

## **Bakalářská práce**

# **Hodnocení vybraných užitných vlastností cirkulárních textilií pro výrobu oděvů**

*Studijní program:*

B0723A270003 Výroba oděvů a technické kon-  
fekce

*Autor práce:*

**Natálie Kadlecová**

*Vedoucí práce:*

Ing. Katarína Zelová, Ph.D.  
Katedra oděvnictví

Liberec 2024



## Zadání bakalářské práce

# Hodnocení vybraných užitečných vlastností cirkulárních textilií pro výrobu oděvů

<i>Jméno a příjmení:</i>	<b>Natálie Kadlecová</b>
<i>Osobní číslo:</i>	T21000230
<i>Studijní program:</i>	B0723A270003 Výroba oděvů a technické konfekce
<i>Zadávající katedra:</i>	Katedra oděvnictví
<i>Akademický rok:</i>	2023/2024

### Zásady pro vypracování:

1. Proveďte rešerši zaměřenou na udržitelnost textilií, cirkularitu a možnosti využití opakovaně recyklovatelných textilií pro výrobu oděvů.
2. Rozdělte a charakterizujte biodegradabilní textilie.
3. Navrhněte a realizujte experiment pro hodnocení vybraných užitečných vlastností textilií z biodegradabilních vláken a určete odolnost textilií vůči působení UV záření a povětrnostním podmínkám.
4. Zhodnoťte výsledky a formulujte závěrečné zjištění o odolnosti textilií z biodegradabilních vláken.



*Rozsah grafických prací:* dle rozsahu dokumentace  
*Rozsah pracovní zprávy:* cca 40 stran  
*Forma zpracování práce:* tištěná/elektronická  
*Jazyk práce:* čeština

### **Seznam odborné literatury:**

- HLADÍK, Vladimír. *Textilní materiály*. 2. vydání. Nakladatelství technické literatury, 1984. ISBN 04-811-84.
- ABBOTT, Albert, Michael ELLISON a Albert G. ABBOTT, ed., 2008. *Biologically inspired textiles*. 1. publ. Boca Raton, Fla.: CRC Press. Woodhead Publishing in textiles, 77. ISBN 978-1-84569-247-6.
- MIRAFTAB, M., A. Richard HORROCKS a TEXTILE INSTITUTE (MANCHESTER, ENGLAND), ed., 2007. *Ecotextiles: the way forward for sustainable development in textiles*. Cambridge: Woodhead Pub. Woodhead publishing in textiles. ISBN 978-1-84569-214-8.
- BIANCHI, Sabrina, Flavia BARTOLI, Cosimo BRUNI, Cristina FERNANDEZ-AVILA, Laura RODRIGUEZ-TURIENZO, Jorge MELLADO-CARRETERO, Daniele SPINELLI a Maria-Beatrice COLTELLI, 2023. Opportunities and Limitations in Recycling Fossil Polymers from Textiles. *Macromol [online]*. 3(2), 120–148 [vid. 2023-06-16]. ISSN 2673-6209.

*Vedoucí práce:* Ing. Katarína Zelová, Ph.D.  
Katedra oděvnictví

*Datum zadání práce:* 27. listopadu 2023  
*Předpokládaný termín odevzdání:* 20. května 2024

doc. Ing. Vladimír Bajzík, Ph.D.  
děkan

L.S.

prof. Dr. Ing. Zdeněk Kůs  
garant studijního programu

V Liberci dne 27. listopadu 2023

## 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.

## Poděkování

V první řadě bych ráda poděkovala mé vedoucí práce Ing. Katarině Zelové Ph.D za její přátelský přístup k naší spolupráci, za množství rad a kvalitní komunikaci. Dále jsem velice vděčná za konzultace a poskytnutou výpomoc panu Ing. Michalovi Chotěborovi. Podpora nepřichází jen tak, a proto jsem vděčná za přátele, které na ni nezapomínají, děkuji tím mým princeznám za pomoc a všem parťákům za všeříkající úsměvy. Děkuji mému dobrodruhovi za obklopení klidem během celého procesu psaní i mimo něj a za společné dny plné studia a lezení, díky kterým jsme to zvládli. V neposlední řadě děkuji svým rodičům, že mi dali prostor a čas, který jim teď samozřejmě zase vynahradím.

# **ANOTACE**

## **Hodnocení vybraných užitečných vlastností cirkulárních textilií pro výrobu oděvů**

Tato bakalářská práce se zabývá hodnocením užitečných vlastností cirkulárních textilií a porovnává výsledky se vzorky 100 % nerecyklovaných materiálů bavlny a polyesteru. Rešeršní část se zaměřuje na udržitelnost textilií, recyklaci textilií a cirkularitu biodegradabilních materiálů.

Experimentální část popisuje testování a hodnocení vybraných užitečných vlastností cirkulárních textilií, které patří mezi prvně testované materiály firmy Nilmore. Mezi testovanými vlastnostmi byly prodyšnost, propustnost vodních par, vliv UV záření na pevnost a tažnost materiálů, dále jeho vliv na stálobarevnost a vizuální hodnocení této změny na elektronovém mikroskopu. V závěru práce jsou shrnuty jednotlivé výsledky, které poukázaly na trend odolnosti materiálů vůči UV záření a jejich možnou podobnost s nerecyklovanými materiály.

### **Klíčová slova**

Cirkularita, biodegradabilní materiály, užitečné vlastnosti textilií, udržitelnost, recyklace textilií, recyklované materiály

# **ANNOTATION**

## **Evaluation of selected utility properties of circular textiles for clothing production**

This bachelor thesis evaluates circular textiles' utility properties and compares the results with 100 % non-recycled cotton samples and PES materials. The research focuses on textile sustainability, recycling, and the circularity of biodegradable materials.

The experimental part describes the testing and evaluation of selected utility properties of the circular textiles, which are the first tested materials of Nilmore company. The tested properties were breath, water vapor permeability, the influence of UV radiation on material strength, and durability. As well as, its color fastness. Then that visual change was compared on the electron microscope. The conclusion of the thesis summarizes individual results that pointed to the trend of those material's UV radiation resistance and their similarity with non-recycled materials.

### **Keywords**

Circularity, biodegradable materials, utility properties of textiles, sustainability, recycling of textiles, recycled materials

## Obsah

Seznam symbolů a zkratk .....	11
Udržitelnost textilií .....	10
1.1 Udržitelné materiály .....	11
1.2 Udržitelná móda .....	11
2 Recyklace textilu.....	13
2.1 Hospodaření s textilním odpadem.....	13
2.2 Proces recyklace textilu.....	13
2.3 Metody recyklace textilu.....	14
2.3.1 Mechanická recyklace.....	14
2.3.2 Chemická recyklace .....	15
2.3.3 Termální recyklace .....	15
2.4 Problémy s recyklací špatně rozložitelných materiálů.....	15
3 Cirkularita textilií.....	18
3.1 Cirkulační ekonomie .....	18
3.2 Průzkum současného trhu firem s cirkulačními materiály .....	18
3.3 Cirkulace, jako inovace pro textilní průmysl .....	19
3.4 Biodegradabilní materiály .....	20
3.4.1 Biologicky odbouratelná přírodní vlákna .....	21
3.4.2 Biologicky odbouratelná regenerovaná vlákna.....	21
3.4.3 Biologicky odbouratelná syntetická vlákna .....	22
Použití PLA pro udržitelné produkty .....	22
3.5 Strategie v biologickém rozkladu syntetických materiálů .....	23
3.5.1 Biologická odbouratelnost textilních vláken .....	23
3.5.2 Biodegradabilní biopolymery a odbouratelnost PLA .....	23
3.6 Cirkulární textilie firmy Nilmore .....	25
3.6.1 NILPLA .....	25

3.6.2	NILCOTT .....	26
3.6.3	NILPET.....	27
3.6.4	CIRPAD.....	27
4	Užitné vlastnosti textilních materiálů .....	29
4.1	Trvanlivost .....	29
4.2	Estetické vlastnosti .....	29
4.3	Fyziologické vlastnosti.....	29
4.4	Možnost údržby textilie.....	30
5	Experimentální část.....	31
5.1	Charakteristika použitého materiálu .....	32
5.2	Charakteristika použitých zařízení .....	34
5.2.1	Měření prodyšnosti pomocí přístroje SDL M 021 S.....	34
5.2.2	Měření propustnosti vodních par pomocí přístroje TEXTTEST FX 3180 CupMaster.....	36
5.2.3	Měření pevnosti pomocí přístroje Testometric M350 – 5CT .....	37
5.2.4	Měření UV záření pomocí přístroje UV CON.....	38
5.2.5	Hodnocení vzorků pomocí spektrofotometru Datacolour.....	39
5.2.6	Hodnocení vzorků pomocí elektronového mikroskopu Tescan Vega 3 .....	40
5.3	Vyhodnocení měření .....	41
5.3.1	Vyhodnocení fyziologických vlastností recyklovaných pletenin a pletenin z biodegradabilních materiálů.....	41
5.3.2	Vyhodnocení vlivu UV záření na pevnost a tažnost recyklovaných pletenin a pletenin z biodegradabilních materiálů.....	43
5.3.3	Vyhodnocení vlivu UV záření na stálobarevnost recyklovaných pletenin a pletenin z biodegradabilních materiálů.....	47
5.3.4	Vizuální hodnocení pletenin dle mikroskopických snímků.....	52
5.4	Doplňující ověřovací měření pevnosti .....	57
6	Diskuze .....	59

7	Závěr .....	63
	Seznam použité literatury .....	65
	Seznam příloh .....	73



## Seznam symbolů a zkratk

Symoly a zkratky jsou řazeny dle abecedy.

%	procento
$\bar{q}_v$	rychlost průtoku vzduchu v $\text{dm}^3/\text{min}$
$^{\circ}\text{C}$	stupeň Celsia
A	zkoušená plocha textilie v $\text{cm}^2$
BP	Bakalářská práce
cm	centimetr
$\text{cm}^2$	centimetr čtvereční
cN	centinewton
d	den
$\text{dm}^3/\text{min}$	decimetr krychlový za minutu
g	gram
$\text{H}_2\text{SO}_4$	kyselina sírová
kPa	kilopascal
kV	kilovolt
LOI	limitní kyslíkové číslo (Lowest Oxygen Index)
ml/s	mililitry za sekundu
mm	milimetr
$\text{m}^2$	metr čtvereční
NaOH	hydroxid sodný
nm	nanometr
MPa	megapascal

Pa	pascal
PAD	polyamid
PES	polyester
PLA	polylaktid
R	prodyšnost
S	sekunda
T <sub>c</sub>	teplota krystalizace
T <sub>g</sub>	teplota skelného přechodu
T <sub>m</sub>	Teplota tání
WVTR	Propustnost vodních par (water vapour transmission rate)

# Úvod

V nynější době jsou pojmy biodegradability a recyklace aktuálními trendy. Lidé podléhají reklamám na oděvní produkty z recyklovaných materiálů a jsou otevřeni záchraně planety od odpadu směrem cirkularity. V rámci průzkumu trhu bylo vyhledáno několik desítek společností, které se zabývají problematikou cirkularity a vytvářejí programy na sběr a opětovné použití textilu.

Cirkularita je hlavním heslem také pro firmu Nilmore, která byla oslovena pro zaslání jejich materiálů k výzkumu. Materiály byly touto prací poprvé testovány v rámci jejich užitných vlastností. Byla zkoušena jejich odolnost vůči UV záření a výsledky měření byly hodnoceny s ohledem na jejich použití v oděvní výrobě.

Teoretická část práce je tak zaměřena na téma udržitelnosti textilií a oděvů. Byly popsány možnosti recyklace textilu a hospodaření s textilním odpadem. K recyklaci se váže mnoho úskalí díky mísení vláken a špatnému zacházení se syntetickými vlákny. Syntetické materiály jsou složité pro recyklaci, je nutné je chemicky recyklovat, což znamená použití nejdražšího a nejsložitějšího způsobu, molekulární recyklace. Je to také jeden z důvodů poklesu technologie recyklace textilu vůči pálení textilií či odvozu na skládky. Dalším problémem se jeví příměsový materiál elastan, který je v současné době mísen s téměř každým materiálem, například bavlnou, vlnou, polyesterem a dalšími. Z vybraných studií bylo vybráno několik inovací zacházení s elastanem při recyklaci. Následujících kapitoly se zabývají cirkularitou textilií a biodegradabilními materiály, především biodegradabilitou polylaktidu, který se stal současným trendem v biopolymerech. Z hlediska vybraného tématu byl popsán způsob cirkulační ekonomiky a jejího zastoupení v textilním průmyslu.

Cílem předkládané práce bylo zhodnocení užitných vlastností recyklovaných materiálů po provedení zkoušek na prodyšnost, propustnost vodních par, pevnost, tažnost a vliv působení UV záření na pevnost a na stálobarevnost materiálů. Z výsledků měření byly recyklované syntetické a biodegradabilní pleteniny vyhodnoceny jako výrazně odolné a podobné nerecyklovaným protějškům. Firma Nilmore recykluje materiály nákladnou molekulární recyklací, která se tímto prokázala, jako jedna z možností, jak zachovat původní vlastnosti materiálů i po cyklu recyklace.

