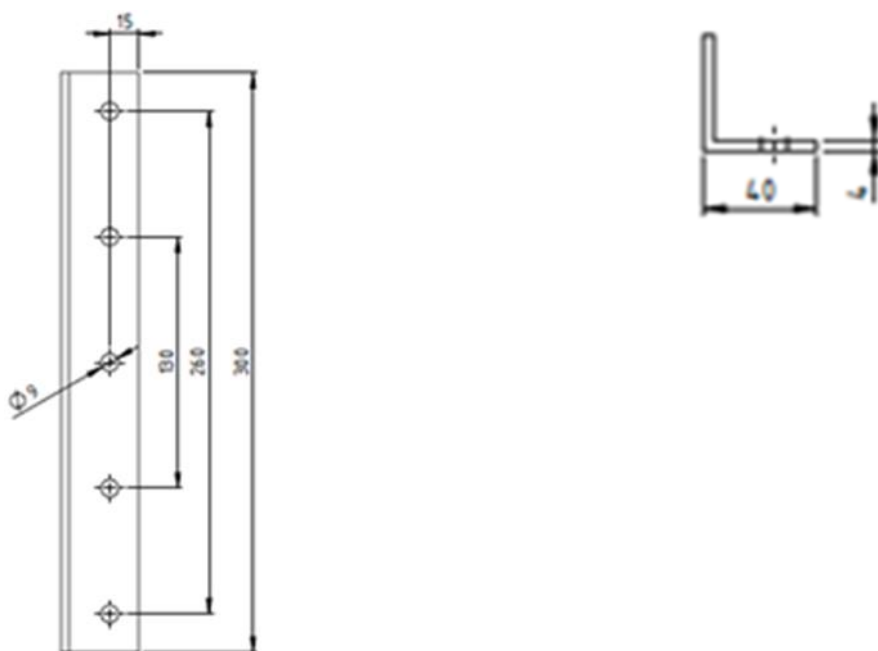
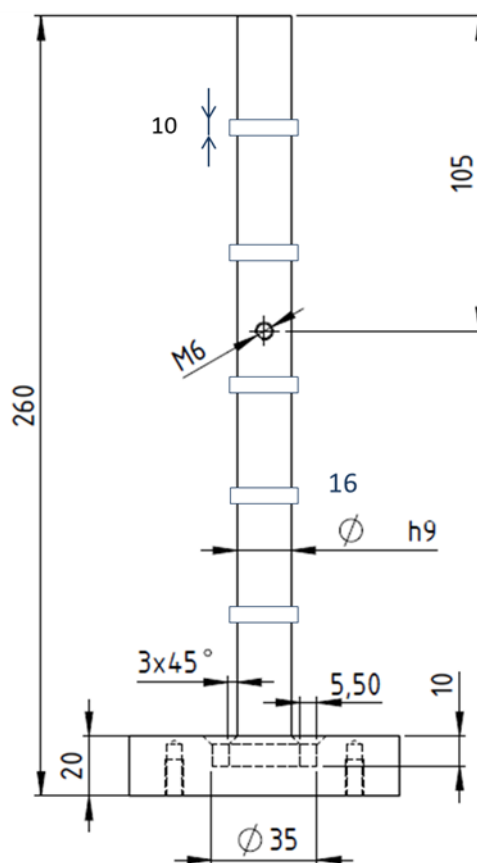
### Kolík (mm)



**Rozvaděč (mm)****Deska držáku motoru (mm)**

**Podstavec držáku osy (mm)****Profil držáku (mm)**

**Výztuha držáku****Žebro držáku**

**L profil****Spodní část pístu**



## **Příloha číslo 2. - Použité bariérové materiály**

Třívrstvý materiál T1 žlutá – Gelantos

Třívrstvý materiál T2 zelená - Diaplex

Třívrstvý materiál T3 modrá - Ezanagi

Dvouvrstvý materiál T4 šedá - Dermizax

Dvouvrstvý materiál T5 světle šedá - Entrant

Dvouvrstvý materiál T6 černá – polyuretan

### Tloušťka a plošná hmotnost testovaných materiálů

ČSN EN ISO 5084 (80 0844). Textilie – zjišťování tloušťky textilií a textilních výrobků.

