

Hodnocení užitečných vlastností polyesterových textilií

Bakalářská práce

Studijní program:

B3107 Textil

Studijní obor:

Výroba oděvů a management obchodu s oděvy

Autor práce:

Magdaléna Cenigová

Vedoucí práce:

Ing. Petra Komárková, Ph.D.

Katedra oděvnictví





Zadání bakalářské práce

Hodnocení užitných vlastností polyesterových textilií

Jméno a příjmení: **Magdaléna Cenigová**
Osobní číslo: T16000293
Studijní program: B3107 Textil
Studijní obor: Výroba oděvů a management obchodu s oděvy
Zadávací katedra: Katedra oděvnictví
Akademický rok: **2018/2019**

Zásady pro vypracování:

1. Proveďte marketingový průzkum trhu zaměřený na polyesterové textilie zvláště na biodegradabilní a z recyklovaných zdrojů. Popište jejich vlastnosti a možnosti využití.
2. Vypracujte rešerši zaměřenou na testování užitných vlastností, životnosti a degradace polyesterových textilií s důrazem na biodegradabilní textilie a textilie z recyklovaných zdrojů.
3. Navrhněte a realizujte experiment hodnocení užitných vlastností polyesterových textilií s podílem biodegradabilních vláken a polyesterových textilií s podílem vláken z recyklovaných zdrojů s důrazem na porovnání s tradičními polyesterovými textiliemi se shodným účelem použití.
4. Vyhodnoťte a diskutujte výsledky experimentu.

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

dle rozsahu dokumentace
cca 40 stran
tištěná
Čeština



Seznam odborné literatury:

- Gross R. A., Kalra B. Biodegradable polymers for the environment. (2002). Science 02 Aug 2002. Vol. 297, Issue 5582, pp. 803-807. DOI: 10.1126/science.297.5582.803
- VAUDE Press. New bio-degradable fleece fights microplastic problem. [online]. [cit. 12.12.2018]. Dostupné z: <https://www.vaude.com/en-GB/Company/Media/New-bio-degradable-fleece-fights-microplastic-problem>

Vedoucí práce:

Ing. Petra Komárková, Ph.D.
Katedra oděvnictví

Datum zadání práce:

14. prosince 2018

Předpokládaný termín odevzdání:

29. května 2020

Ing. Jana Drašarová, Ph.D.
děkanka

L.S.

prof. Dr. Ing. Zdeněk Kůs
vedoucí katedry

V Liberci dne 14. prosince 2018

Prohlášení

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

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

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

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si 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 bakalářská práce bude zveřejněna Technickou univerzitou v Liberci v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů.

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

26. května 2020

Magdaléna Cenigová

Poděkování

Ráda bych zde využila místo k poděkování Ing. Petře Komárkové, Ph.D., za rady, „postrčení“, i přístup. Kde by závěrečné práce byly bez vedoucích.. Děkuji Ing. Michalu Chotěborovi za pomoc s měřením, i v době omezených podmínek. Děkuji Mgr. Michalu Janáčkovi Cenigovi, Ph.D., za praktické rady (nejen) ohledně fyziky a výpočtů. Děkuji rodině za modlitby, přátelům v Liberci za azyl a podporu a přátelům v Brně za shovívavost.

Díky Bohu.

Anotace

Teoretická část bakalářské práce pojednává o biologicky rozložitelných a recyklovaných polyesterových textiliích, jejich vlastnostech a jejich uplatnění na trhu. V teoretické části byl proveden marketingový průzkum trhu zaměřený především na biodegradabilní polyestery a porovnání s polyestery z recyklovaných zdrojů a s panenským polyesterem. V této kapitole byl zmíněn vývoj ceny polyesterů, produkce, výrobci a podpora EU. Dále se v teoretické části píše o degradaci biodegradabilních materiálů a testování degradace.

Experimentální část bakalářské práce se zabývá testováním a hodnocením užitných vlastností polyesterové textilie s podílem biodegradabilních vláken a porovnáním s textilií z panenských polyesterových vláken a textilií s podílem recyklovaného polyesteru, po simulaci stárnutí vlivem UV záření a po vlivu praní.

Klíčová slova

polyester, marketingový průzkum, užitné vlastnosti, vliv praní, simulace stárnutí

Annotation

The theoretical part of the bachelor work deals with biodegradable and recycled polyester textiles, their properties and their used in the market. Marketing research focused especially on biodegradable polyesters and compare with polyesters from recycled sources and virgin polyester was conducted. Price development of polyesters, production, producers and support of EU was also mentioned. Finally, degradation biodegradable materials and testing degradation, was described.

The practical part of the bachelor work deals with testing and rate utility properties of polyester textile with part of biodegradable fibers. Ageing simulations due to UV radiation and effect of washing were performed with the textile with part of biodegradable fibers, the textile by virgin polyester fibers and the textile with part of recycled polyester and mutual comparison made.

Key words

polyester, marketing research, utility properties, effect washing, ageing simulation

Obsah

ÚVOD	9
TEORETICKÁ ČÁST	10
1 Polyester.....	10
2 Obecně o degradaci – biologické a abiotické.....	11
2.1 Obecně o biodegradaci.....	11
2.2 Abiotická degradace	12
3 Biodegradabilní polyestery	17
3.1 Přehled biodegradabilních polyesterů vhodných.....	17
4 Marketingový průzkum biodegradabilních polyesterů a polyesterů z recyklovaných zdrojů	18
4.1 Výrobní kapacita biodegradabilních polymerů	18
4.2 Produkce polyesterových vláken.....	19
4.3 Cena biodegradabilních polyesterů	20
4.4 Biodegradabilní textilní materiály - podpora EU.....	21
4.5 Výrobci biodegradabilních polyesterů.....	21
4.6 Využití biodegradabilních polyesterů v textilním průmyslu.....	22
4.7 Využití r-PET v textilních aplikacích	24
4.8 Závěrem	27
5 Užité vlastnosti druhé oděvní vrstvy s ohledem na zdroje výroby.....	28
5.1 Trvanlivost, životnost a možnost údržby	28
5.2 Estetické vlastnosti	30
5.3 Vlastnosti určující fyziologický komfort	31
6 Testování degradace biodegradabilních textilních materiálů.....	34
6.1 Kompostování	34
6.2 Metoda obohaceného syntetického prostředí	35
6.3 Alternativa pro testování biodegradabilních textilií	35

7 Průzkum odborné literatury zabývající se testováním biodegradabilních a recyklovaných polyesterových textilií	38
EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	41
8 Cíl práce	41
8.1 Charakteristika použitých textilních materiálů	41
8.2 Provedené zkoušky a simulace stárnutí UV zářením a praním	42
8.3 Měření pevnosti a tažnosti	44
8.4 Test odolnosti v oděru.....	54
8.5 Zkouška stálosti ve vybarvení po praní a po UV záření	58
8.6 Měření prodyšnosti	61
8.7 Měření tepelného a výparného odporu	64
8.8 Měření tepelné vodivosti a tepelné jímavosti.....	67
8.9 Kompostování	72
9 DISKUZE VÝSLEDKŮ	74
ZÁVĚR	78
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	81
SEZNAM TABULEK	90
SEZNAM OBRÁZKŮ	91
SEZNAM PŘÍLOH	93

ÚVOD

Textilní průmysl má negativní dopad na životní prostředí. Podle evropské komise se umístil na 4. místě za kategoriemi jako je jídlo a pití, doprava a bydlení. Problémem jsou emise skleníkových plynů, pesticidy při pěstování surovin, chemikálie, spotřeba vody a energie, toxicita, odpadní vody spojené s barvením, předúpravami a praním, mikrovlákna uvolňující se následkem praní, využívání neobnovitelných zdrojů, přetrvávající odpady, ad. Ze sociálního hlediska se jedná zejména o „mizerné“ pracovní podmínky za „mizernou“ mzdu. Mnohdy není brán zřetel na to, kdo je zaměstnán, jestli je to dítě, nebo těhotná žena. Na jedné straně jsou dělníci v textilních továrnách, na druhé straně jsme my, kdo takové oblečení kupuje.

Každý týden je do prodejen s módním oblečením dováženo nové zboží. V roce 2015 bylo vyrobeno více než 100 mld. kusů oděvů a ještě tentýž rok na skládce skončila přibližně polovina. Nadužívání vede k rostoucí produkci textilu, což jde ruku v ruce s hromadícím se textilním odpadem na skládkách.

Medializace negativních dopadů textilního průmyslu na životní prostředí, zdraví, nebo lidské životy, ať už jde o znečištění půdy a řek barvivy, nebo mikrovlákny, nádorová onemocnění spojená s pesticidy, chemikáliemi, zřícení textilních továren nebo požárech v nich, přivedla některé spotřebitele a výrobce k zamyšlení, nad textilními výrobky, které kupují, nebo produkují, odkud pocházejí, z čeho a jakým způsobem jsou vyrobeny a kde nakonec skončí. Vyspělé země na tuto skutečnost reagují legislativními opatřeními, regulacemi, nabádají k udržitelnému přístupu, cirkulární ekonomice namísto lineární a podporují výzkum.

Biologicky rozložitelná, bio-založená a recyklovaná vlákna, mohou být udržitelnou alternativou k syntetickým vláknům a mohou řešit problém s rostoucím odpadem přetrvávajícím na skládkách.

Teoretická část bakalářské práce pojednává o biologicky rozložitelných a recyklovaných polyesterových textiliích, jejich vlastnostech a jejich uplatnění na trhu.

Experimentální část se zabývá testováním užitečných vlastností polyesterové textilie s podílem biodegradabilních vláken a porovnáním s textilií z panenských polyesterových vláken a textilií s podílem recyklovaného polyesteru, po simulaci stárnutí vlivem UV záření a po praní.

TEORETICKÁ ČÁST

1 Polyester

Pod oděvem vyrobeným z polyesteru, si většina lidí může představit textilii, která nelze rozložit ani za 100 let a zatěžuje životní prostředí, ale existují i jiné varianty polyesterových vláken, které jsou možná udržitelnější variantou těch více produkovaných vláken z panenského polyesteru. V současnosti se na trhu nachází polyesterová vlákna z panenského polyesteru (zdroj je získán chemickou reakcí kyseliny tereftalové a etylénglykolu), vlákna z recyklovaných zdrojů (zdrojem jsou obvykle PET láhve a polyesterové textilie) a vlákna polyesterová biologicky založená, nebo biologicky rozložitelná (zdrojem na výrobu b-PET vláken může být škrob). [1]

Nejznámější a nejrozšířenější je varianta vláken z panenského polyesteru označovaných jako v-PET (z angl. *virgin PET*). Na výrobu v-PET vláken je každoročně spotřebováno 70 mil. barelů ropy¹, což obecně známo není obnovitelný zdroj. Vlákna (zatím) nejsou rozložitelná, a protože se pro zlepšení jejich vlastností směsují s jinými vlákny, komplikuje to jejich recyklaci. Recyklací polyesteru jsou snižovány jeho mechanické vlastnosti, což napovídá, že se nejedná o nekonečný proces. [2] [3]

Recyklací polyesterových vláken, nebo PET lahví, se vyrábí recyklovaný polyester, označovaný jako r-PET. Zdrojem na výrobu je odpad, který je odkloněn ze skládky a znovu využitý na výrobu textilie. Některé firmy na výrobu recyklovaných polyesterových textilií využívají odpad z moří a pláží, a tím přispívají aspoň nějakým způsobem k čištění oceánů a prostředí. [4]

Biologicky založená a biologicky rozložitelná vlákna souhrnně označovaná jako b-PET (z angl. *biobased, biodegradable*), jsou na trhu v malém množství ve srovnání s panenským i s recyklovaným polyesterem. Biodegradabilní vlákna jsou vlákna biologicky rozložitelná, což vypovídá o konci životnosti vláken, a vlákna bio-založená jsou vlákna z přírodních monomerů (což vypovídá o původu zdroje výroby). [4] [5]

Bakalářská práce bude zaměřena především na biodegradabilní polyestery, protože podrobně se recyklovanému polyesteru (technologii výroby, průzkumu trhu, analýzy vlastností) věnovala teoretická část bakalářské práce [6] Barbory Voběrkové, s názvem *Porovnání trvanlivostních vlastností PES materiálů vyrobených klasickým způsobem a z recyklovaných zdrojů* (TUL – Fakulta textilní).

¹ 1 barel je přibližně 169 litrů, což by znamenalo, že každoročně se spotřebuje 11,830 miliard litrů ropy.

2 Obecně o degradaci – biologické a abiotické

Rozdílem mezi biologickou a abiotickou degradací je příčina rozkladu. Zatímco u biodegradace je rozklad polymeru díky mikroorganismům, abiotická degradace zahrnuje všechny ostatní degradační činitele jako vodu, vzduch, makroorganismy ad. Biodegradace i abiotická degradace v přírodě působí současně. [7]

2.1 Obecně o biodegradaci

Biodegradací se rozumí rozklad, nebo transformace materiálu zapříčiněná biologickými činiteli - bakteriemi, houbami, řasami. V procesu biodegradace dochází k rozkladu řetězce polymeru. Mikroorganismy jsou zpracovány organické a anorganické sloučeniny, jako zdroj uhlíku a energie, dusíku, fosforu, nebo jiných prvků, pro jejich růst. Materiál je přeměněn na produkty - **vodu, biomasu, oxid uhličitý, popř. metan**, které se stanou součástí fotosyntézy. Rozklad polymerního materiálu může probíhat za přítomnosti kyslíku – **aerobně** (produkty jsou H_2O , CO_2), bez kyslíku - **anaerobně** (produkty jsou CO_2 , CH_4). K biodegradaci dochází v mikrobiologicky osídlených prostředích, a to v povrchové, nebo v mořské vodě, na skládkách, v půdě nebo v kompostu. Biodegradací mohou být zasaženy přírodní polymery i polymery syntetické. [8] [9] [10]

Degradace polymeru může být ovlivněna velikostí makromolekuly, strukturou molekuly, krystalinitou, ale i jinými faktory jako vlhkostí, přítomností kyslíku, pH prostředí, UV světlem, teplotou prostředí, přítomností toxikantů, ad. Biodegradace je závislá na chemické struktuře molekuly, nikoli na jejím původu. Proto některé přírodní polymery nemusí být biodegradabilní, a některé polymerní materiály, na bázi fosilních paliv, být mohou. Každý polymerní materiál je nutné sledovat individuálně. [10] [11]

Účinky biodegradace polymeru jsou vyhodnoceny měřením fyzikálně-chemických vlastností materiálu, porovnáním fyzikálně-chemických vlastností se stejným materiálem nezasazeném rozkladem, nebo pozorováním mikrobiálního růstu na substrátu. [11] [12]

Biodegradace je komplexní proces zahrnující několik stádií:

- **Biodeteriorace** - mikroorganismy rostou na povrchu polymeru. Páteř řetězce polymeru je většinou tvořena atomy uhlíku, na které se mohou vázat jiné atomy prvků, např. vodíku, kyslíku, chloru. Aby mohla proběhnout biodegradace, musí být sekundární strukturní prvky rozpuštěny a vytvořeny dočasně flexibilní řetězce. Činnost mikroorganismů může měnit vlastnosti materiálu, např. způsobit trhliny, zvětšit póry, a tím způsobit rozpad materiálu na malé části - fragmenty². Řetězce polymeru jsou v této fázi z části odhaleny. [10]
- **Depolymerizace**, čili převod polymerů – makromolekulárních látek, na látky nízkomolekulární, ve vodě rozpustné. Dlouhé polymerní řetězce jsou štěpeny na krátké řetězce (oligomery, monomery) v důsledku činnosti mikroorganismů produkujících exoenzymy a v důsledku abiotických vlivů. Aby vazby byly štěpeny, musí být dostatek místa v polymerním řetězci. [10]
- **Asimilace** - látky zevního prostředí jsou přeměněny na látky tělu vlastní. Ve vodě rozpustné molekuly jsou dostatečně malé, aby mohly být mikroorganismy absorbovány, tedy prošly buněčnými stěnami a membránami, a mohly být přeměněny na oxid uhličitý, vodu, popř. metan, biomasu a energii. [10] [13]
- **Mineralizací** jsou uvolňovány konečné produkty biodegradace - oxid uhličitý, metan a voda. [10] [14]

2.2 Abiotická degradace

Změna struktury a vlastností polymeru je snížena nejen působením mikroorganismů, ale i vlivem času, mechanického namáhání, působením chemických látek, makroorganismy, ad. Procesy, které nezahrnují degradaci vlivem mikroorganismů, se nazývají abiotické.

Abiotické procesy, tedy působení fyzikálních a chemických vlivů (př. světlo, teplota, ovzduší, minerální látky atp.), ovlivňují více či méně průběh rozkladu a tedy i celistvost

² fragmenty - části okem viditelné i okem neviditelné

organických látek. Abiotická degradace polymerů se vyskytuje společně s degradací biologickou.

Abiotická degradace je dělena na fotodegradaci, mechanickou degradaci, termickou degradaci a hydrolýzu. Všichni činitelé působí na materiál destruktivně. Dochází k poškození - ztrátě pevnosti, úbytku hmotnosti, změně barvy a dalším změnám.[7] [11]

Fotodegradace

Sluneční svit dopadající na materiál může být propuštěn, odražen, rozptýlen, nebo absorbován. Každý materiál sálavé teplo přijímá s jinou intenzitou. Po absorpci záření, největší podíl má UV záření (tvoří asi 7 % slunečního spektra), dochází ke štěpení řetězce polymeru, které se projevuje zvýšením tažnosti a snížením pevnosti, nebo síťování řetězce polymeru, vedoucí např. ke snížení tažnosti, zvýšení pevnosti. Vliv fotodegradace se zvyšuje přítomností kyslíku, vlhkosti a urychluje stárnutí materiálu. [5] [15] [23]

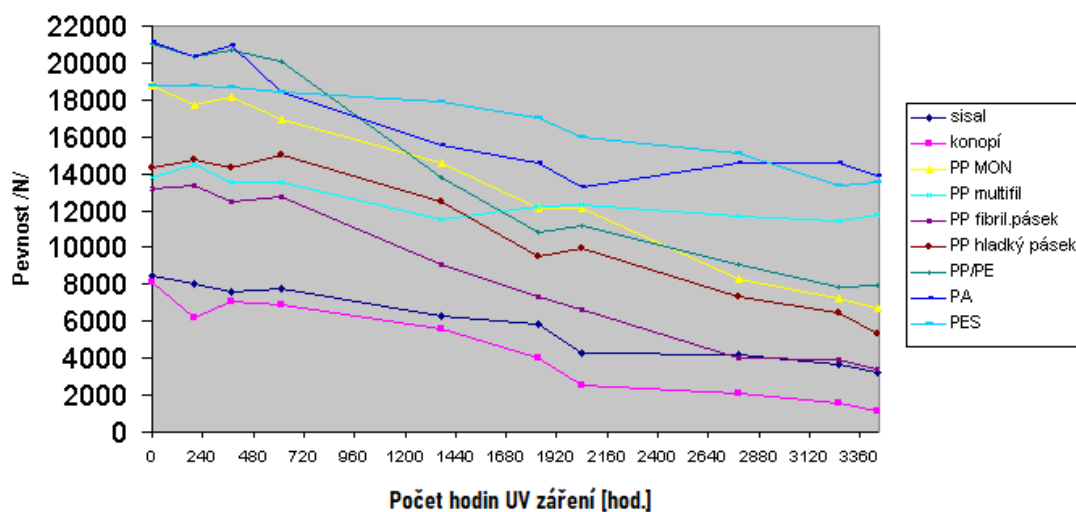
Intenzita slunečního záření stoupá s nadmořskou výškou. Intenzitu UV záření ovlivňuje denní doba, roční období, podnebné pásy, odrazivost povrchu. Mraky projde až 80 % UV záření.

Testování zrychleného stárnutí materiálu se provádí formou venkovní expozice (vystavení materiálu skutečným slunečním paprskům), urychleným testem na zařízeních v laboratorních podmínkách, např. UVCON, Xenotest. Časově nejnáročnější je forma testování vystavení skutečnému počasí. Při laboratorních testech je provedena simulace pouze části spektra slunečního záření, v přírodě působí všechny oblasti sluneční energie současně. Po vystavení vlivu UV záření jsou testovány mechanicko-fyzikální vlastnosti materiálu, např. oděr, pevnost, tažnost, ad. [5] [7] [15]

Stanovení doby osvitu v zařízení UVCon

V knize [15] je uvedeno, že UV záření má na degradaci materiálu největší vliv, proto budou polyesterové textilie, v rámci experimentu bakalářské práce, vystaveny UV záření.

Z testování pevnosti lan po vystavení vlivu UV záření, které bylo zveřejněno firmou Lanex (viz. obr. č. 1), lze vidět pokles i vzrůst pevnosti u materiálu z polyesteru. Je tedy možné, že v rámci experimentu bakalářské práce bude naměřen podobný vývojový trend. [20]

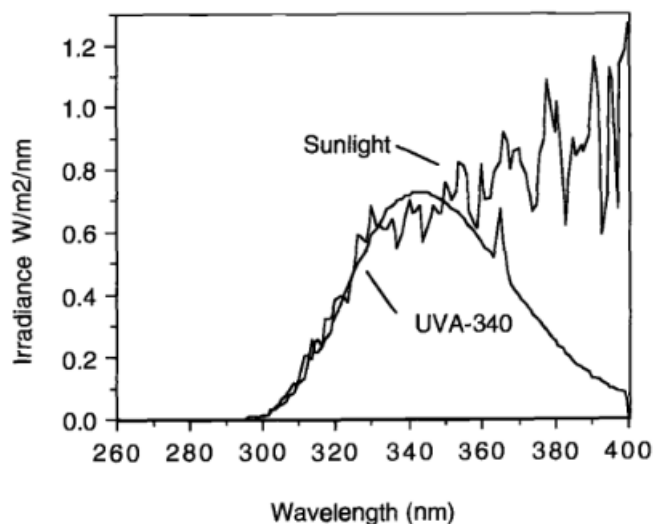


Obr. č. 1 Vliv UV záření na pevnost textilií, dle [20]

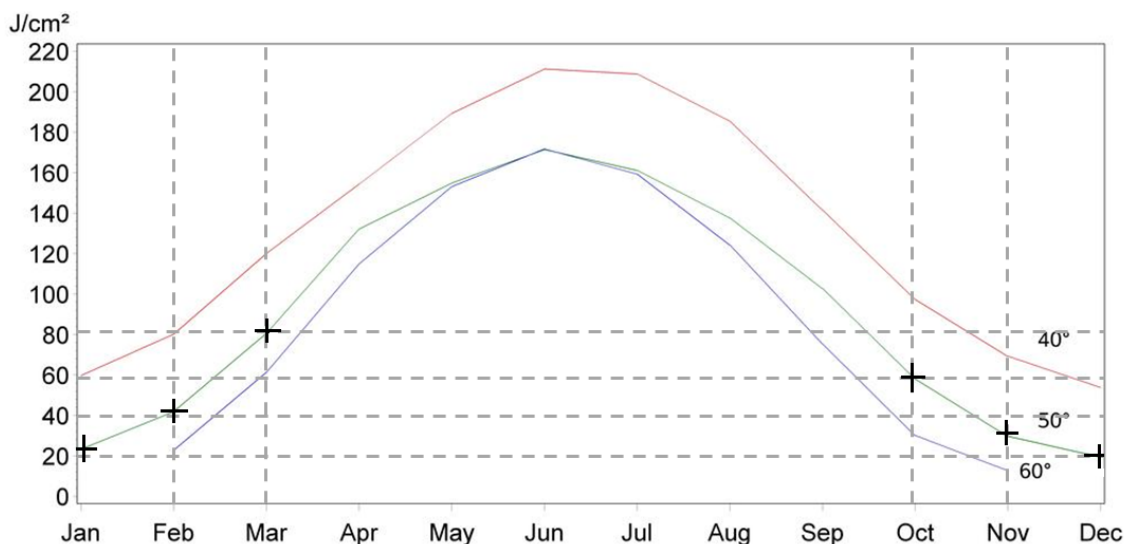
Podmínky umělého stárnutí se stále nepodařilo sjednotit tak, aby odpovídaly skutečným podmínkám. Parametry pro stanovení doby osvitů v zařízení UVCon, jsou výkon lamp a dávka záření. Intenzita záření je udávána ve $[W/m^2]$. Světelným zdrojem záření v zařízení UVCon je 8 UV lamp UVA-340 s výkonem okolo $0,83 W/m^2$. Jak napovídá označení, energie těchto lamp je pod 350 nm (viz. obr. č. 2).

Protože se vychází z předpokladu, že testované materiály budou na výrobu druhé oděvní vrstvy do chladnějších dnů, je zohledněna intenzita ozáření v tomto období. Data z EuroSun (viz. obr. č. 3), naměřená v letech 2003-2007, ukazují, že dávka ozáření pro Českou republiku (přibližně 50° zeměpisné šířky), v období od října do března, nepřesáhla $80 J/cm^2$. [16] [17] [18] [19]

Data podle Godar, naměřená mezi lety 1990 a 2000, uvádějí, že průměrná roční dávka UV záření, pro Evropana, se pohybuje v rozmezí mezi 10 000 a 20 000 J/m^2 (nezahrnuje se dovolená a rekreační činnosti). [22]



Obr. č. 2 Porovnání lamp typu UVA-340 se slunečním zářením, dle [16]



Obr. č. 3 Dávka UV záření podle zeměpisné šířky, dle [17]

Doba osvitů byla počítána podle vzorce, který je používán ke stanovení dávky UV záření potřebné k dezinfekci vody.[18] [19]:

$$\text{Intenzita UV záření (W/m}^2\text{)} \times \text{doba expozice (sec.)} = \text{dávka UV záření (J/m}^2\text{)}$$

Bude-li počítáno s dávkou ozáření 80 J/cm^2 a výkonem lamp $0,83 \text{ W/m}^2$, doba expozice v zařízení UVCon, aby byla dodána nejvyšší dávka záření, naměřená v období od října do března, je přibližně 11 dní. Čím vyšší bude hodnota dávky ozáření, tím více času bude trvat doba expozice. Čím vyšší bude výkon lamp, tím kratší bude expoziční doba.

Podrobný výpočet je uveden v příloze č. 1 – doplnění k teoretické části. Jedná se pouze o modelový výpočet. Jsou zanedbány všechny ostatní parametry, které stárnutí textilií ovlivňují.

Pokud by byla zjišťována dávka UV záření na textilii za rok, podle dat z cit. [22], expoziční doba v zařízení UVCon by byla přibližně 7 hod. V porovnání s prvním výpočtem, 11 dní v zařízení UVCon, které teoreticky simulují nepřetržité nošení oděvu v březnu, by výpočet podle těchto dat simuloval běžné nošení oděvu po dobu 38 let (vyjma rekreačních činností).

Protože data podle Godar (10 000 - 20 000 J/m²) nezahrnují rekreační činnosti, a v experimentální části budou testovány textilie určené na výrobu outdoorové mikiny, budou použita data z projektu EuroSun.[22]

Mechanická degradace

Když je materiál zatížen více, než je jeho pevnost, dochází k nevratné deformaci. Rozlišujeme namáhání materiálu na ohyb, tlak, krut a tah. Mechanické namáhání ovlivňující dobu stárnutí materiálu, může způsobit i voda (př. zmrznutí vody v pórech), škůdci (hlodavci, moli).

Testy pro zjištění odolnosti proti opotřebení se mohou provádět na zařízení Martindale (testování oděr v ploše, hraně, otěr), rotačním odírači, na přístroji LabTest (pevnost, tažnost), ad.[21]

Termická degradace

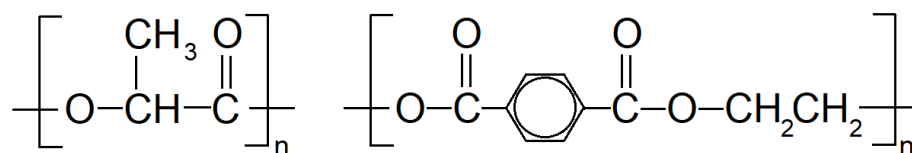
Působením tepelné energie na polymer může dojít k jeho depolymerizaci (chemické složení se nemění), čili převodu makromolekul na látky nízkomolekulární, nebo jeho destrukci (nastává změna chemického složení). Vysoká teplota může vést k urychlení reakcí (spalování se nepovažuje za simulační zkoušku stárnutí). Zrychlené testy se mohou provádět např. v sušárně s nuceným oběhem vzduchu. [23] [24]

Hydrolyza

U hydrolyzy dochází ke štěpení vazby za účasti vody a je provázána erozí, bobtnáním a změnou molekulové hmotnosti. Projevuje se např. u polyesterů, polyuretanů. Mezi faktory ovlivňující hydrolyzu se řadí hodnota pH, teplota. [21]

3 Biodegradabilní polyestery

Biodegradabilní polyestery jsou vysokomolekulární organické látky biologicky rozložitelné (značí konec životnosti polymeru), díky působení mikroorganismů. Podle Kroisové, je rozložitelnost těchto polyesterů podmíněna přítomností kyslíku, nebo dusíku v chemické stavbě, jako je tomu např. u kyseliny polymléčné, znázorněné na obr. č. 4. Nicméně kyslík je obsažen i v chemickém řetězci polyethyltereftalátu a není označován jako biodegradabilní. Degradace polymeru může být ovlivněna velikostí makromolekuly, strukturou molekuly, krystalinitou, a dalšími faktory. [5] [10] [11]



Obr. č. 4 Vlevo strukturní vzorec kyseliny polymléčné, vpravo strukturní vzorec polyethyltereftalátu

Z biodegradabilních polymerů jsou vyráběny obalové materiály, spotřební zboží, lékařské materiály, hygienické potřeby, materiály využitelné v zemědělství, oděvy, ad. [10]

3.1 Přehled biodegradabilních polyesterů vhodných pro textilní zpracování

Mezi biodegradabilní polyestery vhodné pro textilní zpracování, se řadí polyhydroxyalkanoát (PHA) a jeho derivát (PHB), polykaprolakton (PCL), kyselina polymléčná (PLA), kyselina polyglykolová (PGA) ad. V textilním průmyslu nalézají tyto biodegradovatelné polyestery uplatnění především jako medicínské aplikace - chirurgické nitě, scaffoldy³, řízené uvolňování léčiv. Výše zmíněné biodegradovatelné polyestery jsou stručně popsány v příloze 1 – doplnění k teoretické části bakalářské práce. [5]

³ Scaffold – 2D, nebo 3D (nanovláknenná) struktura fungující jako dočasná podpora pro růst buněk, tkání

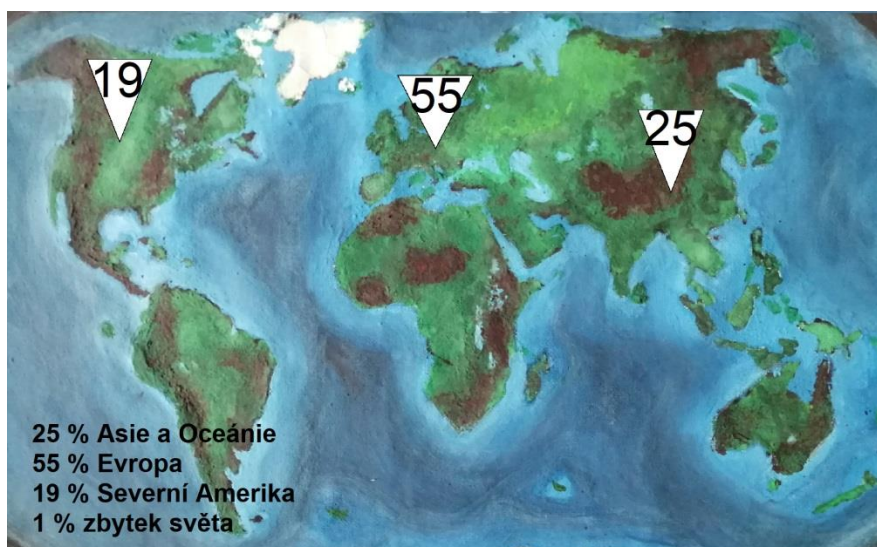
4 Marketingový průzkum biodegradabilních polyesterů a polyesterů z recyklovaných zdrojů

Vzhledem ke snaze nezatěžovat životní prostředí, přišly na trh recyklované materiály, biologicky odbouratelné materiály a vzrostl zájem o bio-založené materiály. Legislativní předpisy umocňují růst poptávky po biopolymerech. Odvětví je neustále vyvíjeno. Inovují se technologie pro zpracování nových materiálů, vyvíjejí se nové materiály, je potřeba zaměstnávat více lidí. [25]

4.1 Výrobní kapacita biodegradabilních polymerů

Ze světové produkce plastů (360 mil. tun. za rok 2019) zastávají biodegradabilní polyestery méně než 0,5 %. V roce 2008 byla výrobní kapacita biodegradabilních polymerů 174 tis. tun, což vzrostlo v roce 2019 na 1,174 mil. tun – z toho biodegradabilní polyestery zastávaly přibližně 20 % (přibližně 430 tis. tun). Podle serveru European Bioplastics, je předpokladem, že v roce 2024 vzroste celosvětová výrobní kapacita biopolymerů o více než 13 % oproti roku 2019.