## Udržitelnost textilií

Textilní průmysl má v dnešní době velký dopad na životní prostředí, podle zpravodajství EU[1], především na spotřebu vody a její znečištění, emise skleníkových plynů a textilní odpad na skládkách. Spotřeba vody je velká díky pěstování bavlny a dalších vláken, ale je nutná i k samotnému zpracování, kde je voda silně znečištěna u barvení a konečných úprav. Velký dopad to má na oceány, do kterých se uvolňuje každoročně odhadem asi 0,5 milionu tun mikrovláken. Textilní průmysl má také na svědomí 10 % všech CO<sub>2</sub> emisí. Zároveň 65 % vyrobených materiálů zůstává na skládce, každoročně je to odhadem 92 milionu tun oděvů.

K vyřešení těchto problémů by měl být kladen větší důraz na udržitelnost. Ta je v textilním průmyslu zastoupena jen málokde. Podle knihy o udržitelném textilu[2] vztah módy a velkoobjemové spotřeby není v souladu s cíli udržitelnosti. Oděvy jsou tvořeny dodavatelským řetězcem, který vykořisťuje pracovníky a díky velkovýrobě má dopad na životní prostředí, jak již bylo zmíněno výše. Obchodní řetězce tak zajišťují svůj budoucí růst tím, že stávající produkty činí esteticky zastaralé, aby se obnovila nová individuální potřeba spotřeby nových materiálů. Zákazníci vyhledávají potěšení z koupi nových produktů, proto poptávka stále roste. Málokdy ale nové kolekce a sezony přináší nějaké inovace, materiálový posun nebo zlepšení fyzické ochrany. Lidé jsou tedy hlavním faktorem udržitelnosti, jsou to naši potenciální zákazníci. Koupili by si recyklovaný oděv či jiný produkt? Připlatili by si za něj víc peněz? V knize Ecotextiles od Wood Publishing[3] je zmíněna statistika výsledků výzkumu, kdy lidé byli dotazováni na jednoduché otázky ohledně recyklace a textilu, zda mají o jeho recyklaci nějaké znalosti. Výsledky byly až překvapivě pozitivní. Lidé se o recyklaci zajímají a vyhledávají takzvané „environmentally friendly“ produkty a jsou ochotni si za recyklovaný produkt připlatit. Zákazníci jsou v textilním průmyslu velmi důležitý faktor, proto takové výsledky statistiky můžeme považovat za kladné, pokud se cirkulární recyklací nebo jinou udržitelností chceme zabývat.

Základem udržitelné módy by měla být funkce. Funkce oděvu by měla být přidělena při návrhu, aby se použil správný střih a materiál.

## 1.1 Udržitelné materiály

U udržitelných materiálů mají hlavní roli jejich vlastnosti. Evropská agentura pro životní prostředí vybízí k prvnímu kroku k udržitelnosti, kdy precizní a kvalitní zpracování materiálů ve výrobě by mělo zaručit jejich funkci. Čím kvalitnější materiály, tím delší životnost konečného produktu. Zásadní rozdíl najdeme v ceně výrobku, proto se lidé tolik nehrnou do koupi kvalitnějších výrobků a zůstávají u tzv. „rychlé módy“. Sbírání materiálů a jejich znovupoužití je další zásadní krok k jejich udržitelnosti. Použité textilie jsou v EU sesbírány jen z části[4]. Podle výzkumu jen 38 % použitého textilu je sesbíráno pro recyklaci. Tok použitého textilu začíná u sběru, část se daruje na charitu, část se třídí v zemi sběru či v jiné zemi EU. Zbytek se vyváží do Afriky a Asie, kde se třídí znovu na znovupoužitelné textilie a odpad. V Asii se odpad recykluje a znovu koloje.

## 1.2 Udržitelná móda

Udržitelnost v módě znamená najít rovnováhu při navrhování u výroby a spotřeby. Spotřeba textilu je enormní, Rachel Bick [5] uvádí, že se každý rok prodá 80 miliard kusů nového textilu. Většina těchto výrobků se vyrábí v Číně či Bangladéši. Přibližně 90% oblečení v USA je vyrobeno z polyesteru a bavlny. Oba materiály mají velké nároky při jejich výrobním procesu se spotřebuje množství vody a ropy. Debbie Moorhouse [6] píše ve své publikaci, že důležitá je snaha vyhnout se neustálému vyčerpávání přírodních zdrojů. Měli bychom myslet do budoucna a snížit tak spotřebu produktů, které používáme. Poptávka po udržitelné módě rychle roste, protože s větším povědomím o temné stránce módy lidé chtějí etické oblečení. Udržitelné značky musí brát v potaz udržitelněji vyráběné materiály, kvalitu konstrukce, která zajišťuje dlouhou životnost produktu. Tyto parametry se pak odrazí v konečné ceně výrobku. Existují různé programy, které se zabývají inovacemi v navrhování materiálů a produktů vyhovujícím současným modelům v módním průmyslu. Jeden takový program se jmenuje „Mistra future fashion“.[7]

Někteří zákazníci na základě ceny přejdou k další variantě udržitelné módy, second handu a opustí nové trendy. [6] Nakoupí z druhé ruky, ať už v kamenných prodejnách nebo online. Koncept odpadu by zmizel, pokud by se zavedl systém cirkulární ekonomiky, takže by mohl oděv neustále kolovat k dalšímu využití. Second handy jsou sice stále populárnější, ale je to jen jedna část kruhu. Ve světě stále přetrvává lineární systém, který končí likvidací výrobku. Udržitelnost je tedy výzva pro všechny složky tvorby oděvu od

návrháře, oděvní technology, výrobce i konečného spotřebitele, které by měly o oděv pečovat způsobem, který je udržitelný a pomáhá k dlouhé životnosti. Metody recyklace, repasování oděvů, opětovného použití jsou jen krátkodobé přínosy. Hlavní dopad bude mít vytvoření cirkulárních obchodních modelů, které zohledňují životní cyklus oděvu.

## **2 Recyklace textilu**

Recyklace textilu je velmi komplikovaná na rozdíl od jiných odvětví, ale není nemožná. Na světě se recykluje jen minimum textilních materiálů. Většina z vyprodukovaného textilu je odvezena na skládku nebo do spalovny, uvádí kniha [8]. Textilní průmysl vyprodukuje více textilu, než je potřeba díky neustále novým kolekcím a trendům. Narůstá tak nejen objem oděvního odpadu, ale i obalových materiálů. Kapacita skládek je ale omezena, proto náklady za skladování vzrostly.

Recyklace textilu není jednoduchá a s příchodem syntetických vláken je ještě složitější. Syntetická vlákna jsou pevnější, a to znesnadňuje jejich drcení. Zvýšil se i počet vláken ve směsi, tím se stalo obtížné čištění v procesu třídění, jak se píše v knize *Recycling in textiles*[8]. Způsoby recyklace textilu jsou stále ekologicky náročné, vzrůstá například spotřeba vody, znečištění vody a přibývá hluku. Hlavní otázka zní, zda je recyklace stále natolik ekologická, aby se vyplatila oproti spalování? Tímto problémem se ale zabývat nebudeme.

### **2.1 Hospodaření s textilním odpadem**

Hospodaření s odpady je náročné, různé procesy mají své výhody a nevýhody. Podle prezentací o recyklaci textilu od pana Hrůzy [9] nejvýnosnější a nejpřirozenější způsob při produkci textilního odpadu je snažit se množství redukovat a vymýšlet lepší recyklovatelné produkty. Vznikne tak produkt s dlouhým životním cyklem nebo jednorázový rozložitelný produkt. Některé odpady se opětovně použijí v second handech nebo na bleších trzích, či se s nimi obchoduje na sociálních sítích. Vzniká tak výdělečná činnost. Část textilu se dostane k materiálové recyklaci, kde se přemění odpadní materiál na jiný tvar nebo strukturu granulací, drcením nebo mletím. Způsob recyklace stoprocentního odpadu, už ale nezajistí, aby výsledný produkt dosáhl té stejné kvality díky degradaci a různým jiným poškozením. Nadále se může biotechnologicky zpracovávat kompostováním či skladováním a tepelně zpracovat pyrolýzou a spalováním. Nevýhodou je ale nebezpečný chod a drahé odstraňování škodlivin ze vzduchu a popela. Některé textilní odpady se pak skladují na sanitárních skládkách, což je drahé.

### **2.2 Proces recyklace textilu**

Recyklovat můžeme každý druh vláknitého odpadu, ze kterého je možné uvolnit jednotlivá vlákna, hejna vláken nebo vazby vláken. Mezi takový odpad řadíme

průmyslový odpad, jinými slovy odpad z procesů: z příprav vláken, odpad z tkaní, pletení, netkaných textilií nebo z přípravy kompozitních výrobků, z přípravy textilních výrobků. Použité textilie a jiné textilní výrobky (automobilový průmysl, polstrování, geotextilie atd.) jsou také textilní odpad. [9]. Proces recyklace začíná u přípravy textilních surovin. Ty se rozdělí na použité textilie a průmyslový odpad. Textil se pak třídí do několika podskupin. Proces je velmi náročný, proto se provádí nejčastěji v zemích s nižšími náklady na pracovní sílu. Použité textilie se roztřídí na textilní díly, vlákna a látky, chemicky ošetří, roztrhají se na kousky a vyčistí se. V tomto místě zpracování se k nim přidá i průmyslový odpad, který je již slisovaný. Směs odpadů se rozřeže, znovu vyčistí, projde povrchovou úpravou a roztrhá se nyní už na hejna vláken. Po přípravě textilních surovin přichází příprava vláken, z té nám vychází lehká vlákenná síť procesem mykání. Tento produkt můžeme použít k výrobě netkaných textilií nebo k výrobě staplových vláken.

## **2.3 Metody recyklace textilu**

Recyklační procesy lze dále řadit podle stupně zpracování, ke kterému během recyklace dochází. Jak uvádí Bartl [10] ve své práci, existuje recyklace textilií, kde se chemické a fyzikální složení nemění. Jedná se o použitá vlákna ve výplňkových materiálech. Další typ je materiálová recyklace, při ní se nemění pouze chemické složení. Do této skupiny by se dalo zařadit tavení polyesterových textilií a jejich převláknění. Recyklace surovin, kde se mění chemické i fyzikální vlastnosti, je poslední kategorií. Zde je uveden příklad depolymerizace vláknitých materiálů na monomery. Tato kapitola popisuje několik druhů technologií pro recyklaci textilního odpadu. Mezi hlavní technologie se řadí mechanická recyklace, chemická a termální recyklace. Všechny zmíněné technologie se mohou využívat i dohromady, například u recyklace koberců.

### **2.3.1 Mechanická recyklace**

Mechanická recyklace je nejčastěji používaná technologie recyklace, nejen u přírodních materiálů, jak píše Kaňková [11]. Recyklace má několik fází od třídění podle barev textilu, trhání na kusy a dále na jednotlivá vlákna. Během procesu je na vlákna vyvíjen takový tlak, že se nezamotávají ani nelámou. Popis mechanické recyklace je uveden již výše. Tímto procesem materiál ztrácí na kvalitě výrazně více než u chemické recyklace, oproti původní surovině.



### **2.3.2 Chemická recyklace**

Chemická neboli molekulární recyklace je výhodná, protože tímto typem technologie jde recyklovat i takový materiál, který mechanicky recyklovat nelze, jak uvádí časopis Průmyslová ekologie[12]. Představuje jednu z možností zpracování odpadů „plazmové zplynování“, to je součástí chemické recyklace. Během této technologie dochází k termickému rozkladu původní suroviny. V našem případě rozklad polymeru na základní molekuly (monomery), z nichž se znovu vyrobí nová vlákna. Primárně se používá u recyklace syntetických vláken, tedy vláken z fosilních paliv. Z důvodu vysokých nákladů a investic je chemická recyklace využívána jen málokdy. Konečná vlákna mohou být ale i mnohem kvalitnější než vstupní materiál.

### **2.3.3 Termální recyklace**

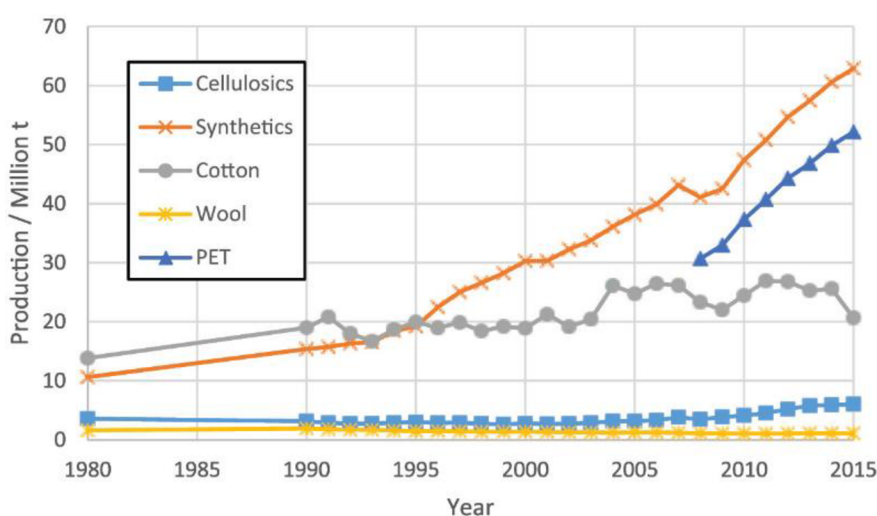
U termální recyklace se nejedná o technologii recyklace, jde o spalování textilního odpadu. Spalování má výhody oproti skladování na skládkách. Na webu odpadové hospodářství[13] se píše, že se zredukuje množství odpadu, zároveň se využívá vysoká výhřevnost a v případě, že je spalovna schopna zachycovat toxické škodlivé látky, je i ekologicky přijatelná.