**Tabulka 15: Tloušťka materiálu (mm)**

Tloušťka materiálu (mm)						
	T1(žlutá)	T2 (zelená)	T3 (modrá)	T4 (šedá)	T5 (s šedá)	T6 (černá)
Měření 1	0,24	0,34	0,26	0,29	0,13	0,07
Měření 2	0,24	0,34	0,26	0,29	0,13	0,07
Měření 3	0,24	0,34	0,26	0,29	0,13	0,07
Měření 4	0,24	0,34	0,26	0,29	0,13	0,07
Měření 5	0,24	0,34	0,26	0,29	0,13	0,07
Průměr	0,24	0,34	0,26	0,29	0,13	0,07

ČSN EN 12127(80 0849). Textilie – Plošné textilie – Zjišťování plošné hmotnosti pomocí malých vzorků.

**Tabulka 16: Plošná hmotnost (g/m<sup>2</sup>)**

Plošná hmotnost (g/m <sup>2</sup> )						
	T1(žlutá)	T2 (zelená)	T3 (modrá)	T4 (šedá)	T5 (s šedá)	T6 (černá)
Měření 1	89,8	162,4	91,4	173	90,4	51,8
Měření 2	88,9	162,2	91,2	174	89,6	50,8
Měření 3	89,1	161,7	90,9	172	90,2	51,5
Měření 4	89,3	161,2	91,5	173	89,3	50,9
Měření 5	90,5	162,5	91,0	172	90,5	51,6
Průměr	91	162	91	173	90	51

### **Příloha číslo 3 - Testování**

## PERMETEST

Interní norma: IN 23- 304 -01/01. Stanovení termofyziologických vlastností textilií.



Obrázek 73: přístroj PERMETEST

**p (%)**

**Tabulka 17: T1 relativní propustnost vodních par hodnoty měření p (%)**

T1 relativní propustnost vodních par hodnoty měření p (%)				
T1 žlutá testování	Počet cyklů 0	Počet cyklů 4 000	Počet cyklů 10 000	Počet cyklů 20 000
1.	47,1	45	46,9	44,4
2.	45,8	43,5	46,8	44,7
3.	46,9	44,8	45,8	46,1
4.	46	46,8	45,3	43,9
<b>Průměr</b>	<b>46,45</b>	<b>45,03</b>	<b>46,20</b>	<b>44,78</b>
Směrodatná odchylka (-)	0,56	1,18	0,67	0,82
Variační koeficient (%)	1,20	2,61	1,46	1,82
95 % interval spolehlivosti	0,55	1,16	0,66	0,80
<b>Vyhodnocení pro p (%)</b>	<b>0</b>	<b>3,07</b>	<b>0,54</b>	<b>3,61</b>

Tabulka 18: T2 relativní propustnost vodních par hodnoty měření p (%)

T2 relativní propustnost vodních par hodnoty měření p (%)				
T2 zelená testování	Počet cyklů 0	Počet cyklů 4 000	Počet cyklů 10 000	Počet cyklů 20 000
1.	38,5	41,2	41	40,7
2.	39,3	38,8	43,5	40,9
3.	43,9	41,5	42,8	41,4
4.	41,1	40,4	40,1	40,2
<b>Průměr</b>	<b>40,7</b>	<b>40,475</b>	<b>41,85</b>	<b>40,8</b>
Směrodatná odchylka (-)	2,07	1,05	1,36	0,43
Variační koeficient (%)	5,09	2,59	3,25	1,05
95 % interval spolehlivosti	2,03	1,03	1,33	0,42
<b>Vyhodnocení pro p (%)</b>	<b>0</b>	<b>0,55</b>	<b>-2,83</b>	<b>-0,25</b>

Tabulka 19: T3 relativní propustnost vodních par hodnoty měření p (%)