Největší podíl produkce biodegradabilních polymerů za rok 2018 byl v Evropě (55 %), následovala Asie a Oceánie s 25% podílem a severoamerický kontinent vyprodukoval 19 % (obr. č. 5). [4] [25] [26]



Obr. č. 5 Světová produkce biodegradabilních polymerů

Z celosvětové produkční kapacity bio-založených a biodegradabilních polymerů (2,11 mil. tun) připadalo na textil 11 %, tedy 237 tis. tun. Celosvětová produkční kapacita biodegradabilních textilních materiálů činila 58,7 tis. tun, bio-založených textilních materiálů 178,8 tis. tun.

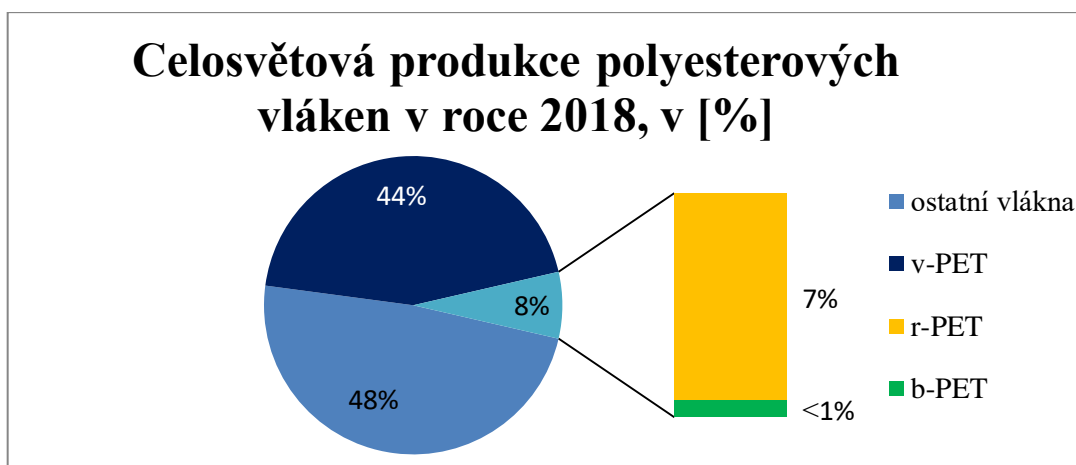
Z hlediska množství biodegradabilních polyesterů v tunách, byla za rok 2019 nejvíce využívána kyselina polymléčná (PLA). V roce 2024 je očekáván pokles produkce PLA a nárůst produkce polyhydroxykbonátu (PHA).

Biodegradabilní polyestery se vyrábějí v menším měřítku, obvykle jeden závod vyprodukuje do 50 tis tun/rok, výrobci PHA 1-20 tis. tun/rok. výrobci PLA do 10 tis. tun/rok. Výjimkou je společnost Nature Works, největší výrobce PLA, který vyprodukuje okolo 140 tis. tun/rok. Z celosvětové produkce PLA je využita asi 1/3 k výrobě vláken.

Produkce bio-založených a biodegradabilních polyesterových vláken narůstá díky povědomí o životním prostředí, ochraně klimatu a legislativním opatřením, nicméně v porovnání s konvenčními polyesterovými materiály je produkce malá. [25] [26]

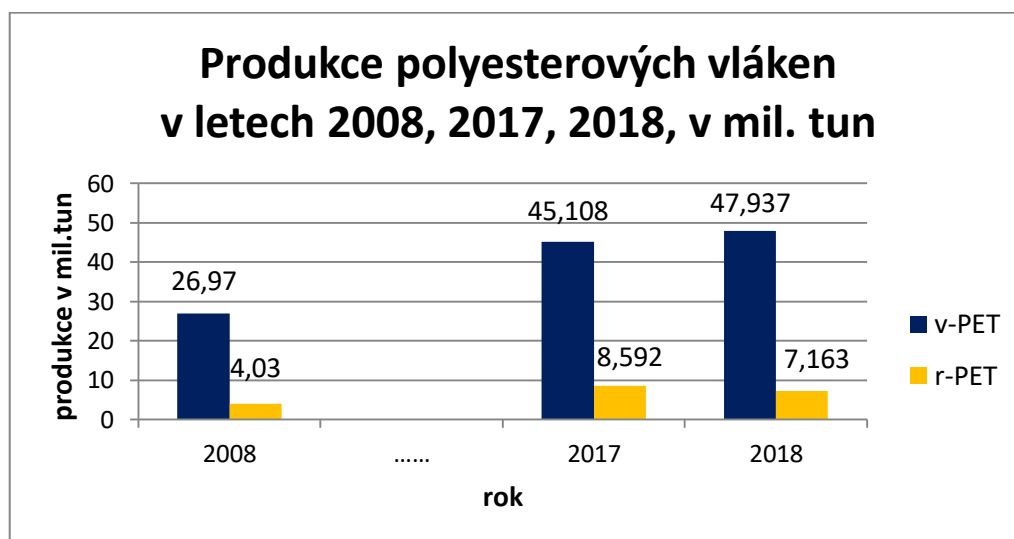
4.2 Produkce polyesterových vláken

Celosvětová produkce vláken za rok 2018 činila přibližně 107 mil. tun, přičemž více než polovina připadala na polyester, konkrétně 51,5 % (viz. obr. č. 6). Polyesterových vláken bylo vyprodukováno okolo 55,1 mil. tun, což zahrnovalo panenský (v-PET), recyklovaný (r-PET), biodegradabilní a bio-založený polyester (souhrnně označovaný jako b-PET). [4]



Obr. č. 6 Celosvětová produkce polyesterových vláken (v-PET, r-PET, b-PET), dle [4]

Produkce recyklovaných polyesterových vláken, zobrazená na obr. č. 7, vzrostla od roku 2008 do roku 2018 o 77 %. Pro porovnání roku 2017 a 2018, u r-PET vláken byl zaznamenán pokles o 16 %, což je vysvětleno zákazem dovážení pevného odpadu (tedy i textilního a PET lahví) do Číny. Produkce r-PET vláken za rok 2018 byla 13 % z celosvětové produkce polyesterových vláken, což odpovídá 7,16 mil. tun. Produkce b-PET vláken, za rok 2017 i za rok 2018, činila méně než 1 %.[4]



Obr. č. 7 Produkce v-PET a r-PET v letech 2008, 2017, 2018

4.3 Cena biodegradabilních polyesterů

Jedním z faktorů určujících nárůst spotřeby panenských polyesterových vláken (v-PET) je jejich nízká cena. V roce 2019 stálo 1 kg polyesterových vláken přibližně 1,2 USD. Vlákna r-PET jsou dražší asi o desetinu, kvůli dražší technologii recyklačního procesu, oproti v-PET, nicméně cena obou materiálů kolísá. Zákaz dovozu pevného odpadu, vč. plastových lahví a textilií do Číny, způsobil nedostatek surovin pro výrobu r-PET, což vedlo ke snížení produkce v Číně. V porovnání s konvenčními materiály jsou biodegradabilní polyesterové materiály dražší.

Na konci 90. let 20. století sahala cena komerčně vyráběných biodegradabilních materiálů vysoko. V té době 1 kg biodegradabilního polyesteru PLA stálo více než 20 USD, v roce 2014 klesla cena PLA na 5 USD/kg, a v roce 2016 následoval pokles ceny PLA na méně než 2 USD/kg. Nové technologie a rozšíření výroby snížilo cenu polymeru. [4] [26]

Pokles ceny byl zaznamenán i u jiných biodegradabilních polyesterů. PHA v roce 2002 stálo od 10-21 USD/kg, v následujících letech byl zaznamenán pokles ceny o více než 80 % a v roce 2016 se cena pohybovala okolo 4,5 USD/kg. Cena zdroje ovlivňuje cenu polymeru. Surovinové zdroje na výrobu PHA jsou drahé, cena PHA je vysoká, v porovnání s konvenčně používanými polyesterem, což z PHA činí polymer, kterého se ročně vyprodukuje pouze od 1 tis. do 20 tis. tun. [5] [26]

4.4 Biodegradabilní textilní materiály - podpora EU

Firmy vyrábějící/používající biodegradabilní materiály mají možnost zažádat o dotaci, nebo grant EU v rámci marketingu, inovací a vývoje. Program EU Horizont 2020 finančně podporoval vědu a výzkum nejen univerzit, ale i firem, neziskových organizací, ad. Cílem bylo reagovat na společnou výzvu v rámci klimatické změny, zdraví, udržitelného zemědělství, ad.[28] [29]

Co se týče biopolymerů, byl spuštěn projekt PolyBioSkin, který byl zaměřen na výrobu produktů bio-založených z 90 % a více, nebo biodegradovatelných alespoň z 90 %, které přijdou do kontaktu s kůží. Program se týká hygienických potřeb (pleny, dámské vložky), kosmetického průmyslu (masky na obličej z netkané textilie), biomedicíny (obvazy na rány, náplasti). Výroba se soustředila na biopolymery PLA, PHA, chitin a chitosan ad. V projektu spolupracovalo 3 roky 12 partnerů ze 7 zemí s finančními prostředky 4 mil. €. [27]

Dotace EU získala např. společnost Nanopharma a.s, ve výši 15,3 mil Kč na vývoj nového typu biodegradabilního nosiče léčiv ve formě náplasti. Společnost Grade Medical zažádala o dotaci na zřízení centra biomedicínské aplikace nanotechnologií. CLUTEX - Klastr Technické textilie,z.s., zažádal o dotaci s *cílem zajistit využitelnost obnovitelných vlákných bio-rozložitelných materiálů jako náhradu syntetik z fosilních zdrojů a tím snížení ekologických zátěží.* [28] [29]

4.5 Výrobci biodegradabilních polyesterů

Společnosti se snaží cenu biodegradabilních polyesterů snížit na úroveň ceny konvenčně využívaných polymerů, aby rozložitelné materiály byly konkurenceschopné.

V roce 2018 se zasloužily o 1/3 celosvětové produkce biodegradabilních polymerů společnosti Ercros, BASF a Natureworks. [30]

V následující tabulce (tab. č. 1) se nacházejí výrobci biodegradabilních polyesterů.

Tab. č. 1 Výrobci biodegradabilních polyesterů, dle [31]

Výrobce	Země	Název	Produkt	Polymer
Nature Works	USA	Ingeo	pelety	PLA, směsi PLA
Kanebo Gohsen Ltd	Japonsko	Lactron	vlákna	
Toray Industries	Japonsko	Ecodear	vlákna	
Unitika	Japonsko	Terramac	vlákna, netkané textilie	
Kuraray	Japonsko	Plastarch	vlákna	
Palmetto	USA	-	vlákna	
Trevira	Německo	-	vlákna, příze	
Tepha Inc.	USA	TephaFLEX	lékařské materiály	PHA,PHB
Mango Materials	USA	PHA	vlákna	
Danier Scientific	USA	Nodax	pelety	
Union Carbide	USA	Tone	pelety	PCL
Nanopharma, a.s.	Česká Republika	-	biomedicínské aplikace, filtrace	
Medipac SA	Řecko	-	chirurgické šicí nitě	
Osteopore International	Austrálie	Osteomesh	scaffoldy	
Solvay	Belgie	Capa	pelety	

4.6 Využití biodegradabilních polyesterů v textilním průmyslu

Data o využití biodegradabilních polymerů v textilních aplikacích je obtížné určit. Dosavadní statistiky se zaměřují na segmenty trhu jako celek a třídění je dle konečného použití polymerů v obalových materiálech, textilu, zemědělství, automobilového průmyslu, ad. Obecně biodegradabilní polyestery nalézají uplatnění především jako obalové materiály a to z více než 60 % celosvětové produkce. [5] [25]

Biodegradabilní polyestery, jako polyhydroxyalkanoáty a jejich deriváty, jsou používány zejména pro biomedicínské aplikace pro svoji biokompabilitu

a biorozložitelnost. K výrobě biomedicínských aplikací se využívají PHA např. pro výrobu scaffoldů, dodávek léčiv, chirurgických nití, obvazů na rány, ad. Např. biodegradabilní polyester PLA je vhodný pro zpracování dostupnými technologiemi - pro scaffoldy jsou vlákna PLA vyráběna elektrostatickým zvlákňováním. [10] [31]

Biodegradabilní polyester PLA může být a je uplatněn v širokém spektru průmyslových produktů, od medicínských aplikací po textilní pytlík na ovoce. Nejvíce využívaným komerčně dostupným biodegradabilním polyesterem je PLA, jak pro obalový průmysl, tak i pro textilní aplikace. V oděvech je PLA ve svém 100 % složení, nebo je směřováno s jinými vlákny. [32] [35]

Italská společnost Radici podepsala v roce 2019 smlouvu o výrobě a prodeji vláken Ingeo PLA s Nature Works. Příze CornLeaf společnosti Radici, může být využita v bytových textiliích, interiérech automobilů, nebo k výrobě oděvů. Vlákna Ingeo PLA vyrábí a prodávají i další firmy, např. Palmetto, Far Eastern, Trevira.

PLA je využitelný v mnoha průmyslových odvětvích pro dobré mechanické vlastnosti. Na evropském trhu našlo PLA uplatnění v široké škále textilních produktů jako mulčovací textilie využitelné v zemědělství, pleny, vložky, vlhčené ubrousky, výplně do polštářů, příkrývky, koberce i oděvy, ad. [31] [32] [33]



Obř. ř. 8 Příklady použití biodegradabilních polyesterů v aplikacích, zleva nahoře: tkanina z PLA [38], sáčky na čaj Ingeo [41], šaty z PLA zn. ECOMAKO [39], zleva dole: Analar polštář 95 % PLA [38], chirurgická nit TephafLEX [37], květináč Ingeo [40]

Ingeo® PLA

Společnost Nature Works LLC je dodavatelem PLA polymeru pod názvem Ingeo® PLA. Výroba vláken se uskutečnila díky snadnému zpracování taveniny. Vlákno pochází z obnovitelného zdroje.

Ingeo® PLA vlákno je srovnatelné s jinými syntetickými polymery. Vlákno Ingeo® pod mikroskopem je přirovnáno k vlně (šupiny). Mezi výhody PLA vláken patří vysoká pevnost, biologická rozložitelnost, odolnost vůči UV záření, nemačkovost, dobrá barvitelnost. Nevýhodou polymeru je citlivost na zásady a nízká teplota skelného přechodu, což omezuje při údržbě a použití např. pro nemocniční textilie.

PLA vlákna mohou být směšována s jinými vlákny. Používají se v oděvnictví jako módní a sportovní oděvy, jako nábytkářské textilie nebo textilie využitelné v medicínských aplikacích.

Textilní továrny vyrábějící tkané, nebo pletené textilie s použitím vláken Ingeo® PLA ve svém 100 % složení, nebo ve směsi s bavlnou či vlnou jsou: Avelana, Maille Weft, Veneto, Everwin, Fountin Set, Louis Vidon, Tintex, Pontetorto, ad.

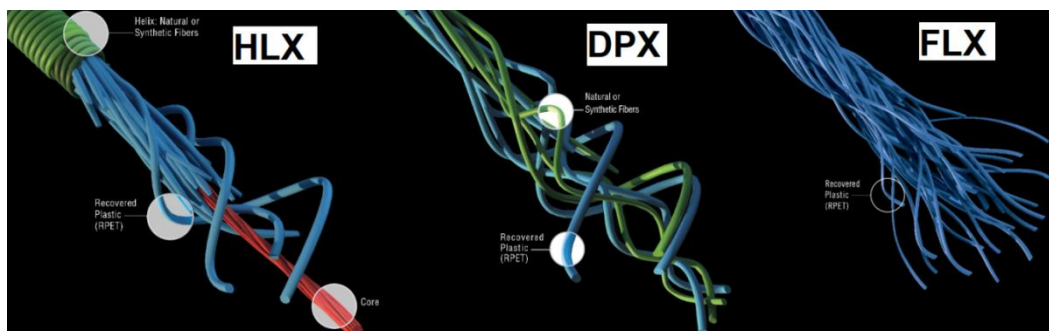
Oděvní značky jako Diesel, Versace, Armani, Linda Loudermilk, používaly ve svých modelech Ingeo® PLA vlákna. [35] [36] [42]

4.7 Využití r-PET v textilních aplikacích

Více než 40 % r-PET z PET lahví bylo použito k výrobě vláken. Recyklovaný polyester má podobné využití jako panenský polyester. Je směšován s jinými materiály jako bavlnou, vlnou, tencellem ad. Používá se v širokém spektru produktů, především pro výrobu oděvů, příkrývek, kobereců, rolet, i technických textilií. [43]

Mitsubishi Corp. a japonský výrobce textilních materiálů Toyobo Co., Ltd. spolupracovali při vývoji a prodeji přízí z recyklovaných PET lahví, a v roce 1998 byla uvedena na trh řada ECHORCLUB. Řada výrobků zahrnovala pracovní oděvy i textilie pro stany a deštníky. [44] [45]

Společnost Bionic vyrábí r-PET příze a textilie z odpadů nalezených v mořích a na pobřeží. Recyklovaný polyester je používán ve směsích s jinými vlákny, nebo ve svém 100 % složení (obr. č. 9). Společnost Bionic spolupracuje s oděvními značkami, př. Chanel, G-Star, Ralph Lauren, H&M, ad. Materiály Bionic se používají v oděvních aplikacích, pro výrobu potahů autosedaček, obuvi, aj. [46]



Obr. č. 9 Ukázky komerčně dostupných přízí Bionic (HLX, DPX, FLX), dle [46]

Další společností, která jako zdroj pro výrobu textilních materiálů využívá plastové lahve z pláží a oceánů, je Unifi, Inc. Vlákno Repreve je používáno pro výrobu potahů automobilových sedaček Ford Focus Electric/Fusion. Další uplatnění vlákna Repreve je v outdoorovém oblečení, ponožkách, závěsech, batohu, čepicích, nábytkových textiliích, vlajek, a mnoho dalších. Vlákno používá ve svých produktech okolo 90 společností.

Německá společnost Trevira, zabývající se výrobou PLA vláken, má ve svém sortimentu i vlákna z recyklovaných PET lahví a recyklovaných polyesterových textiliích.

Společnosti jako Adidas, Burton, Esprit, Ikea, H&M a další, se v roce 2017 zavázaly, na konferenci Textile Exchange, ke splnění zvýšení využívání podílu recyklovaných vláken o 25 % do roku 2020. Cíl byl splněn v roce 2018. [4] [47]



Obr. č. 10 Produkty z recyklovaných polyesterových vláken [49] [50] [51] [52]

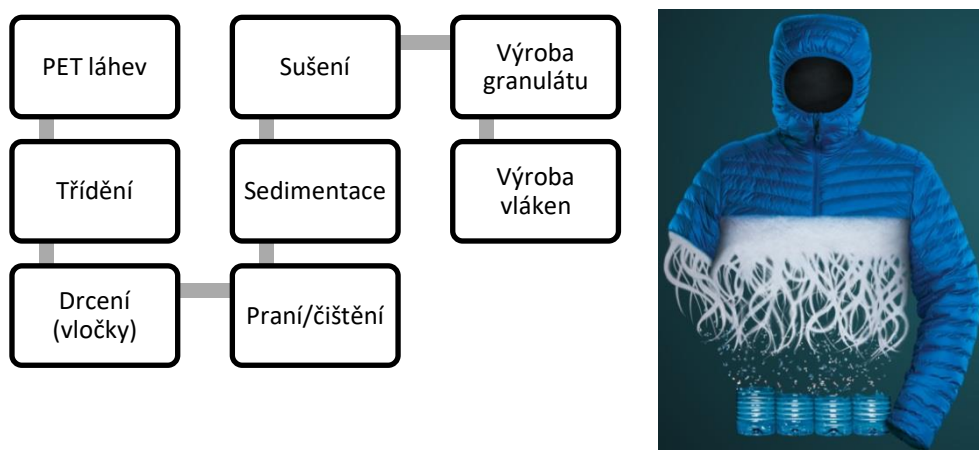
Recyklovaný polyester

V roce 2018 bylo vytrženo a recyklováno 149 tis. tun plastu. Polyethylentereftalát (PET) je mikrobiologicky odolný materiál. Existují dva způsoby jeho zpracování, a to spalování, nebo recyklace. Zjednodušený proces recyklace je znázorněn na obr. č. 11.

Recyklovaný polyester nalézá využití nejen při výrobě sportovních oděvů, ale i koberců, izolačních materiálů, ad. Vlákna získaná recyklací PET lahví jsou označována jako r-PET a lze je mísit s jinými materiály. K výrobě $\frac{3}{4}$ kg vláken je zapotřebí 10 PET lahví. Uvádí se, že recyklováním PET lahví k výrobě vláken je spotřeba energií 8krát nižší. Teplota skelného přechodu T_g r-PET se pohybuje okolo 74 °C.

Nicméně stinnou stránkou materiálu r-PET může být výsledek z některých provedených studií, z nichž vyplynulo, že následkem praní skončí v oceánu půl milionu tun plastových mikrovláken a opakovaným recyklováním se zhoršují mechanicko-fyzikální vlastnosti polymeru.

Značky jako Adidas, Nike, Levi's, H&M, ad, zařadily recyklovaný polyester do svých kolekcí. Německá firma Vaude, v roce 2018, představila kolekci outdoorového oblečení z recyklovaných PET vláken. Cílem společnosti byl monomateriál, kvůli snadné budoucí recyklaci. [42] [43] [48] [53]



Obr. č. 11 Zjednodušený proces recyklace r-PET, od láhve po vlákno [53] [54]

4.8 Závěrem

Recyklací je odkloněn odpad ze skládky a znovu využitý, a nalézáním nových zdrojů pro výrobu textilních aplikací je snižována závislost na ropě (k výrobě polyesterových vláken je každoročně spotřebováno 70 mil. barelů ropy). Podle společnosti Recover, není třeba na výrobu recyklovaných vláken spotřebovat takové množství vody a energie, jako v případě jiných vláken (např. bavlněných). Recyklací vláken jsou produkovány nižší emise uhlíku. Po skončení životnosti recyklovaného textilního výrobku je možné znovu odklonit odpad, který by přetrvával na skládce, nebo byl spálen, a znovu recyklovat jako druhotnou surovinu např. pro použití na výrobu čistících hadrů, výplní do automobilových sedaček, izolací budov. Recyklovaná polyesterová vlákna a výrobky z nich, jsou pro spotřebitele na trhu dostupné v širokém spektru aplikací.[2] [55]

Biodegradabilní textilní materiály jsou používány především pro biomedicínské aplikace, v tkáňovém inženýrství. Trh s biodegradabilními polyestery ve srovnání s trhem s recyklovanými vlákny, má menší výrobní kapacitu, nicméně se očekává růst celosvětové produkce. Nevýhodou biodegradabilních polyesterových materiálů omezující jejich použití, je cena, která převyšuje cenu panenských polyesterových vláken i cenu r-PET vláken. Naopak příležitost se nachází v podpoře ze strany EU. Zatím nejvíce využívaným biodegradabilním polyesterem pro textilní zpracování je kyselina polyléčná.

Aby si textilní materiál zachoval schopnost být biologicky rozložen, nebo být kompostován, celé složení textilie by muselo být biologicky rozložitelné. Pokud by se biologicky rozložitelná textilie dostala do recyklační linky, mohla by znehodnotit výsledný recyklát. Každý biodegradabilní polymer má specifické podmínky pro svůj úspěšný rozklad. Od výrobců biologicky rozložitelných produktů by bylo vhodné informovat spotřebitele o nakládání s výrobky po skončení jejich použitelnosti.[4] [5] [26]

5 Užité vlastnosti druhé oděvní vrstvy s ohledem na zdroje výroby

V experimentální části bakalářské práce budou testovány materiály vhodné pro druhou oděvní vrstvu – mikinu, proto byla tato kapitola psaná s ohledem na tento oděv.

Užitečné vlastnosti biodegradabilních materiálů, mohou být ovlivněny schopností materiálu se biologicky rozložit. Je důležité zohlednit účel použití biologicky rozložitelných materiálů a prověřit vlastnosti daného materiálu, zda je vhodný pro aplikace, které z něho mají být vyrobeny. V tomto případě je nutné prověřit užité vlastnosti materiálu, zda jsou vhodné a splňují požadavky pro oděvní aplikace. [5]

U outdoorových oděvů, tedy oděvů pro venkovní užití, např. turistiku, je vhodné vybírat takové oděvy, aby vyhovovaly klimatickým podmínkám, ve kterých se člověk bude pohybovat, a zvolené aktivitě. Takové oblečení by mělo především chránit tělo nositele před vnějšími vlivy podnebí, změnami teplot, deštěm. Důležitá je znalost vazeb mezi organismem, oděvem a prostředím. Oděv by měl zajistit optimální podmínky pro transport tepla, které je produkováno organismem do okolního prostředí, bez zapojení termoregulačních mechanismů.

K fyziologickému komfortu napomáhá správné vrstvení oděvů, kdy **první vrstva - funkční** - saje a odvádí pot od těla, **druhá vrstva – tepelně-izolační** - zajišťuje tepelnou izolaci, a **třetí vrstva-ochranná**- chrání před vnějšími vlivy počasí.

Užitečné vlastnosti u outdoorových oděvů lze hodnotit z hlediska trvanlivosti a možnosti údržby, komfortu, estetických vlastností, a z hlediska speciálních vlastností. Dalšími aspekty pro výběr outdoorového oděvu by mohl být jeho malý objem, nízká hmotnost, prodyšnost, dobré tepelně-izolační vlastnosti, střih, nepromokavost (u bundy), a další zpracování (např. počet a umístění kapes, oboustranné zapínání).[56] [57] [59]

5.1 Trvanlivost, životnost a možnost údržby

V průběhu doby nošení jsou oděvy odírány, otírány, natahovány, roztahovány, vystaveny povětrnostním vlivům, fyziologickým procesům těla (pocení). Při údržbě jsou oděvy prány, sušeny, žehleny. Trvanlivostní vlastnosti textilie jsou takové vlastnosti, které vypovídají o tom, jak je textilie odolná při jejím používání. Mezi trvanlivostní vlastnosti se řadí pevnost v tahu, tažnost, oděr, ad.