## **2.4 Problémy s recyklací špatně rozložitelných materiálů**

S problémy recyklace velkého množství materiálového textilu se začali výzkumníci více zajímat o možnosti vedoucí ke zlepšení recyklace. V nedávné studii o recyklaci odpadního bavlněného textilu obsahující elastan se zaměřil tým vědců v čele s Wang[14], především na recyklaci více materiálových textilií, například bavlna-polyester. Vybrané materiály byly zajímavé kvůli obsahu elastanu. V jiných studiích byl elastan vždy při recyklaci odseparován a zbytek byl opětovně použit. Podle vědců by bylo jednodušší a pohodlnější, když by recyklace proběhla najednou.

Pro výzkum byla vybrána nošená trička z 95 % z bavlny a z 5 % z elastanu. Vědci rozpouštěli celulózu vlákna pomocí rozpouštědel  $H_2SO_4$  a vodného rozpouštědla NaOH. Došli k úspěšnému závěru, kdy se rozpustila celulózu vlákna, ale stále zůstaly různé formy složky elastanu. Studie ukázala, že bavlněno-elastanové tkaniny lze recyklovat třemi rozpouštědly, které nemají špatný vliv na životní prostředí. Ulehčilo se tak recyklaci směsových materiálů s obsahem elastanu. Syntetická vlákna jsou součástí skupiny umělých vláken. Po těchto vláknech čím dál tím více roste poptávka na trhu textilu. Proč se zabývat recyklací těchto syntetických vláken? Podle studie Benjamina

Piribauera a Andrese Bartla[15] produkce celulókových vláken vzrostla za posledních 10 let narozdíl od přírodních vláken, jako bavlna a vlna, o dvojnásobek. Výsledky můžeme vidět na obrázku Obr. 1 Globální produkce vláken od roku 1980 do roku 2015. Z obrázku je zřejmé, že produkce syntetických vláken neustále roste, nejvíce používaný syntetický materiál pro výrobu oděvů je polyethyltereftalát, který velmi přispěl k celkové produkci. Rozvoj dokonalé recyklace syntetických vláken patří mezi zásadní kroky ve vědě. K jejich výrobě je nutná ropa a její spotřeba stoupá společně se spotřebou materiálu. Důkladnou chemickou recyklací by se tak materiál mohl depolymerizací dostat zpět na původní frakce, tedy také ropu, a mohl by být vyroben znovu od začátku.



**Obr. 1. Globální produkce vláken od roku 1980 do roku 2015[15]**

Mechanická recyklace je zásadní v oblasti textilu, když se ale podíváme na výzkum Vinitha[16], který přišel s myšlenkou chemické recyklace polyesterových odpadů za pomoci nanočástic oxidu zinečnatého s příměsí stříbra. Chemická recyklace se neustále inovuje v oblasti výzkumu a je to dostupná alternativa k mechanické recyklaci. Tým vědců proto přišel s obnovou syntetických materiálů pomocí metod fyzikálních, biologických a chemických. Jejich myšlenka se opírá o systém oběhového hospodářství, za účelem snížit spotřebu surovin. Polyesterová vlákna se recyklují špatně, protože obsahují různé přísady, barviva a povlaky. Proces recyklace je uveden výše, stejně tak se recykluje i PES. V této studii je uvedena chemická recyklace, která by zvyšovala opětovné využití vlákenného odpadu. Tento výzkum ukázal, že pomocí mikrovlnného záření, katalyzátoru, oxidu zinečnatého společně se stříbrem, byl polyester depolymerovaný pomocí glykolýzy a aminolýzy. Depolymerace je proces, kdy vlivem tepla dochází k rozpadu řetězce za vzniku monomerů. Rozpadem vznikají dva produkty

pevný a aerosolový[17]. Z aerosolové frakce se odděluje kapalina, která se dá označit slovem ropa. Využití této chemické recyklace představuje udržitelnější a ekologičtější přístup oproti jiným druhům recyklace.

### 3 Cirkularita textilií

Cirkularita je koncept pro používání a likvidaci oděvů ve prospěch co největšího opětovného použití a recyklace. Opětovná recyklace eliminuje tvorbu odpadu a dodává výrobku delší životnost. Jak uvádí firma Nilmore na svých webových stránkách [18]. Základní proces cirkulace vidíme na obrázku Obr. 2.



Obr. 2. Princip oběhového a lineárního hospodářství a materiálový tok[19]

Hlavní překážkou pro uzavření smyčky v textilním průmyslu je nedostatek znalostí a schopností, jak oddělovat vlákna různých typů ze směsných materiálů. Zejména je tento problém znatelný u směsi polyester a bavlna.

#### 3.1 Cirkulační ekonomie

Cirkulační ekonomie neboli oběhové hospodářství je koncept zaručující dlouhodobě udržitelné výrobky na trhu. Během celého cyklu výrobků by mělo být vyprodukováno jen minimum odpadu díky, minimalizaci plýtvání[19]. Odpad se přeměňuje na zdroj k další možné výrobě. Cirkulace zajišťuje udržitelný rozvoj výrobků. Biologické i technické komponenty výrobků jsou navrženy v souladu s cirkularitou, je tedy možnost je znovu použít, přeměnit a recyklovat. Výrobky jsou vyrobeny z takových materiálů, aby byly dobře kompostovatelné na konci své životnosti.

#### 3.2 Průzkum současného trhu firem s cirkulačními materiály

Cirkulační ekonomie je v oblasti recyklace již velice známý pojem. Není tomu tak ale u recyklace textilu. Jak bylo zmíněno výše, recyklace textilu není nijak jednoduchá a je finančně náročná, proto cirkularita v textilu není tak oblíbená. Po důkladném průzkumu trhu bylo nalezeno několik málo firem, které si berou cirkularitu za svůj cíl. Jednou

z firem, která se podílí na vývoji cirkulační ekonomie s textilem je společnost Lindström[20]. Společnost pracuje s technologií, která funguje tak, že shromažďuje nepotřebné bavlněné oblečení, které se chemicky rozpouští, a z nově vzniklého vlákna se vyrábějí nové oděvy. Služby firmy spočívají v pronajímání textilií. Výroba textilií je tak snížena na minimum podle potřeby a díky recyklaci se může dále využívat.

Společnost TextilEco a.s. se podílí na sběru použitého textilu, obuvi a hraček po Evropě. Sesbírané produkty podle uvedených dat[21] z 30% znovu využívá a z 50% materiálově recykluje. Firma zavedla sběrné textilní kontejnery, které jsou již od roku 2015 povinné pro oddělení sběru textilu podle předpisu Evropské unie.

Další společností, která se zabývá sběrem džínoviny skrz celé spojené státy je Blue Jeans Go Green[22]. Společnost se zabývá sběrem džínoviny, aby ji odstranila ze skládek a spolupracuje s Bonded Logic[23], aby ji recyklovaly a mohla být použita znovu. Víze firmy Circ[24] je podobná, Circ se nazývá technologický systém, který vrací oblečení do původních surovin. Recykluje směsi polyesteru nebo bavlny a přivede je zpět na základní stavební jednotky, ze kterých se vyrábí tkaniny původní kvality výrobku.

Existuje nespočet firem a společností, které se technologií cirkulace v textilu zabývají, již několik let. Většina z nich jsou zahraniční a pro větší přehled je uveden seznam dalších z nich, které sdílí společnou vizi.

Econyl[25]

FabScrap[26]

Infinited Fibre Company[27]

Pure waste[28]

Recover[29]

Renewcell[30],... a další.

### **3.3 Cirkulace, jako inovace pro textilní průmysl**

Současný systém v oděvním průmyslu je založen na rychlé módě, rychlých trendech. Cíl této strategie je založen na neustálé produkci nových produktů. Životní cyklus těchto produktů se ale zkracuje a poptávka tak rychle roste po nových výrobcích píše Berchicci[31]. V rámci současného systému musí dojít k výraznému přehodnocení

základů a zaměření se na výsledek, konečnou kvalitu, které má být dosaženo Niinimaki[32]. Ekologické materiály a ekologická výroba jsou trendy v 21. století v textilním průmyslu, ale jsou zatím využívány převážně malými návrháři a společnostmi. Jak tvrdí někteří výrobci, zaměření výroby by mohlo být na užitnou hodnotu, což by vedlo ke zvýšení kvality a životnosti výrobku. Výzkumy ukázaly, že největší nespokojenost spotřebitelů je v oblasti fáze údržby výrobku. Výrobci by tak mohly nabídnout informace o zamýšlené životnosti výrobku a poskytnout informace kolik prání výrobek snese, než se začne kazit jeho kvalita. V tuto chvíli by bylo jednodušší přejít na vysoce kvalitní výrobky, jež mají životnost co nejdéle. Další krok by byla příprava sběrných míst, pro již nevyužívané produkty a vytvoření společností, které se o samotnému znovuoobnovení, recyklaci, budou věnovat v rámci svého programu.

### **3.4 Biodegradabilní materiály**

Biologicky rozložitelné materiály ukončují svůj oběhový cyklus v kompostu v půdě, kde se samy rozloží[33]. Kompostované materiály se využijí k regeneraci půdy a obohacení půdy o živiny. Biologicky odbouratelné materiály jsou schopny se rozložit na své základní prvky pomocí hub či bakterií. V textilním průmyslu není moc materiálů, které jsou biologicky odbouratelné. Většina textilií je chemicky ošetřena, a tak proces rozkladu trvá déle, nebo chemikálie poškozují mikroorganismy, které látku pomáhají rozložit a proces vůbec neproběhne.

Existuje ale mnoho biodegradabilních vláken, většinou rostlinných, jako konopí, bavlna, bambus nebo lyocell, jak uvádí Krososky[34]. Aby i tato vlákna, a následná textilie z nich vyrobená, zůstala biologicky rozložitelná, musí být šetrně zpracována. Taková vlákna se dají využít například v geotextiliích, kde plní své hlavní funkce jako separace, filtrace, drenáž či těsnění, jak uvádí Daria a spol. [35]

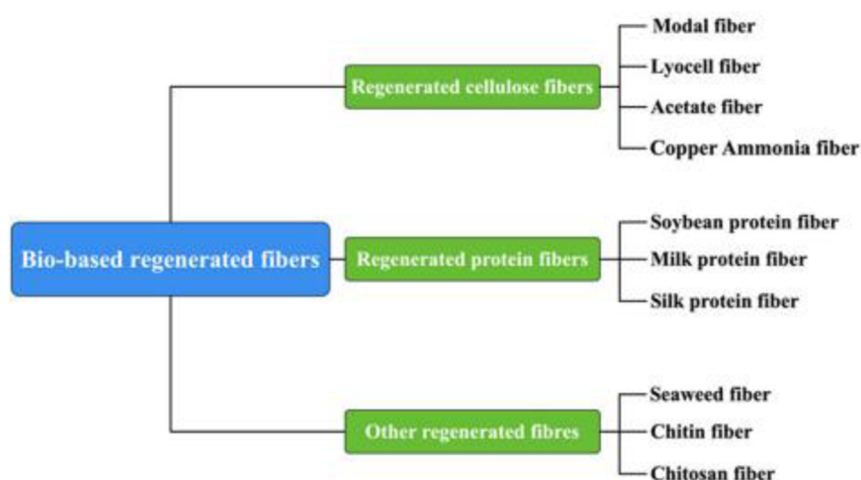
Biologicky odbouratelná vlákna lze rozdělit do dvou skupin: biologicky odbouratelná vlákna na biologické bázi a biologicky odbouratelná vlákna na bázi ropy, jak uvádí Bao[36]. Podle rozsahu surovin a procesu výroby můžeme vlákna na biologické bázi rozdělit ještě na přírodní vlákna, regenerovaná vlákna a syntetická vlákna. Přírodní a regenerovaná vlákna jsou dobře biologicky odbouratelná, protože si zachovávají polysacharidové nebo bílkovinné složky. Syntetická vlákna na bio-bázi jsou například kyselina polylaktová nebo polykaprolakton. Tyto materiály podléhají rozkladu v kompostovacích a degračních roztocích na malé molekuly.