T3 relativní propustnost vodních par hodnoty měření p (%)				
T3 modrá testování	Počet cyklů 0	Počet cyklů 4 000	Počet cyklů 10 000	Počet cyklů 20 000
1.	43,8	43,5	43,3	43,6
2.	43,5	43,2	42,2	41,9
3.	42,9	42,8	43	43
4.	43,9	43,9	43,1	42,1
<b>Průměr</b>	<b>43,525</b>	<b>43,35</b>	<b>42,9</b>	<b>42,65</b>
Směrodatná odchylka (-)	0,39	0,409	0,42	0,69
Variační koeficient (%)	0,90	0,93	0,98	1,62
95 % interval spolehlivosti	0,38	0,40	0,41	0,67
<b>Vyhodnocení pro p (%)</b>	<b>0</b>	<b>0,40</b>	<b>1,44</b>	<b>2,01</b>

Tabulka 20: T4 relativní propustnost vodních par hodnoty měření p (%)

T4 relativní propustnost vodních par hodnoty měření p (%)				
T4 šedá testování	Počet cyklů 0	Počet cyklů 4 000	Počet cyklů 10 000	Počet cyklů 20 000
1.	58,7	55,1	56,6	53,5
2.	60,7	58,5	56,1	56,7
3.	60,8	56	56,7	57
4.	58,1	55,2	55,4	54,3
<b>Průměr</b>	<b>59,575</b>	<b>56</b>	<b>56,2</b>	<b>55,375</b>
Směrodatná odchylna (-)	1,19	1,37	0,51	1,51
Variační koeficient (%)	2,01	2,44	0,92	2,72
95 % interval spolehlivosti	0	5,67	5,67	7,05
<b>Vyhodnocení pro p (%)</b>	<b>0</b>	<b>5,67</b>	<b>5,67</b>	<b>7,05</b>

Tabulka 21: T5 relativní propustnost vodních par hodnoty měření p (%)

T5 relativní propustnost vodních par hodnoty měření p (%)				
T5 světle šedá testování	Počet cyklů 0	Počet cyklů 4 000	Počet cyklů 10 000	Počet cyklů 20 000
1.	33,7	34,2	34,7	34,1
2.	33,5	34	33,1	34,7
3.	33,1	33,8	33,9	34,5
4.	32,9	34,4	33,8	35,4
<b>Průměr</b>	<b>33,3</b>	<b>34,1</b>	<b>33,875</b>	<b>34,675</b>
Směrodatná odchylna (-)	0,32	0,22	0,57	0,47
Variační koeficient (%)	0,95	0,66	1,67	1,36
95 % interval spolehlivosti	0,31	0,22	0,56	0,46
<b>Vyhodnocení pro p (%)</b>	<b>0</b>	<b>-2,40</b>	<b>-1,73</b>	<b>-4,13</b>



Tabulka 22: T6 relativní propustnost vodních par hodnoty měření p (%)

T6 relativní propustnost vodních par hodnoty měření p (%)				
T6 černá testování	Počet cyklů 0	Počet cyklů 4 000	Počet cyklů 10 000	Počet cyklů 20 000
1.	62,7	61,8	61,5	60
2.	62,6	63	58,7	60,8
3.	62,2	59,1	59,3	57,6
4.	63,1	61,5	57,4	59,2
<b>Průměr</b>	<b>62,65</b>	<b>61,35</b>	<b>59,225</b>	<b>59,4</b>
Směrodatná odchylka (-)	0,32	1,42	1,48	1,18
Variační koeficient (%)	0,51	2,31	2,50	1,99
95 % interval spolehlivosti	0,31	1,39	1,45	1,16
<b>Vyhodnocení pro p (%)</b>	<b>0</b>	<b>2,08</b>	<b>5,47</b>	<b>5,19</b>

Ret ( $m^2 \cdot Pa \cdot W^{-1}$ )Tabulka 23: T1 naměřené hodnoty odolnosti vůči vodním parám Ret ( $m^2 \cdot Pa \cdot W^{-1}$ )

T1 naměřené hodnoty odolnosti vůči vodním parám Ret ( $m^2 \cdot Pa \cdot W^{-1}$ )				
T1 žlutá	Počet cyklů 0	Počet cyklů 4 000	Počet cyklů 10 000	Počet cyklů 20 000
1. měření	6,4	6,8	6,3	7
2. měření	6,5	7,5	6,3	6,7
3. měření	6,3	6,9	6,5	6,5
4. měření	6,5	6,3	6,7	7
<b>Průměr</b>	<b>6,425</b>	<b>6,875</b>	<b>6,45</b>	<b>6,8</b>
Směrodatná odchylka (-)	0,082916	0,426468	0,165831	0,212132
Variační koeficient (%)	1,290515	6,203172	2,571027	3,119589
95 % interval spolehlivosti	0,081256	0,417931	0,162512	0,207886