Životnost oděvu je ovlivněna působením fyzikálně-mechanických vlivů. Životnost je velmi těžké definovat. Může být chápána jako doba, po kterou je oděv schopen plnit funkci, pro kterou byl určen. Pro zjištění doby životnosti textilií se využívají metody zrychleného stárnutí, kde jsou vzorky textilií vystaveny zvýšené teplotě a vlhkosti. Pro vyhodnocení účinků stárnutí jsou vzorky podrobeny mechanickým zkouškám před a po vystavení simulačních zkoušek, např. oděru. Stárnutí textilií je přirozený a nevyhnutelný proces. Jedná se o všechny nežádoucí pomalé a nevratné změny vlastností materiálu.[23] [58] [59]

Pevnost a tažnost

Tažnost i pevnost pletenin jsou důležitými vlastnostmi. Jsou dány strukturou pleteniny, materiálovým složením, pevností příze, hustotě pleteniny, vazbě, ale závisí i na rychlosti zatěžování i způsobu namáhání. Pleteniny, díky své elasticitě, neomezují v pohybu během nošení. U oděvních aplikací zřídka během nošení dojde k maximálnímu natažení do přetržení, nicméně určitá pevnost materiálu je u oděvních aplikací nutná. Recyklační proces při výrobě recyklovaného polyesteru může výslednou pevnost i tažnost ovlivnit. [60]

Možnost údržby

Některé biodegradabilní materiály jsou náchylné na vodu, např. škrob, nebo kyselina polyglykolová. Pro oděvní aplikace jsou teplotní rozsahy biodegradabilních a recyklovaných materiálů důležité. Při praní je oděv vystaven zvýšené teplotě, vodě, detergentu, chemickým látkám, mechanickému namáhání. Biodegradabilní i recyklované textilní materiály určené na výrobu oděvů by bylo vhodné podrobit zkoušce v praní, popř. sušení, žehlení. Např. polykaprolakton má nízkou teplotu tání⁴, a to z polymeru dělá materiál, který by nebylo možné žehlit. Materiály vystavené zkoušce praní se dále podrobují mechanicko-fyzikálním zkouškám pro vyhodnocení změn jejich vlastností, např. hodnocení rozměrové stálosti, odolnosti proti oděru, pevnosti, ad. Parametry pracích cyklů, množství vhodného detergentu, referenční pračka s různým typem plnění, jsou stanoveny normou. [5] [61]

⁴ Teplota tání PCL je 59–64°C

Odolnost proti oděru

Oděvy vhodné do přírody jsou vystaveny neustálému riziku oděru o různě drsné povrchy. Odolnost plošné textilie proti oděru je mechanická zkouška simulující skutečné namáhání materiálu. Zkouška je simulována do zvoleného počtu otáček, do přetržení prvního vazného bodu, nebo je vypočítán úbytek hmotnosti vzorku. Materiál je vystaven různým povrchům, např. vlněné tkanině, brusnému papíru, ad. Rozeznáváme oděr v hraně, nebo v ploše. [62]

5.2 Estetické vlastnosti

Oděv plní funkci estetickou - reprezentativní. Móda určuje vzhled výrobku a vzhled výrobku je ovlivněn estetickými vlastnostmi. Estetické vlastnosti vypovídají o tom, jak textilie drží tvar, stálosti textilie a odolnosti textilie. Mezi estetické vlastnosti se řadí stálobarevnost na světle, v potu, otěru, splývavost, tuhost v ohybu, odolnost vůči žmolkování, odolnost proti oděru, mačkavost, ad. K vyhodnocení uvedených vlastností se využívají laboratorní zkoušky. [59]

Odolnost vůči žmolkování

Žmolkovitost je defekt textilie. Žmolky na povrchu materiálu jsou tvořeny třením o stejný, nebo jiný materiál, mohou být způsobeny vlivem praní, aj. Jednotlivá vlákna v textilií vyčnívají, některá jsou ulamována, vlivem tření jsou zapleteny do sebe a na povrchu materiálu vytvoří „uzlík“. Povrch textilie vystavený zkoušce odolnosti proti žmolkování, je porovnáván nejčastěji podle etalonu. [63]

Stálobarevnost

Stálost ve vybarvení je možné hodnotit po vystavení materiálu UV záření, po praní, v potu, v otěru, po chemickém čištění, za mokra, či za sucha, ad. Jedná se o vlastnost textilie závislé na chemické podstatě materiálu. Biodegradabilní textilní materiály mohou být citlivé na ultrafialové záření a fotodegradovat (což se může projevit změnou odstínu barvy). Stálobarevnost může být ovlivněna druhem a množstvím použitých chemikálií při výrobě vláken. Některé materiály nejsou dobře barvitelné. Stálobarevnost materiálu je hodnocena podle modré, nebo šedé stupnice. [64]

5.3 Vlastnosti určující fyziologický komfort

Druhá oděvní vrstva má za úkol zajistit tepelný komfort spotřebitele. Jinými slovy spotřebitel udržuje stálou tělesnou teplotu, díky schopnosti oděvu přebytečné teplo odvádět, nebo zachycovat. Teplo je nejvíce produkováno v srdci, játrech a mozku, proto je důležité vrstvit oděvy na horní polovině těla. Při fyzické námaze produkují teplo i příčně pruhované svaly. Vzduch uzavřený v textilií izoluje nejlépe.

Mezi ukazatele tepelně – izolačních vlastností se řadí: tepelná vodivost, tepelná jímavost, tepelný odpor, ad. Prodyšnost i paropropustnost jsou významnými užitnými vlastnostmi pro outdoorové oděvy a často bývají mezi sebou zaměňovány. Tyto pojmy budou níže vysvětleny. [65] [66]

Paropropustnost

Lidský pot se převážně skládá z vody, zahrnuje i zbytky buněk, kvasinky, bakterie, a zahrnuje i látky jako sodík, draslík, hořčík, chlor, vodík. Při fyzické námaze je pH potu okolo 6,8.

Pocení je jedním z termoregulačních mechanismů lidského těla, když je zapotřebí snížit tělesnou teplotu. Paropropustnost materiálu je jednou z důležitých užitných vlastností pro oděvy, které mají zajistit fyziologický komfort nositele, zvláště pro sportovní a outdoorové oděvy. Prostup biologické tekutiny (potu) zajišťuje, aby se lidský organismus nepřehřál. Prostup potu od těla nositele do okolí musí být zajištěn všemi oděvními vrstvami. Paropropustnost je laboratorní metoda, která simuluje tento jev.

Zmíněny budou dvě laboratorní metody a to MVTR (Moisture Vapor Transmission Rate), přičemž výsledné jednotky jsou udávány v $[g/m^2 \cdot 24 \text{ hod.}]$, nebo hodnocena dle výparného odporu R_{et} (Resistance to vapour transfer) v jednotkách $[Pa \cdot m^2/W]$. Laboratorní metoda R_{et} je považována za objektivnější, protože zohledňuje vlhkost vzduchu a simuluje teplotu lidského těla a teplotu okolí. U metody MVTR platí, že čím vyšší hodnota v $[g/m^2 \cdot 24 \text{ hod.}]$, tím více vodní páry prostoupí materiálem. U analýzy výparného odporu v $[Pa \cdot m^2/W]$ platí, že čím nižší hodnota, tím materiál klade menší odpor vůči prostupu vodních par. V tab. č. 2 je uvedeno porovnání hodnot metody R_{et} a MVTR. [71] [67]

Tab. č. 2 Porovnání hodnot propustnosti vodních par R_{et} analýzy a metody MVTR, dle [67]

Hodnota R_{et}	Hodnota MVTR	Slovní hodnocení	Možnost použití
Ret < 6	> 20 000 g/m ² .24 hod.	velmi dobrá paropropustnost	vhodné pro běh
Ret 6 -13	20 000 – 9 000 g/m ² .24 hod.	dobrá paropropustnost	vhodné pro chůzi, rychlou chůzi
Ret 13-20	9 000 – 5 000 g/m ² .24 hod.	uspokojivá paropropustnost	vhodné pro chůzi
Ret > 20	< 5000 g/m ² .24 hod.	neuspokojivá paropropustnost	

Prodyšnost

Proudění vzduchu z vnějšího prostředí, přes vrstvu, nebo vrstvy materiálu, až k tělu nositele, je označováno jako prodyšnost. Pro zimní bundy a kalhoty může být žádoucí, aby byl materiál neprodyšný. Lidské tělo se při fyzické námaze potí, a pokud by byla bunda prodyšná, mohlo by dojít k „ofuku“ a následně se projevit zdravotními komplikacemi.

Laboratorní metodou je prodyšnost měřena jako rychlost proudícího vzduchu kolmo přes textilní materiál, při stanoveném tlaku, za určitý čas v jednotkách [mm/s]. Prodyšnost materiálu souvisí se strukturou textilie, vazbou, hustotou dostavy, popř. konečnými úpravami, počtem vrstev materiálu. [67] [68]

Tepelná vodivost

Součinitel měrné tepelné vodivosti stanovuje množství tepla, které projde materiálem, za určitou dobu v jednotkách [W/m.K]. Tepelná vodivost referuje o schopnosti materiálu vést teplo. Výslednou hodnotou je rozdíl teplot. Čím je teplota okolí vyšší, tím je i tepelná vodivost vyšší. Součinitel měrné tepelné vodivosti látek do 0,1 [W/m.K], je charakteristický pro látky označované jako tepelné izolátory

(tepelná vodivost vzduchu o teplotě 20 °C je 0,026 [W/m.K]). Součinitel měrné tepelné vodivosti λ , pro tzv. vodiče tepla, je od 2 [W/m.K] a vyšší hodnoty, (např. tep. vodivost železa se pohybuje okolo 80 [W/m.K]). Dobrá tepelná izolace je charakterizována jako nízká tepelná vodivost a vysoký tepelný odpor. Tepelná vodivost je ovlivněna vlhkostí materiálu, teplotou, pórozitou, ad. [69] [70]

Tepelná jímavost

Tepelná jímavost je schopnost materiálu přijímat a vydávat teplo. Jedná se o množství tepla, které projde materiálem z jedné strany na stranu druhou, při rozdílu teplot 1 K, za určitou dobu, v důsledku akumulace tepla⁵ v jednotkovém objemu. Tepelná jímavost je udávána v jednotkách [W.m⁻².s^{1/2}.K⁻¹]. Tepelná jímavost materiálu je ovlivněna strukturou, materiálovým složením, ad. Vypovídá o tepelném omaku materiálu, např. větší tepelná jímavost je hmatem pocíťována jako chladnější. Hodnoty tepelné jímavosti se u plošných textilií pohybují od 20–300 [W.m⁻².s^{1/2}.K⁻¹]. Chladnější omak má např. len, viskóza. Teplejší na omak jsou plošné textilie z polypropylenu, vlny. [69] [70]

Tepelný odpor

Tepelný odpor je odpor, který materiál klade proti průchodu tepla. Tepelný odpor R_{ct} se udává v jednotkách [m².K/W]. Odvíjí se od struktury materiálu, jeho vazby a tloušťky plošné textilie. Tepelný odpor a tepelná vodivost spolu souvisí a platí, že čím je nižší tepelný odpor, tím je vyšší tepelná vodivost. [69] [70]

⁵ Akumulace tepla je zjednodušeně řečeno hromadění tepla v tělese. Když klesne okolní teplota, teplo v tělese je předáno do okolního prostředí.

6 Testování degradace biodegradabilních textilních materiálů

Pro posouzení biologické rozložitelnosti jsou vydávány normy, které udávají podmínky pro rozklad. Testováním biodegradace materiálů se zabývají instituce jako ASTM (American Society for Testing and Materials), ISO (International Standards Organisation), BPS (Biodegradable Plastic Society), ad. V současné době nebyla zveřejněna v databázi ČSN metoda zabývající se testováním biodegradabilních textilií. Veškeré dosud zveřejněné normy byly zaměřeny na plastové materiály a jejich biodegradabilitu, nebo kompostování. [5]

Testování biodegradability plastů podle různých standardů je prováděno v půdě, v kompostu, ve vodě, v laboratorních podmínkách, za přítomnosti vzduchu, nebo anaerobně. Biodegradabilita je hodnocena množstvím vyprodukovaného oxidu uhličitého, úbytku hmotnosti, určování spotřeby kyslíku, bakteriálním růstu na substrátu. ASTM D 6868 definuje přírodní materiály, bez chemické úpravy, jako biologicky rozložitelné (např. bavlněná vlákna, dřevo, juta). [5] [10] [34]

6.1 Kompostování

Kompostování materiálu spočívá v jeho zahrabání do kompostu, jehož složení je stanoveno příslušnou normou. (např. králičí potrava, močovina, kukuřičný olej, piliny, ad.). Podmínky kompostování, jako je teplota, pH, vlhkost, produkce CO₂, jsou sledovány. Teplota kompostu je buď řízena mikrobiální aktivitou, nebo stanovena normou. Kompostovací testy obvykle trvají 12 týdnů. Po té je vzorek zvážen, podroben zobrazovací technologii (skenovací elektronová mikroskopie - SEM, IR analýza), aj.

Podle metody ASTM D 5338 je kompostování provedeno při teplotě 58 °C. Aby mohl být výrobek prokázán jako biodegradabilní, musí být rozložen do 180 dní alespoň z 90%.

Německá norma DIN stanovuje rozklad materiálu v kompostu v míře min. 60% úbytku během 180 dní. Evropská norma EN 13432 má přísnější limity. Stanovuje rozklad alespoň z 90% v rámci 180 dní. [34] [74]

6.2 Metoda obohaceného syntetického prostředí

Ke studiu schopnosti mikroorganismů degradovat organické látky je využívána laboratorní metoda, tzv. *enrichment-culture technique*, neboli technika obohaceného syntetického prostředí. Metoda slouží ke sledování degradujících druhů či kmenů bakterií, zda jsou schopny růst ze zdrojů energie, uhlíku a dusíku, zda testovanou organickou látku degradují za určitých podmínek v izolaci. U mikroorganismů je hledán degradační potenciál.

Zdánlivě jednoduchý pokus může být neúspěšný z více důvodů, např. navozením nevhodných růstových podmínek, díky nízké koncentraci studované látky, což vede k nedostatku množení buněk, nebo naopak příliš vysoká koncentrace, která může být pro bakterie toxická.

Proces biodegradace v přirozeném prostředí bývá spojován právě s růstem bakterií na organické látce. Zvýší-li se počet bakteriálních buněk, nebo biomasy hub v prostředí, následuje úbytek koncentrace testované organické látky. Zanikne-li testovaná organická látka, sníží se i počty bakterií a hub, protože zanikne i zdroj uhlíku a energie potřebné pro jejich růst. Množení buněk je zastaveno po vyčerpání zdroje. Nezmění-li se koncentrace testované organické látky, lze vyvodit, že degradující mikroorganismy našli jiný zdroj energie a uhlíku. [7]

6.3 Alternativa pro testování biodegradabilních textilií

Hledání vhodného standardu pro testování textilních materiálů, bylo zaměřeno na alternativní možnost použití norem pro plastové výrobky u již provedených experimentů.

Zkoumání biodegradace textilních materiálů bylo provedeno na Cornellově Univerzitě podle ASTM D5988 – 03 (Standardní zkušební metoda pro stanovení aerobní biodegradace v půdě z plastů nebo zbytkových plastů po kompostování)

Laboratorní metoda sleduje produkci CO₂ s ohledem na čas. Normou je stanoven stupeň degradace u syntetických plastů. Této normě odpovídá ČSN EN ISO 17556 Plasty - Stanovení úplné aerobní biodegradability materiálů z plastů v půdě měřením spotřeby kyslíku v respirometru nebo měřením množství uvolněného oxidu uhličitého.

Vzorky o rozměrech 2x2 cm byly uzavřeny do exsikátorů⁶ se vzorkem půdy, nebo směsí půdy o vlhkosti půdy 61 %. Do každého exsikátoru byl přidán hydroxid

⁶ exsikátor - tlustostěnná menší dvoudílná nádoba používaná v laboratoři k sušení.

draselný. Při rozkladu vzorků byl produkován oxid uhličitý. KOH absorboval CO₂. Míra biodegradace byla vyjádřena produkcí CO₂ v závislosti na čase. Experiment trval 90 dní.

Stejná práce pojednávala o enzymatické hydrolyze textilních vzorků. Vzorky byly vloženy do lahvíček s acetátovým puřrem, obohaceny o celulózy⁷ a udržovány ve vodním inkubátoru při 55 °C. Po 48 hodinách byly vzorky promyty destilovanou vodou a vysušeny. Vyhodnocení biodegradace proběhlo vypočtením procentuálního úbytku hmotnosti vzorku. Doba experimentu byla 24 dní. [73]

Cornellova Univerzita disponovala kompostovacím zařzením na zbytky jídel a hnůj, kde byly vzorky, o velikosti zhruba 30x30 cm a vloženy do sítě na cibuli, zakopány. Teplota kompostu dosahovala 65 °C, kompost byl provzdušňován. Experiment trval 90 dní.

Při sledování oxidu uhličitého, byl po 20 dnech experimentu vývojový trend produkce CO₂ u polyesteru srovnatelný s bavlnou. Po uplynutí dalších 80 dní, produkce CO₂ se u bavlny zvyšovala, u polyesteru byla křivka vývojového trendu mírnější. Úbytek hmotnosti po kompostování bavlněných vzorků po uplynutí 90 dní činil 50-77 %, úbytek hmotnosti u polyesteru činil 20 %.

Vyhodnocením degradace byl procentuální úbytek hmotnosti podle vzorce[73]:

$$U[\%] = \frac{U_0 - U_1}{U_0} * 100$$

kde:

U.....procentuální úbytek hmotnosti vzorku

U₀....hmotnost vzorku před zkouškou

U₁....hmotnost vzorku po zkoušce

Podle společnosti Situ Biosciencis, která se zabývá testováním biodegradability, patří mezi žádané normy pro testování plastů, plachet a textilu ISO 16929 (Plasty - Stanovení stupně rozpadu plastových materiálů za definovaných podmínek kompostování v pilotním měřítku).[74]

⁷ celulózy- enzymy rozkládající celulózu

V následující tabulce (tab. č. 3) jsou uvedeny normy zabývající se rozkladem materiálů.

Tab. č. 3 Přehled norem zabývajících se rozkladem materiálů, dle [75]

grafické označení	norma	rozklad
   	EN 13432	90 % během 6 měsíců
 	EN 13432 20°C - 30°C	90 % během 12 měsíců
  	ISO 17556	90 % během 24 měsíců
 	ASTM D7081	90 % během 6 měsíců
 	EN 14987 20°C - 25°C	90 % během 56 dnů
   	EN 13432	90 % během 6 měsíců
 	EN 13432 20°C - 30°C	90 % během 12 měsíců

7 Průzkum odborné literatury zabývající se testováním biodegradabilních a recyklovaných polyesterových textilií

V Ústavu polymerů v Praze, byly provedeny testy na nebarvené tkanině z PLA vláken, předupravené praním při teplotě 60°C, sušením při teplotě 100°C a fixací 30 s při teplotě 130°C. Připravené vzorky o plošné hmotnosti 233 g·m⁻² byly opakovaně vyprány, tj. 100krát vystaveny ohřevu, praní po dobu 15 min, při teplotě 60°C, hodnotě pH 10,2, ve standardním detergentu, a čtyřikrát máchány. Výsledkem byl pozvolný proces ztráty pevnosti v osnově o 21,5 %, a snížení plošné hmotnosti o 13,3 % vlivem oddělování vláken. Skoro 50% pokles molární hmotnosti nastal po 60. pracím cyklu.

Na tkanině byl proveden test modelové abiotické degradace a test kompostovatelnosti v rámci 91 dní.

Při modelové abiotické degradaci byly 1 g vzorky PLA vláken vystaveny působením teploty 60°C a pufru. U experimentu byla zajištěna konstantní hodnota pH výměnou pufru. Po 7 týdnech testování byl úbytek hmotnosti vzorku 99,4 %.

V testu kompostovatelnosti byly vzorky tkaniny o rozměrech 10 x 16 cm zataveny do síťoviny, o velikosti jednotlivých ok 2 mm, z nedegradovatelného materiálu (polyester) a uloženy ve dvou průmyslových kompostárnách (Agro Jesenice - kompost tvořen koňským hnojem, rostlinných zbytků trávy, kalu z čističek odpadních vod, a Klas Záhoří – kompost tvořen z hnoje skotu). Po uplynutí testovací doby, od září do prosince, v kompostu tvořeném hnojem z chovu skotu, byl vzorek zcela degradován. Po uplynutí 91 dní v kompostárně Agro Záhoří, byly vzorky zachovány ve větších částech.

Proces kompostování je závislý na teplotě prostředí, složení kompostu. Průmyslové kompostování je prováděno v aerobních podmínkách.[76]

Ve studii Inoue a Yamamota byla testována trvanlivost sedmi vzorků (plátňová vazba, rozměry 20 x 20 cm) o různém materiálovém složení (tab. č. 4), opakovaným praním. Prací cyklus zahrnoval 100 praní s detergentem (6 min praní, máchání dvakrát po 5 min, sušení 3 min) přičemž vlastnosti vzorků byly hodnoceny po 1., 2., 3., 5., 7., 10., 20., 30., 50., 70., a 100 praní. Vzorky byly žehleny při teplotě 160°C a ponechány 30 min při teplotě 20 °C a 65% vlhkosti vzduchu. Ve vzorcích byl vyznačen čtverec o ploše 10 cm² a každý vzorek vykazoval smrštění menší než 2 %. U testovaných vzorků bylo pozorováno smrštění osnovních nití a prodloužení útkových nití. U tkanin

zahrnující vlnu byly vlastnosti změněny, avšak v menší míře, než u vzorků čistého polyesteru a směsi polyesteru a bavlny. Celkově vzorky obsahující recyklovaný polyester vykazovaly větší opotřebení vlivem opakovaného pracího cyklu. [77]

Tab. č. 4 Materiálové složení testovaných vzorků, dle [77]

100 % polyester (z toho 60 % recyklovaný polyester)
85 % polyester (z toho 65 % recyklovaný polyester) 15% bavlna
65 % polyester (z toho 55 % recyklovaný polyester) 35 % bavlna
80 % polyester 20 % vlna
70 % recyklovaný polyester 30 % vlna
55 % recyklovaný polyester 45 % vlna
50 % recyklovaný polyester 50% vlna

Suesat a Philips porovnali vlastnosti kyseliny polymléčné (PLA) s polyesterem (PES) - rozměrová stabilita a odolnost proti zmačkání, byly srovnatelné. V dalším porovnání s PES, měla kyselina polymléčná vyšší hodnotu elastického zotavení při 5% namáhání, vyšší hodnotu při testování managementu vlhkosti, vyšší index LOI. [42]

Tab. č. 5 Porovnání vlastností PLA a PES dle [42]

	PLA	PES
Elastické zotavení (5%)	93	65
Management vlhkosti [%]	0,4–0,6	0,2-0,4
Index LOI [%]	26	20-22
T_t [°C]	130-175	256-260

Telli a Özdil testovali vady devíti přízí o různém procentuálním složení r-PET, PET a bavlny (tab. č. 6). Experiment byl zaměřen na slabá (-50%) a silná (+50 %) místa v přízi a nopky. Ze studie vyplývá, že čím vyšší podíl bavlněných vláken ve směsi je, tím je vyšší počet slabých míst v přízi. Nejmenší počet slabých míst byl naměřen u 100 % PET (3,1), u 100 % r-PET byla hodnota 32,7. Ve směsích PET a r-PET je počet

slabých míst pod 13,3. Počet silných míst byl nejvyšší u směsi 50 % bavlny a 50 % r-PET (90,7). I zde, ve směsi r-PET a PET, počet silných míst nepřekračuje hranici 27,4. Nejvíce nopků vykazovala 100 % bavlněná příze (500,6). Nejméně 100 % PET (23,1). U vláken ze 100 % r-PET byla hodnota 346,8. Přestože příze z PET vykazují lepší vlastnosti, autoři doporučují použití r-PET materiálu ve směsi. [78]

Tab. č. 6 Materiálové složení testovaných vzorků

100 % bavlna	100 % r-PET
70 % bavlna 30% r-PET	70 % PET 30 % r-PET
50 % bavlna 50 % r-PET	50 % PET 50 % r-PET
30% bavlna 70 % r-PET	30 % PET 70 % r-PET

Kaynak a Sarioglu uvádějí, že příze z r-PET vláken vykazují nižší hodnoty u tahových zkoušek než PET vlákna. Důvodem bylo označeno oslabení vlákna vlivem recyklačního procesu. [53]

Jako poslední bude zmíněn experiment Bartoškové-Pitronové, přestože nebyl testován biodegradabilní ani recyklovaný materiál. Bartošková-Pitronová provedla simulační testy stárnutí na několika plošných textiliích na základě normy o stárnutí papíru vlivem suchého tepla. Norma ISO 5630/1 Stárnutí papíru suchým teplem uvádí, že 3 dny při teplotě 105 °C simuluje 25 let přirozeného stárnutí papíru, 6 dní 50 let, 24 dní 200 let. Jedním ze zkoušených materiálů byla tkanina z polyesterové stříže. Vzorky byly vloženy do laboratorních sušáren s teplotami od 80 °C do 130 °C. Po 27 dnech v komoře se u polyesteru pevnost ani tažnost nezměnily. [79]

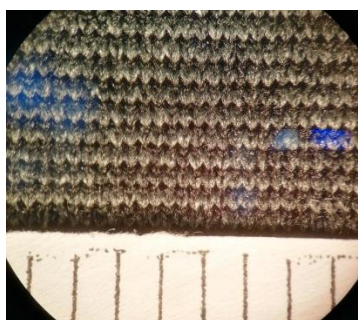
EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

8 Cíl práce

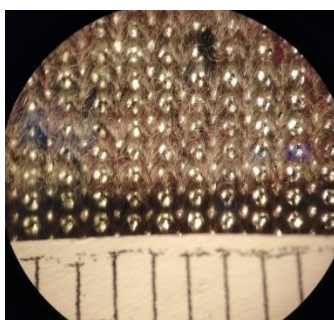
Experimentální část bakalářské práce se zabývala hodnocením užitečných vlastností textilií s důrazem na **porovnání vývojových trendů před a po simulaci stárnutí vlivem UV zářením a před a po vlivu praní** mezi tradiční polyesterovou textilií z panenských polyesterových vláken, textilií s podílem recyklovaných vláken a textilií s podílem biodegradabilních vláken. Vycházelo se z předpokladu, že textilie byly určeny na stejný účel použití, výrobu druhé oděvní vrstvy – mikiny. Zkoumání bylo zaměřeno na trvanlivostní vlastnosti, estetické vlastnosti a vlastnosti určující fyziologický komfort, přičemž zkoušky byly provedeny v laboratořích KOD TUL.

8.1 Charakteristika použitých textilních materiálů

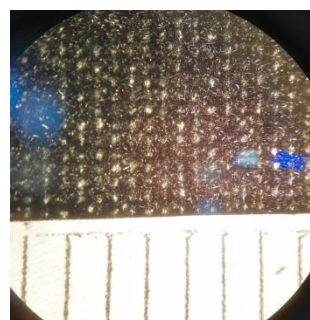
Plošné textilie byly určeny na stejný účel použití - výrobu 2. oděvní vrstvy - mikiny. Dostupné byly tři druhy materiálu, a to:



Biopile



Eco



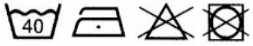


Konvenční fleece

Pozn. 1 díl na obr. jsou 2 mm ve skutečnosti

Materiál **Biopile**, pro experimentální část, byl poskytnutý společností Direct Alpine s. r. o., v Liberci. Materiály **ECO** a **konvenční fleece** byly poskytnuty skladem KOD FT TUL. V následující tabulce byly charakterizovány základní parametry použitých textilií.

Tab. č. 7 Základní parametry použitých textilií

	Biopile	Eco	Konvenční fleecce
Označení výrobce	Biopile M/8852	2908/ECO	-
Druh plošné textilie	Jednostranně počesaná osnovní pletenina	Jednostranně počesaná osnovní pletenina	Oboustranně počesaná osnovní pletenina
Materiálové složení [%]	57 % Tencell 38 % recyklovaný polyester 5 % elastan	72 % recyklovaný polyester 22 % vlna 6 % ostatní vlákna	100 % polyester
Plošná měrná hmotnost [g/m²]	330	301	221
Tloušťka [mm]	2,49	2,04	3,41
Hustota sloupku[sl/m] / Hustota řádku [ř/m]	1600/2000	575/850	1200/1400
Symbole údržby			
Údržba slovy	lze prát při teplotě 30 °C, nelze žehlit, nelze bělit, lze chemicky čistit, nelze sušit v sušičce	lze prát při teplotě 30 °C, nelze žehlit, nelze bělit, lze chemicky čistit, nelze sušit v sušičce	lze prát při teplotě 40 °C, lze žehlit při max. teplotě 110 °C, nelze bělit, nelze sušit v sušičce

8.2 Provedené zkoušky a simulace stárnutí UV zářením a praním

Před simulačními zkouškami byla u vzorků zjištěna tloušťka a plošná hmotnost.

K přiblížení podmínek užívání oděvu spotřebitelem, byly materiály mechanicky namáhány, tj. opakovaně vyprány. 1 prací cyklus představoval **30 min praní při 30 °C**.

Celkově byly materiály vystaveny 6 pracím cyklům.

Pro urychlení podmínek stárnutí byl materiál vystaven vlivu UV záření. Doba ozáření textilií na zařízení UVCON (obr. č. 12) byla celkově **12 dní při teplotě 49 ± 2 °C**. Vzorky byly vystřiženy pro velikost odpovídající velikosti vzorků pro měření pevnosti a umístěny do držáků lící stranou ke zdroji UV záření. Vzorky byly osvicovány osmi lampami typu UVA-340 a to 3, 6, 9 a 12 dní.



Obr. č. 12 Zařízení UVCON

Všechny vzorky (Biopile, Eco, konvenční fleecce) byly testovány ve zkouškách uvedených v tab. č. 8. Vzhledem k časové náročnosti provedených zkoušek a množství testovaných vzorků, nebyly vzorky otestovány ve všech zkouškách a nebyla provedena kombinace praní a vystavení UV záření (podrobněji v tab. č. 8). Testování proběhlo v laboratořích KOD TUL.

Tab. č. 8 Schéma provedených zkoušek textilií Eco, Biopile, konv. fleecce

	před	po praní [počet cyklů]			po UV [počet dní]			
		2	4	6	3	6	9	12
pevnost/tažnost	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok
oděr	ok	ok	ok	ok				
stálobarevnost	ok	ok ⁸			ok	ok	ok	ok
tepelná vodivost a tepelná jímavost	ok			ok				
tepelný odpor a výparný odpor	ok			ok				

⁸ Stálobarevnost po praní byla hodnocena po 1 pracím cyklu, při teplotě 40°C

Součástí praktické části byl experiment kompostování, inspirovaný cit. č. [76]. Materiál Biopile byl umístěn do kompostu v kompostárně Fertia. Doba expozice trvala 90 dní, od ledna 2020 do dubna 2020. Byla zaznamenávána teplota kompostu a bylo zajištěno provzdušňování. Před zakopáním textilie do kompostu byly jednotlivé vzorky zváženy. Účinky biodegradace byly vyhodnoceny hmotnostním úbytkem.

8.3 Měření pevnosti a tažnosti

Pevnost byla měřena pro vyhodnocení míry působení vlivu UV záření a vlivu údržby. Podstatou zkoušky je napínání plošné textilie do přetruhu. Zkouška je destruktivní, nelze proměřit stejný vzorek před simulační zkouškou a po simulační zkoušce.

Charakteristika měřícího zařízení

Trhací přístroj Testometric M 350-5CT (obr. č. 13) je určen k zjištění meze pevnosti a tažnosti plošných textilií, délkových textilií. Součástí trhacího stroje je počítač se softwarem winTest Analysis, na kterém jsou zadány parametry měření. Čelisti stroje jsou ovládány přes PC. Naměřená data jsou zaznamenána a ukládána do PC. Maximální výkon stroje je 5 kN.