### 3.4.1 Biologicky odbouratelná přírodní vlákna

Přírodní vlákna se dělí na vlákna rostlinná a živočišná. Výrobky z těchto vláken jsou ekologické a biologicky rozložitelné. Bavlna má velký podíl produkce přírodních vláken celosvětové produkce, za rok 2018 asi 24,2 %. Podíl ostatních přírodních vláken jako juta, len či konopí byl 5,7 % z celkové celosvětové produkce 26,05 milionu tun vláken, jak píše Bao [36]. Přírodní rostlinná vlákna se získávají ze semen, plodů, stonků nebo listů rostlin. Hlavní složkou rostlinných vláken je celulóza, proto se vláknům přezdívá také celulózová vlákna. Jedná se o nejstarší používané vlákno lidskou společností. Přírodní živočišná vlákna jsou získávána ze srsti zvířat nebo ze sekretu hmyzu. Tato vlákna se nazývají také proteinová, protože vlákna ze srsti zvířat obsahují keratin a vlákna ze sekretu hmyzu fibroin. Příkladem keratinového vlákna je například vlna. Vlněné vlákno je hlavní složkou v textilním průmyslu. Ovčí vlna je nejpoužívanější druh vlny následována kašmírem. Jedno z fibroinových vláken je například přírodní hedvábí, získávané z larev bource morušového.

### 3.4.2 Biologicky odbouratelná regenerovaná vlákna

Regenerovaná vlákna na biologické bázi jsou vyrobena chemickým způsobem z části rostlin a živočichů, obsahují tak především regenerovaná celulózová vlákna nebo proteinová vlákna z výměšků hmyzu. Kromě těchto dvou kategorií můžou obsahovat regenerovaná vlákna také chitin či vlákna z mořských řas. Z Obr. 3[36] je zřejmé další rozdělení regenerovaných vláken.



Obr. 3. Klasifikace biologicky odbouratelných regenerovaných vláken[36]

Lyocelová vlákna jsou jedna z nejprodukovanějších vláken své kategorii. Vyrábí se z dřevní buničiny procesem spřádání v rozpouštědle. Vlákna lyocellu mají vysokou

pevnost za sucha i za mokra a dobrou pevnost v tahu. Vlákná jsou také odolná vůči alkáliím, ale ne vůči silným kyselinám, jak píše ve své práci Chen[37]. Tyto vlákna jsou nejlépe biologicky rozložitelná vlákna z kategorie celulóзовých vláken.

### **3.4.3 Biologicky odbouratelná syntetická vlákna**

Nová biologicky odbouratelná syntetická vlákna se vyrábějí z rostlin a z vysoce čistých monomerů na biologické bázi chemickými metodami, například mikrobiální fermentací či genetickým inženýrstvím, uvádí článek [36]. Monomery jsou polymerizovány na vysokomolekulární polymery a zpracovány do podoby vláken vhodných ke spřádání, včetně kyseliny polymléčné (PLA). Syntetická vlákna biologického původu jsou nyní předmětem výzkumů. Jejich produkce je mnohem nižší než přírodních vláken, ale již se využívají například v obalových materiálech. PLA vlákna jsou vyrobena ze surovin kukuřice, pšenice, manioku a dalších škrobů. Fermentuje se za vzniku kyseliny mléčné a následně se polymerizuje pro vznik PLA, nakonec se spřádá do vláken. Povrch vlákna vykazuje nepravidelnou strukturu, různé přerušované pruhy, díky nim má vlákno dobrou absorpci vlhkosti. Fyzikální vlastnosti vláken jsou uvedeny v tabulce Tab. 1. Chemické vlastnosti PLA jsou špatné z hlediska odolnosti vůči kyselinám a zásadám, dále také podléhají hydrolýze a špatně se barví. Vlákná se mísí například s bavlnou nebo vlnou.

### **Použití PLA pro udržitelné produkty**

Výroba biodegradabilních materiálů se nyní hodně zvýšila s větší poptávkou po udržitelných materiálech. Tyto materiály se dají využívat po dobu jejich rozkladu, pak jsou daným postupem rozloženy Samir[38]. Výhodou využití biodegradabilních materiálů je především regenerace použitých surovin a snižování emisí oxidu uhličitého. Vliv na proces biodegradace má morfologie polymeru, struktury, chemické zpracování a molekulové hmotnosti.

Polypropylen, polyethylen či polyvinylchlorid jsou často využívané plasty, syntetické polymery vyrobené z ropy. Díky velké spotřebě ropy na tyto materiály se začínají využívat alternativy, které zajistí ekologicky šetrnější prostředí. Mezi ně řadíme biokompozity. Hlavním a slibným materiálem je polylaktid, který vyniká svými vlastnostmi, jak uvádí Trivedi a spol.[39]. Jeho vlastnosti jsou srovnatelné s polypropylenem nebo polyvinylchloridem. Udržitelnost PLA zajišťují rostlinné produkty, na které se rozkládá po konci životnosti. Svou biodegradaci produkuje oxid



uhličité a vodu, které se využívají k procesu fotosyntézy. PLA je výhodný především díky své dostupnosti, rozložitelnosti a nízké hustotě.

### **3.5 Strategie v biologickém rozkladu syntetických materiálů**

V reakci na přibývající odpad na planetě se vyvíjí různé strategie biologického rozkladu textilních vláken s cílem zlepšit udržitelnost textilií, uvádí Egan a spol.[40]. První strategie je vyvinout textilie s lepší účinností rozkladu v kontrolovaných mikrobiálních prostředích (kompostování). Druhou strategií je vyvinout biologicky založené technologie cirkulární výroby, které budou depolymerizovat textilní vlákna zpět na jejich složkové monomery pro recyklaci pomocí enzymů a mikroorganismů. Poslední strategie se zabývá tím, jak minimalizovat důsledky uvolňování textilních odpadů do přírody. Přírodní prostředí je nekontrolovatelné, proto by měl materiál sám o sobě být schopen degradace.

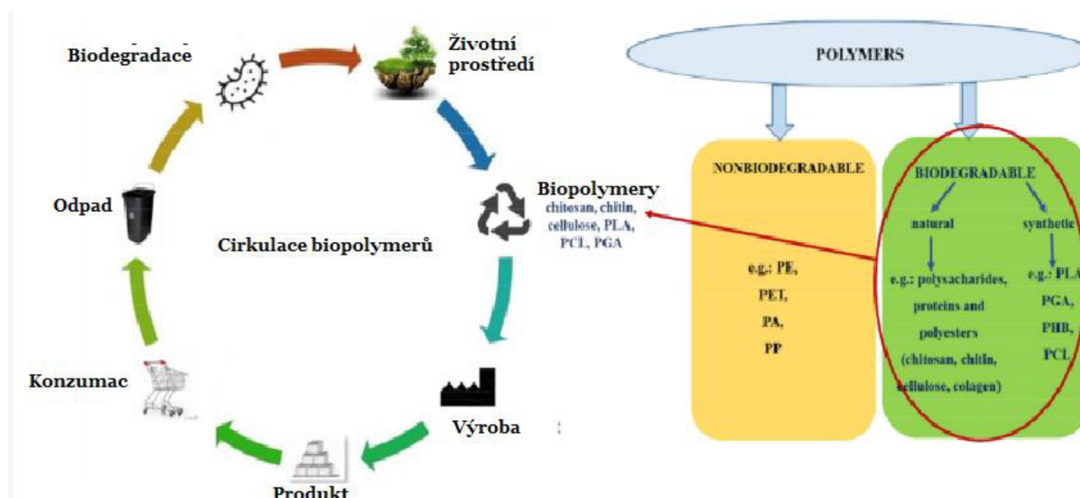
#### **3.5.1 Biologická odbouratelnost textilních vláken**

Vlákna syntetická i přírodní se skládají z amorfních i krystalických oblastí, nazývají se tak semikrystalická. Díky tomu jsou vlákna houževnatá a pevná [40]. Rozklad nastává v amorfní části, která je lépe přístupná vodě, což způsobí rozpad vláken na mikrovlákna. Materiál degradující v přírodě, pokračuje depolymerizací na molekuly, které jsou spotřebovány mikroorganismy jako zdroj energie. Jiné molekuly se přemění na biomasu, která se podílí na tvorbě samotných buněk. Krystalické části vláken však mohou odolávat degradaci a tím se naruší cesta k úplnému rozkladu a materiál se začíná kumulovat v daném prostředí. Biologická odbouratelnost neboli degradace se měří podle daných standardních metod, aby se zjistilo, zda materiál splňuje regulační požadavky. Standardizované metody stimulují podmínky, za kterých by probíhala degradace, například britská norma BS EN 14, 119:2003.

#### **3.5.2 Biodegradabilní biopolymery a odbouratelnost PLA**

Biodegradace polymerů se pohybuje v řádu několika měsíců. Práce M. Daria[41] se zabývá biologicky odbouratelnými textiliemi a představuje přehled doby degradace u biopolymerů. Biopolymery jsou obnovitelné ekologické biodegradabilní materiály, které nahrazují polymery na ropné bázi, které jsou syntetické. Jsou významné jak svou ekologickou stránkou, ale také dobrou pevností v tahu, propustností a houževnatostí, Sadasivuni[42]. Na obrázku Obr. 4 je znázorněn životní cyklus biopolymerů, od

zpracování po samotnou degradaci. V tabulce vpravo je výčet biodegradabilních polymerů.



Obr. 4. Životní cyklus biodegradabilních polymerů v kontextu cirkulární ekonomiky[43]

Pro nás nejdůležitější polymlaktid prokazuje dobu degradace 20 měsíců. U polymlaktidu a podobných biopolymerů je kompostovatelnost a následná odbouratelnost možná právě proto, že jejich zdroj je rostlinného původu či z biomasy, u polymlaktidu se jedná o cukrovou třtinu či kukuřici. Dalším uvedeným biopolymerem je například polyhydroxyalkanoát, který prokázal dobu degradace 12 měsíců[35]. Pro srovnání s rostlinnými vlákny, doba degradace bavlny je 1-6 měsíců, juta může degradovat až 18 měsíců. Je zde vidět rozdíl oproti rostlinným vláknům, ale určitě není tak znatelný, jak by se u polymerů očekávalo.

V práci J.Egan[40] je přezkoumáváno biodegradční chování syntetických textilních vláken ve srovnání s přírodními textilními vlákny a je uvedeno PLA jako alternativní syntetická textilie na biologické bázi. Degradace polymlaktidu probíhá na rozdíl od biologicky odbouratelných polymerů, které podléhají povrchové degradaci enzymy, v kompostovacím prostředí dvoustupňovým mechanismem, při kterém se materiál nejprve rozpadne vlhkostí, když je teplota vyšší než 60 °C, následuje mikrobiální napadení a přeměna fragmentových zbytků. Vedlejšími produkty jsou pak oxid uhličitý a voda. PLA tak patří mezi syntetické vláknotvorné polymery, které mají biologickou degradaci přijatelnou, tudíž jako alternativní syntetické vlákno by sloužilo dobře. Dalšími syntetickými vláknotvornými polymery jsou polyestery či polyaprolaktony a polypropylen.

Zásadními podmínkami pro dobrou degradaci vláken a polymeru jsou jejich mechanické vlastnosti, chemické složení, krystalinita nebo hydrofilita[40]. Žádoucí vlastnosti musí splňovat jak pro oděv, tak pro jeho rozklad mikroorganismy. Ukázalo se, že přírodní vlákna vykazující chemické požadavky na biodegradaci a fyzikální požadavky na oděvní textilie jsou bavlna, vlna, hedvábí a umělé hedvábí. Z chemických vláken to jsou především polylaktid, ve směsi s přírodními vlákny, nebo polyurethan ve směsi či kopolyester. Polylaktid vyšel z výzkumu jako velice dobrá alternativa syntetických vláken.

### **3.6 Cirkulární textilie firmy Nilmore**

Firma Nilmore používá recyklované materiály pro zdravější životní prostředí. S produkcí těchto materiálů přišla, aby zabránila již zmíněným problémům u výroby syntetických materiálů. Syntetické materiály se vyrábí z fosilních zdrojů, většinou z uhlíku, dusíku, vodíku, síry, chloru a fluoru. Proto odborníci přišli na možnost, jak materiály recyklovat opakovaně a stále používat.

Firma Nilmore[44] pracuje se čtyřmi recyklovatelnými biodegradabilními materiály, NILPLA, NILCOTT, NILPET, CIRPAD. Tyto materiály vychází před recyklací z jejich konvenčních variant, vláken polyaktidových, polyesterových, polyamidových a z bavlny.

Firma Nilmore usiluje o to, aby právě recyklace vláknům neškodila a případně jen minimálně. Jednotlivým textiliím přidává i různé povrchové úpravy pro zlepšení jejich vlastností. Na svých stránkách popisuje jednotlivé materiály podle jejich výroby či recyklace[18]. Z každého materiálu vyrábí trička, funkční trička, košile, mikiny a batohy. Jednotlivé produkty má v odlišných barvách. Vyskytuje se bílá, tělová, černá a fialová. Fialová barva je vidět pouze u materiálu NILCOTT.

#### **3.6.1 NILPLA**

Oděvní textilie, kterou firma sama vyvinula. Materiál by se dal považovat za budoucnost módního průmyslu. Při jeho výrobě se spotřebuje o 98 % méně vody oproti bavlně a má o 59 % menší uhlíkovou stopu na rozdíl od polyesteru, uvádí firma Nilmore[18].