**Tabulka 24: T2 naměřené hodnoty odolnosti vůči vodním parám Ret ( $m^2 \cdot Pa \cdot W^{-1}$ )**

T2 naměřené hodnoty odolnosti vůči vodním parám Ret ( $m^2 \cdot Pa \cdot W^{-1}$ )				
T2 zelená	Počet cyklů 0	Počet cyklů 4 000	Počet cyklů 10 000	Počet cyklů 20 000
1. měření	8,8	8,1	8	8
2. měření	8,6	8,7	7,3	8
3. měření	7,3	7,8	8,1	8,3
4. měření	7,9	8,1	8,2	8,2
Průměr	8,15	8,175	7,9	8,125
Směrodatná odchylka (-)	0,59372	0,32692	0,35355	0,1299
Variační koeficient (%)	7,28487	3,99899	4,47536	1,59882
95 % interval spolehlivosti	0,58183	0,32037	0,34648	0,1273

**Tabulka 25: T3 naměřené hodnoty odolnosti vůči vodním parám Ret ( $m^2 \cdot Pa \cdot W^{-1}$ )**

T3 naměřené hodnoty odolnosti vůči vodním parám Ret ( $m^2 \cdot Pa \cdot W^{-1}$ )				
T3 modrá	Počet cyklů 0	Počet cyklů 4 000	Počet cyklů 10 000	Počet cyklů 20 000
1. měření	7,2	7,3	7,3	7,1
2. měření	7,2	7,3	7,5	7,7
3. měření	7,4	7,4	7,4	7,4
4. měření	7,2	7,3	7,2	7,6
Průměr	7,25	7,325	7,35	7,45
Směrodatná odchylka (-)	0,086603	0,043301	0,111803	0,229129
Variační koeficient (%)	1,194518	0,591144	1,521135	3,075554
95 % interval spolehlivosti	0,084869	0,042434	0,109565	0,224542

Tabulka 26: T4 naměřené hodnot odolnosti vůči vodním parám Ret ( $m^2 \cdot Pa \cdot W^{-1}$ )

T4 naměřené hodnot odolnosti vůči vodním parám Ret ( $m^2 \cdot Pa \cdot W^{-1}$ )				
T4 šedá	Počet cyklů 0	Počet cyklů 4 000	Počet cyklů 10 000	Počet cyklů 20 000
1. měření	3,8	4,4	4,1	4,8
2. měření	3,6	3,8	4,2	4,2
3. měření	3,5	4,3	4,1	4,2
4. měření	3,9	4,3	4,4	4,7
Průměr	3,7	4,2	4,2	4,475
Směrodatná odchylka (-)	0,158114	0,234521	0,122474	0,277263
Variační koeficient (%)	4,273348	5,583828	2,916059	6,19583
95 % interval spolehlivosti	0,154949	0,229826	0,120023	0,271713

Tabulka 27: T5 naměřené hodnot odolnosti vůči vodním parám Ret ( $m^2 \cdot Pa \cdot W^{-1}$ )