Jedná se o destruktivní laboratorní metodu měření probíhající podle normy:

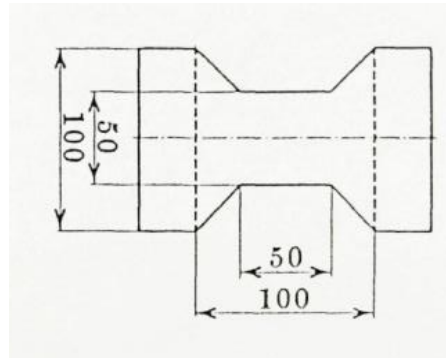
- ČSN 80 0810 (800810) Zisťovanie tržnej sily a ťažnosti pletenín (neplatná od roku 2008 bez náhrady)



Obr. č. 13 Testometric M350 5-CT

Příprava vzorků a postup měření

Vzorky u pletenin mají specifický tvar vystřižený podle šablony dle normy ČSN 80 0810 na obr. č. 14. Vzorky je před měřením nutné srolovat podle návodu v normě.



Obr. č. 14 Tvar vzorku pro testování pevnosti a tažnosti pletenin (rozměry uvedeny v mm)

Na počítači, který je nezbytnou součástí trhacího přístroje, byla vytvořena definice měření s předpětím 2 N, upínací délkou 100 mm a rychlostí prodloužení 100 mm/min. Vzorek byl upnut mezi čelisti laboratorního přístroje ve srolovaném stavu, kde byl vystaven jednoosému namáhání až do svého přetrhu, přičemž se pohybovala horní čelist směrem vzhůru a poloha spodní čelisti zůstala nezměněna. Vzorky byly měřeny ve směru sloupku a ve směru řádku.

Počítačem byla zaznamenávána tažnost v [%], síla v [N], prodloužení v [mm].

Vzorec pro výpočet tažnosti:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} * 100 = \frac{l_u - l_0}{l_0} * 100 [\%]$$

kde:

ε tažnost v [%]

Δl celkové prodloužení v [mm]

l_0 původní délka textilie v [mm]

l_u délka vzorku textilie po přetržení v [mm]

Výsledky měření a vyhodnocení zkoušky

Vyhodnocení zkoušky proběhlo číselně a graficky. Norma stanovuje zaokrouhlení pro hodnoty větší než 100 N, na nejbližších 10 N. Hodnoty u měření pevnosti byly zaokrouhleny na nejbližší 1 N, hodnoty u tažnosti byly zaokrouhleny na nejbližší 1 %.

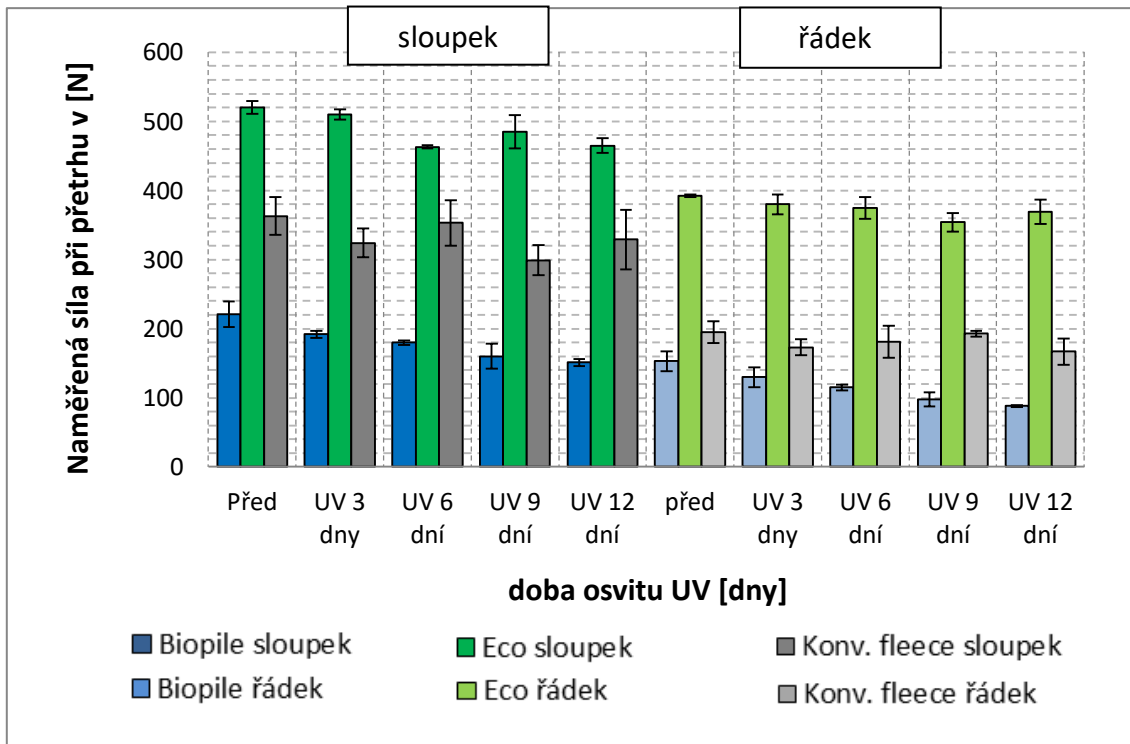
Pevnost a tažnost po osvitě UV záření

Tab. č. 9 Pevnost před a po UV záření [N]

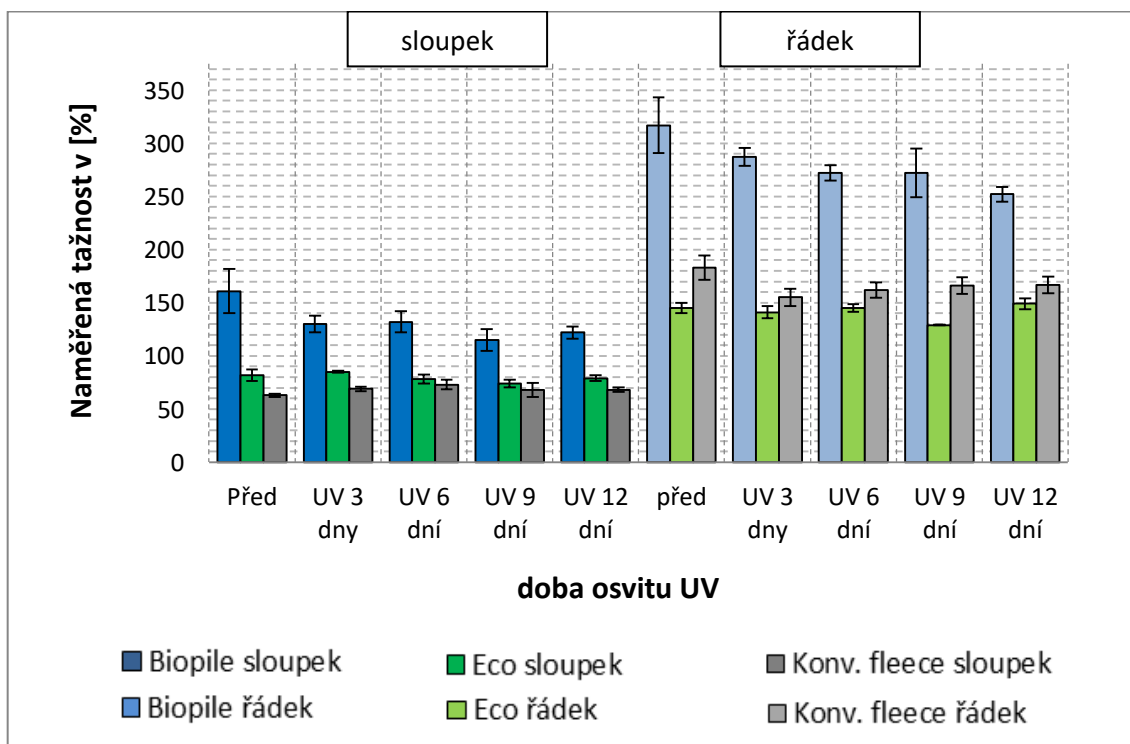
PEVNOST PO UV		Biopile	Eco	Konv. fleece
Před	sloupek [N]	221	520	363
	řádek [N]	153	392	195
UV 3 dny	sloupek [N]	192	510	324
	řádek [N]	130	380	173
UV 6 dní	sloupek [N]	180	463	353
	řádek [N]	115	375	181
UV 9 dní	sloupek [N]	160	485	299
	řádek [N]	98	354	193
UV 12 dní	sloupek [N]	151	465	329
	řádek [N]	88	369	167

Tab. č. 10 Tažnost před a po UV záření [%]

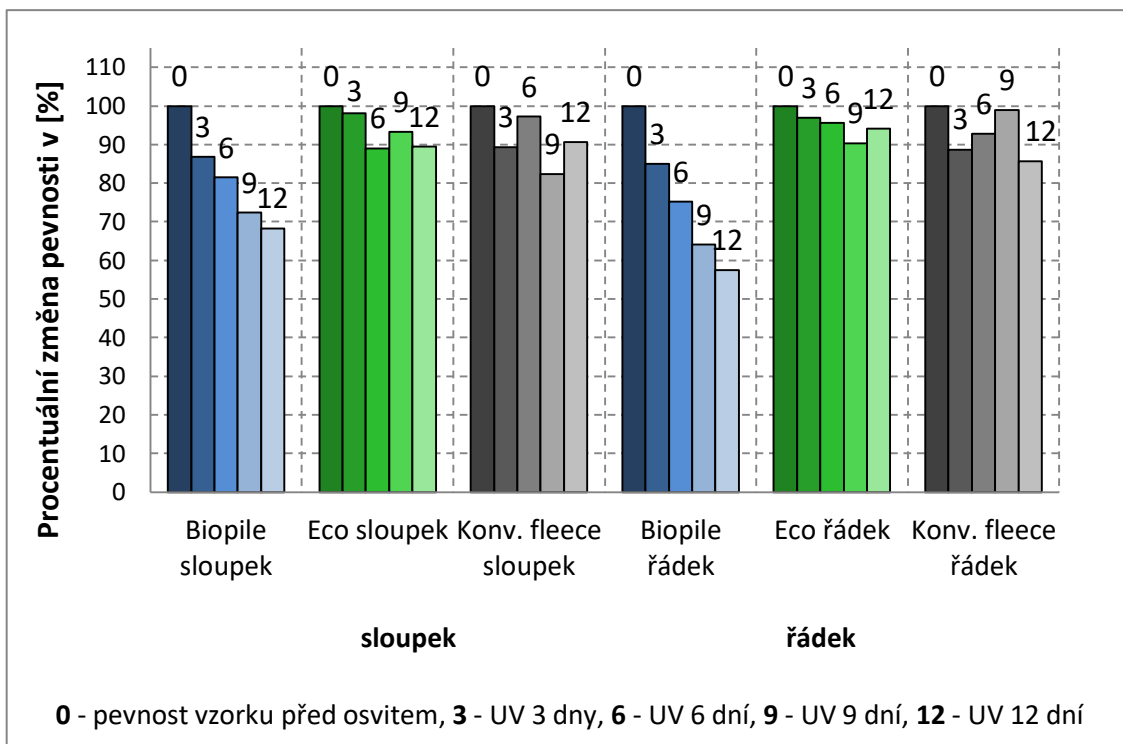
TAŽNOST PO UV		Biopile	Eco	Konv. fleece
Před	sloupek [%]	161	82	63
	řádek [%]	317	145	183
UV 3 dny	sloupek [%]	130	85	69
	řádek [%]	287	141	155
UV 6 dní	sloupek [%]	132	78	73
	řádek [%]	272	145	162
UV 9 dní	sloupek [%]	115	74	68
	řádek [%]	272	129	166
UV 12 dní	sloupek [%]	122	79	68
	řádek [%]	252	149	167



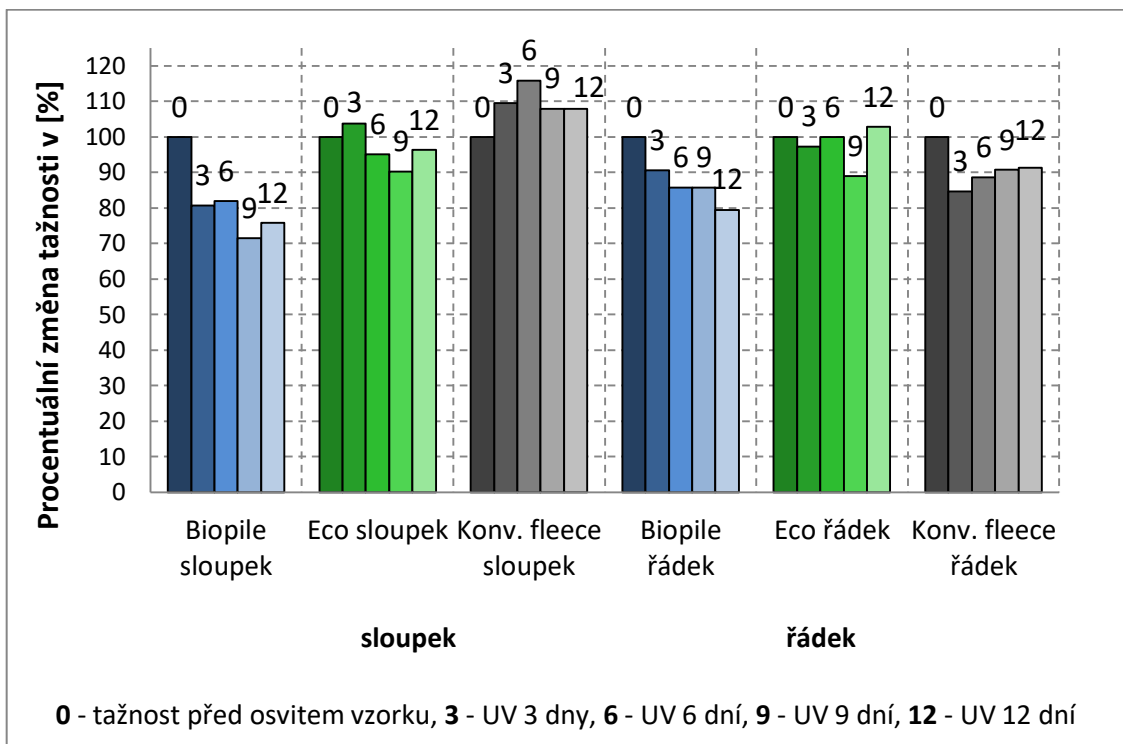
Obr. č. 15 Pevnost vzorků po sloupku a řádku v [N], před a po 3, 6, 9 a 12 dnech osvitů UV zářením



Obr. č. 16 Tažnost vzorků po sloupku a řádku v [%], před a po 3, 6, 9 a 12 dnech osvitů UV zářením



Obr. č. 17 Procentuální změny pevnosti testovaných vzorků v [%], před a po 3, 6, 9 a 12 dnech osvitů UV zářením



Obr. č. 18 Procentuální změny tažnosti testovaných vzorků v [%], před a po 3, 6, 9 a 12 dnech osvitů UV zářením

Trendový vývoj pevnosti a tažnosti je znázorněn v grafech na obr. č. 17 a obr. č. 18. Absolutní hodnoty jednotlivých měření jsou uvedeny v tab. č. 9 a tab. č. 10. Variabilita dat, vyjádřená směrodatnou odchylkou a variačním koeficientem je uvedena v příloze 2 – doplnění k experimentální části.

Při měření pevnosti a tažnosti, po osvitě UV záření, mělo UV největší vliv souhrnně (zahrnujeme-li naměřené změny po sloupku a řádku) na vzorky Biopile. Při měření pevnosti nejvíce odolával UV záření materiál Eco. Naměřené změny (zahrnujeme-li zvýšení i pokles) v pevnosti u konv. fleecu, se blížily k materiálu Biopile (rozdíl do 7 %). Při měření tažnosti, po osvitě UV, byly nejmenší změny pozorovány u konv. fleecu.

Z pohledu dílčího, zvláště na sloupek, zvláště na řádek, testovaných textilií, vykazoval největší změny při měření pevnosti, řádek Biopile, nejmenší naopak řádek Eco. Při měření tažnosti, opět z pohledu na sloupky a řádky testovaných vzorků, byly největší naměřené změny u vzorků Biopile po sloupku.

Z pohledu trendového vývoje pevnosti u materiálu Biopile, byl naměřen pouze pokles, přičemž největší změny byly zaznamenány po osvitě po 3 dnech (var. koef. po sloupku 2,75 %, po řádku 11 %), nejmenší po osvitě po 12 dnech (var. koef. do 3,2 %). Při testování vzorků Eco a konv. fleecu, byl po osvitě UV zaznamenán pokles i vzrůst pevnosti, přičemž průběh trendového vývoje u materiálu Eco byl mírnější, v porovnání s konvenčním fleecem, nicméně při statistickém zpracování pevnosti u konv. fleecu byla naměřena vysoce variabilní data, vyjádřená variačním koeficientem a směrodatnou odchylkou (uvedeno v příloze 2 – doplnění k experimentální části).

Při měření tažnosti byl u všech testovaných textilií (Biopile, Eco, konv. fleecu) zaznamenán pokles i vzrůst. Největší změny tažnosti byly naměřeny po 3 dnech osvitě u materiálu Biopile, i u konv. fleecu, přičemž u vzorků Biopile po sloupku, byl zaznamenán pokles tažnosti o více než 19 %, což je zároveň největší naměřená dílčí změna při testování tažnosti i pevnosti vzorků. U testování konv. fleecu byly největší rozdíly po 3 dnech osvitě, nejmenší změny byly při měření tažnosti po 12 dnech osvitě, a to do 0,6 % ve směru sloupku i řádku.

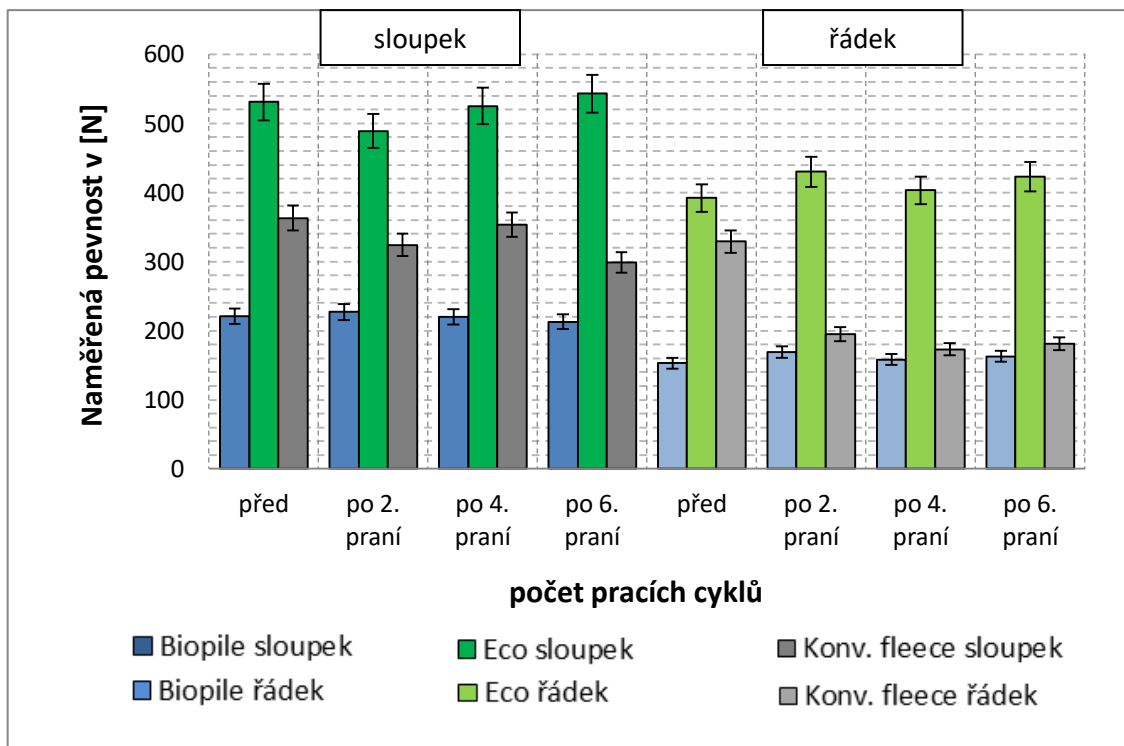
Pevnost a tažnost po praní

Tab. č. 11 Pevnost před a po praní v [N]

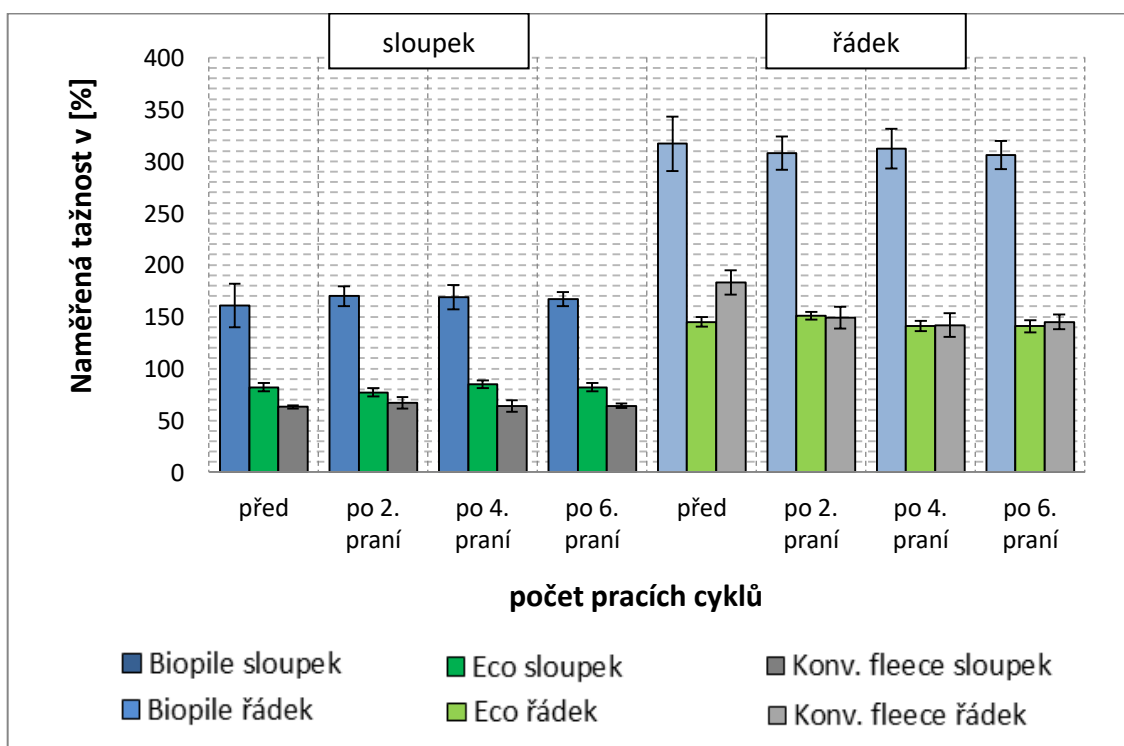
PEVNOST PO PRANÍ		Biopile	Eco	Konv. fleece
před praním	sloupek [N]	221	531	363
	řádek [N]	153	392	195
po 2. praní	sloupek [N]	227	489	346
	řádek [N]	169	430	166
po 4. praní	sloupek [N]	220	525	363
	řádek [N]	158	403	161
po 6. praní	sloupek [N]	213	543	351
	řádek [N]	163	423	180

Tab. č. 12 Tažnost před a po praní v [%]

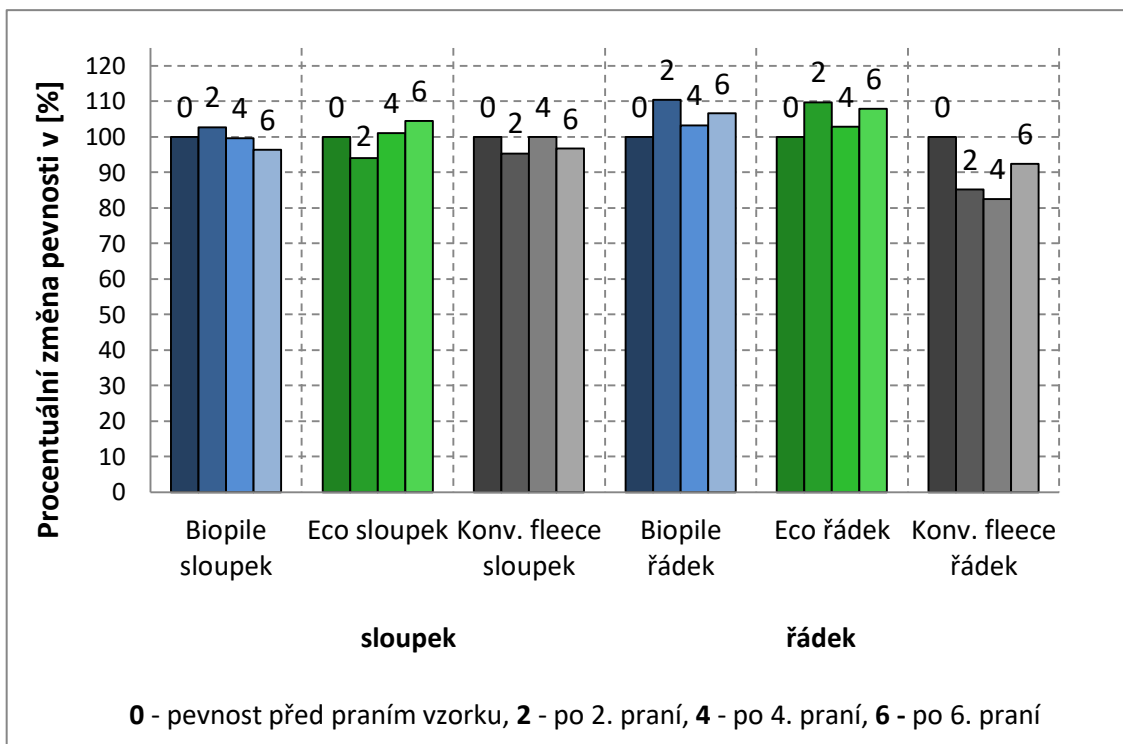
TAŽNOST PO PRANÍ		Biopile	Eco	Konv. fleece
před praním	sloupek [%]	161	82	63
	řádek [%]	317	145	183
po 2. praní	sloupek [%]	170	77	67
	řádek [%]	308	151	149
po 4. praní	sloupek [%]	169	85	64
	řádek [%]	312	141	142
po 6. praní	sloupek [%]	167	82	64
	řádek [%]	306	141	145



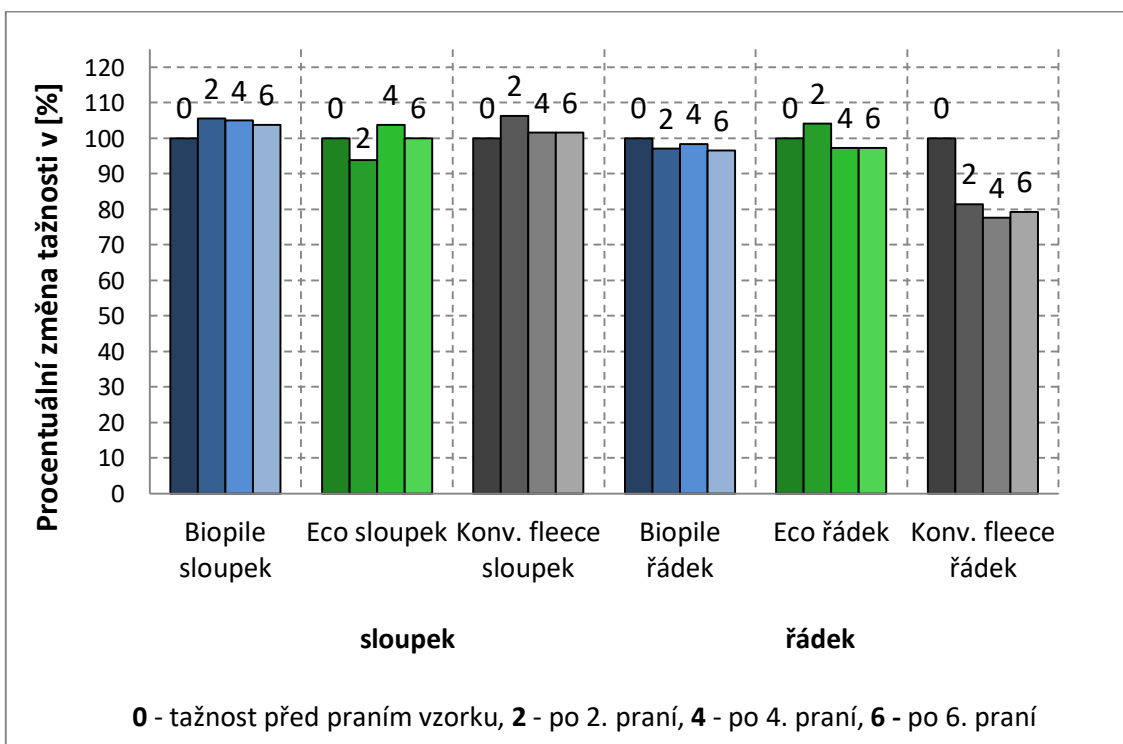
Obr. č. 19 Pevnost vzorků po sloupku a řádku v [N], před praním a po 2., 4. a 6. pracím cyklu



Obr. č. 20 Tažnost vzorků po sloupku a řádku v [%], před praním a po 2., 4. a 6. pracím cyklu



Obr. č. 21 Procentuální změny pevnosti testovaných vzorků v [%], před praním a po 2., 4. a 6. pracím cyklu



Obr. č. 22 Procentuální změny tažnosti testovaných vzorků v [%], před praním a po 2., 4. a 6. pracím cyklu

Variabilita dat, vyjádřená směrodatnou odchylkou a variačním koeficientem je uvedena v příloze 2 – doplnění k experimentální části.

Z obr. č. 21 a obr. č. 22 je patrné, že při měření pevnosti a tažnosti testovaných vzorků po praní, byly zaznamenány poklesy i vzrůsty. Pevnost testovaná po řádku vzorku Biopile, měla podobný průběh, jako pevnost po řádku vzorku Eco. Po 2. praní se u obou vzorků zvýšila pevnost přibližně o 10 %, po 4. praní následoval pokles o 6 %, a následné zvýšení při měření pevnosti po 6. pracím cyklu, přičemž pevnost po 6. praní neklesla pod naměřenou hodnotu nepraných vzorků. Podobný průběh, při měření pevnosti, byl pozorován u sloupku konv. fleecu a sloupku materiálu Eco, a to po 2. praní pokles, po 4. praní vzrůst. Vzrůst u sloupku Eco pokračoval, ale pevnost sloupku konv. fleecu klesla a pokles pevnosti byl srovnatelný se sloupkem mat. Biopile.