NILPLA je bezvodá vysokomolekulární podoba kyseliny mléčné, jedná se o termoplastický polyester, polylaktid PLA. Kyselina mléčná vzniká extrahováním škrobu z rostlin jako cukrová třtina a kukuřice a fermentuje se enzymatickou hydrolýzou na

glukózu. Výroba polyaktidu z kyseliny mléčné probíhá termickou či katalickou polymerací přeměnou laktidu. PLA se zvláknuje z roztoku i z taveniny.[45] Vznikají vlákna ekologicky šetrnější s dobrými užitnými vlastnostmi. Vlastnosti materiálu si ověříme v experimentální části, ale podle výrobce by měly být prodyšné, odolné vůči UV paprskům a dobře tepelně vodivé. Vlastnosti materiálů nám ukazuje tabulka Tab. 1.

Právě polylaktid je biodegradabilní materiál, jedná se tak o udržitelný materiál, jež nahrazuje polyethylentereftalové polyesterové vlákno v textilních výrobcích, jak uvádí Yang[46]. Svými vlastnostmi se podobá právě polyethylentereftalátu, má ale menší odolnost vůči degradaci a vysokým teplotám. Ve srovnání s polyestery mají vyšší afinitu k vodě. Jsou odolné vůči UV záření a bod tání polylaktidu lze měnit v širokém rozmezí, jak uvádí pan Militický ve svých skriptech[47].

Vlákna PLA mají dobrou pružnost, vynikající vodivost vlhkosti a rychle schnou. Materiál vyniká vyšší tažností než pevností a hodně podléhá degradaci (využívá se řízenému podávání léčiv)[47]. Z hlediska chemických vlastností nejsou vlákna odolná vůči kyselinám a zásadám, snadno podléhají hydrolyze a mají špatnou stálost barvení. Vlákna jsou měkká na dotek. Lze je mísit s bavlnou, vlnou nebo viskóзовými vlákny, uvádí časopis[36]. Jednou z nevýhod vláken je jejich malá odolnost v oděru.

Způsob recyklace vyvinula firma společně s vědci z VUT v Brně a technologickými partnery[12]. Možnosti recyklace jsou dvě: molekulární a termomechanická. Molekulární recyklací se látka rozkládá na jednotlivé molekuly, které jsou opětovně složeny. Termochemickou recyklací se materiál roztaví na taveninu a znovu se zvlákní. Tento způsob recyklace je početně omezen na jeden materiál, pak musí být použit jiný způsob.

### **3.6.2 NILCOTT**

Molekulárně recyklovatelná bavlna. Obsah je tvořen 50 % recyklované bavlny a 50 % organické bavlny, případně se jedná o 100% organickou bavlnou opatřenou certifikátem GOTS. GOTS neboli „Global organic textile standard“ je certifikace pro textilie vyrobené z textiliích z organických vláken, jak vádí Global standart na svých stránkách[48].

Bavlna je přírodní vlákno z tobolek bavlníků. Je to nejpoužívanější textilní materiál, zároveň ekologicky nejnáročnější jak na pěstování, tak na výrobu[49]. Bavlníky je nutné šlechtit pro správnou délku, jemnost, pevnost a barvu vlákna. Bavlna se používá do

oděvních výrobků jako například spodní prádlo, košiloviny, svrchní oděvy, oděvy pro sport či najde využití u technických textilií[50].

Knihou od pana Levinského [51] o vlastnostech vláken uvádí, že vlákna jsou tažná, silně navlhavá, pod dlouhodobým působením UV paprsků žloutnou a ztrácí pevnost. Mají nepříznivé mechanické a elastické vlastnosti. Jsou dobře barvitelná.

### **3.6.3 NILPET**

Cirkulární polyester, 100 % recyklovaný a 100 % recyklovatelný, je další materiál který prezentuje firma Nilmore [18]. Je získávaný z polyesterového textilního a obalového odpadu. Firma přidává materiálu naproti klasickému polyesteru ještě úpravu proti skvrnám, která odpuzuje tekutiny na bázi vody a oleje.

Polyesterová vlákna jsou syntetická vlákna, která se zvláknují z taveniny polymerů, proto si firma vybrala recyklovanou verzi polyesteru, aby odlehčila životnímu prostředí. Polyester se používá zvláště jako směsový materiál s bavlnou, vlnou či lnem. Polyesterová vlákna mají velkou odolnost v oděru, nízkou navlhavost, jak ukazuje tabulka, ta způsobuje větší míru nabíjení statickou elektřinou, jak se píše v knize od pana Levinského [51]. Jinou nevýhodou je také vysoká žmolkovatost. Výrobky se snadno perou a rychle schnou. Vlákna odolávají vysokým teplotám až do 150 °C. Vlákna mají vynikající odolnost vůči slunečnímu záření a zašpinění. Polyester se používá většinou ve směsi, směsové tkaniny jsou pak pevné, nemačkové, pružné a stálé.

### **3.6.4 CIRPAD**

Poslední materiál, který firma využívá, je CIRPAD firmy Nilmore[52]. Vzniká recyklací odpadů z rybářských sítí, kobereců, zbytků látek a průmyslových odřezků. Vzniká tak vlákno, jehož konvenční varianta je polyamidové vlákno, v tomto případě polyamid 6. Obchodní název pro polyamid je silon či nylon, podle typu polyamidu (polyamid 6, polyamid 6.6).

Polyamidová vlákna jsou druhá nejdůležitější vlákna po polyesterových v textilním průmyslu. Využívají se jako směsový materiál do přízí pletených i tkaných výrobků, jak uvádí stránka e-LTEX[53]. Monofil se zpracovává do šicích nití a multifil do sportovního oblečení a punčochových výrobků.

Vyrábí se zvláknováním polyamidu z taveniny. Vlákna mají vynikající odolnost proti oděru a vynikající pevnost a tažnost, uvádí Levinský [51]. Vlákna mají nízkou

navlhavost. Výrobky se snadno perou a rychle schnou, díky malé bobtnavosti vláken. Polyamidová vlákna mají malou odolnost vůči zvýšeným teplotám a slunečnímu záření.

Vlastnosti všech uvedených vláken jsou přehledně uvedeny v tabulce. Tab. 1.

**Tab. 1. Fyzikální vlastnosti vláken pro cirkulační materiály**

	Pevnost za sucha [cN/tex]	Pevnost v tahu [MPa]	Navlhavost [%]	Barvitelnost	LOI	UV záření	Stupeň mačkavosti
Polylaktid	32-45	41-70	0,6	Špatná stálost barev	26	Vysoká odolnost	Vysoký
Bavlna	15-55	287- 800	8	Dobrá	18- 20	Žloutnutí	Vysoký
Polyester	30-60	45-85	0,4	Velmi dobrá	21	Vysoká odolnost	Nízký
Polyamid 6	26-40	76-83	4-4,5	Velmi dobrá	20- 22	Žloutnutí, ztráta pevnosti	Nízký

## 4 Užité vlastnosti textilních materiálů

Užite vlastnosti textilií se uplatňují při používání textilií. Díky dobrým užitným vlastnostem může materiál plnit své předpokládané funkce. Vlastnosti se dělí do několika kategorií podle požadavků na daný oděv a oděvní materiál. Mezi základní skupiny užitných vlastnosti řadíme trvanlivost, estetické vlastnosti, fyziologické vlastnosti a možnost údržby.

### 4.1 Trvanlivost

Trvanlivostí se rozumí schopnost textilie odolávat opotřebením a poškozením. Během používání jsou textilie ohýbány, odírány, vystavovány různým teplotám, UV záření, potu atd. Všechny tyto vlivy působí na textilií během nošení, tak i při údržbě textilie, při praní, žehlení a čištění. Odolnost textilií se stanovuje na základě laboratorních zkoušek, zmiňuje Burešová[54].

Mezi trvanlivostní vlastnosti řadíme:

- **Pevnost v tahu**
- **Tažnost**
- **Odolnost v oděru**
- **Pevnost a tažnost švu[54]**

### 4.2 Estetické vlastnosti

Estetické vlastnosti mají vliv na vzhled textilie i hotového výrobku. Zásadní vliv na vzhled textilie má druh vybraného materiálu a jeho parametry. Důležitými faktory jsou vazba, složení, použitá příze, jemnost a použité úpravy textilie. Vybrané estetické vlastnosti jsou stálobarevnost, lesk, splývavost, mačkavost, žmolkovatost.[54]

### 4.3 Fyziologické vlastnosti

Fyziologické vlastnosti jsou zásadní pro hodnocení oděvního komfortu. Oděvní komfort zahrnuje všechny vjemy uživatele při nošení oděvu, který napomáhá k udržení tepelné rovnováhy a pohodlí[55]. Jedna z těchto vlastností je prodyšnost, jedná se o schopnost textilie propouštět vzduch skrz. Úpravy textilie mohou prodyšnost zlepšit, ale jinak je dána konstrukcí, vazbou či tloušťkou materiálu. Dalšími vlastnostmi jsou savost, nasákavost, propustnost a tepelně izolační vlastnosti. Propustnost vodních par je schopnost textilie propustit vodní páru neboli pot od těla pryč. Tepelně izolační vlastnosti

udávají schopnost materiálu vést teplo. Tato veličina je závislá na součiniteli tepelné vodivosti textilie a na druhu materiálu či struktuře textilie.

#### **4.4 Možnost údržby textilie**

Aby textilie byly použitelné v oděvnictví, je potřeba možnost je udržovat. Tyto textilie musí být možné prát nebo chemicky čistit, Burešová[54]. Další údržbou textilií je jejich žehlení, pomocí tepla, tlaku a páry. Nejdůležitější vlastností je ale srážlivost textilií. Ta se zkoumá během právě zmíněného praní, chemického čištění a žehlení. Důležitým faktorem je také stálobarevnost textilií při praní a čištění. Při nesprávném čištění či nevhodné údržbě dochází k nenapravitelným změnám, jako jsou lomy vláken, nežádoucí změna barvy, sražení materiálu či jiné poškození vláken.



## 5 Experimentální část

Cirkulační ekonomika v textilním průmyslu není hojně zastoupena. Hlavní důvody jsou finanční náročnost, dlouhodobé plánování a práce se zákazníky. Jedna z mála firem, která se zabývá cirkularitou v Čechách a založila na tom svou vizi, je firma Nilmore. Tato firma byla oslovena, protože má velký rozsah v recyklovaných materiálech a je poměrně nová na textilním trhu. Firma je založena na konceptu práce s recyklovanými materiály, které jsou recyklovatelné neustále po dobu několika cirkulačních cyklů, jak uvádí na svých stránkách[44]. Seznam materiálů je uveden v tabulce Tab. 2. a reálné vzorky jsou v Příloha A. Tento koncept je sice velice šetrný vůči životnímu prostředí, ale stále nefunguje na 100 %, jak by si výrobci přáli. Firma je na trhu teprve krátce, takže se výrobky k recyklaci ještě nevrací, ale návraty se očekávají v průběhu nadcházejících let.

Firma k recyklaci používá technologii molekulární recyklace, tudíž se dají materiály recyklovat téměř do nekonečna. Samotné materiály se nesměšují, aby opětovná recyklace nebyla náročná a byla uskutečnitelná.

V praktické části se budou zkoumat užité vlastnosti jako prodyšnost, propustnost vodních par, pevnost, barevná odolnost vůči UV záření a pevnost po působení UV záření u vybraných materiálů firmy Nilmore. Jednotlivé materiály mají různé pleteninové vazby, tím se počet vzorků zvýšil na devět a byla přidána 100% nerecyklovaná bavlna a polyester pro porovnání. Tyto vzorky bavlny a polyesteru budou považovány za základ pro měření a budou použity k dobrému porovnání s ostatními vzorky. Zkoušení materiálů ukáže jejich funkčnost a stálost po recyklaci. Vyhodnocením prokážeme délku životnosti daných materiálů a vhodné využití.

Řešení předložené bakalářské práce bylo rozděleno do třech oblastí:

- **Laboratorní hodnocení fyziologických vlastností recyklovaných pletenin a pletenin z biodegradabilních materiálů**
  - prodyšnosti
  - propustnosti vodních par
- **Hodnocení vlivu UV záření na pevnost a stálobarevnost recyklovaných pletenin a pletenin z biodegradabilních materiálů**
  - Pevnosti a tažnosti biodegradabilních pletenin před a po působení UV záření stálobarevnost

- **Mikroskopické hodnocení, kde předmětem výzkumu bylo porovnání vizuálních změn způsobených vlivem UV záření**

## **5.1 Charakteristika použitého materiálu**

Cílem výzkumu bylo zhodnotit vybrané vlastnosti materiálů. Firma dala k dispozici své čtyři materiály, každý v různých pleteninových vazbách. Každý materiál má minimálně dvě zastoupení v různých vazbách. Materiály jsou z recyklovaných vláken polyesterových, polyamidových a bavlněných a z biodegradabilního polylaktidu. Materiály jsou vyrobeny šetrně k životnímu prostředí. Byla vybrána recyklace taková, aby nepoškodila vlastnosti původních vláken a materiál si tak mohl zachovat svou podobu. Z 12 vzorků bylo vybráno 9 k objektivnímu měření, a navíc byly přidány bavlněná textilie ze 100% nerecyklované bavlny a polyesterová textilie ze 100 % nerecyklovaného polyesteru, pro porovnání vzorků. Porovnávací vzorky byly vybrány podle plošné hmotnosti, aby se blížily recyklovaným materiálům. Hmotnost materiálů byla naměřena na vzorcích o velikosti 10 x 10 cm pomocí digitální váhy dle normy ČSN EN 12127. Základní parametry použitých materiálů dle normy ČSN EN 5084 (80 0844) na tloušťkoměru SDL M 034 A jsou uvedeny v tabulce Příloha C. Bylo provedeno měření tloušťky všech materiálů a plošné hmotnosti. Z naměřených hodnot je zřejmé, že plošná hmotnost materiálů je u většiny velice podobná, viz Příloha D. Vyčnívají pouze dva materiály M5 a M6, které mají větší plošnou hmotnost. Rozdíl je dán typem materiálů a jeho vazbou. Tloušťka materiálu se odlišuje v desetinách milimetru, rozsah je 0,5 - 0,9 mm.