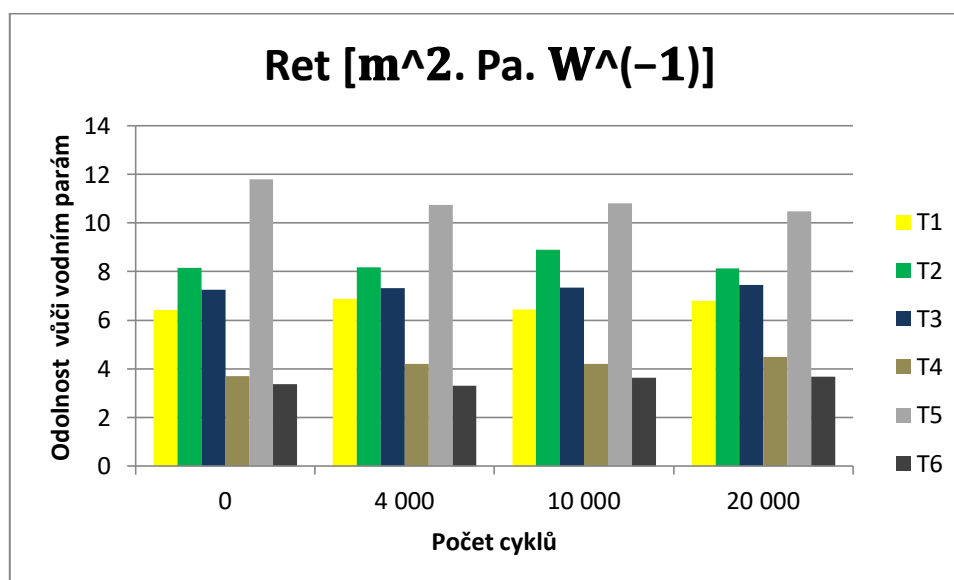
T5 naměřené hodnot odolnosti vůči vodním parám Ret ( $m^2 \cdot Pa \cdot W^{-1}$ )				
T5 světle šedá	Počet cyklů 0	Počet cyklů 4 000	Počet cyklů 10 000	Počet cyklů 20 000
1. měření	11	10,7	10,5	10,6
2. měření	10,9	10,7	11,1	10,5
3. měření	11,2	10,9	10,8	10,6
4. měření	11,2	10,6	10,8	10,2
Průměr	11,075	10,725	10,8	10,475
Směrodatná odchylka (-)	0,129904	0,108972	0,212132	0,163936
Variační koeficient (%)	1,172946	1,01606	1,964186	1,565021
95 % interval spolehlivosti	0,127303	0,106791	0,207886	0,160654

Tabulka 28: T6 naměřené hodnot odolnosti vůči vodním parám Ret ( $m^2 \cdot Pa \cdot W^{-1}$ )

T6 naměřené hodnot odolnosti vůči vodním parám Ret ( $m^2 \cdot Pa \cdot W^{-1}$ )				
T 6 černá	Počet cyklů 0	Počet cyklů 4 000	Počet cyklů 10 000	Počet cyklů 20 000
1. měření	3,3	3,5	3,3	3,6
2. měření	3,1	3,3	3,7	3,5
3. měření	3,7	3,2	3,6	3,9
4. měření	3,4	3,2	3,9	3,7
Průměr	3,375	3,3	3,625	3,675
Směrodatná odchylka (-)	0,216506	0,122474	0,216506	0,147902
Variační koeficient (%)	6,415003	3,711348	5,972589	4,024544
95 % interval spolehlivosti	0,212172	0,120023	0,212172	0,144941

Tabulka 29: Výsledky vyhodnocení relativní propustnosti vodních par po cyklickém namáhání

Materiál	Vyhodnocení relativní propustnosti vodních par p(%)			
	Počet cyklů 0	Počet cyklů 4 000	Počet cyklů 10 000	Počet cyklů 20 000
T1	0	3,07	0,54	3,61
T2	0	0,55	-2,83	-0,25
T3	0	0,40	1,44	2,01
T4	0	5,67	5,67	7,05
T5	0	-2,40	-1,73	-4,13
T6	0	2,08	5,47	5,19

Obrázek 74: Graf naměřených hodnot odolnosti vůči vodním parám Ret [ $m^2 \cdot Pa \cdot W^{-1}$ ] testovaných materiálů

### SDL Atlas Hydrostatic Head Tester

Norma: ČSN EN 20811 (80 0818). Textilie. Stanovení odolnosti proti pronikání vody.  
Zkouška tlakem vody.