Z pohledu dílčího (zvláště na sloupek, zvláště na řádek) při měření pevnosti, vykazovaly větší změny řádky testovaných textilií – u Biopile a konv. fleecu více než dvojnásobně, přičemž u všech testovaných textilií ve směru řádku byly po 2. praní naměřeny větší změny, než u vzorků vypraných 4 krát a 6 krát. Větší změny po 2. pracím cyklu, v porovnání se 4. a 6. pracím cyklem, byly naměřeny i u měření tažnosti, a to u vzorků Biopile a konv. fleecu.

Procentuální změny, při testování Biopile po sloupku, byly do 3,2 %, změny u konvenčního fleecu po sloupku do 5 %.

Při měření pevnosti a tažnosti po praní, měly prací cykly nejmenší vliv, souhrnně (zahrnujeme-li naměřené změny po sloupku a řádku), na vzorky Biopile. Naměřené změny (opět souhrnné) v pevnosti u konv. fleecu byly srovnatelné s materiálem Eco (rozdíl 0,3 %). Při měření tažnosti, po praní, byly největší změny pozorovány u konv. fleecu. Naměřené změny v tažnosti u vzorků Eco se blížily ke konvenčnímu fleecu (rozdíl 5,4 %).

8.4 Test odolnosti v oděru

Zkouška oděru v ploše probíhala na přístroji Martindale. Odpovídající normy pro hodnocení oděru na přístroji Martindale jsou následující:

- ČSN EN ISO 12947-2 (800846) - Textilie - Zjišťování odolnosti plošných textilií v oděru metodou Martindale - Část 2: Zjišťování poškození vzorku
- ČSN EN ISO 12947-3 (800846) - Textilie - Zjišťování odolnosti plošných textilií v oděru metodou Martindale - Část 3: Zjišťování úbytku hmotnosti
- ČSN EN ISO 12947-4 (800846) - Textilie - Zjišťování odolnosti plošných textilií v oděru metodou Martindale - Část 4: Hodnocení změny vzhledu

Charakteristika měřicího zařízení

Laboratorní přístroj M235 Martindale firmy SDL Atlas (obr. č. 23) disponuje čtyřmi oděracími stoly. Je možné nastavit rychlost a počet otáček.



Obr. č. 23 M 235 Martindale

Příprava vzorků a postup měření

Pro zkoušku odolnosti proti oděru, provedenou na přístroji Martindale, byly vystřiženy vzorky kruhového tvaru o průměru 38 mm. Od každého materiálu byly vystřiženy čtyři sady vzorků, přičemž jedna sada obsahovala dva vzorky před praním, dva vzorky po 2., 4., a 6. praní. Jednotlivé vzorky byly uzavřeny do kovových držáků lící stranou dolů, umístěny na pohyblivou desku přístroje a zatíženy závažím o hmotnosti 595 ± 7 g a přitlakem 9 kPa. Na odírací stolky byly upevněny vlněné tkaniny. Vzorek materiálu byl odírán normovanou vlněnou tkaninou, přičemž držáky vzorků upevněné na horní pracovní desce opisovaly tzv. Lissajousův obrazec a zároveň se otáčely kolem vlastní osy. Počítadlo bylo nastaveno na 50 tis. otáček. Zkouška se provádí do přetržení vazného bodu, nebo je sledován úbytek hmotnosti. Úbytek hmotnosti vzorku je vypočítán podle vzorce:

$$U = \frac{m_1 - m_2}{m_1} * 100 [\%]$$

kde:

U..... úbytek hmotnosti v [%]

m_1 původní hmotnost vzorku v [kg]

m_2 hmotnost vzorku po zkoušce v [kg]

Výsledky měření a vyhodnocení zkoušky

V tabulkách č. 9, č. 10, a č. 11, jsou uvedeny hmotnosti vzorků před testováním oděru m_1 , po testování odolnosti proti oděru m_2 a úbytek hmotnosti U.

Tab. č. 13 Úbytek hmotnosti materiálu Biopile, vlivem testu odolnosti proti oděru

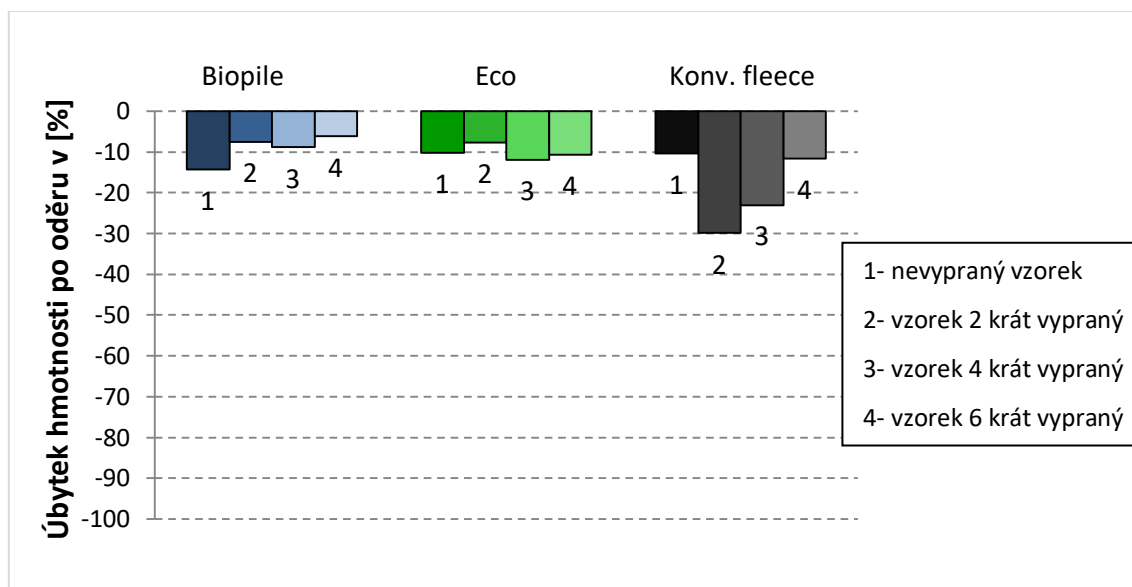
Biopile	m_1 [g]	m_2 [g]	U [%]
před praním	0,415	0,356	14,21
po 2. praní	0,412	0,381	7,52
po 4. praní	0,463	0,422	8,85
po 6. praní	0,452	0,424	6,19

Tab. č. 14 Úbytek hmotnosti materiálu Eco, vlivem testu odolnosti proti oděru

Eco	m ₁ [g]	m ₂ [g]	U [%]
před praním	0,361	0,324	10,24
po 2. praní	0,363	0,335	7,71
po 4. praní	0,368	0,324	11,95
po 6. praní	0,349	0,312	10,60

Tab. č. 15 Úbytek hmotnosti konvenčního fleecu, vlivem testu odolnosti proti oděru

konv. fleece	m ₁ [g]	m ₂ [g]	U [%]
před praním	0,280	0,251	10,35
po 2. praní	0,251	0,176	29,88
po 4. praní	0,252	0,194	23,01
po 6. praní	0,265	0,234	11,69



Obr. č. 24 Grafické znázornění úbytků hmotnosti testovaných vzorků

Doba testování jedné textilie (4 vzorky) při nastavených 50 tis. otáčkách se pohybuje v rámci 3 dní. Vzhledem k časové náročnosti testování nebylo možné čekat a zachytit přesně přetržení 1. vazného bodu u vzorků před praním a po 2., 4., 6. praní a nebylo tedy zjištěno, jestli přetržení vazného bodu u stejného materiálu nastane dříve u praných

vzorků, nebo nepraných, s výjimkou materiálu Biopile. Testování bylo zaměřeno na úbytky hmotnosti vzorků.

U vzorků Biopile, byl největší úbytek hmotnosti zaznamenán před práním a to přibližně o 14 %. Úbytek hmotnosti u dalších testovaných vzorků Biopile po 2., 4. a 6. praní nepřekročil 9 %. U vzorků Biopile, které nebyly vystaveny pracím cyklům, bylo pozorováno přetržení několika vazných bodů a několik vytažených vláken v celé ploše vzorku, což je zobrazeno na obr. č. 25. První přetržení vazných bodů bylo pozorováno po zkontrolování vzorku po 25 tis. otáčkách. Vzorek Biopile po 2. pracím cyklu vystavený oděru, měl na zkoušené ploše několik přetržených vazných bodů a několik vytažených vláken. Přetržení vazných bodů bylo zpozorováno po kontrole po 30 tis. otáčkách. Po 50 tis. otáčkách vzorky materiálu Biopile, které byly před zkoušením 4krát a 6krát vyprány, nevykazovaly žádné přetržení vazného bodu. Zkoušená plocha u těchto vzorků byla vyhlazena, což mohlo být příčinou srážení textilie po 6. praní. Nenormovaným postupem byla zjištěna změna rozměrů materiálu Biopile, a to o -7 až -9 % ve směru sloupku a o -4 % ve směru řádku, čímž se mohla pórozita textilie zmenšit (prostory mezi vlákny).

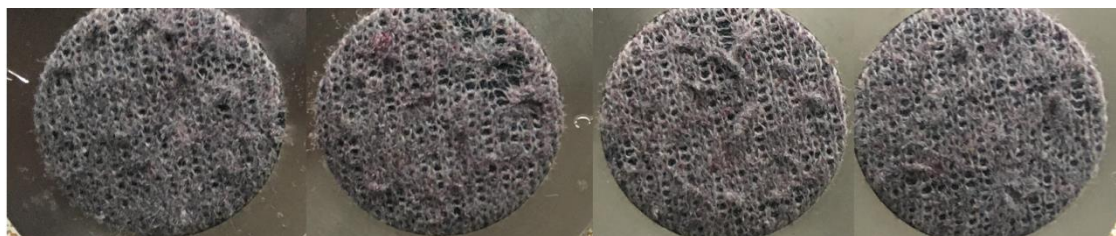
U vzorku Eco, který nebyl vypraný, byl zaznamenán úbytek hmotnosti přibližně 10 %. Vzorek, který byl vypraný 2 krát, odolával oděru nejvíce (úbytek hmotnosti 7,7 %). U zbývajících vzorků po 4. a 6. praní byl úbytek hmotnosti podobný jako u vzorku před práním. Co se týče vizuální stránky vzorků, po 30 tis. otáčkách se na povrchu začaly tvořit žmolky. U všech testovaných vzorků Eco byly na povrchu vytvořeny žmolky a u všech bylo pozorováno deformování vazných bodů.

Konvenční fleece odolával oděru z testovaných vzorků nejhůře. Na povrchu vzorků byly viditelné vytažené nitě a žmolky po kontrole po 10 tis. otáčkách. Hmotnost nevypraného vzorku byla o 10 % menší, podobně jako u vzorku Eco. Hmotnost vzorku 2 krát vypraného, byla přibližně o 30 % menší, oproti původní hmotnosti před oděrem, což mohlo být způsobené špatným uchycením vzorku v kovovém držáku, které pravděpodobně zapříčinilo utrnutí části okraje vzorku (viz obr. č. 27). Test bylo vhodné zopakovat, ale vzhledem k vládním opatřením, to nastala situace neumožnila. U vzorku vypraného 4 krát byl úbytek hmotnosti menší (o 23 %) oproti vzorku po 2. praní a po 6. praní byl úbytek v porovnání s vypranými vzorky nejmenší (11,6 %). Konvenční fleece byl oboustranně počesaný. Po oděru byly na povrchu vytvořeny žmolky a vazba pleteniny byla zřetelně viditelná, (zobrazeno na obr. č. 27). Původní

černá barva vzorku byla v místě, kde je vzorek odírán, šedá a zapuštěná do podkladové pěny, která se dává mezi vzorek a kovový držák. Nejméně odhalená vazba byla u vzorku, který byl 6 krát vypraný.



Obr. č. 25 Vzorky Biopile po 50 tis. otáčkách zleva: před praním, po 2. praní, po 4. praní



Obr. č. 26 Vzorky Eco po 42 tis. otáčkách



Obr. č. 27 Vzorky konv. fleecu, po oděru zleva nevypraný vzorek, 2 krát, 4 krát a 6 krát vypraný vzorek

8.5 Zkouška stálosti ve vybarvení po praní a po UV záření

Stálobarevnost plošných textilií po praní odpovídá normě ČSN EN ISO 105-C06 metoda A1S pro praní při 40°C.

Stálobarevnost po vlivu UV byla hodnocena podle

- ČSN EN ISO 105-B01 (800132) Textilie - Zkoušky stálobarevnosti - Část B01: Stálobarevnost na světle: denním
- ČSN EN 20105-A02 (800119) Textilie. Zkoušky stálobarevnosti. Část A02: Šedá stupnice pro hodnocení změny odstínu (ISO 105-A02:1993), která udává pětistupňovou šedou stupnici vhodnou pro vyhodnocení změny odstínu, nebo rozšířenou devítistupňovou šedou stupnici, která obsahuje i půlstupňové hodnoty.

Příprava vzorků a postup měření

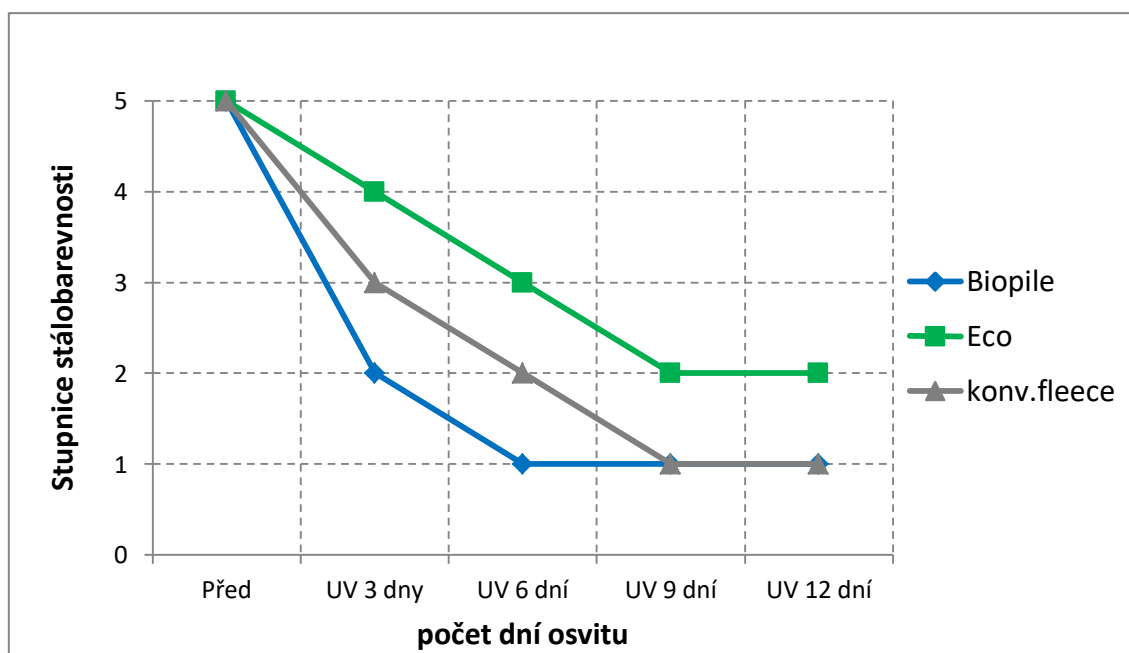
Vzorky vystavené UV záření byly hodnoceny po každém intervalu osvitů, tedy po 3, 6, 9 a 12 dnech, podle pětistupňové šedé stupnice, přičemž každý stupeň vyjadřoval změnu barevného odstínu. Stupeň 1 označoval největší změnu barevného odstínu, stupeň 5 označoval barevný odstín beze změny. Vzorky, které byly hodnoceny po praní, byly vyprány při teplotě 40 °C a usušeny v rozprostřeném stavu.

Při hodnocení byly vzorky (po UV záření i po praní) rozloženy na rovné ploše. Sada se šedou stupnicí obsahovala pomocnou destičku s čtvercovým otvorem, stejně velkým, jako vzorky šedé stupnice, aby vyhodnocení změny barevného odstínu nebylo kvůli rozdílné velikosti hodnocených vzorků zkreslené. Čtvercový výřez v destičce byl přiložen na vzorek půl na půl osvětlený/neosvětlený, popř. vypraný/nevypraný. Hodnocení změny barevného odstínu proběhlo při denním světle.

Vyhodnocení zkoušky a výsledky měření

Tab. č. 16 Hodnocení stálobarevnosti textilií po osvitě UV a po praní

	Biopile	Eco	Konv. fleece
Před	5	5	5
po praní	5	5	5
UV 3 dny	2	4	3
UV 6 dní	1	3	2
UV 9 dní	1	2	1
UV 12 dní	1	2	1



Obr. č. 28 Grafické znázornění bodového hodnocení stálobarevnosti vzorků osvětlených UV zářením

Po praní nebyla u testovaných vzorků pozorována žádná změna barevného odstínu, proto byly testované materiály ohodnoceny stupněm 5 a data nebyla zanesena do grafu.

Všechny vzorky po expozici UV záření jeví změny barevných odstínů, jak je uvedeno v tab. č. 16. V porovnání s ostatními materiály odolal nejlépe materiál Eco, se změnou odstínu, po 3 dnech expozice, o 1 stupeň. V další ozařovací fázi (6 dní), byl snížen barevný odstín materiálu Eco o další 1 stupeň. Snížení o 1 stupeň následovalo i po 9 dnech a další změna odstínu pozorována nebyla.

Naopak největší změna odstínu byla hodnocena u materiálu Biopile, kterému byl po 3 denní expozici přidělen stupeň 2. Po 6 dnech expozice byl materiál Biopile ohodnocen stupněm 1 a stejné hodnocení bylo materiálu přiděleno i po dalších dnech expozice.

Konv. fleece byl hodnocen po 3. denním osvětlování stupněm 3. U dalšího hodnocení následovala ztráta barevného odstínu o další 1 stupeň. Stupeň 1 šedé stupnice byl přidělen konv. fleecu po 9 denní expozici v zařízení UVCon.

8.6 Měření prodyšnosti

Podstatou zkoušky je měření rychlosti průtoku vzduchu, procházejícího kolmo na plochu materiálu, při stanoveném tlakovém spádu. Měření probíhalo na přístroji SDL M021S, a zkoušena byla lícní strana materiálu Biopile, Eco a konvenčního fleecu.

Vzorek vložen na kruhový držák lícem nahoru simuluje odolnost vůči pronikání větru z okolního prostředí. Vzorek upnutý do držáku lícem dolů simuluje prodyšnost směrem od organismu do okolního prostředí.

Měření prodyšnosti odpovídá normě ČSN EN ISO 9237 (80 0817).

Charakteristika měřícího zařízení

Přístroj SDL M021S zaznamenává rychlost proudu vzduchu v $[\text{ml}\cdot\text{s}^{-1}]$ na jednotku plochy plošné textilie při zvoleném tlaku. Součástí přístroje je vakuové čerpadlo, díky kterému je nasáván vzduch přes měřený vzorek plošné textilie. Průtok vzduchu je regulován ventily. Hodnota průtoku vzduchu je odečítána na stupnici jednoho ze čtyř průtokoměrů. Rozsah průtokoměrů je od $0,1 - 400 [\text{ml}\cdot\text{s}^{-1}]$.



Obr. č. 29 SDL M021S

Příprava vzorků a postup měření

Pro měření prodyšnosti byly připraveny dva **vzorky** od každého materiálu, obsahující jiné nitě po sloupku a jiné nitě po řádku, o velikosti **31x31cm**^(pozn.9). Jeden vzorek materiálu byl proměřen na pěti různých místech. Jednotlivé vzorky byly postupně upnuty do **kruhového držáku s otvorem o ploše 20 cm²**, tak aby se zajistilo upnutí vzorků bez deformace. Aby se zabránilo průniku vzduchu přes kraje materiálu, byl použit ochranný prstenec, jako doplňující pomůcka k upínacímu zařízení. Vzhledem k charakteristice materiálu bylo nutné seřadit **tlakový spád na 5 Pa**, protože přístroj není tak výkonný, aby se mohl použít tlakový spád 100 Pa, jak požadovala norma. Průtok vzduchu byl regulován ventilem průtokoměru a pedálem byl odsáván procházející vzduch. Po ustálení podmínek byla na průtokoměru odečtena hodnota průtoku vzduchu v [ml.s⁻¹]. Z jednotlivých měření byl vypočítán aritmetický průměr. Následně bylo nutné provést přepočítání průtoku vzduchu $\overline{q\overline{v}}$ naměřeném v [ml.s⁻¹] na průtok vzduchu $\overline{q\overline{v}}$ v [l.m⁻¹] a dosadit do vzorce Prodyšnost R. [68]

Výsledky měření a vyhodnocení zkoušky

Prodyšnost R, vyjádřená v [mm/s] byla vypočítána podle vzorce, dle cit. [68]:

$$R = \frac{\overline{q\overline{v}}}{A} * 167 \text{ [mm/s]}$$

kde:

$\overline{q\overline{v}}$ průměrná rychlost průtoku vzduchu [l/min]

A..... použitá zkušební plocha v [cm²]

167..... přepočítávací faktor

Příklad výpočtu prodyšnosti R u materiálu Biopile:

$$R = \frac{1,47 \text{ [l/min]}}{20 \text{ [cm}^2\text{]}} * 167$$

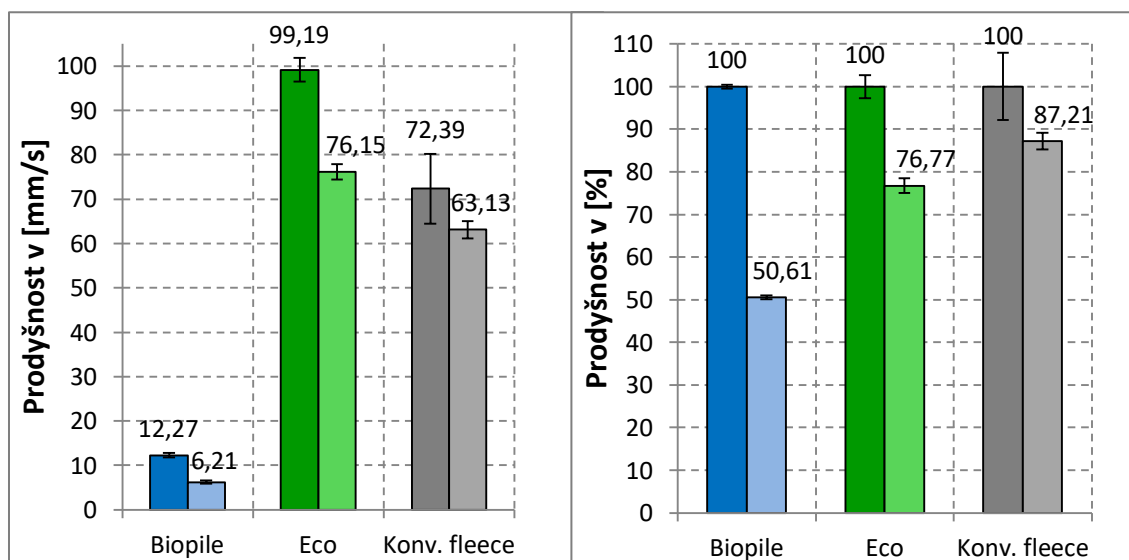
$$R = 12,27 \text{ [mm/s]}$$

Ostatní výpočty probíhaly obdobně.

⁹ Velikost vzorku je omezena pouze velikostí kruhového držáku.

Tab. č. 17 Naměřená prodyšnost u jednotlivých textilií

	Prodyšnost [$\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$]	
	před	po 6. praní
Biopile	12,27	6,21
Eco	99,19	76,15
Konv. fleece	72,39	63,13



Obr. č. 30 Grafické znázornění prodyšnosti před a po 6. praní, vlevo v [$\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$], vpravo v [%]

Z tab. č. 17 je patrné, že nejvyšší naměřená prodyšnost byla u materiálu Eco s hodnotou 99,19 [$\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$]. Nejnižší prodyšnost byla naměřena u materiálu Biopile. U všech měřených vzorků byl po 6. pracím cyklu zaznamenán pokles prodyšnosti, což je znázorněno na obr. č. 30. Vlivem praní klesla prodyšnost u vzorku Biopile přibližně o 50%. U materiálu Eco byl zaznamenán pokles prodyšnosti o 23 %. Konvenční fleece byl vůči praní nejodolnější a pokles prodyšnosti byl o 13 %. Prodyšnost závisí na struktuře textilie. Nicméně struktura se vlivem praní může změnit, což může mít vliv na naměřenou prodyšnost. Normovaně nebylo možné změřit změnu rozměrů jednotlivých textilních materiálů po praní, z důvodu malého množství materiál, ale vzhledem k procentuálním změnám byly vyprány nenormované velikosti vzorků a z nich byla změřena změna rozměrů po 6. praní. Největší změna rozměrů byla u Biopile a to po 6. praní o -7 až -9% po sloupku a po řádku o -4 %, což byla největší naměřená

změna rozměrů v porovnání s materiály Eco (po sloupku o -3%, po řádku o -1%) a konv. fleecem (po sloupku beze změny, po řádku 2 %).

8.7 Měření tepelného a výparného odporu

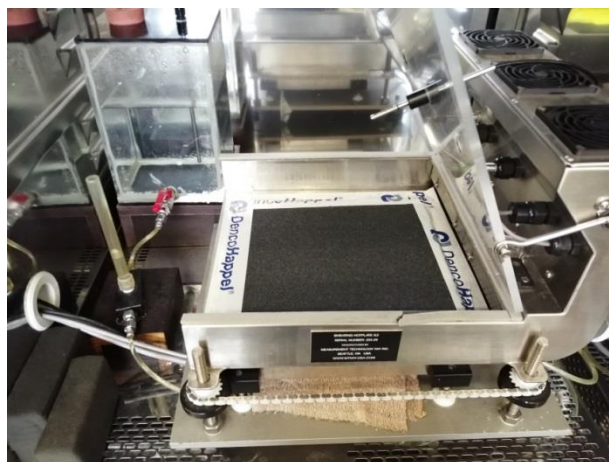
Tepelný a výparný odpor se řadí mezi veličiny termo-fyziologického komfortu textilií.

Tepelný odpor je definován jako rozdíl teplot mezi dvěma plochami zkušební vzorku dělený tepelným tokem na jednotku plochy.

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

Charakteristika měřícího zařízení

Zkouška proběhla na přístroji Sweating Guarded Hotplate (SGHP), tzv. Skin model, který byl vložen do klimakomory. Na přístroji byla měřena tepelná odolnost a odolnost vůči vodním parám. Přístroj je navržen tak, aby simuloval teplotu lidské kůže, na kterou byla položena plošná textilie, a klimatická komora simulovala teplotu a vlhkost okolního prostředí. Pro měření výparného odporu byla porézní deskou přiváděna voda pod měřený vzorek. Součástí přístroje je počítač, kde byly zvoleny parametry měření, monitorován průběh měření a uložena data z měření.



Obr. č. 31 Sweating Graduate Hotplate

Příprava vzorků a postup měření

Pro měření na Skin modelu byly připraveny vzorky o velikosti 31 x 31 cm. Pro zkoušku odolnosti vůči vodním parám byla na porézní desku přiložena navlhčená membrána tak, aby vzorek nenavlhkl před samotným měřením, vyhlazena, a na membránu byl položen vzorek rubní stranou dolů. Membrána pod měřeným vzorkem propouštěla vodní páry - tím byla simulována funkce pocení. Obojí bylo upevněno pomocí pásek k vyhřívané desce a zakryto víkem. Teplota měřicí desky byla nastavena na $35 \pm 0,5$ °C, relativní vlhkost vzduchu v klimatické komoře byla nastavena na 40 %. Porézní deskou byla přiváděna voda dávkovacím zařízením pod membránu, která propouštěla vodní páru, která následně prostupovala měřeným vzorkem. Kolem vzorku proudil vzduch o rychlosti 1 m/s. Tepelný příkon zajišťoval ustálenou teplotu vyhřívané desky.

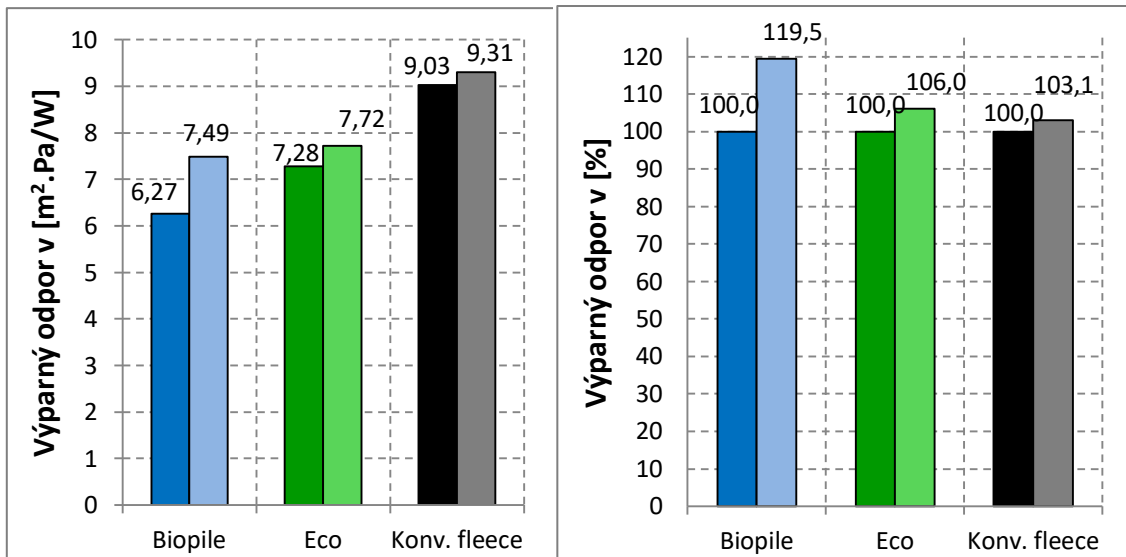
Pro měření tepelného odporu byl vzorek upevněn na měřicí desku bez membrány, bez přívodu vody. Teplota vyhřívané desky byla nastavena na $35 \pm 0,5$ °C, teplota okolního prostředí v klimatické komoře byla $21 \pm 0,5$ °C, relativní vlhkost vzduchu dosahovala 65 ± 4 %. Vzorek byl ochlazován z lící strany přívodem vzduchu o rychlosti 1 m/s.