Zásadním parametrem pro měření bude také vazba dané textilie. V textiliích máme zastoupení dvou vazeb piké, které jsou známé pro svou větší prodyšnost a budou se pravděpodobně více lišit od ostatních vzorků. Pro měření UV záření byly textilie s vazbou piké vynechány, protože materiály těchto vazeb byly zastoupen jinou vazbou a bylo z ekonomických důvodů nutné omezit počet vzorků pro měření.

Tab. 2. Charakteristika použitých materiálů

P. č.	Materiálové složení	Vazba	Hustota sloupku [počet nití/10 cm]	Hustota řádku [počet nití/10 cm]	Plošná hmotnost [g/m <sup>2</sup> ]	Tloušťka [mm]
M1	100% Bavlna	Zátažná jednolící hladká	134	240	168,8	0,6
M2	100% PES	Zátažná jednolící hladká	117	201	130,3	0,5
M3	50% recyklovaná bavlna, 50% organická bavlna (NILCOTT)	Zátažná jednolící hladká	132	210	167,1	0,6
M4	100 % organická bavlna (NILCOTT)	Zátažná jednolící hladká	144	205	169,9	0,6
M5	100 % polylaktid (NILPLA)	Zátažná jednolící hladká	144	184	215,7	0,8
M6	100 % polylaktid (NILPLA)	Zátažná interlokovaná hladká	140	156	300,7	0,9
M7	100 % polylaktid (NILPLA)	Zátažná piké jednolící	112	113	167,7	0,6

M8	90 % recyklovaný polyamid 10 % elastan (CIRPAD)	Zátažná jednolící hladká	264	276	160,4	0,5
M9	100 % recyklovaný polyamid (CIRPAD)	Zátažná piké jednolící	114	120	169,9	0,6
M10	100 % recyklovaný PES (NILPET)	Zátažná interloková hladká	182	195	128,4	0,5
M11	100 % recyklovaný PES (NILPET)	Zátažná obouliční hladká	90	250	174,2	0,6

## 5.2 Charakteristika použitých zařízení

K hodnocení materiálu byly vybrány tyto zkoušky: prodyšnost, propustnost vodních par, pevnost a tažnost, vliv UV záření na pevnost, tažnost a stálobarevnost. Měření vybraných užitných a fyziologických vlastností bylo provedeno v laboratořích KOD katedry oděvnictví. Použitá zařízení jsou popsána u vybraných zkoušek.

### 5.2.1 Měření prodyšnosti pomocí přístroje SDL M 021 S

Měření prodyšnosti materiálu probíhalo podle normy ČSN EN ISO 9237 (80 0817). Prodyšnost je vlastnost určující komfort plošných textilií. Jako definice se uvádí „*rychlost proudu vzduchu procházejícího kolmo na zkušební vzorek při specifikovaných podmínkách pro zkušební plochu, tlakový spád a dobu*“ [56]. Jak uvádí Matysová ve své práci [57] měření probíhá na principu vytvoření tlakového spádu mezi dvěma stranami zkoušené textilie. Tlakový spád zaručuje průtok vzduchu skrz vzorek textilie, rychlost proudu vzduchu je zaznamenávána. Podle fyzikálních zákonů vzduch bude proudit vždy z místa vyššího tlaku do místa o nižším tlaku. Měření probíhá do chvíle, než se tlaky vyrovnají. Přístroj SDL M 021 S má čtyři průtokoměry, které je možno přepínat, liší se

rozsahem průtoku vzduchu 0–400 ml/s. Prodyšnost se měří pomocí vakuového čerpadla, to je spouštěno pedálem. Čerpadlo nasává vzduch a pouští ho skrz vzorek, který je upínán v kruhové hlavici, jež je utažena šroubem. Pro každé měření je nutné specifikovat rozsah tlaku 0–2 kPa.



**Obr. 5. Příklad přístroje SDL M 021 S**

Pro měření byly zavedeny tyto požadavky:

- Rozměry upínacího vzorku nezavedeny, měření po celé ploše textilie
- Tlakový spád 4 Pa
- Počet měření každého vzorku: 5x
- Norma ČSN EN ISO 9237

Výsledky měření rychlosti průtoku vzduchu byly dosazeny do vzorce:

$$R = \frac{\bar{q}_v}{A} * 167$$

Kde,

R..... prodyšnost v ml/s

$\bar{q}_v$  .....aritmetický průměr rychlosti průtoku vzduchu v  $\text{dm}^3/\text{min}$

A.....zkoušená plocha textilie v  $\text{cm}^2$

167..... přepočítávací faktor z  $\text{dm}^3/\text{min}$  na  $\text{cm}^2$  na ml/s

### 5.2.2 Měření propustnosti vodních par pomocí přístroje TEXTEST FX 3180 CupMaster

Paropropustnost textilu neboli propustnost vodních par je schopnost dané textilie propouštět vodní páru skrz materiál[58]. Vodní pára je voda ve formě molekul, která prostupuje textilií skrz z vlhčího prostředí (zpravidla povrch kůže) do méně vlhkého prostředí (povrch samotné textilie).

Zařízení TEXTEST FX 3180 CupMaster se používá k měření paropropustnosti textilií, jak uvádí laboratoř KOD[59]. Pracuje na principu stanovení rychlosti přenosu vodní páry (WVTR) pomocí gravimetrické metody. Zařízení se používá dle normy L1099-A2. Do přístroje je možno umístit dvanáct vzorků, které jsou umístěny v miskách, kde jsou upnuty upínacím kroužkem. Pomocí misek automaticky zjišťuje rychlost přenosu vodní páry během 1 dne. Výsledky měření se uvádějí jako Water Vapor Transmission Rate WVTR v jednotkách  $[g/m^2/h]$ . Čím vyšší WVTR je naměřena, tím lepší je propustnost vodních par.



Obr. 6. Přístroj na měření paropropustnosti CupMaster[60]

Požadavky pro měření:

Použitá norma L1099-A2 Stanovení rychlosti přenosu vodní páry (WVTR) pomocí gravimetrické metody

Teplota vzduchu uvnitř komory 40 °C

Vlhkost vzduchu uvnitř komory 50%

Rychlost vzduchu uvnitř komory 0,8 m/s

Kruhové vzorky materiálu o rozměrech 10 cm<sup>2</sup>

Teplota klimatizované místnosti 20 °C

Relativní vlhkost vzduchu uvnitř místnosti 60%

24 hod aklimatizování vzorků v místnosti

24 hod měření vzorků

### **5.2.3 Měření pevnosti pomocí přístroje Testometric M350 – 5CT**

Pevnost jednotlivých vybraných materiálů je síla, která se zapotřebí k přetrhu textilie, při namáhání ve dvou směrech textilie. U pevnosti textilií záleží na pevnosti použitých nití a na hustotě nití, tedy na dostavě sloupku a řádku či osnovy a útku. Pevnost se zjišťuje ve dvou směrech, v podélném a příčném směru. Při měření pevnosti je výsledek ovlivněn upínací délkou, délkou čelistí a upnutím vzorku do čelistí, jak píše i Trunečková[61]. Pevnost textilií se zjišťuje nejčastěji zatížením tahem, kde působí proti odporu působení vnějších sil a jsou měřeny se silou nutnou pro přetržení dané textilie. Pevnost v tahu se testuje na přístrojích, kde se upne do čelistí proužek pleteniny, v našem případě, 50 mm široký a 30 cm dlouhý.

Testometric M350 – 5CT neboli trhací stroj, díky kterému naměříme mechanické vlastnosti plošných a délkových textilií. Testováním se sleduje vyvolaná síla. Na tomto stroji je možné testovat typy zkoušek: do destrukce materiálu, cyklické namáhání, tahové namáhání, tlakové namáhání, ohybové namáhání. Přístroj se používá podle normy ČSN EN ISO 13934-1(80 0812). Do čelistí přístroje se umístí vzorek centrálně, aby jeho podélná osa procházela středem předních hran čelistí. Zapojí se zařízení pro záznam maximální síly a tažnosti při maximální síle. Pohyblivá svorka se uvede do chodu sešlápnutím pedálu a zkušební vzorek se napíná do jeho přetržení. Zaznamená se maximální síla, síla při přetrhu v newtonech a prodloužení v milimetrech nebo tažnost v procentech.



Obr. 7. Příklad přístroje Testometric M350 – 5CT

Požadavky pro měření:

Vzorek o rozměrech 5×20 cm

Upínací délka 100 mm

Šablony 3 pro každý materiál

Rychlost zkoušky: 100 mm/min

Předpětí: 0 N

Vzorky v suchém stavu

#### 5.2.4 Měření UV záření pomocí přístroje UV CON

Pro změření vlivu působení UV záření na pevnost materiálů a stálobarevnost materiálů byl použit přístroj UVCON. Tento přístroj obsahuje kovové držáky, do kterých se uchytí materiál. Vzorky jsou vystaveny ultrafialovému záření díky osmi zářivkám, které vyzařují ultrafialové záření o vlnové délce pod 350 nm[62]. Zařízení je tak schopno simulovat sluneční záření, během několika měsíců v reálném používání. Materiály jsou upevněny do 16 kovových držáků.





**Obr. 8. Příklad přístroje UV CON**

Požadavky pro měření:

Vzorky velikosti: 20×10 cm

Doba měření: 7 dní

Vlnová délka záření: pod 350 nm

Celková délka měření: 168,14 hodin

### **5.2.5 Hodnocení vzorků pomocí spektrofotometru Datacolour**

Pomocí spektrofotometru se provádí objektivní hodnocení barevného odstínu materiálu. Příklad vyhodnocuje barvu a lesk v číselných hodnotách, které vyjadřují daný barevný odstín. Vyhodnocování probíhá v programu CIE-LAB, jež pracuje v souřadnicovém systému, kde parametr  $L^*$  vyjadřuje měrnou světelnost, která nabývá hodnot 0 (černá)-100 (bílá) a dvě osy  $a^*$  a  $b^*$ , které určují polohu barevného odstínu. Osa  $a^*$  udává polohu barvy mezi červenou (kladná část osy) a zelenou (záporná část osy). Osa  $b^*$  udává polohu barvy mezi žlutou (kladná část osy) a modrou (záporná část osy)[63].

Z odchylek uvedených parametrů lze vypočítat rozdíl barev v  $\Delta E^*_{ab}$  pomocí vztahu:

$$\Delta E^*_{ab} = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

**Tab. 3. Stupnice udávající neshody dvou barev**

$\Delta E^*$	rozdíl
0,0- 0,2	Nepostřehnutelný
0,2-0,5	Velmi slabý
0,5-1,5	Slabý
1,5-3,0	Jasně postřehnutelný
3,0-6,0	Střední
6,0-12,0	Výrazný
12,0-16,0	Velmi výrazný
Větší než 16	rušící

### **5.2.6 Hodnocení vzorků pomocí elektronového mikroskopu Tescan Vega 3**

Pro vizuální hodnocení byly vzorky nasnímány skenovacím elektronovým mikroskopem SEM Tescan Vega 3 pomocí programu VEGA TC. Pro snímání byl použit SE detektor (detektor sekundárních elektronů – tzn. Elektronů vyražených z materiálu). Žhavicí katoda obsahuje drátek z wolframu, který je zdrojem elektronů dopadajících na vzorek. Urychlovací napětí svazku elektronů bylo nastaveno na 10 kV. Příprava materiálu pro mikroskop. Na terčíky s nalepeným materiálem byla naprašována vrstva zlata o tloušťce 10 nm na zlatičce Quorum Q150E ES. Vzorky jsou nazlacovány z důvodu lepšího odrazu dopadajících elektronů, vrstva je tak tenká, že není na snímcích viditelná.