Obrázek 75: Mechanismus pro upevnění vzorku



Obrázek 76: Vzorek T4 Dermizax po testování na vodní sloupec

## Tabulky vodní sloupec

## Testování číslo 1

Tabulka 30: Výsledné hodnoty měření pro materiál T1 výšky vodního sloupce v milibarech

Výška vodního sloupce v ( <i>milibary</i> ) – Materiál T1 žlutá				
Počet testů	Počet cyklů 0	Počet cyklů 4 000	Počet cyklů 10 000	Počet cyklů 20 000
1	1654	1503	1369	1404
2	1677	1520	1420	1696
3				759
4				1 726
Průměr	1665,5	1511,5	1394,5	1 396

Tabulka 31: Výsledné hodnoty měření pro materiál T2 výšky vodního sloupce v milibarech

Průměr výšky vodního sloupce v ( <i>milibary</i> ) – Materiál T2 zelená				
Počet testů	Počet cyklů 0	Počet cyklů 4 000	Počet cyklů 10 000	Počet cyklů 20 000
1	3275	3104	1629	288
2	3352	2950	1835	656
Průměr	3313,5	3027	1732	472

Tabulka 32: Výsledné hodnoty měření pro materiál T3 výšky vodního sloupce v milibarech

Průměr výšky vodního sloupce v ( <i>milibary</i> ) – Materiál T3 modrá				
Počet testů	Počet cyklů 0	Počet cyklů 4 000	Počet cyklů 10 000	Počet cyklů 20 000
1	1579	1588	1600	1043
2	1641	1643	1481	1495
Průměr	1610	1615,5	1540,5	1269

Tabulka 33: Výsledné hodnoty měření pro materiál T4 výšky vodního sloupce v milibarech

Průměr výšky vodního sloupce v ( <i>milibary</i> ) – Materiál T4 šedá				
Počet testů	Počet cyklů 0	Počet cyklů 4 000	Počet cyklů 10 000	Počet cyklů 20 000
1	3260	1750	367	270
2	3172	1608	453	342
Průměr	3216	1679	410	306

Tabulka 34: Výsledné hodnoty měření pro materiál T5 výšky vodního sloupce v milibarech

Průměr výšky vodního sloupce v ( <i>milibary</i> ) – Materiál T5 světle šedá				
Počet testů	Počet cyklů 0	Počet cyklů 4 000	Počet cyklů 10 000	Počet cyklů 20 000
1.	2238	2055	1878	1760
2.	2320	2236	1833	1741
Průměr	2279	2145,5	1855,5	1750,5

Tabulka 35: Výsledné hodnoty měření pro materiál T6 výšky vodního sloupce v milibarech

Průměr výšky vodního sloupce v ( <i>milibary</i> ) – Materiál T6 černá				
Počet testů	Počet cyklů 0	Počet cyklů 4 000	Počet cyklů 10 000	Počet cyklů 20 000
1.	1164	1244	1043	782
2.	1167	1125	692	338
Průměr	1165,5	1184,5	867,5	560

## Testování číslo 2

Tabulka 36: Závislosti výšky vodního sloupce na počtu deformačních cyklů vzorku T1

Průměr výšky vodního sloupce					
Materiál T1 žlutá	Počet cyklů 0	Počet cyklů 4 000	Počet cyklů 10 000	Počet cyklů 20 000	Počet cyklů 30 000
				759	
				1 726	
1. Měření ( <i>milibary</i> )	1654	1503	1369	1404	428
2. Měření ( <i>milibary</i> )	1677	1520	1420	1696	399
Průměr ( <i>milibary</i> )	1665,5	1511,5	1394,5	1 396	413,5
Průměr ( $mH_2O$ )	16,98	15,41	14,22	14,24	4,22

Tabulka 37: Výšky vodního sloupce ( $mH_2O$ ) materiálu T3 bez přtlaku

Průměr výšky vodního sloupce					
T3 modrá	Počet cyklů 0	Počet cyklů 4 000	Počet cyklů 10 000	Počet cyklů 20 000	Počet cyklů 30 00
1. Měření ( <i>milibary</i> )	1579	1588	1600	1043	696
2. Měření ( <i>milibary</i> )	1641	1643	1481	1495	819
Průměr ( <i>milibary</i> )	1610	1615,5	1540,5	1269	757,5
Průměr ( $mH_2O$ )	16,42	16,47	15,71	12,94	7,72