Výsledky měření byly zaznamenávány počítačem.

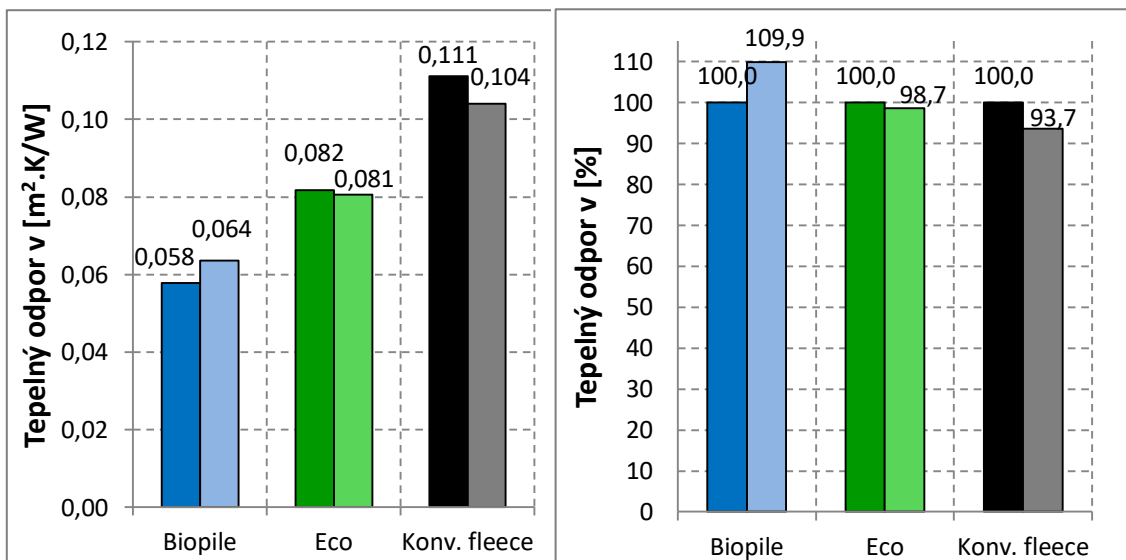
Výsledky měření a vyhodnocení zkoušky

Tab. č. 18 Naměřené hodnoty výparného a tepelného odporu

	Výparný odpor R_{et} [m ² .Pa/W]		Tepelný odpor R_{ct} [m ² .K/W]	
	Před	po 6. Praní	před	po 6. Praní
Biopile	6,2667	7,486	0,0578	0,0635
Eco	7,2809	7,7199	0,0817	0,0806
Konv. fleece	9,0286	9,306	0,1111	0,1041



Obr. č. 32 Výparný odpor testovaných vzorků vpravo v [m².Pa/W], vlevo v [%]



Obr. č. 33 Tepelný odpor vlevo v [m².Pa/W], vpravo v [%]

Čím je hodnota výparného odporu nižší, tím menší odpor klade materiál při prostupu vodní páry. Materiál Biopile je ze všech měřených materiálů nejvíce paropropustný. U všech materiálů byla před jejich vypráním naměřena hodnota paropropustnosti R_{et} od 6,27 - 9,03 [m².Pa/W]. Podle tab. č. 2, v teoretické části, se všechny tři materiály zařadily do kategorie „dobrá paropropustnost“, ve které jsou materiály vhodné na výrobu oděvů pro rychlou chůzi. Vlivem praní se schopnost prostupu vodní páry zhoršila u všech testovaných vzorků. Nejvíce u vzorku Biopile, a to o 19 %, nejméně se hodnota paropropustnosti změnila u konvenčního fleecu a to o 3 %.[67]

Tepelný odpor je odpor, který klade materiál při průchodu tepla. Čím vyšší je hodnota tepelného odporu, tím vyšší odpor klade materiál při průchodu tepla. Vyšší hodnota znamená, že teplo textilií prochází pomaleji.

Nejnižší hodnota tepelné odolnosti u měřených vzorků byla naměřena u vzorku Biopile. Nejvyšší naměřená hodnota byla zaznamenána u konvenčního fleecu, což by mohlo být zapříčiněné tloušťkou plošné textilie, která byla ze všech tří materiálů právě u konv. fleecu nejvyšší, nebo oboustranným počesáním pleteniny.

Vlivem praní se tepelný odpor zvýšil u vzorku Biopile o přibližně 10 %, u vzorku Eco se tepelný odpor snížil o 1,3 % a snížení bylo naměřeno i u konv. fleecu, a to o 6,3 %.

8.8 Měření tepelné vodivosti a tepelné jímavosti

Součinitel měrné tepelné vodivosti i tepelná jímavost jsou jedny z vlastností, které jsou ukazatelem tepelně izolačních vlastností. Měření proběhlo na přístroji C-Therm TCi. Odpovídající norma pro měření těchto parametrů je ASTM D 7984-16.

Charakteristika měřícího zařízení

Přístroj Thermal conductivity analyzer C-Therm (TCi) je analyzátor pro měření tepelné jímavosti a tepelné vodivosti. Laboratorní přístroj zaznamenává elektrické napětí mezi senzorem a měřeným vzorkem. Přístroj je připojen k notebooku.



Obr. č. 34 Thermal conductivity analyzer C-Therm

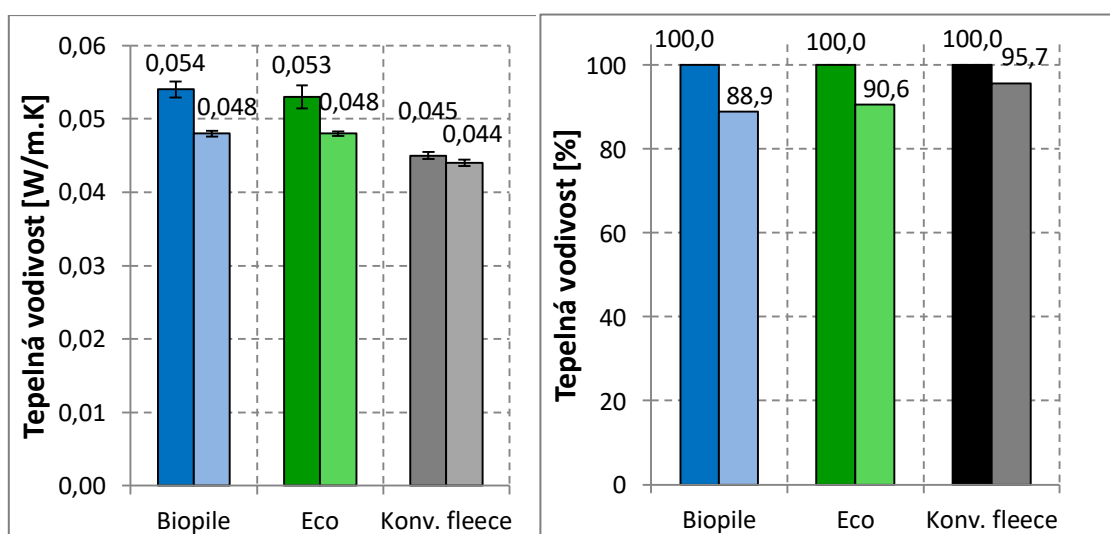
Příprava vzorků a postup měření

Vzorky materiálu musely být dostatečně velké, aby překryly snímací zařízení (v průměru asi 2 cm). Po zapnutí přístroje a připojeného notebooku, byla spuštěna TCi aplikace, kde byla zvolena testovací metoda se skupinou materiálů „foams“, dle zkušeností laboranta. Vzorek materiálu byl položen na snímač a na něj byla položena izolace v podobě polystyrenu. Vše bylo zatíženo závažím o hmotnosti 500 g, což odpovídalo přítlaku 3,9 kPa. Mezi snímač a vzorek materiálu byl přiváděn elektrický proud, který zahříval vzorek. Zkoumána byla změna teploty a elektrického napětí mezi snímačem a vzorkem, které byly počítačem vyhodnoceny a převedeny na měřené veličiny. Výsledky měření byly zaznamenány automaticky.

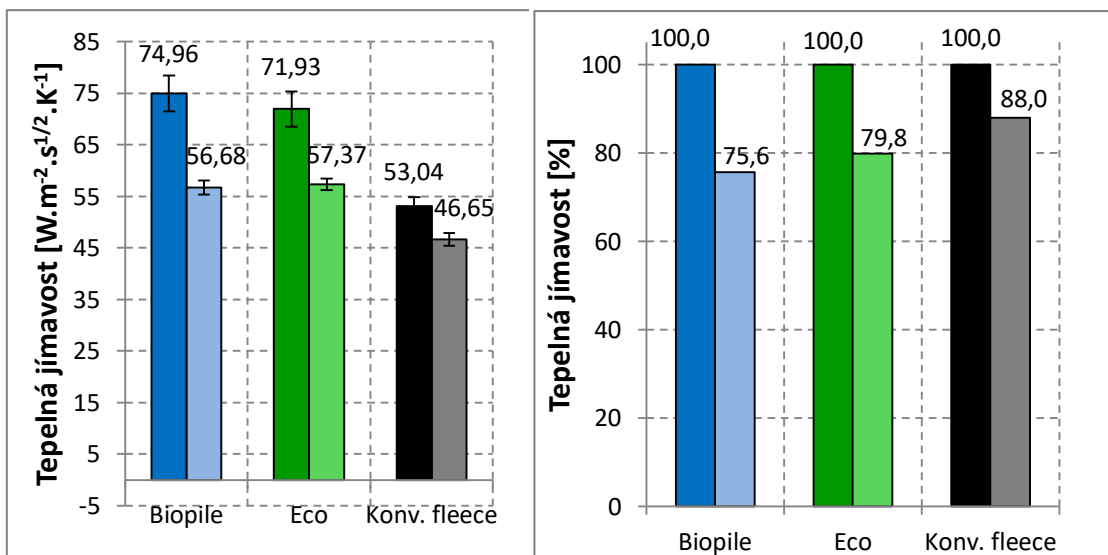
Výsledky měření a vyhodnocení zkoušky

Tab. č. 19 Naměřená tepelná vodivost a tepelná jímavost

	Tepelná vodivost [W/m.K]		Tepelná jímavost [W.m ⁻² .s ^{1/2} .K ⁻¹]	
	před	po 6. praní	před	po 6. praní
Biopile	0,054	0,048	74,96	56,68
Eco	0,053	0,048	71,93	57,37
Konv. fleece	0,046	0,044	53,04	46,65



Obr. č. 35 Tepelná vodivost testovaných vzorků vlevo v [W/m.K], vpravo v [%]



Obr. č. 36 Tepelná jímavost testovaných vzorků vlevo v [$\text{W.m}^{-2}.\text{s}^{1/2}.\text{K}^{-1}$], vpravo v [%]

Tab. č. 19 ukazuje naměřené rozdíly mezi vypranými a nepranými vzorky. U všech měřených materiálů byla hodnota tepelné vodivosti naměřena do 0,1 [W/m.K], což by znamenalo jejich zařazení mezi tepelné izolátory, jak bylo uvedeno v teoretické části bakalářské práce. [69] [70]

Po prání se snížila tepelná vodivost u všech testovaných textilií. U vzorku Biopile bylo snížení tepelné vodivosti o 11 %, u vzorku Eco o 9% a u konv. fleecu o více než 4 %.

Tepelná jímavost vypovídá o tepelném omaku materiálu, jak materiál přijímá, ale i uvolňuje teplo. Čím nižší je hodnota tepelné jímavosti, tím méně plošná textilie přijímá a uvolňuje teplo. Vyšší tepelná jímavost znamená, že textilie pohlcují teplo. Jako chladnější jsou pocíťovány materiály, u kterých je naměřena hodnota tepelné jímavosti vyšší. [69] [70]

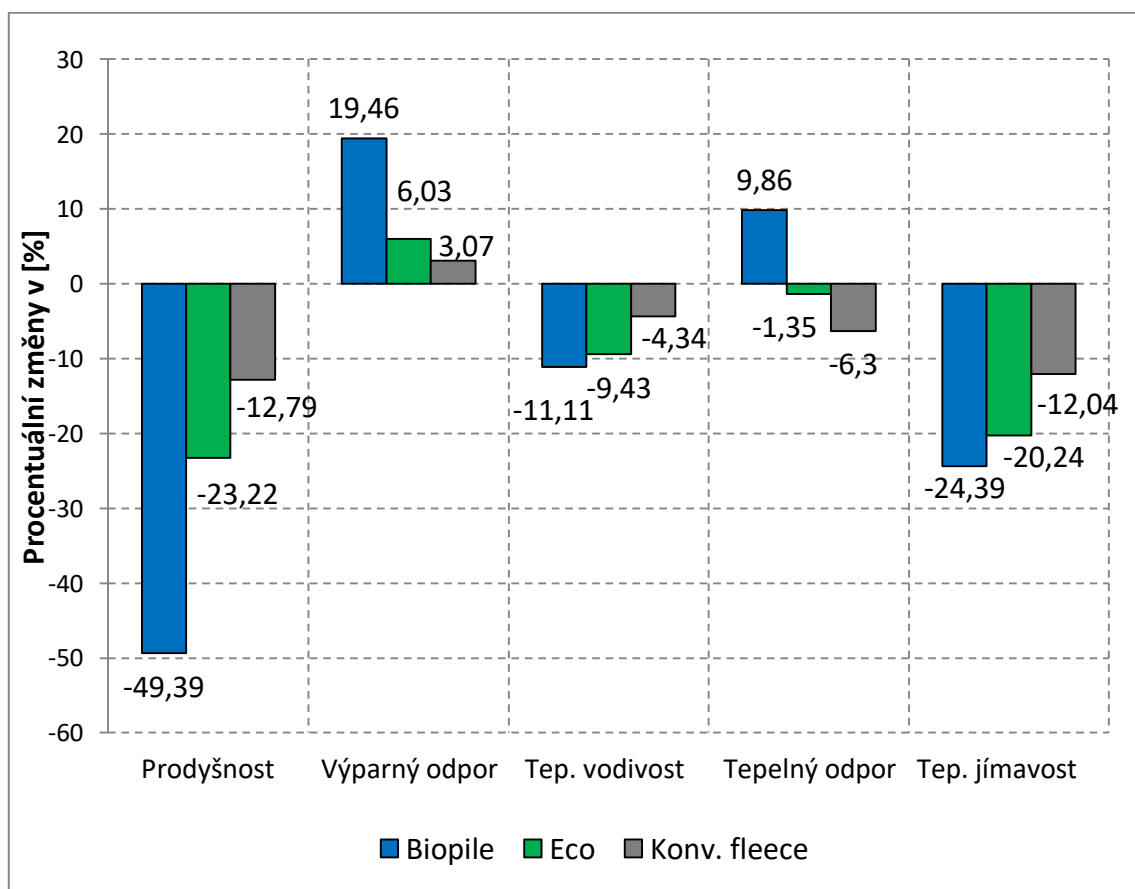
U materiálu Biopile byla naměřena průměrná hodnota tepelné jímavosti nejvyšší ze všech tří testovaných materiálů, což by mohlo být kvůli obsahu lyocelových vláken (dle výrobce 57 %), které mají chladnější omak.

U konv. fleecu byla naměřena průměrná hodnota tepelné jímavosti i tepelné vodivosti nejnižší, což by mohlo být způsobené oboustranným počesáním pleteniny. Po 6. prání byla tepelná jímavost snížena u všech testovaných vzorků (viz tab. č. 19). U konvenčního fleecu byla naměřena nejnižší změna schopnosti přijímat a vydávat teplo a to o 12 %. U vzorku Biopile bylo naměřeno snížení hodnoty tepelné jímavosti přibližně o 24 %, u vzorku Eco bylo snížení o 20 %.

Souhrnné vyhodnocení vlastností určující fyziologický komfort

Tab. č. 20 Souhrnné vyhodnocení vlastností určujících fyziologický komfort

	Biopile		Eco		Konv. fleece	
	před	6.praní	před	6.praní	před	6.praní
Prodyšnost [mm.s ⁻¹]	12,27	6,21	99,19	76,15	72,39	63,13
Výparný odpor [m ² .Pa/W]	6,267	7,486	7,281	7,720	9,029	9,306
Tepelná vodivost [W/m.K]	0,054	0,048	0,053	0,048	0,046	0,044
Tepelný odpor [m ² .K/W]	0,0578	0,0635	0,0817	0,0806	0,1111	0,1041
Tepelná jímavost [W.m ⁻² .s ^{1/2} .K ⁻¹]	74,96	56,68	71,93	57,37	53,04	46,65



Změny naměřených hodnot před a po praní, u vlastností určujících fyziologický komfort, mohly být zapříčiněné změnou struktury textilií (prostory mezi sloupky a řádky se mohly zmenšit, mohla se zvýšit chlupatost přízí), sražením testovaných textilií vlivem pracích cyklů. Z toho důvodu byla zjištěna změna rozměrů po 6. praní u nenormovaných velikostí vzorků. Vzorek Biopile vykazoval změnu rozměrů po 6. praní o -7 až -9% po sloupku a po řádku o -4 %, což byla největší naměřená změna rozměrů v porovnání s materiály Eco (po sloupku o -3%, po řádku o -1%) a konv. fleecem (po sloupku beze změny, po řádku 2 %).

Při testování vlastností určující fyziologický komfort, mělo praní největší vliv na materiál Biopile. Praním se snížila prodyšnost textilie Biopile přibližně o polovinu, snížila se schopnost propouštět vodní páry o 19,5 %. Tepelná vodivost materiálu byla naměřena nižší o 11 % a tepelný odpor vyšší o přibližně 10 %. Hodnota tepelné jímavosti vzorku Biopile byla naměřena o 24 % nižší.

V porovnání s testovanými vzorky, mělo praní nejmenší vliv na konvenční fleece. Prodyšnost se snížila o 12 %, hodnota výparného odporu se zvýšila o 3 %. Z tab. č. 20, je patrné, že se tepelný odpor snížil o 6 %, což by mělo znamenat, že se hodnota tepelné vodivosti zvýší. Nicméně měření tepelné vodivosti a tepelné jímavosti u vzorků po praní, bylo provedeno za jiných klimatických podmínek, což mohlo měření ovlivnit. Jiným důvodem, proč byla hodnota tepelné vodivosti u vzorků Eco a konvenčního fleecu nižší, ačkoliv hodnota tepelného odporu se rovněž snížila, mohl být jiný princip měření¹⁰ tepelného odporu a tepelné vodivosti, což je popsáno v postupu měření u jednotlivých zkoušek.

¹⁰ Měření tepelného a výparného odporu bylo provedeno na SGHP (Skin model), měření tepelné vodivosti a tepelné jímavosti bylo provedeno na přístroji C-Therm Tci.

8.9 Kompostování

Protože vzorek Biopile obsahoval tencellová vlákna, která jsou propagovaná jako biodegradabilní, podle cit. č. [76] bylo provedeno jeho umístění do kompostu.

Příprava vzorků

Vzorky textilie Biopile (neprané a neosvícené UV zářením), byly vystřiženy do tvaru obdelníku, dle cit. [76], o velikosti 10x16 cm, zváženy, a zašity do polyesterové síťoviny, s velikostí ok 2 mm, polyesterovou nití a bavlněnou podkladovou nití. Připravené vzorky v síťovině byly připevněny k rámu.

Kompostovací zařízení a postup

Kompostárna disponovala organickým hnojivem z biodpadu (ovoce a zeleniny). Rám s připevněnou textilií byl vložen do kompostu do hloubky přibližně 0,5 m.

V průběhu kompostování byl kompost provzdušňován, jednalo se o aerobní proces. Průměrná teplota kompostu byla 56 °C. Materiál byl vytažen po 90 dnech, vzorky byly promyty destilovanou vodou, usušeny a zváženy.

Výsledky měření a vyhodnocení zkoušky

Vyhodnocení zkoušky proběhlo číselně. Úbytek hmotnosti vzorku byl vypočítán podle vzorce:

$$U = \frac{m_1 - m_2}{m_1} * 100 [\%]$$

kde:

U..... úbytek hmotnosti v [%]

m₁..... původní hmotnost vzorku v [kg]

m₂..... hmotnost vzorku po zkoušce v [kg]

Tab. č. 21 Úbytek hmotnosti vzorků Biopile vlivem kompostování

	m₁ [g]	m₂ [g]	U [%]
Biopile 1	5,25	4,92	6,29
Biopile 2	5,29	4,93	6,81
Biopile 3	5,25	5,12	2,54

Na obr. č. 37, umístěném na následující straně, lze vidět, jak během opakovaného promývání vzorku Biopile destilovanou vodou, byla voda zbarvena, a z materiálu se do nádoby s destilovanou vodou uvolnila mikrovlákna. Po promytí vzorku stejného materiálu, který nebyl vložen do kompostu, byla nádoba s destilovanou vodou čirá a mikrovlákna v ní byla v menším množství.

Vzhledem k procentuálnímu množství úbytku hmotnosti kompostovaných vzorků je možné, že za dobu kompostování se z materiálu vyluhovala aditiva [5]. Norma stanovuje složení kompostu a dobu kompostování, což mohlo výsledný úbytek hmotnosti ovlivnit. Nicméně na to, aby byla bavlněná nit, která byla všita okolo materiálu degradována, byly podmínky dostatečné. Je tedy možné, že úbytek hmotnosti by byl větší, pokud by se jednalo o menší velikost vzorku, ale protože má textilie porézní strukturu, nemělo by to mít velký vliv, jako např. u plastových výrobků, u kterých je tloušťka vzorků důležitá.

Aby se mohla prokázat biodegradace materiálu, musely by se vzorky podrobit infračervené spektrometrii, nebo jinak porovnat fyzikálně-chemické vlastnosti vzorku se vzorkem nezasaženým rozkladem.



Obr. č. 37 Zleva: nádoba s destilovanou vodou po promytí NEkompostovaného vzorku, nádoba s destilovanou vodou po promytí kompostovaného vzorku, nádoba se zředěnou destilovanou vodou po promytí kompostovaného vzorku

9 DISKUZE VÝSLEDKŮ

Mezi faktory ovlivňující užité vlastnosti, které byly testovány v rámci experimentální části BP, patří materiálové složení a struktura textilií. Struktura textilií se vlivem praní mohla změnit. Vzhledem ke změnám naměřených hodnot před a po praní, které jsou diskutované v kapitolách výsledky měření a vyhodnocení, u jednotlivých testovacích zkoušek, mohlo být příčinou právě sražení jednotlivých textilií, a proto byla zjištěna změna rozměrů po 6. praní u nenormovaných velikostí vzorků, z důvodu malého množství materiálu. Vzorek Biopile vykazoval změnu rozměrů po 6. praní o -7 až -9 % po sloupku a po řádku o -4 %, což byla největší naměřená změna rozměrů v porovnání s materiálem Eco (po sloupku o -3%, po řádku o -1 %) a s konvenčním fleecem (po sloupku beze změny, po řádku -2 %).

Sražení textilie vlivem praní mohlo být příčinou při testování odolnosti v oděru, kdy byl u vzorků Biopile zaznamenán úbytek hmotnosti před praním přibližně 2 krát větší, než u vzorků po praní. Nejmenší zaznamenaná změna rozměrů po praní byla u konvenčního fleecu, což by mohlo být důvodem, proč u konvenčního fleecu byl úbytek hmotnosti, po testu odolnosti v oděru, největší. Praním se mohla jednotlivá vlákna uvolnit, jak je obecně známo u fleecových materiálů, a protože byla odírána počesaná strana, odolnost proti oděru byla nižší, než u vzorku Biopile a Eco, u kterých byla odírána rovněž lící strana textilie, ale nepočesaná. Lze konstatovat, že materiál Biopile odolal oděru nejlépe z testovaných textilií.

Při hodnocení stálobarevnosti po praní se odstín materiálů Biopile, Eco a konvenčního fleecu nezměnil tak, aby byl okem postřehnutelný. Hodnocení proběhlo na denním světle. Při hodnocení stálobarevnosti po UV záření, byly změny viditelné už po 3 dnech osvitů¹¹ v zařízení UVCon. Materiál Biopile byl hodnocen nejnižším stupněm šedé stupnice¹² po 6 dnech osvitů, konvenční fleec byl stupněm 1 hodnocen po 9. dni osvitů. Materiál Eco odolával UV záření nejdéle – po 12 dnech osvitů byl hodnocen stupněm 2 šedé stupnice.

Dle cit. [80] vyvolává absorbované UV záření chemické změny, které se projevují např. na povrchu ozařované plochy změnou barevného odstínu. Polyestery absorbují záření o vlnové délce 315 – 325 nm, což u nich vyvolává největší degradaci.

¹¹ 3 dny osvitů textilie UV zářením teoreticky odpovídají nepřetržitému nošení mikiny v prosinci, nebo v lednu v ČR, 6 dní odpovídá nepřetržitému nošení v únoru, 9 dní – nepřetržitě nošení v říjnu, 12 dní nepřetržitě nošení v březnu. Předpoklad vychází z cit. [17] a je rozveden v teoretické části.

¹² Šedá stupnice použita k hodnocení obsahovala 5 bodů, přičemž 1 - největší změna, 5 – beze změny.

U testování vlastností určující fyziologický komfort (při testování prodyšnosti, tepelného a výparného odporu, tepelné vodivosti a tepelné jímavosti), byly naměřeny největší procentuální změny u vzorků Biopile. U vzorků Biopile byla naměřena prodyšnost po 6. praní o 50 % nižší, než před vlivem praní, což mohlo být způsobeno sražením textilie, které bylo z testovaných vzorků největší. U materiálu Biopile se snížila schopnost propouštět vodní páry o 19,4 %. Hodnota tepelné jímavosti byla naměřena o 24 % nižší, hodnota tepelné vodivosti se snížila o 11 %, v porovnání s hodnotou naměřenou před praním. Tepelný odpor textilie Biopile byl naměřen vyšší o přibližně 10 % oproti nepranému vzorku.

Nejmenší vliv mělo praní při testování vlastností určujících fyziologický komfort (vyjma tepelného odporu) na konvenční fleece. Prodyšnost se u konvenčního fleecu po 6. praní snížila o 12 %, což je v porovnání s materiálem Biopile 4krát menší změna. Propustnost textilie pro vodní páry se snížila o 3 %. Tepelná jímavost konvenčního fleecu byla snížena po praní o 12 %, tedy o polovinu méně, než byla vlivem praní snížena hodnota tep. jímavosti u materiálu Biopile. Tepelný odpor měřený u konvenčního fleecu se vlivem pracích cyklů snížil o 6 %, což by mělo znamenat, že se hodnota tepelné vodivosti zvýší. Nicméně laboratorní měření tepelné vodivosti a tepelné jímavosti u vzorků po praní, bylo provedeno v místnosti s jinými klimatickými podmínkami (s vyšší teplotou o přibližně 5°C), oproti měření vzorků před praním, což mohlo naměřené hodnoty nepříznivě ovlivnit. Jiným důvodem, proč byla hodnota tepelné vodivosti u vzorků Eco a konvenčního fleecu nižší, ačkoliv hodnota tepelného odporu se rovněž snížila, mohl být jiný princip měření¹³ tepelného odporu a tepelné vodivosti, což je popsáno v postupu měření u jednotlivých zkoušek. Měření by mělo být zopakováno, nicméně současná situace, nařízení a opatření vlády, to neumožnila.

Co se týče vzorku Eco, prodyšnost se snížila o 23 %, což je v porovnání se vzorkem Biopile 2krát méně a v porovnání s konvenčním fleecem 2krát více. Při měření výparného odporu vzorku Eco bylo naměřeno zvýšení o 6 %, což značí, že se paropropustnost textilie snížila. V porovnání s konvenčním fleecem byla změna hodnoty výparného odporu 2krát více a v porovnání s vypraným vzorkem Biopile byla hodnota výparného odporu trojnásobně menší.

Jak již bylo napsáno výše v této kapitole, na textilií Biopile mělo praní největší vliv při testování vlastností určujících fyziologický komfort, na konvenční fleece mělo praní

¹³ Měření tepelného a výparného odporu bylo provedeno na SGHP (Skin model), měření tepelné vodivosti a tepelné jímavosti bylo provedeno na přístroji C-Therm Tci.

nejmenší vliv. Důvodem naměřených změn po 6. praní u jednotlivých vzorků, mohlo být sražení textilie, které bylo nenormovaně změřeno. Sražení bylo největší u textilie Biopile, nejmenší změnu rozměrů vykazoval konvenční fleece.

Při měření pevnosti a tažnosti textilií po vlivu praní, měly prací cykly nejmenší vliv, souhrnně (zahrnujeme-li naměřené změny po sloupku a řádku), na vzorky Biopile. Naměřené změny v pevnosti a tažnosti u konvenčního fleecu byly srovnatelné s materiálem Eco. Při měření tažnosti po vlivu praní, byly největší změny pozorovány u konvenčního fleecu. Podrobnější zhodnocení je uvedeno v kapitole 0 (Měření pevnosti a tažnosti).

Při měření pevnosti a tažnosti textilií po osvitě UV zářením, mělo ultrafialové záření největší vliv, souhrnně (zahrnujeme-li naměřené změny po sloupku a řádku), na vzorky Biopile. Při měření pevnosti nejvíce odolával UV záření materiál Eco. Naměřené změny v pevnosti u konvenčního fleecu se blížily k materiálu Biopile. Při měření tažnosti, po osvitě UV, byly nejmenší změny pozorovány u konvenčního fleecu. Podrobnější zhodnocení se nachází v kapitole 0 (Měření pevnosti a tažnosti).

Při statistickém zpracování naměřených dat z testování pevnosti po UV záření, byla variabilita vyjádřena prostřednictvím variačního koeficientu, u materiálu Biopile od 1,4 % do 11 %, u materiálu Eco od 0,44 % do 4,7 %, u konvenčního fleecu od 2,12 % do 13 %. Podobně tomu bylo i u pevnosti po praní. Pro statisticky věrohodné výsledky by bylo vhodné otestovat větší množství vzorků, které bohužel nebylo k dispozici. Textilní materiály byly použity k testování estetických vlastností a vlastností zajišťujících fyziologický komfort. Nicméně vysoká variabilita plošné textilie může značit nestejněměrné chování. U materiálu Biopile a konvenčního fleecu, byl variační koeficient před osvitěm a praním okolo 8 % (Biopile po sloupku 8,4 % a po řádku 9,3 %, konvenční fleece po sloupku 7,5 %, po řádku 8,1 %) a směrodatná odchylka u Biopile po sloupku 18,5 N, po řádku 14,2 N, u konvenčního fleecu byla po sloupku 27,4 N a po řádku 15,8 N. To by mohlo znamenat, že plošné textilie už před osvitěm, nebo údržbou vykazovaly nestejněměrnost, což se mohlo projevit i při měření pevnosti po praní a po osvitě UV zářením. Podrobnější informace o směrodatných odchylkách a variačních koeficientech u jednotlivých měření, jsou uvedeny v příloze 2 – doplnění k experimentální části.