**Obr. 9. Elektronový mikroskop**

## 5.3 Vyhodnocení měření

### 5.3.1 Vyhodnocení fyziologických vlastností recyklovaných pletenin a pletenin z biodegradabilních materiálů

Materiály v tabulce výsledků měření byly vybarveny stejnou barvou pro každou skupinu materiálů. Modře jsou zvýrazněny nerecyklované materiály bavlna a polyester. Dále žlutou barvou jsou vyplněna okénka hodnot materiálů NILCOTT. Toto obecné označení zahrnuje materiály s různým složením. Materiál M4, který se skládá pouze ze 100 % organické bavlny, má k materiálu M1 složením blíže než materiál M3. Hodnoty hustoty řádků a sloupků materiálů M3 a M4 si jsou velice podobné. Prodyšnost materiálu vyšla také velice podobně, může se tak odvíjet od hustoty vláken v pletenině. Prodyšnost materiálu M3 vyšla 17,23 mm/s a materiálu M4 14,12 mm/s. Když se podíváme na materiál M1, hustota v řádku i ve sloupcu je podobná s materiálem NILCOTT a prodyšnost je o 37,3 % vyšší, tedy 27,56 mm/s. Vzhledem ke stejné tloušťce materiálů viz Tab. 2, může prodyšnost být ovlivněna i malými odlišnostmi v hustotě pleteniny. Dále materiál NILPLA, u kterého je zastoupení více pleteninových vazeb, vykazoval nejnižší hodnoty u vazby jedolící 14,8 % a nejvyšší hodnotu u vazby piké 179,4 %. Vazba piké je typická velkými mezerami mezi jednotlivými očky, proto i rychlost průtoku vzduchu byla nejvyšší. Z hlediska odolnosti vůči povětrnostním vlivům by nejlépe dopadl materiál M6 vazby interlokové, který má velkou plošnou hmotnost a zároveň prodyšnost ideální pro každodenní oděv. Od materiálu CIRPAD máme další dva druhy materiálů s jiným složením. Materiál M8 obsahující 10 % elastanu navíc k polyamidovému odpadu, prokázal nejvyšší hustotu pleteniny, a tak i velmi malou prodyšnost 15 mm/s, viz Tab. 4. Materiál už na omak připomíná například plavkovinu, která by na těle nemusela být komfortní. Naopak materiál M9 měl hodnotu prodyšnosti o 68 % vyšší, tedy 48,09 mm/s. Zde se jedná znovu o vazbu piké, která nemá tak výrazně vysokou prodyšnost ve srovnání s materiálem M7, ale vůči povětrnostním vlivům by materiál nebyl tak odolný. U materiálu NILPET byly k dispozici dvě vazby stejného složení, vazby interlokové a oboulící. Vazba oboulící hladká u materiálu M11 měla i velkou hustotu řádku, díky které prodyšnost je nejnižší 12,58 mm/s ze skupiny polyesterů. Naopak materiál M10 vazby interlokové prokázal podobné hodnoty s nerecyklovaným polyesterem, který má i podobnou hustotu celé pleteniny. Materiály jedolící vazby prokazovaly podobné hodnoty prodyšnosti, ale z výsledků je vidět také vliv hustoty pleteniny na prodyšnosti.

Konkrétní hodnoty z každého měření rychlosti průtoku vzduchu jsou uvedeny v tabulce, viz Příloha E.

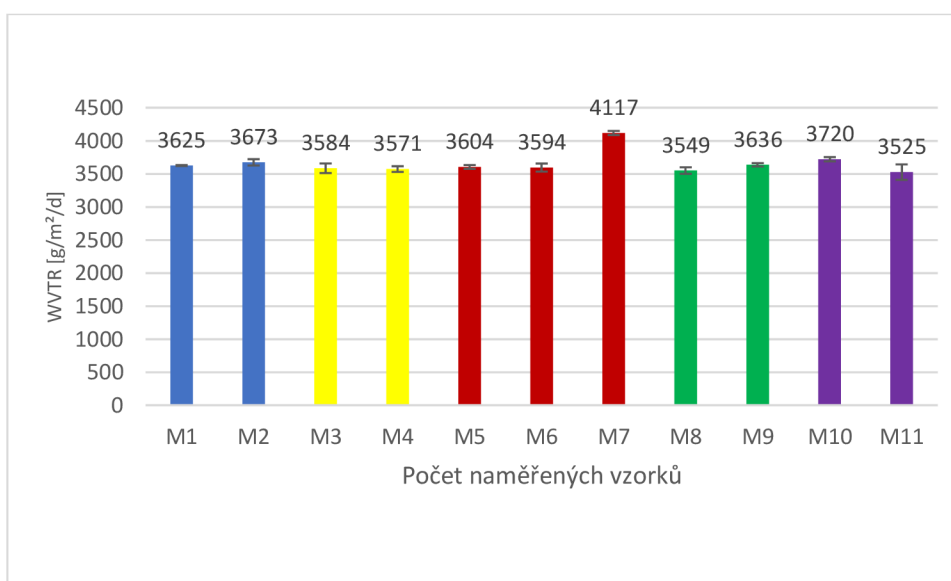
**Tab. 4. Prodyšnost měřených vzorků**

	<b>Průměr <math>\bar{q}_v</math> [ml/s]</b>	<b>Směrodatná odchylka [ml/s]</b>	<b>Variační koeficient [%]</b>	<b>Prodyšnost R [mm/s]</b>
<b>M1</b>	55	5,7	10,36	27,56
<b>M2</b>	128	13	10,15	64,12
<b>M3</b>	34,4	1,81	5,27	17,23
<b>M4</b>	28,2	4,54	6,13	14,12
<b>M5</b>	29,8	4,6	5,44	14,86
<b>M6</b>	49,9	0,54	1,09	24,97
<b>M7</b>	358	17,88	4,99	179,36
<b>M8</b>	30,8	3,03	9,84	15,43
<b>M9</b>	96	11,4	11,87	48,09
<b>M10</b>	114	2,73	1,18	57,11
<b>M11</b>	25,8	25,8	6,36	12,85

Naměřené hodnoty propustnosti vodních par jsou přehledně uvedeny v tabulce Tab. 5, ale také jsou zaneseny do grafu na Obr. 10, kde jsou zřetelněji vidět rozdíly všech hodnot na stupnici. Z výsledků materiálu NILCOTT ve srovnání se 100 % bavlnou bylo dostáno stejných závěrů jako u prodyšnosti. Materiály mají velmi podobné hodnoty, i když se liší složením materiálu M3, a fyziologické vlastnosti recyklované bavlny by mohly nahradit 100 % nerecyklovanou bavlnou. Propustnost materiálu M3 byla 3584 g/m<sup>2</sup>/d. Stejná podobnost byla naměřena u materiálu M2 100 % PES a M10 a M11. Hodnoty propustnosti zmíněných materiálů se pohybují od 3525 g/m<sup>2</sup>/d do 3720 g/m<sup>2</sup>/d. Materiál NILPET se zde vymyká vazbou, ale propustnost obou materiálů je jiná jen o 4,4 %. Skupina materiálů NILPET se dá tak porovnat s propustností materiálů M2, kdy pot od těla je odváděn do okolí a nebude tolik kondenzovat na rubní straně oděvu. Dále materiály ve skupině NILPLA, jejich hodnoty se liší pouze ve vazbě piké s hodnotou 4117 g/m<sup>2</sup>/d, rovněž tak bylo u prodyšnosti. Důvod vysoké hodnoty je stejný, mezery mezi očky můžou propouštět větší počet molekul páry. Hodnoty propustnosti vazby jednolící a interlokové se podobají hodnotám ostatních materiálů stejné vazby. Materiály by se obecně daly pojmenovat jako spíše prodyšné. Průměrné hodnoty za každou hodinu měření jsou uvedeny v tabulce Příloha F.

Tab. 5. Propustnost vodních par

	Průměr WVTR [g/m <sup>2</sup> /d]	Směrodatná odchylka [g/m <sup>2</sup> /d]	Variační koeficient [%]
M1	3625	7,3	0,3
M2	3673	47,5	1,9
M3	3584	72,5	5,1
M4	3570	42,5	5,2
M5	3604	28,5	5
M6	3594	60,7	5
M7	4117	31,2	4,5
M8	3549	49,4	5,6
M9	3636	25,8	5,4
M10	3720	31,9	5,8
M11	3525	117	4,9



Obr. 10. Propustnost vodních par WVTR [g/m<sup>2</sup>/d]

### 5.3.2 Vyhodnocení vlivu UV záření na pevnost a tažnost recyklovaných pletenin a pletenin z biodegradabilních materiálů

V tabulce Tab. 6 je názorně vidět rozdíl pevnosti zkoušených pletenin v řádku a ve sloupku před a po působení UV záření. Z předchozích měření se ukázala velká podobnost mezi fyziologickými vlastnostmi materiálů nerecyklovaných a jejich recyklovaných protějšků. U vlivu UV záření na pevnost se prokázala spousta zajímavých

hodnot. Pevnost před UV zářením nebyla sama o sobě tolik podstatná jako ve srovnání s hodnotami po působení UV záření.

Velký pokles pevnosti se prokázal u 100 % bavlny, tedy materiálu M1. Jedná se o rostlinný materiál, a tak krátká vlákna mohla více degradovat v rámci působení UV záření. Zajímavý je to rozdíl oproti materiálům M3 a M4, které ačkoliv jsou recyklované, vydržely působení UV záření lépe a pevnost se snížila u materiálu M3 o 20 % v řádku a u materiálu M4 jen o 9,4 % v řádku vůči jejich původní pevnosti. Pevnost materiálu M1 byla už před UV zářením nižší, jen 80,6 N, naopak materiál M3 měl před působením UV pevnost 137,9 N. Materiál M4 je ve složce NILCOTT, ale skládá se ze 100 % organické bavlny, tudíž neobsahuje recyklovanou složku, jedná se o kvalitní bavlnu, certifikovanou GOTS. Pevnost M4 byla ze sekce bavlny nejvyšší a její tažnost byla tak jen 33 %. Materiál M4 by se dal tak považovat za nejlepší variantu z rostlinných materiálů z vybraných pletenin, u kterého se pokles pevnosti téměř neprojevil, změna byl jen 4 %. Dále materiály skupiny NILPLA. Tento materiál neodolává dobře vysokým teplotám a nedá se dobře barvit. To vše se potvrdilo po působení UV záření. Materiál M5 jednolící vazby ztratil na pevnosti v řádku 19,4 % a ve sloupku 10,8 %, tento pokles se projevil stejně jako u materiálu NILCOTT. U materiálu M6 byla naměřena pevnost v řádku nejnižší ze všech materiálů 64,1 N a nadále se změna pevnosti po UV neprojevila. Rozdíl byl 6 % v řádku a 0,3 % ve sloupku. Pevnost materiálu M8 se navýšila po UV záření o 32 % v řádku, naopak ve sloupku pevnost klesla. Vzestup pevnosti materiálu v řádku je podrobně vysvětlen níže v kapitole 5.4, ale pravděpodobně k němu došlo díky zesílení polymeru působením UV záření. U materiálu M8 je zřejmé, že čím více stoupá hodnota pevnosti, tím klesá tažnost materiálu, ta se se zvýšením pevnosti snížila o 39,3%.

Zajímavý rozdíl pevností byl naměřen u PES. Hodnota pevnosti 100 % PES se ve sloupku snížila o 43,8 % a tažnost o 30,2 %. Na syntetický materiál je to hodně vysoký pokles kvality, který mohl být zapříčiněn malou odolností polyesteru vůči UV záření. Ve srovnání s materiály skupiny NILPET, jde o vysoké hodnoty. U materiálů M10 a M11 se prokázala větší odolnost vůči působení UV záření, ať už se jedná o interlokovou nebo oboulící vazbu. Recyklované materiály zde byly vyhodnoceny jako více odolné než materiály nerecyklované.

Směrodatné odchylky měření jsou u některých materiálů vysoké díky nestálosti měření. Pro přesnější měření pevnosti bychom potřebovali mít více vzorků, které nebyly v tomto

případě k dispozici. Také je potřeba vzít v potaz, že se jedná o přírodní materiály nebo recykláty, které se mohou chovat nestále. Výsledky měření pevnosti všech vzorků jsou uvedeny v tabulce viz. Příloha H a Příloha I.