### Testování číslo 3

Tabulka 38: Výšky vodního sloupce ( $mH_2O$ ) materiálu T1 bez přitlaku

Vodní sloupec po cyklickém namáhání bez úplného stlačení 14(mm)				
T6 černá	Počet cyklů 0	Počet cyklů 10 000	Počet cyklů 20 000	Počet cyklů 30 00
1. Měření ( <i>milibary</i> )	1164	1190	423	560
2. Měření ( <i>milibary</i> )	1167	1163	619	429
Průměr ( <i>milibary</i> )	1165,5	1176,5	521	494,5
Průměr ( $mH_2O$ )	11,89	12,00	5,31	5,04

Tabulka 39: Výšky vodního sloupce ( $mH_2O$ ) materiálu T1 bez přitlaku

Vodní sloupec po cyklickém namáhání bez úplného stlačení 14(mm)				
T1 žlutá	Počet cyklů 0	Počet cyklů 10 000	Počet cyklů 20 000	Počet cyklů 30 00
1. Měření ( <i>milibary</i> )	1654	1694	1160	1155
2. Měření ( <i>milibary</i> )	1677	1654	1120	1107
Průměr ( <i>milibary</i> )	1665,5	1674	1140	1131
Průměr ( $mH_2O$ )	16,98	17,07	11,63	11,53

### Testování číslo 4



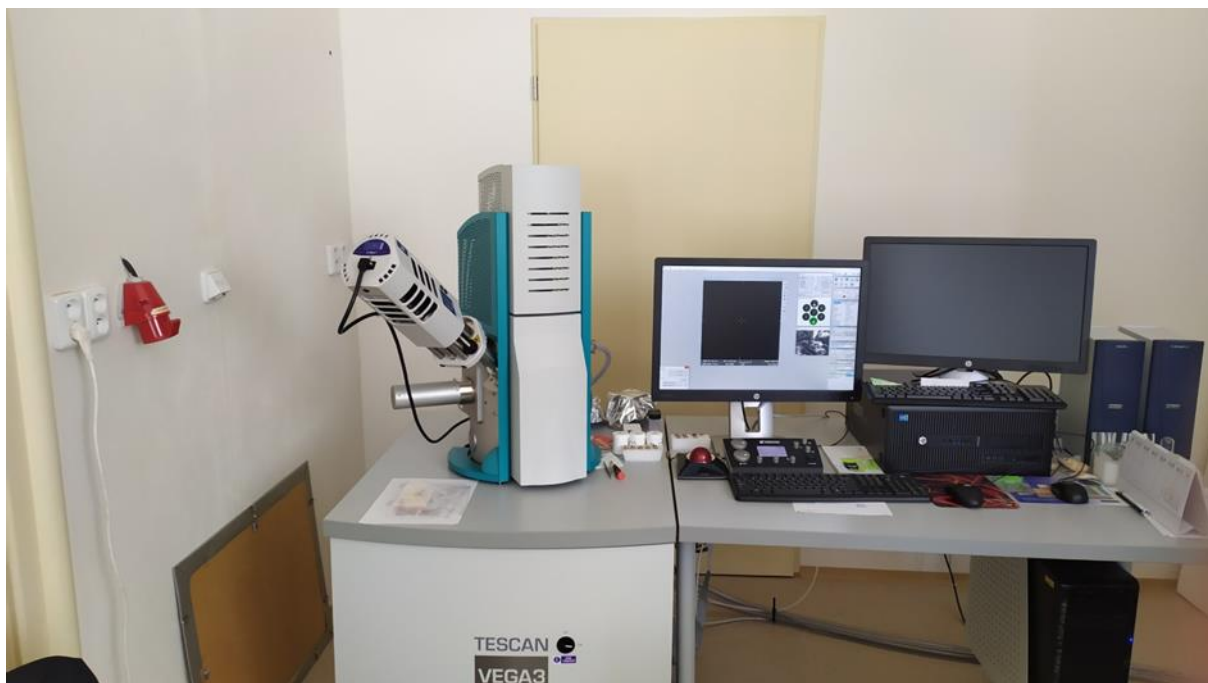
Lícová strana s otlaky vzorku T4





**Obrázek 77: Materiál T4 po 20 000 cyklech testování**

### **Elektronový mikroskop na TUL**



**Obrázek 78: Elektronový mikroskop na TUL**