Při testování pevnosti a tažnosti jednotlivých vzorků po osvitě UV zářením, mohl mít vliv na změnu pevnosti a tažnosti i parametr teploty. Průměrná teplota v zařízení UVCon byla okolo 50°C, přičemž vzorky byly v zařízení 3, 6, 9 a 12 dní. Je tedy

možné, že dlouhodobým působením zvýšené teploty se textilie mohly srazit, a tím se u nich mohla zvýšit pevnost a tažnost, což by mohlo být vysvětlením i pro změny pevnosti a tažnosti textilií po praní.

V rámci experimentu této bakalářské práce byly vzorky textilie Biopile (protože textilie obsahovala podíl biodegradabilních vláken) zašity do síťoviny a zakopány do kompostu, v období od ledna do dubna 2020. Po 90 dnech byly vzorky vytaženy a byl spočítán úbytek hmotnosti. Vzorky vykazovaly úbytek hmotnosti od 2 do 6 %. Vzhledem k nízkému úbytku hmotnosti, by biodegradace musela být prokázána v dalším testování.

Vzhledem k časovým možnostem experimentu BP, množství laboratorních měření i časově náročných měření (např. při testu odolnosti v oděru trvá otestování jedné sady vzorků přibližně 3 dny), a mimořádným vládním opatřením, nebylo možné zopakovat potřebné testy v laboratořích a ověřit teorie, což mohlo ovlivnit výsledky jednotlivých zkoušek.

ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo navrhnout a realizovat experiment hodnocení užitných vlastností polyesterových textilií s podílem biodegradabilních vláken a polyesterových textilií s podílem vláken z recyklovaných zdrojů s důrazem na porovnání s tradičními polyesterovými textiliemi se shodným účelem použití.

V dnešní době je kladen důraz na ekologii a životní prostředí, což se vztahuje i na textilní průmysl. Z toho důvodu byl v teoretické části bakalářské práce zpracován marketingový průzkum trhu s polyesterovými textiliemi, se zaměřením především na biodegradabilní textilní materiály. Textilie z recyklovaných zdrojů již byly podrobně zpracovány v bakalářské práci Voběrkové, B., viz. cit. [6]. Z dostupných zdrojů bylo zjištěno, že největší uplatnění biodegradabilních polymerů (co se týče textilního zpracování) je ve zdravotnictví, nejvíce produkovaným biodegradabilním polyesterem je kyselina polymléčná, přičemž největším výrobcem zmíněného polyesteru je společnost NatureWorks.

Z teoretické části dále vyplývá, že na trhu jsou k dostání, kromě tradičních polyesterových a recyklovaných textilií, i textilie biodegradabilní. Nicméně biodegradabilní polyesterové textilie, ve srovnání s recyklovanými a panenskými, jsou produkovány v menším množství. V rámci jednoho podniku se standardně nezpracovává panenský polyester, recyklovaný polyester a biodegradabilní polyester.

Vzhledem k tomu, že nebylo možné v rámci jednoho podniku vyrobit definovaný výplet, mají testované vzorky různou strukturu i materiálové složení. Z toho důvodu nebylo možné porovnávat textilie mezi sebou, ale sledovat jejich vývojový trend po totožných simulacích stárnutí nebo simulacích užívání.

Také bylo zjištěno, že umělé stárnutí materiálu je běžně simulováno UV zářením, přičemž byla vypočtena doba osvětlení testovaných materiálů UV zářením v zařízení UVCon ze vzorce pro výpočet dávky ozáření potřebné k dezinfekci vody a na základě dat z projektu EuroSun.

Záměrem experimentální části bylo otestovat textilií Biopile s podílem biodegradabilních vláken, a porovnat ji s podobným typem textilií, a to s materiálem Eco, jako zástupcem polyesteru z recyklovaných zdrojů a s konvenčním fleecem, jako zástupcem tradiční polyesterové textilie. Všechny tři testované textilie obsahovaly polyester a byly určeny na výrobu 2. oděvní vrstvy - mikiny.

Experiment hodnocení užitečných vlastností byl navržen tak, aby byly otestovány trvanlivostní vlastnosti (pevnost v tahu, tažnost, test odolnosti v oděru), estetické vlastnosti (stálobarevnost) a vlastnosti zajišťující fyziologický komfort (prodyšnost, tepelný a výparný odpor, tep. jímavost a tep. vodivost). Testování proběhlo v laboratořích TUL, na katedře oděvnictví.

Při měření vlastností určujících fyziologický komfort byl prokázán podobný vývoj u všech testovaných materiálů po vlivu údržby (vyjma tepelného odporu u Biopile, což je diskutováno v kapitole 0 Souhrnné vyhodnocení vlastností určujících fyziologický komfort), přičemž největší změny v testování prodyšnosti, tepelného odporu, tepelné jímavosti i tepelné vodivosti byly naměřeny u materiálu Biopile, nejmenší změny u konvenčního fleecu.

Při hodnocení stálobarevnosti byly prokázány klesající trendy testovaných materiálů po osvětlení UV zářením. Nejhuře hodnoceným materiálem byl Biopile, nejdéle odolával materiál Eco.

Při testu odolnosti v oděru byl vývojový trend podobný u materiálu Biopile a Eco, přičemž nejlépe odolával oděru materiál Biopile. Největší vliv měl oděr na konvenční fleecu.

Při měření pevnosti a tažnosti, po praní, měly prací cykly nejmenší vliv na vzorky Biopile. Naměřené změny v pevnosti a tažnosti u konvenčního fleecu byly srovnatelné s materiálem Eco. Při měření tažnosti po praní, byly největší změny pozorovány u konvenčního fleecu.

Při testování vzorků Eco a konvenčního fleecu, byl po osvětlení UV záření zaznamenán pokles i vzrůst pevnosti, přičemž průběh trendového vývoje u materiálu Eco byl mírnější, v porovnání s konvenčním fleecem. Nicméně při statistickém zpracování pevnosti u konv. fleecu byla naměřena vysoce variabilní data, vyjádřená variačním koeficientem a směrodatnou odchylkou (hodnoty uvedeny v příloze 2 – doplnění k experimentální části), a tak nelze statisticky věrohodně prezentovat pokles pevnosti po UV záření a následný vzrůst.

Při měření pevnosti a tažnosti po osvětlení UV záření, mělo ultrafialové záření největší vliv na vzorky Biopile. Při měření pevnosti nejvíce odolával UV záření materiál Eco. Naměřené změny v pevnosti u konvenčního fleecu se blížily k materiálu Biopile. Při měření tažnosti, po osvětlení UV, byly nejmenší změny pozorovány u konvenčního fleecu.

Jak již bylo zmíněno, některé výsledky z měření pevnosti po osvětlení UV záření i po praní vykazovaly vysokou variabilitu, která byla vyjádřena variačním koeficientem a směrodatnou odchylkou. Příčina těchto výsledků může být v odebrání vzorků z plošné textilie s ohledem na co největší výtěžnost tak, aby materiály mohly být podrobeny testování i v dalších zkouškách určujících užité vlastnosti. Pro statisticky věrohodné zpracování výsledků by bylo nutné proměřit větší množství materiálů. Nicméně je možné i vysvětlení v neregulárnosti materiálu již z výroby, což mohou dokládat naměřená data před simulací stárnutí vlivem UV záření a před vlivem praní. Neregulárnost materiálu by mohla být příčinou vysoké variability při měření pevnosti a tažnosti i po vlivu UV záření a po vlivu praní.

Testování by bylo vhodné zopakovat. Bohužel kvůli omezenému množství materiálu a zavedených vládních opatření, při zpracování bakalářské práce v jejím závěru, to nebylo možné.

Závěrem lze konstatovat, že vliv praní a vliv UV záření působily na materiál Biopile (s podílem biodegradabilních vláken), na materiál Eco (jako na zástupce polyesterové textilie z recyklovaných zdrojů) a na konvenční fleec (jako na zástupce klasického polyesteru) s rozdílnou účinností. Ačkoliv Biopile v porovnání s Eco a konvenčním fleecem, vykazoval největší změny při hodnocení estetických vlastností a vlastností určujících fyziologický komfort, současným trendem je udržitelnost a ochrana životního prostředí, a tak je třeba, ze strany výrobců, usilovat o optimalizaci užitečných vlastností biodegradabilních textilií a snažit se o plnohodnotné začlenění biodegradabilních textilních materiálů na tuzemský i zahraniční trh.

V marketingovém průzkumu trhu s biodegradabilními polyesterami je očekáván růst produkce v následujících letech, a je tedy možné, že biodegradabilní materiály budou dostupnější. V budoucím výzkumu by bylo přínosem opatřit k testování užitečných vlastností textilií ze 100 % biodegradabilního materiálu a porovnat ji s textilií ze 100 % recyklovaného polyesteru a textilií ze 100 % panenských polyesterových vláken.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] VYBÍRALOVÁ, Kateřina. *Dynamicko-mechanická analýza syntetických vláken po isotermní krystalizaci (fixaci)*. Liberec, 2004. Diplomová práce. Technická univerzita v Liberci.
- [2] CONCA, James. Making Climate Change Fashionable - The Garment Industry Takes On Global Warming. *Forbes*. [online]. Dec 3, 2015. [cit. dne 4.5.2020]. Dostupné z: <https://www.forbes.com/sites/jamesconca/2015/12/03/making-climate-change-fashionable-the-garment-industry-takes-on-global-warming/#5b26792279e4>
- [3] TRÍDĚNÍODPADU.CZ. *JAK SE RECYKLUJE TEXTIL*. Odpady, tříděníodpadu.cz [online]. 2007-2020. [cit. 4.5.2020]. Dostupné z: <https://www.trideniodpadu.cz/jak-se-recykluje-textil>
- [4] Textile Exchange, Creating Material Change. *Preferred Fiber & Material. Market Report 2019*. [online] ©2020 Textile Exchange. [cit. 2.2.2020] Dostupné z : https://store.textileexchange.org/wp-content/uploads/woocommerce_uploads/2019/11/Textile-Exchange_Prefered-Fiber-Material-Market-Report_2019.pdf
- [5] KROISOVÁ, Dora. *Biodegradovatelné polymery - úvod do problematiky*. 1. vyd. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2009. ISBN 978-80-7372-468-9
- [6] VOBĚRKOVÁ, Barbora. *Porovnání trvanlivostních vlastností pes materiálů vyrobených klasickým způsobem a z recyklovaných PET zdrojů*. Liberec, 2015. Bakalářská práce. Technická Univerzita v Liberci.
- [7] HORÁKOVÁ, Dana. Bioremediace. Elportál. Brno: Masarykova Univerzita, Přírodovědecká fakulta, Ústav experimentální biologie, 2007. ISSN 1802 128X.
- [8] KŘEMENÁKOVÁ D., MILITKÝ J., MISHRA R., *Pokročilé materiály pro bariérové a funkční vlákenné systémy*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2013. ISBN 978-80-7494-030-9.
- [9] ČERVENÁ K., LYČKOVÁ B., KUČEROVÁ L., BOUCHALOVÁ M., BARABÁŠOVÁ T., *Biologické metody zpracování*. Multimediální učební texty, VŠB -TU Ostrava, [online]. Ostrava. [cit. 18.8.2019]. Dostupné z: <http://hgf10.vsb.cz/546/bmzo/pages/index.html>
- [10] SIEGENTHALER K.O., KÜNKEL A., SKUPIN G., YAMAMOTO M., *Ecoflex® and Ecovio®: Biodegradable, Performance-Enabling Plastics. Synthetic Biodegradable Polymers. Advances in Polymer Science*. [online] Springer, Berlin, Heidelberg 2010, vol 245. [cit. 2.9.2019] Online ISBN 978-3-642-27154-0
- [11] KOUTNÝ, Marek. *Biodegradace polymerů a polymerních materiálů: Biodegradation of polymers and polymeric materials : teze přednášky k profesorskému jmenovacímu řízení v oboru Chemie a technologie životního prostředí*. Brno: VUTIUM, 2014. ISBN 978-80-214-5085-1.

- [12] JAYASEKARA, Ranjith, Ian HARDING, Ian BOWATER a Greg LONERGAN. *Biodegradability of a Selected Range of Polymers and Polymer Blends and Standard Methods for Assessment of Biodegradation. Journal of Polymers and the Environment* [online]. 2005, 13(3), 231-251 [cit. 2.3.2020]. DOI: 10.1007/s10924-005-4758-2. ISSN 1566-2543. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s10924-005-4758-2>
- [13] Velký lékařský slovník On-Line. Výrazy od a. Asimilace. Velký lékařský slovník On-Line [online]. Maxdorf 1998 [cit. 20.9.2019]. Dostupné z: <http://lekarske.slovníky.cz/lexikon-pojem/asimilace-3>
- [14] ŠERÁ, Jana. *Studium biotické a abiotické degradace polyesterů s využitím molekulárně biologických metod*. Zlín, 2018. Disertační práce. Univerzita Tomáše Bati, fakulta technologická.
- [15] MILITKÝ, Jiří. *Textilní vlákna: klasická a speciální*. 2. vyd.. V Liberci: Technická univerzita, 2012. ISBN 978-80-7372-844-1
- [16] KOLESKE, J.V. editor. *Paint and coating testing manual*, 14. edition of the gardner-sward handbook, ASTM Manual Series: MNL 17, ASTM. 1995 American Society of Testing and Materials, Library of congress Cataloging in publication data, Philadelphia. Publication Code Number (PCN) 28-017095-14 including bibliographical references and index ISBN 0-8031-2060-5
- [17] Results, UV Maps, Root - EUROSUN Project. [online]. R2010-2011 iPRI [cit. 21.05.2020]. Dostupné z: <http://www.eurosun-project.org/UV-Maps/Results.html>
- [18] Jíří Beneš, Dezinfekce vody UV zářením, DISA v.o.s., ITT WEDECO, pro SZÚ 2006. [online]. [cit. 26.1.2020]. Dostupné z: <http://www.szu.cz/uploads/documents/chzp/voda/pdf/dezinf/benes.pdf>
- [19] SOMMER, R., CABAJ, A., HIRSCHMANN, G., Dezinfekce pitné vody UV zářením. MORAVSKÁ VODÁRENSKÁ, [online]. Klinický institut hygieny university Vídeň, Institut lékařské fyziky a biostatistiky veterinárně lékařské university Vídeň Rakouské výzkumné středisko ARSENAL RESEARCH. [cit. 25.1.2020]. Dostupné z: <https://www.smv.cz/res/archive/013/001611.pdf>
- [20] Vliv UV záření na textilní materiály, LANEX a.s. [online]. 2016 [cit. 15.3.2020]. Dostupné z: <http://www.lanex.cz/vliv-uv-zareni-na-textilni-materialy>
- [21] LUCAS, N., BIENAIME, CH., BELLOY, CH., QUENEUDEC, M., SILVESTRE, F., NAVA-SAUCEDO, J.E. *Polymer biodegradation: Mechanisms and estimation techniques: Mechanisms and estimation techniques. Chemosphere*. [online]. 2008, 73(4), 429-442 [cit. 19.4.2019]. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2008.06.064. ISSN 00456535. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0045653508008333>

- [22] GODAR, Dianne E. *UV Doses Worldwide*†. Photochemistry and Photobiology [online]. 2005, 81 (4), [cit. 23.5.2020]. DOI: 10.1111/j.1751-1097.2005.tb01438.x. ISSN 00318655. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1751-1097.2005.tb01438.x>
- [23] DUCHÁČEK, V. *Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. 2. vyd., přeprac. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2006. ISBN 80-7080-617-6.
- [24] KROSCSWITZ, J. I., MARK, H.F.. *Encyclopedia of polymer science and technology*. 3rd ed. Hoboken: Wiley-Interscience, 2003. ISBN 0-471-28781-4.
- [25] Bioplastics market development update 2019. European Bioplastics e.V..14. European bioplastics conference [online]. European Bioplastics e.V., 2019, Berlin. [cit. 19.3.2020]. Dostupné z: https://www.european-bioplastics.org/wp-content/uploads/2019/11/Report_Bioplastics-Market-Data_2019_short_version.pdf
- [26] RUDNIK, E. *Compostable polymers materials*. 2nd edition, Elsevier, 2019, eBook ISBN: 9780080994420
- [27] POLYBIOSKIN – High performance functional bio-based polymers for skin-contact products in biomedical, cosmetic and sanitary industry [online]. [cit. 9.4.2020]. Dostupné z: <http://polybioskin.eu/>
- [28] Společenské výzvy, Dotace EU. Dotace z EU na klíč [online]. 2020 [cit. 9.4.2020]. Dostupné z: <https://www.dotacni.info/spolecenske-vyzvy/>
- [29] Ministerstvo průmyslu a obchodu, Zadávací dokumentace 1. veřejné soutěže v programu CFF vyhlášené MPO, Příloha I.4, Priority aplikačních odvětví identifikované RIS3 strategií ČR a hodnocené v 1. veřejné soutěži programu CFF, , [online]. [cit. 8.4.2020]. Dostupné z https://www.mpo.cz/assets/cz/podnikani/podpora-vyzkumu-a-vyvoje/2019/11/CFF-PP3_1-VS_ZD_Pr-I-4_aplikacni-odvetvi-RIS3.pdf
- [30] MarketWatch: Stock Market News - Financial News – MarketWatch. [online]. 2020 MarketWatch, Inc. [cit. 5.4.2020]. Dostupné z: https://www.marketwatch.com/press-release/polytrimethylene-terephthalate-bioplastic-textiles-ercros-sa-basf-se-and-natureworks-llc-2020-04-17?mod=mw_quote_news
- [31] MUTHU, S.S., GARDETTI, M.A. *Sustainability in the Textile and Apparel Industries*. 1 vyd. [online] 2020, Springer International Publishing. Springer Nature Switzerland AG. [cit. 4.3.2020] Edition Number 1, DOI:10.1007/978-3-030-38532-3
- [32] DA SILVA, D., KADURI, M., POLEY, M., ADIR, O., KRINSKY, N., SHAINSKY-ROITMAN, J., SCHROEDER, A. *Biocompatibility, biodegradation and excretion of polylactic acid (PLA) in medical implants and theranostic systems. Chemical Engineering Journal* [online]. 2018, 340, 9-14 [cit. 12.3.2020]. DOI: 10.1016/j.cej.2018.01.010. ISSN 13858947. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S138589471830010X>

- [33] Radici podepsala licenční smlouvu na výrobu a prodej vláken značky Ingeo pro oblast Evropy. Protex - PR služby ČTK. [online]. 2011 [cit. 9.4.2020]. Dostupné z: <http://www.protex.cz/zprava.php?id=4718>
- [34] PRADHAN, R., MISRA, M., ERICKSON, L., MOHANTY, A. *Compostability and biodegradation study of PLA–wheat straw and PLA–soy straw based green composites in simulated composting bioreactor*. Elsevier.[online]. Elsevier Ltd. 2010. [cit. 8.4.2020] Doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.06.053> Dostupné z: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852410010345?casa_token=jfCLTs6KXfwAAAAA:xzsYfpMF5RcABZrzO6FGY7giOHKb48VcSkyEynpiykHmzLq6QN3DI2NoS4APGqdYa3UzBqW03w#bib1
- [35] KOTHARI, V.R. 01 *Application of contemporary fibres in apparels - Ingeo*. Academia.edu - Share research [online]. 2020 [cit. 28.2.2020]. Dostupné z: https://www.academia.edu/12875194/01_Application_of_contemporary_fibres_in_apparels_-_Ingeo
- [36] THANGAVELU, K., SUBRAMANI, K.B. Sustainable Biopolymer Fibers—Production, Properties and Applications. MUTHU, Subramanian Senthilkannan a Miguel Angel GARDETTI, ed. Sustainable Fibres for Fashion Industry [online]. Singapore: Springer Singapore, 2016, 2016-03-24, s. 109-140 [cit. 2020-05-05]. Environmental Footprints and Eco-design of Products and Processes. DOI: 10.1007/978-981-10-0522-0_5. ISBN 978-981-10-0520-6. Dostupné z: http://link.springer.com/10.1007/978-981-10-0522-0_5
- [37] Dissolving stitches made with Tephaflex monofilament fiber. Home - Tephaflex Medical Devices [online]. Copyright © 2018 Tephaflex Inc. All Rights Reserved [cit. 9.1.2020]. Dostupné z: <https://www.tephaflex.com/products/monofilament-suture/>
- [38] Trevira at Techtextil 2019 - Bio-based News -. Bio-based News - [online]. Carlos Manuel Salgado Costa, Ltd [cit. 10.1.2020]. Dostupné z: <http://news.bio-based.eu/trevira-at-techtextil-2019/>
- [39] ECOMACO. History - How to create future clothing [online]. 2020, Oka Masako Design Office [cit. 3.3.2020]. Dostupné z: <https://www.ecomaco.com/english/future.php>
- [40] NatureWorks. Landscape and Agriculture. NatureWorks - Home [online]. 2020 [cit. 14.1.2020]. Dostupné z: <https://www.natureworksllc.com/Ingeo-in-Use/Landscape-and-Agriculture>
- [41] NatureWorks. Food & Beverage Packaging. NatureWorks - Home [online]. 2020 [cit. 18.1.2020]. Dostupné z: <https://www.natureworksllc.com/Ingeo-in-Use/Food-and-Beverage-Packaging>

- [42] MIRAFTAB M., HORROCKS A.R., *Ecotextiles: the way forward for sustainable development in textiles*, 1. vyd., Boca Raton: CRC Press, 2007. Woodhead Publishing in textiles. ISBN 978-1-84569-214-8.
- [43] MUTHU, S.S., ed. *Environmental Footprints of Recycled Polyester* [online]. Singapore: Springer Singapore, 2020 [cit. 7.3.2020]. Textile Science and Clothing Technology. DOI: 10.1007/978-981-13-9578-9. ISBN 978-981-13-9577-2.
- [44] TOYOBO. ECHORCLUB. *Today PET bottles can be made into clothes*. [online] Japan. TOYOBO. [cit. 4.4.2020]. Dostupné z: <https://www.toyobo-global.com/seihin/pj/echo/>
- [45] Recycled Polyethylene Terephthalate Market. Industry Report, 2027. Market Research Reports & Consulting. Grand View Research, Inc. [online]. 2020 Grand View Research, Inc. [cit. 16.3.2020]. Dostupné z: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/recycled-polyethylene-terephthalate-pet-market>
- [46] Coastal and Marine Recycled Plastic Textiles. Bionic. [online]. 2019 [cit. 29.3.2020]. Dostupné z: <https://www.bionicyarn.com/>
- [47] REPREVE. Sustainable. Certifiable. Recycled. High-quality performance fiber. [online]. Unifi, Inc., 2020. UNIFI [cit. 12.3.2020]. Dostupné z: <https://repreve.com/>
- [48] NORRIS, Lucy. Waste, dirt and desire: Fashioning narratives of material regeneration. The Sociological Review [online]. 2019, 67(4), 886-907 [cit. 4.4.2020]. DOI: 10.1177/0038026119854273. ISSN 0038-0261. Dostupné z: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0038026119854273>
- [49] Brands, Recycled Products Made With REPREVE®. REPREVE®. Sustainable. Certifiable. Recycled. High-quality performance fiber. [online]. Unifi, Inc., 2020. UNIFI [cit. 10.1.2020]. Dostupné z: <https://repreve.com/brands>
- [50] Adidas ha venduto 6 milioni di scarpe fatte di plastica sottratta dagli oceani - GreenMe.it. [online]. 2020 greenMe. Tutti i diritti riservati. Partita IVA [cit. 10.2.2020]. Dostupné z: <https://www.greenme.it/consumare/mode-e-abbigliamento/scarpe-adidas-salvano-oceani/>
- [51] Geotextilie NETEX polyester recyklovaný 500 g JUTA. Nonstopstavebniny.cz. Vše pro Váš domov na jednom místě [online]. 2013 NONSTOPSTAVEBNINY [cit. 14.2.2020]. Dostupné z: <https://www.nonstopstavebniny.cz/18884-geotextilie-netex-polyester-recyklovany-500-g-juta.html>
- [52] Ledvinka z recyklovaného polyesteru, HOUSE, XO933-99X. [online]. [cit. 14.2.2020]. Dostupné z: <https://www.housebrand.com/cz/cz/xo933-99x/recycled-polyester-bum-bag>

- [53] SARIOĞLU, E., KAYNAK., H.K. *PET Bottle Recycling for Sustainable Textiles*. CAMLIBEL, ONAR, N., ed. *Polyester - Production, Characterization and Innovative Applications* [online]. InTech, 2018, 2018-03-14 [cit. 19.8.2019]. DOI: 10.5772/intechopen.72589. ISBN 978-953-51-3881-5. Dostupné z: <http://www.intechopen.com/books/polyester-production-characterization-and-innovative-applications/pet-bottle-recycling-for-sustainable-textiles>
- [54] PCR, Recycled Content. Primaloft. Homepage. Primaloft [online]. 2020 [cit. 5.3.2020]. Dostupné z: <https://www.primaloft.com/pcr/>
- [55] Recover. Upcycled textil system. [online]. 2018 Hilaturas Ferre S.A. [cit. 27.9.2020]. Dostupné z: <https://www.recovertext.com/>
- [56] HRABCOVÁ, P. *Hodnocení užitných vlastností sportovních oděvů*. Liberec, 2010. Diplomová práce. Technická univerzita v Liberci.
- [57] WISZCZOROVÁ, Z. *Vedení a průchod tepla vrstvou oděvního výrobku a návrh optimálního řešení vybraného oděvního výrobku nošeného v chladném nebo teplém prostředí*. Prostějov, 2006. Bakalářská práce. Technická univerzita v Liberci.
- [58] ČSN EN 12280-2. *Textilie povrstvené pryží nebo plasty - Urychlení zkoušek stárnutí - Část 2: Fyzikální stárnutí: účinek světla nebo působení povětrnosti*. Šumperk, Český normalizační institut, 2002. Třídící znak 80 4626.
- [59] ZELOVÁ, K. *1. přednáška: Oděvní materiály- vlastnosti. Výroba oděvů (ODE)*. [prezentace online] 2016 [cit. 7.10.2019]. Dostupné z: https://elearning.tul.cz/pluginfile.php/165839/mod_resource/content/2/ODE_1_LS_2017_OM_vlastnosti_student.pdf
- [60] KUBEČEK, T. *Identifikace mechanických parametrů plošné textilie*. 2013, Liberec. Bakalářská práce. Technická univerzita v Liberci.
- [61] ČSN EN ISO 6330. *Textilie – Postupy domácího praní a sušení pro zkoušení textilií*. Textilní zkušební ústav, Brno. 2012. Třídící znak 80 0821
- [62] Oděry a žmolkování - TZÚ. Textilní zkušební ústav, s.p. [online]. 2016 [cit. 12.11.2019]. Dostupné z: <https://www.tzu.cz/odery-a-zmolkovani>
- [63] TECHNIKOVÁ, L. *Objektivní systém hodnocení žmolkovitosti s využitím metody gradientních polí a prostorové analýzy dat*. Liberec, 2015. Autoreferát disertační práce. Technická univerzita v Liberci.
- [64] Stálobarevnosti - TZÚ. Textilní zkušební ústav, s.p. [online]. 2016 [cit. 16.10.2019]. Dostupné z: <https://www.tzu.cz/stalobarevnosti>
- [65] PAVLÍKOVÁ, J. *Transport vlhkosti u smart textilií pro sportovní oblečení*. Liberec, 2008. Diplomová práce. Technická univerzita v Liberci.

- [66] 9. Termoregulace. Funkce buněk a lidského těla. Multimediální skripta [online]. [cit. 16.10.2019] Dostupné z: <http://fbt.cz/skripta/xi-regulacni-mechanismy-1-endokrinni-regulace/11-termoregulace/>
- [67] KNÍŽEK, R. *Oděvy pro sportovní a outdoorové aktivity*. 1. vyd. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2013. 39 s 978-80-7494-012-5
- [68] 9237 Textilie – Zjišťování prodyšnosti plošných textilií. Praha: Český normalizační institut, 1996. Třídící znak 80 0817
- [69] HES, L., SLUKA, P.. *Úvod do komfortu textilií*. 1. vyd. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2005. ISBN 80-7083-926-0
- [70] HELEŠICOVÁ, K. *Vliv stlačitelnosti objemných textilních struktur na jejich tepelněizolační vlastnosti*. Liberec, 2015. Diplomová práce. Technická univerzita v Liberci.
- [71] HUSSAIN, J. N., N. MANTRI, M. M. COHEN. *Working up a good sweat–The challenges of standardising sweat collection for metabolomics analysis. The Clinical Biochemist* [online]. 2017, 38(1): 13. [cit. 16.10.2019] Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28798503>
- [72] Kam kráčí evropský plastikářský průmysl – bioplasty. *Technický týdeník*. [online]. Business Media CZ [cit. 10.4.2020]. Dostupné z: https://www.technickytydenik.cz/rubriky/archiv/kam-kraci-evropsky-plastikarsky-prumysl-bioplasty_37622.html
- [73] LI, L., FREY, M., BROWNING, K. J. Biodegradability Study on Cotton and Polyester Fabrics. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*. [online] 2018, 5(4). [cit. 5.3.2020]. DOI: 10.1177 155892501000500406. ISSN 1558-9250. Dostupné z: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/155892501000500406>
- [74] ISO 16929 - Pilot Scale Composting Test - Situ Biosciences LLC. [online]. 2020, Situ Biosciences LLC [cit. 9.4.2020]. Dostupné z: <https://www.situbiosciences.com/product/iso-16929-pilot-scale-composting-test/>
- [75] HANN, S., SCHOLE, R., BRIEDIS R., KIRKEVAAG, K. Bio-Based and Biodegradable Plastics. [online] Norwegian Environment Agency, 2018. [cit. 9.4.2020]. Dostupné z: <http://tema.miljodirektoratet.no/Documents/publikasjoner/M1206/M1206.pdf>
- [76] BROŽEK J., BENEŠOVÁ V., MALINOVÁ L., KALOUSKOVÁ R., ŠANDA K., LEDROVÁ Z., Kyselina polymléčná – materiál pro biodegradovatelné oděvní a technické textilie. *Chemické listy* [online]. 2015, 109 (4). [cit. 16.9.2019]. ISSN Online 1213-7103.
- [77] INOUE, M., YAMAMOTO, S. *Performance and Durability of Woven Fabrics Including Recycled Polyester Fibers. Journal of Textile Engineering* [online]. 2004, 50(2), 25-30

- [cit. 14.9.2019]. DOI: 10.4188/jte.50.25. ISSN 1880-1986. Dostupné z: <http://joi.jlc.jst.go.jp/JST.JSTAGE/jte/50.25?from=CrossRef>
- [78] TELLI A., ÖZDİL N. *Properties of The Yarns Produced From R-Pet Fibers And Their Blends*. Tekstil ve Konfeksiyon, Çukurova University, Department of Textile Engineering, Adana, Turkey 2 Ege University, Department of Textile Engineering, Izmir, Turkey. [online]. 2012 23(1), str. 3-10. [cit. 16.9.2019]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/289059025_Properties_of_the_yarns_produced_from_r-pet_fibers_and_their_blends
- [79] BARTOŠKOVÁ PITRONOVÁ, Z. *Stárnutí Textilů Vlivem Teploty*. Liberec, 2016. Diplomová práce. Technická univerzita v Liberci.
- [80] Degradace stavebních materiálů, Degradace polymerů. Katedra materiálového inženýrství a chemie. Stavební fakulta ČVUT v Praze. [online]. [cit. 12.4.2020]. Dostupné z: http://tpm.fsv.cvut.cz/student/documents/files/DSM/DSM_10.pdf
- [81] ŠURÁŇOVÁ, Z. *Využití pha produkujících kmenů v bioremediačních technologiích*. Brno, 2017. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [82] BRIGHAM, CH. J., SINSKEY, A.J., *Applications of Polyhydroxyalkanoates in the Medical Industry. International Journal of Biotechnology for Wellness Industries*, 2012, 1. [online] 2012, Brigham and Sinskey [cit. 5.8.2019]. DOI: <http://dx.doi.org/10.6000/1927-3037.2012.01.01.03>, Dostupné z: https://pdfs.semanticscholar.org/242f/40479f1234c78f9317fef2faaa62937d2065.pdf?_ga=2.254647688.1012679369.1590255113-1614840737.1568737750
- [83] SPÁLOVSKÁ, V. *Příprava mikro a submikro struktur z biodegradabilních polyesterů a jejich charakterizace*. Zlín, 2014. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně.
- [84] WILLIAMS, J. M., ADEWUNMI A., SCHEK, R. M., FLANAGAN, C. L., KREBSBACH, P. H., FEINBERG, S. E., HOLLISTER S. J., DAS, S.. *Bone tissue engineering using polycaprolactone scaffolds fabricated via selective laser sintering. Biomaterials* [online]. 2005, 26(23), [cit. 12.10.2019]. DOI: 10.1016/j.biomaterials.2004.11.057. ISSN 01429612. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0142961204011068>
- [85] TAMBOLI D.P., GOMARE S.S., KALME S.S., JADHAV U.U., GOVINDAR S.P., *Degradation of Orange 3R, mixture of dyes and textile effluent and production of polyhydroxyalkanoates from biomass obtained after degradation. International Biodeterioration & Biodegradation*, 2010, 64. [online]. 2010, Elsevier Ltd. [cit. 8.9.2019]. ISSN 0964-8305. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2010.09.003>

- [86] RAZA Z.A., ABDIB S., BANAT I.M., *Polyhydroxyalkanoates: characteristics, production, recent developments and applications. International Biodeterioration & Biodegradation.*, 2018, 126, str. 45-56, [online]. 2017, Elsevier Ltd. [cit. 8.9.2019]. ISSN 0964-8305. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2017.10.001>
- [87] Suturas Absorbibles Pga - Buy Hilo De Sutura Absorbible Pga,Sutura Desechable,Sutura, Quirúrgica Con Aguja Product on Alibaba.com. [online]. [cit. 4.3.2020]. Dostupné z: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/absorbable-sutures-pga-472164411.html?spm=a2700.8699010.normalList.79.68a34e0fS3jpLd>
- [88] Why PLA Fabric More Expensive Than PP Fabric? - Golden Actitives - News - Quanzhou Golden Nonwoven Co.,Ltd. [online]. Quanzhou Golden Nonwoven Co.,Ltd All Rights Reserved. [cit. 23.05.2020]. Dostupné z: <http://www.nonwoven-factory.com/news/why-pla-fabric-more-expensive-than-pp-fabric-15677421.html>

SEZNAM TABULEK

Tab. č. 1 Výrobci biodegradabilních polyesterů, dle [31]	22
Tab. č. 2 Porovnání hodnot propustnosti vodních par R_{et} a MVTR, dle [68]	32
Tab. č. 3 Přehled norem zabývajících se rozkladem materiálů, dle [76]	37
Tab. č. 4 Materiálové složení testovaných vzorků, dle [78]	39
Tab. č. 5 Porovnání vlastností PLA a PES dle [42]	39
Tab. č. 6 Materiálové složení testovaných vzorků	40
Tab. č. 7 Základní parametry použitých textilií	42
Tab. č. 8 Schéma provedených zkoušek textilií Eco, Biopile, konv. fleece	43
Tab. č. 9 Pevnost před a po UV záření [N]	46
Tab. č. 10 Tažnost před a po UV záření [%]	46
Tab. č. 11 Pevnost před a po praní v [N]	50
Tab. č. 12 Tažnost před a po praní v [%]	50
Tab. č. 13 Úbytek hmotnosti vlivem oděrací zkoušky materiálu Biopile	55
Tab. č. 14 Úbytek hmotnosti vlivem oděrací zkoušky materiálu Eco	56
Tab. č. 15 Úbytek hmotnosti vlivem oděrací zkoušky konv. fleecu	56
Tab. č. 16 Hodnocení stálobarevnosti textilií po osvětlení UV a po praní	59
Tab. č. 17 Naměřená prodyšnost u jednotlivých textilií	63
Tab. č. 18 Naměřené hodnoty výparného a tepelného odporu	65
Tab. č. 19 Naměřená tepelná vodivost a tepelná jímavost	68
Tab. č. 20 Souhrnné vyhodnocení vlastností určujících fyziologický komfort	70
Tab. č. 21 Úbytek hmotnosti vzorků Biopile vlivem kompostování	73
Tab. č. 22 Přehled mechanicko-fyzikálních parametrů, dle [5]	93
Tab. č. 23 Naměřená prodyšnost Biopile před a po 6. praní	101
Tab. č. 24 Naměřená prodyšnost Eco před a po 6. praní	101
Tab. č. 25 Naměřená prodyšnost konv. fleecu před a po 6. praní	102
Tab. č. 26 Tepelná vodivost a tepelná jímavost materiálu Biopile	103
Tab. č. 27 Tepelná vodivost a tepelná jímavost materiálu Eco	103
Tab. č. 28 Tepelná vodivost a tepelná jímavost konv. fleecu	104

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. č. 1 Vliv UV záření na pevnost textilií.....	14
Obr. č. 2 Porovnání lamp typu UVA-340 se slunečním zářením.....	15
Obr. č. 3 Dávka UV záření podle zeměpisné šířky	15
Obr. č. 4 Sturkturní vzorec kyseliny polymléčné a polyethyltereftalátu.....	17
Obr. č. 5 Světová produkce biodegradabilních polymerů.....	18
Obr. č. 6 Celosvětová produkce polyesterových vláken.....	19
Obr. č. 7 Produkce v-PET a r-PET v letech 2008, 2017, 2018	20
Obr. č. 8 Příklady použití biodegradabilních polyesterů v aplikacích.....	23
Obr. č. 9 Ukázky komerčně dostupných přízí Bionic (HLX, DPX, FLX).....	25
Obr. č. 10 Produkty z recyklovaných polyesterových vláken.....	25
Obr. č. 11 Zjednodušený proces recyklace r-PET, od láhve po vlákno.....	26
Obr. č. 12 Zařízení UVCON	43
Obr. č. 13 Testometric M350 5-CT	44
Obr. č. 14 Tvar vzorku pro testování pevnosti a tažnosti pletenin	45
Obr. č. 15 Pevnost vzorků po sloupku a řádku v [N], před a po osvitě UV	47
Obr. č. 16 Tažnost vzorků po sloupku a řádku v [%], před a po osvitě UV	47
Obr. č. 17 Procentuální změny pevnosti testovaných vzorků v [%].....	48
Obr. č. 18 Procentuální změny tažnosti testovaných vzorků v [%].....	48
Obr. č. 19 Pevnost vzorků po sloupku a řádku v [N], před a po praní	51
Obr. č. 20 Tažnost vzorků po sloupku a řádku v [%], před a po praní	51
Obr. č. 21 Procentuální změny pevnosti testovaných vzorků v [%].....	52
Obr. č. 22 Procentuální změny tažnosti testovaných vzorků v [%].....	52
Obr. č. 23 M 235 Martindale.....	54
Obr. č. 24 Grafické znázornění úbytků hmotnosti testovaných vzorků.....	56
Obr. č. 25 Vzorky Biopile po 50 tis. otáčkách	58
Obr. č. 26 Vzorky Eco po 42 tis. otáčkách.....	58
Obr. č. 27 Vzorky konv. fleecu po oděru.....	58
Obr. č. 28 Znázornění hodnocení stálobarevnosti vzorků osvícených UV.....	60
Obr. č. 29 SDL M021S	61
Obr. č. 30 Grafické znázornění prodyšnosti před a po 6. praní.....	63
Obr. č. 31 Sweating Graduate Hotplate	64
Obr. č. 32 Výparný odpor testovaných vzorků	66

Obr. č. 33 Tepelný odpor	66
Obr. č. 34 Thermal conductivity analyzer C-Therm.....	67
Obr. č. 35 Tepelná vodivost testovaných vzorků	68
Obr. č. 36 Tepelná jímavost testovaných vzorků	69
Obr. č. 37 Dest. voda po pomytí kompostovaného vzorku.....	73
Obr. č. 38 Využití PHA v lékařství	94
Obr. č. 39 Netkaná textilie z PLA	95
Obr. č. 40 Porézní scaffold vyrobený z PCL (1,75 mm)	96
Obr. č. 41 Chirurgický šicí materiál z PGA	97

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 – doplnění k teoretické části

Teoretický výpočet ke stanovení doby v zařízení Atlas UVCon

$$1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$$

$$\text{Výkon UV lamp} \dots\dots 0,83 \text{ W/m}^2 = 0,83 \text{ J/s/m}^2 \text{ (pozn.14)}$$

$$\text{Dávka ozáření} \dots\dots\dots 80 \text{ J/cm}^2 = 80 \cdot 10\,000 \text{ J/m}^2 = 0,8 \text{ MJ/m}^2$$

$$\text{dávka ozáření} / \text{výkon lamp} = \text{doba expozice}$$

$$800\,000 / 0,83 \doteq 963\,855 \text{ s} \doteq 267 \text{ hod } 44 \text{ min} \doteq 11 \text{ dní}$$

Textilii je přibližně za 11 dní dodána energie potřebná k dávce ozáření, která byla naměřena v březnu nejvyšší, a to 80 J/cm^2 , dle [17].

Biodegradabilní polyestery

V následující tabulce se nachází přehled vybraných mechanicko-fyzikálních parametrů biodegradabilních polyesterů zmíněných v teoretické části v kapitole 3.1.

Tab. č. 22 Přehled mechanicko-fyzikálních parametrů vybraných biodegradabilních polymerů, dle [5]

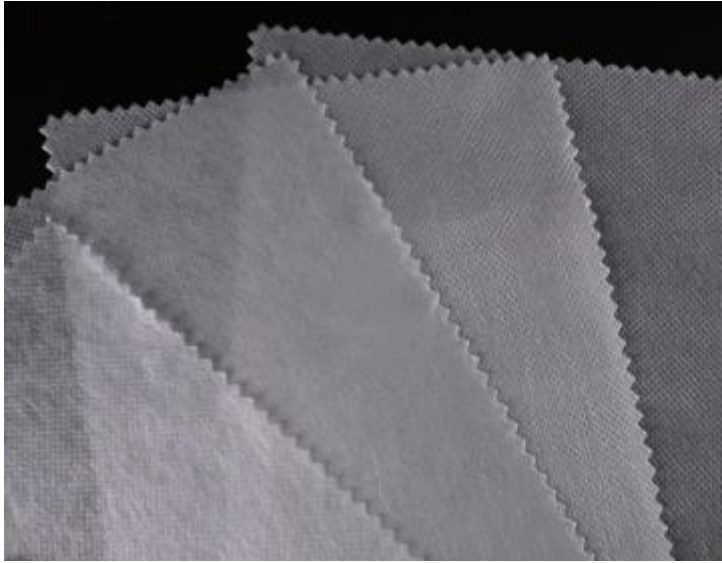
	Surovinový zdroj	Teplota skelného přechodu [°C]	Teplota tání [°C]	Mez pevnosti v tahu [MPa]	Modul pružnosti v tahu [MPa]	Prodloužení [%]
PHA	obnovitelný	-30 – 10	70 – 170	18 - 24	700-1800	3 – 25
PLA	obnovitelný i neobnovitelný	40 – 70	130 – 180	48 - 53	3500	30 – 240
PCL	neobnovitelný	-60	59 – 64	4 - 28	390-470	700 – 1000
PGA	neobnovitelný	35 – 40	225 – 230	890	7000-8400	30

¹⁴ Lampa dodá materiálu každou sekundu energii $0,83 \text{ J/m}^2$, za 10 sec $8,3 \text{ J/m}^2$, za 60 sec $49,8 \text{ J/m}^2$, atd.

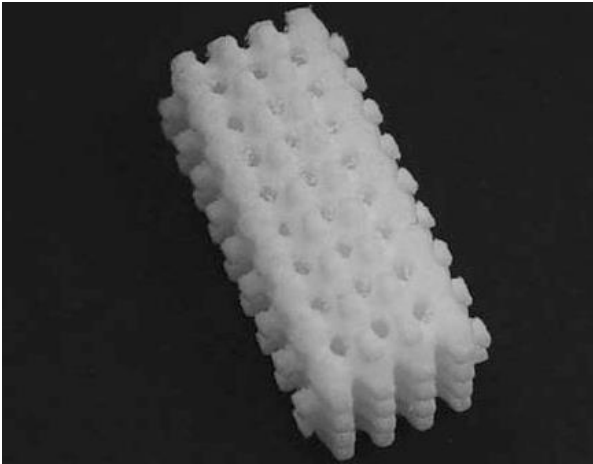
Polyhydroxyalkanoát – PHA, dle [81], [85] [86]

Výroba	<p>V cytoplasmě bakteriální buňky je uložen ve formě granulí obalených fosfolipidy nebo proteiny, extrakce z bakteriální buňky:</p> <ul style="list-style-type: none"> • vodná dvoufázová extrakce (šetrná k životnímu prostředí) • extrakce rozpouštědlem (nejpoužívanější - jednoduché a snadné provedení) • extrakce superkritickou tekutinou (nízká toxická povaha a náklady) • metoda trávení (alternativa k extrakci rozpouštědlem)
Doba rozkladu	v řádu týdnů, měsíců
Vlastnosti	nerozpustné ve vodě, odolné proti UV záření, rozpustné v chlorovaných rozpouštědlech, rychlý proces degradace
Použití	biomedicinské aplikace (dočasné implantáty, materiál kapslí), pleny, dámské vložky, ad.
<p>Obr. č. 38 Využití PHA v lékařství - chirurgické nitě, mikrosféry, pelety, ad., [82]</p>	
Pozn.	5-10 krát dražší než výroba polymerů na bázi ropy

Kyselina polylactonová – PLA, dle [5] [35]


Výroba	chemickou syntézou, nebo fermentačním procesem (fermentací cukrů, kukuřičného škrobu, nebo jiného)
Doba rozkladu	v půdě během 1-2 týdnů, při teplotě 60-70 °C, 20 % vlhkost vzduchu
Vlastnosti	vysoká pevnost, snadné zpracování taveniny, odolnost vůči UV záření, křehkost, citlivost na zásady (což vede ke ztrátě pevnosti a špatné barvitelnosti), nízká odolnost proti oděru, splývavost, snížená hořlavost, odolnost vůči znečištění
Použití	zdravotnické implantáty, chirurgické stehy, módní a sportovní oděvy, oděvy s odolností vůči UV záření, se sníženou hořlavostí, snížená špinavost, koberce, nábytkářské a bytové textilie, netkané textilie, výroba vláken, ve směsích s bavlnou, vlnou, nebo jako náhrada syntetických vláken v oděvu, ad.
	
Obr. č. 39 Netkaná textilie z PLA, [88]	
Pozn.	Komerčně nejvíce využívaný biodegradabilní polyester

Polykaprolakton – PCL, dle [5][42][83]

Výroba	Dva způsoby ovlivňující molekulovou hmotnost – <ul style="list-style-type: none">• polymerizace ϵ-kaprolaktonu s použitím katalyzátoru (př. octan cínatý)• polymerizace 2-methylene-1,3-dioxepanu s otevřeným radikálem
Doba rozkladu	2-3 měsíce v půdě, ve směsi se škrobem je zvýšena rychlost degradace
Vlastnosti	podobný kyselině polymléčné, rozpustný v benzenu, toluenu, chloroformu, ad., dobrá tvarovatelnost v nízkých teplotách, stabilní vůči vodě, hydrolizovatelný, dobré viskoelastické vlastnosti, netoxičita, dobré mechanické vlastnosti, biokompatibilita
Použití	biomedicínské aplikace, nosiče léčiv, skafoldy, obvazy na rány, netkané textilie
	
Obr. č. 40 Porézní scaffold vyrobený z PCL (1,75 mm), [84]	
Pozn.	relativně nízká cena

Polyglykolová kyselina – PGA, dle [5]

Výroba	z glykosidu a diesteru kyseliny glykolové
Doba rozkladu	cca 90 dní v lidském těle (někdy i půl roku)
Vlastnosti	citlivost vůči vodě, nerozpustnost ve většině organických rozpouštědlech, výborné mechanické vlastnosti – vysoká pevnost
Použití	vlákna, chirurgické šicí nitě



Obr. č. 41 Chirurgický šicí materiál z PGA, [87]

Příloha 2 – doplnění k experimentální části

Pevnost

Výpočty k pevnosti a tažnosti jednotlivých materiálů jsou k dispozici v elektronické podobě, vzhledem k obsáhlosti a množství testovaných vzorků. Jako příklad je zde uveden příklad výstupu z laboratorního měření jedné sady vzorků, na přístroji Testometric M350 – 5CT :

	A	B	C	D	E	F	G	H	I					
1	Pleteniny													
2	Zkouška tahem													
3														
4					Název zkoušky : Pleteniny 2N									
5					Druh zkoušky : Tah									
6					Datum zkoušky : 14.02.2020 13:03									
7					Rychlost zkoušky : 100,000 mm/min									
8					Predpeti : 2,000 N									
9					Sirka : 50,000 mm									
10					Tloušťka : 1,300 mm									
11					Delka vzorku : 100,000 mm									
12														
13	Poznámky :													
14					Min .. minimální naměřená hodnota Střed .. průměrná hodnota Max .. maximální naměřená hodnota S.O. .. směrodatná odchylka VK .. variační koeficient									
15	Zkouška c.	Nejvyšší pevnost (N)	Prodloužení při nejv. Pevnosti (mm)	Taznost při nejvyšší pevnosti (%)										
16	1	196,590	134,824	107,793										
17	2	186,140	121,132	97,381										
18	3	192,720	134,353	106,395										
19	Min	186,140	121,132	97,381										
20	Střed	191,817	130,103	103,856										
21	Max	196,590	134,824	107,793										
22	S.O.	5,283	7,773	5,651										
23	VK	2,754	5,974	5,441										

Testování pevnosti a tažnosti po UV ZÁŘENÍ

Směrodatná odchylka pevnost [N]	Biopile		Eco		Konv. fleece	
	sloupek	řádek	sloupek	řádek	sloupek	řádek
Před	18,5	14,2	9,4	1,76	27,4	15,8
UV 3 dny	5,28	14,42	7,01	14,3	20,7	11,6
UV 6 dní	3,23	4,02	2,4	15,9	32,7	22,9
UV 9 dní	18,1	10,1	24	13,49	22	4,09
UV 12 dní	4,8	1,2	10,6	17,6	(43)*	19

*2 hodnoty měření

Variační koeficient pevnost [%]	Biopile		Eco		Konv. fleece	
	sloupek	řádek	sloupek	řádek	sloupek	řádek
Před	8,4	9,3	1,81	0,44	7,5	8,1
UV 3 dny	2,75	11	1,34	3,7	6,4	6,7
UV 6 dní	3,23	3,5	0,5	4,25	9,2	12,6
UV 9 dní	11,3	10,2	4,9	3,81	7,3	2,12
UV 12 dní	3,2	1,4	2,3	4,7	13	11,4

Směrodatná odchylka tažnost [%]	Biopile		Eco		Konv. fleece	
	sloupek	řádek	sloupek	řádek	sloupek	řádek
Před	21,06	26,2	5,4	4,7	1,5	11,7
UV 3 dny	7,77	8,43	0,73	5,59	2,07	8,4
UV 6 dní	10,1	7,3	4,3	3,41	4,4	7,4
UV 9 dní	10,3	22,9	3,8	0,44	6,5	7,8
UV 12 dní	5,8	6,7	2,6	5,3	2,17	7,8

Variační koeficient tažnost [%]	Biopile		Eco		Konv. fleece	
	sloupek	řádek	sloupek	řádek	sloupek	řádek
Před	13,11	8,2	6,5	3,29	2,4	6,4
UV 3 dny	5,97	2,9	0,84	3,9	2,9	5,4
UV 6 dní	7,67	2,71	5,5	2,35	6,08	4,6
UV 9 dní	8,97	8,4	5,28	0,34	9,6	4,74
UV 12 dní	4,7	2,6	3,3	3,58	3,2	4,6

Testování pevnosti a tažnosti PO PRANÍ

Směrodatná odchylka pevnost [N]	Biopile		Eco		Konv. fleece	
	sloupek	řádek	sloupek	řádek	sloupek	řádek
Před	18,58	14,29	19,8	1,76	27,42	15,82
UV 3 dny	7,49	15,57	22,15	8,01	3,08	19,1
UV 6 dní	18,15	10,88	5,71	28	18,47	26,05
UV 9 dní	14,4	16,23	25,8	26,7	18,42	0,67

Variační koeficient pevnost [%]	Biopile		Eco		Konv. fleece	
	sloupek	řádek	sloupek	řádek	sloupek	řádek
Před	8,42	9,33	3,72	0,44	7,53	8,1
UV 3 dny	3,29	9,22	4,53	1,86	0,89	11,48
UV 6 dní	8,24	6,9	1,087	6,9	5,09	16,14
UV 9 dní	6,79	9,98	4,76	6,13	5,24	0,368

Směrodatná odchylka tažnost [%]	Biopile		Eco		Konv. fleece	
	sloupek	řádek	sloupek	řádek	sloupek	řádek
Před	21,06	26,2	3,91	4,77	1,54	11,72
UV 3 dny	9,54	15,91	4,03	3,42	5,53	10,6
UV 6 dní	11,9	19,14	3,77	5,1	5,46	11,49
UV 9 dní	6,7	13,61	3,86	5,9	2,13	7,16

Variační koeficient tažnost [%]	Biopile		Eco		Konv. fleece	
	sloupek	řádek	sloupek	řádek	sloupek	řádek
Před	13,11	8,254	4,74	3,29	2,45	6,41
UV 3 dny	5,6	5,17	5,236	2,27	8,29	7,1
UV 6 dní	7,07	6,13	4,43	3,67	8,6	8,08
UV 9 dní	4	4,45	4,7	4,24	3,35	3,29

Prodyšnost

Tab. č. 23 Naměřená prodyšnost Biopile před a po 6. praní

měření	Rychlost průtoku vzduchu q_v [ml/s]		Rychlost průtoku vzduchu q_v [l/min]		Prodyšnost R[mm/s]	
	před	po 6.praní	před	po 6.praní	před	po 6.praní
1.	24	13	1,44	0,78	12,02	6,513
2.	22	13	1,32	0,78	11,02	6,513
3.	24	14	1,44	0,84	12,02	7,014
4.	25	12	1,5	0,72	12,52	6,012
5.	25	11	1,5	0,66	12,52	5,511
6.	25	12	1,5	0,72	12,52	6,012
7.	25	12	1,5	0,72	12,52	6,012
8.	25	12	1,5	0,72	12,52	6,012
9.	25	12	1,5	0,72	12,52	6,012
10.	25	13	1,5	0,78	12,52	6,513
Aritmetický průměr	24,5	12,4	1,47	0,74	12,27	6,21
Směrodatná odchylka	0,97	0,84	0,06	0,05	0,49	0,42
Variační koeficient [%]	3,97	6,80	3,97	6,80	3,97	6,80

Tab. č. 24 Naměřená prodyšnost Eco před a po 6.praní

měření	Rychlost průtoku vzduchu q_v [ml/s]		Rychlost průtoku vzduchu q_v [l/min]		Prodyšnost R[mm/s]	
	před	po 6.praní	Před	po 6.praní	Před	po 6.praní
1.	195	155	11,7	9,3	97,70	77,66
2.	195	150	11,7	9	97,70	75,15
3.	195	150	11,7	9	97,70	75,15
4.	195	150	11,7	9	97,70	75,15
5.	195	150	11,7	9	97,70	75,15

6.	195	150	11,7	9	97,70	75,15
7.	195	150	11,7	9	97,70	75,15
8.	210	155	12,6	9,3	105,21	77,66
9.	205	160	12,3	9,6	102,71	80,16
10.	200	150	12	9	100,2	75,15
Aritmetický průměr	198	152	11,88	9,12	99,20	76,15
Směrodatná odchylka	5,37	3,50	0,32	0,21	2,69	1,75
Variační koeficient [%]	2,71	2,30	2,71	2,30	2,71	2,30

Tab. č. 25 Naměřená prodyšnost konv. fleecu před a po 6. prání

měření	Rychlost průtoku vzduchu q_v [ml/s]		Rychlost průtoku vzduchu q_v [l/min]		Prodyšnost R[mm/s]	
	před	po 6.prání	před	po 6.prání	Před	po 6.prání
1.	155	130	9,3	7,8	77,66	65,13
2.	165	125	9,9	7,5	82,67	62,625
3.	165	125	9,9	7,5	82,67	62,63
4.	130	130	7,8	7,8	65,13	65,13
5.	155	130	9,3	7,8	77,66	65,13
6.	155	130	9,3	7,8	77,66	65,13
7.	130	125	7,8	7,5	65,13	62,63
8.	130	120	7,8	7,2	65,13	60,12
9.	130	120	7,8	7,2	65,13	60,12
10.	130	125	7,8	7,5	65,13	62,63
Aritmetický průměr	144,5	126	8,67	7,56	72,40	63,13
Směrodatná odchylka	15,71	3,94	0,94	0,24	7,88	1,98
Variační koeficient [%]	10,88	3,13	10,88	3,13	10,88	3,13

Tepelná vodivost a tepelná jímavost

Tab. č. 26 Tepelná vodivost a tepelná jímavost materiálu Biopile

Měření	Tepelná jímavost [W.m ⁻² .s ^{1/2} .K ⁻¹]		Tepelná vodivost [W/m.K]	
	před	po 6.praní	před	po 6. praní
1.	77,6324	56,59783	0,054329	0,047498
2.	78,71187	55,86355	0,054681	0,04726
3.	80,97659	57,01013	0,055419	0,047631
4.	70,78584	55,13928	0,052102	0,047025
5.	74,50383	55,50898	0,053311	0,047145
6.	71,33079	56,30914	0,052279	0,047404
7.	74,63007	56,20594	0,053352	0,047371
8.	74,27008	59,54927	0,053235	0,048454
9.	71,7728	57,92031	0,052422	0,047926
Aritmetický průměr	74,96	56,68	0,0535	0,047524
Směrodatná odchylka	3,52	1,35	0,0011	0,0004
Variační koeficient [%]	4,69	2,39	2,1415	0,9229

Tab. č. 27 Tepelná vodivost a tepelná jímavost materiálu Eco

Měření	Tepelná jímavost [W.m ⁻² .s ^{1/2} .K ⁻¹]		Tepelná vodivost [W/m.K]	
	před	po 6.praní	před	po 6. praní
1.	72,57308	57,39371	0,056187	0,047756
2.	71,53466	55,97925	0,052683	0,047297
3.	68,84439	56,18366	0,052345	0,047364
4.	67,59891	56,88,158	0,051471	0,04802
5.	67,09533	58,21031	0,051107	0,04759
6.	74,86678	59,43419	0,050903	0,048417
7.	75,75062	57,65139	0,053429	0,047839
8.	73,64166	57,17065	0,053717	0,047607

9.	75,43094	56,93565	0,05303	0,047854
Aritmetický průměr	71,93	57,37	0,05276	0,04774933
Směrodatná odchylka	3,37	1,11	0,0016	0,0003
Variační koeficient [%]	4,68	1,93	3,0853	0,7167

Tab. č. 28 Tepelná vodivost a tepelná jímavost konv. fleecu

Měření	Tepelná jímavost [W.m ⁻² .s ^{1/2} .K ⁻¹]		Tepelná vodivost [W/m.K]	
	před	po 6.praní	před	po 6. praní
1.	53,93538	46,61437	0,046636	0,044268
2.	53,30873	45,33038	0,046406	0,043853
3.	51,41677	46,85177	0,046109	0,044345
4.	50,26008	47,05607	0,045821	0,044411
5.	53,37554	46,42093	0,045447	0,044206
6.	52,42603	48,09722	0,046455	0,044747
7.	51,42072	45,88194	0,046147	0,044032
8.	55,63479	48,64135	0,045822	0,044923
9.	55,57715	44,93861	0,047167	0,043727
Aritmetický průměr	53,04	46,6480711	0,0462	0,04427911
Směrodatná odchylka	1,85	1,20	0,0005	0,0004
Variační koeficient [%]	3,5	2,58	1,1064	0,8777

Použité textilní materiály

Biopile	Eco	Konvenční fleece

Biopile po 6. pracích cyklech	Eco po 6. pracích cyklech	Konvenční fleece po 6. pracích cyklech