**Tab. 6. Výsledky testování pevnosti [N]**

	Pevnost [N]					
	Před působením UV		Po působení UV		Rozdíl v řádku [%]	Rozdíl ve sloupku [%]
	Řádek	Sloupek	Řádek	Sloupek		
<b>M1</b>	80,6	95,2	79,3	80,8	<b>-1,6</b>	<b>-15,1</b>
<b>M2</b>	185,4	408,1	104,1	392,9	<b>-43,8</b>	<b>-3,7</b>
<b>M3</b>	137,9	152,8	134,1	136,3	<b>-2,7</b>	<b>-10,7</b>
<b>M4</b>	154,3	185	159,7	188,1	<b>3,4</b>	<b>1,6</b>
<b>M5</b>	204,4	283,6	164,7	252,8	<b>-19,4</b>	<b>-10,8</b>
<b>M6</b>	64,1	221,7	68,3	222,4	<b>6,14</b>	<b>0,3</b>
<b>M7</b>	227,8	323,7	x	x	<b>x</b>	<b>x</b>
<b>M8</b>	202,1	352,5	299,7	213,2	<b>32,5</b>	<b>-39,5</b>
<b>M9</b>	372,7	539,6	x	x	<b>x</b>	<b>x</b>
<b>M10</b>	186,5	393,6	149,5	223,6	<b>-19,8</b>	<b>-43,1</b>
<b>M11</b>	255,6	451	220,1	281,6	<b>-13,8</b>	<b>-37,5</b>

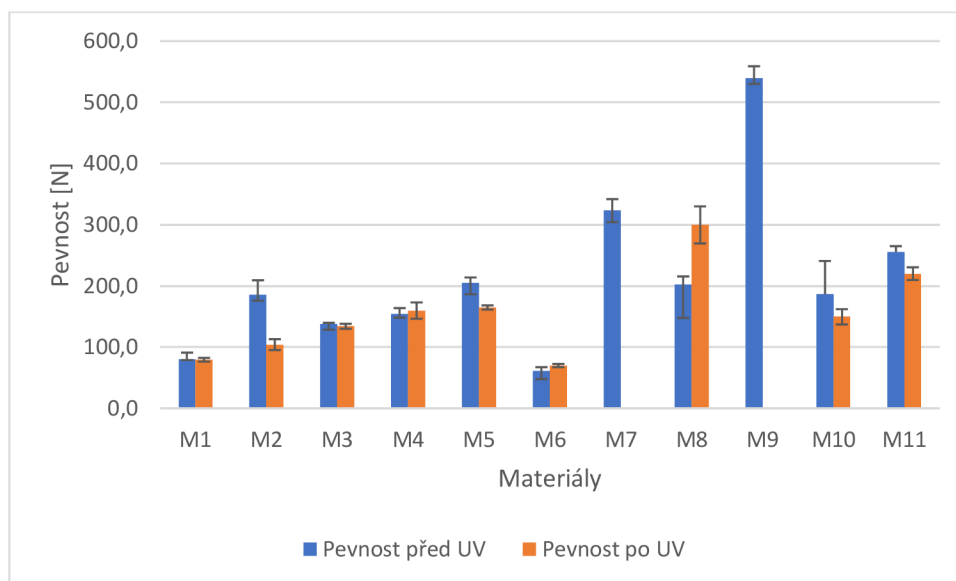
**Tab. 7. Výsledky testování tažnosti [%]**

	Tažnost [%]					
	Před působením UV		Po působení UV		Rozdíl v řádku [%]	Rozdíl ve sloupku [%]
	Řádek	Sloupek	Řádek	Sloupek		
<b>M1</b>	55,9	35,7	38,3	25,6	<b>-31,4</b>	<b>-28,2</b>
<b>M2</b>	115,3	32,6	80,4	27,7	<b>-30,2</b>	<b>-15</b>
<b>M3</b>	58,9	41,4	46,7	31,8	<b>-20,7</b>	<b>-23,1</b>
<b>M4</b>	59,5	33	53,7	34,4	<b>-9,7</b>	<b>4,2</b>
<b>M5</b>	69,5	38	62,9	32,8	<b>-9,4</b>	<b>-13,6</b>
<b>M6</b>	67,4	21,7	63,5	19	<b>-5,7</b>	<b>12,4</b>
<b>M7</b>	41,7	41,3	x	x	<b>x</b>	<b>x</b>
<b>M8</b>	129,8	83,3	78,3	126,3	<b>-39,3</b>	<b>34,1</b>
<b>M9</b>	73,4	48,8	x	x	<b>x</b>	<b>x</b>
<b>M10</b>	80,9	37,8	65,9	27,5	<b>-18,5</b>	<b>-27,2</b>
<b>M11</b>	105	53,3	94,1	43,6	<b>-10,3</b>	<b>-18,1</b>

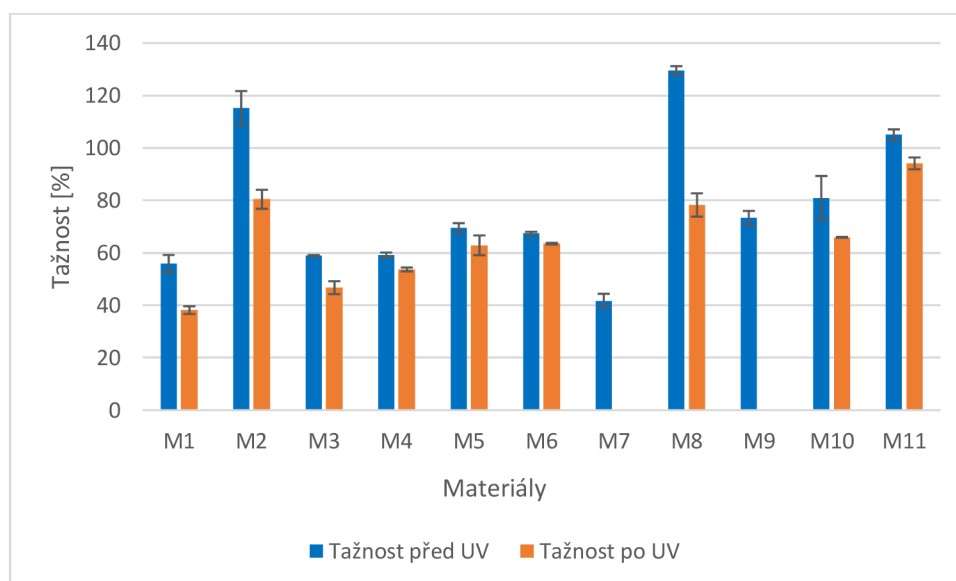
Z důvodu omezeného místa na přístroji UV CON byly z měření vynechány vzorky materiálů vazby piké, tedy materiály M7 a M9. U těchto materiálů je také uvedena v grafu Obr. 11 a Obr. 12 jen modrá linie, která znázorňuje měření pouze před působením UV záření. Z grafu na Obr. 11 je zřejmé, že pevnosti materiálů M7 a M9 byly ty nejvyšší naměřené s hodnotami 539,6 N a 323,7 N, naopak tažnost materiálu M7 patřila mezi ty nejnižší 41,7 %. Z pohledu vazby pletenin, je na grafu vidět podobnost mezi materiály stejných vazeb. Na obou obrázcích je viditelná závislost pevnosti na tažnosti. Tažnost všech materiálů poklesla vlivem UV záření, na grafu je názorně vidět výrazný pokles u materiálu M2, u kterého došlo také k výraznému poklesu pevnosti. Stejně výrazný pokles tažnosti prokázal i materiál M8, u kterého k poklesu pevnosti v řádku sice nedošlo, ale právě proto mohlo dojít ke vzniku nových příčných vazeb mezi makromolekulami a tažnost v řádku je tak nižší. U sloupku k poklesu pevnosti došlo a díky velké výdrži elastanu vůči vysokým teplotám oproti samotnému polyamidu se tažnost zvýšila o 34%.



Všechny hodnoty z měření tažnosti jsou uvedeny v tabulce Příloha I a tažnost materiálů po UV záření v tabulce Příloha K.



**Obr. 11. Rozdíl pevnosti před a po působení UV záření**



**Obr. 12. Rozdíl tažnosti před a po působení UV záření**

### 5.3.3 Vyhodnocení vlivu UV záření na stálobarevnost recyklovaných pletenin a pletenin z biodegradabilních materiálů









Během testování vybraných vzorků pomocí přístroje UV CON bylo zjištěno, že UV záření má vliv na stálobarevnost materiálů. Změřené materiály byly hodnoceny subjektivně pomocí šedé stupnice „Grey scale for assessing change in colour“ od 1–5 podle normy ISO 105–A02 a objektivně měřením pomocí spektrofotometru „Datacolor“. V tabulce Tab. 8 jsou zobrazeny všechny rozdíly vzorků před a po působení UV záření.

Nejlépe dopadl materiál M8, z šedé stupnice má hodnotu 5, tedy žádná změna odstínu. Nejhorše se projeví materiály M6 a M10, kterým se podle změny odstínu přiřadila hodnota ze stupnice 1/2. Tyto materiály ztratily zcela své původní vybarvení. Konkrétní vzorky jsou uvedeny v Příloha B.

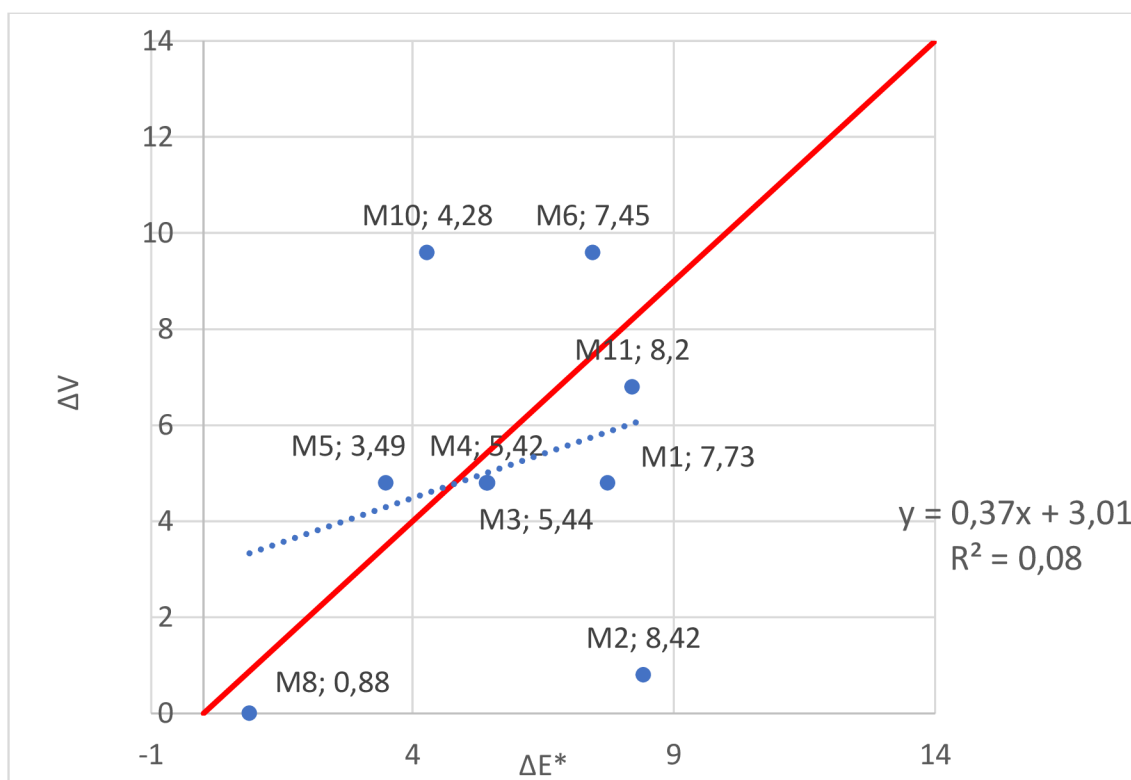
Vliv UV záření na testované vzorky byl dále hodnocen objektivně podle odchylky  $\Delta E^*$ , která udává rozdíl odstínů barvy před a po působení UV záření. Hodnocení vzorků pomocí spektrofotometru bylo zformulováno do grafu Obr. 13. V grafu jsou naneseny hodnoty subjektivního hodnocení ze spektrofotometru na ose x a vizuální odchylka subjektivního hodnocení na ose y. Skrz graf je vedena lineární spojnice trendu, která nám udává většinovou odchylku odstínu a červená linie, která vyjadřuje rovnost  $x=y$ , tedy rovnost mezi hodnotami  $\Delta V = \Delta E^*$ , 100 % korelace. Z grafu lze vyčíst nejmenší odchylka odstínu u materiálu M8, který byl vyhodnocen i subjektivně s žádnou změnou barvy. Výsledky se od subjektivního hodnocení odchyľují díky tomu, že subjektivní hodnocení testuje člověk. Z výsledků obou naměřených os  $L^*$ ,  $a^*$  a  $b^*$ , které jsou uvedeny v tabulce Příloha L, se vzorky spíše odchyľují ke světlejším odstínům, tuto změnu nám udává osa světelnosti  $L^*$ . Ostatní osy nám číselně vyjadřují barevnost. Materiály se podle osy  $a^*$  pohybují spíše k zeleným odstínům a podle osy  $b^*$  se odchyľují více k modré barvě, to nám udávají přebývající hodnoty se záporným znaménkem. Podstatná je výsledná odchylka, která je tím vyšší, čím je odstín barvy odlišnější. Stálost barev byla prokázána u materiálu M8, M10 či M5. Materiály skupiny NILPLA se špatnou odolností vybarvení prokázaly špatné stálosti u všech tří zastoupení. Materiály NILPET vysoké stálosti vybarvení neprokázaly na rozdíl od 100 % PES M2. Tento materiál měl vysokou odchylku hlavně díky úpravě „optické zjasnění“, které ztratilo na intenzitě bílé barvy, ale odstín materiálu se tolik nezměnil, což prokázalo i subjektivní hodnocení. Hustota materiálu M9 s vazbou interlokovou se ukázala jako odolná vůči pevnostním vlastnostem, ale již méně odolná vůči vybarvení. Materiál na lícni osvětlované straně změnil odstín podle šedé stupnice na hodnotu 1/2, tedy téměř úplná změna odstínu. U materiálů vazby interlokové nebyl na rubní neosvětlené straně vidět barevný rozdíl po záření, který byl naopak zřejmý u jednolícniých vazeb materiálů. Materiál M6 prokázal nejvyšší plošnou hmotnost a materiál je i na omak tlustší, což by mohl být důvod jen částečného osvětlení, které neprošlo skrz materiál.

**Tab. 8. Fotodokumentace materiálů před a po působení UV záření**

Materiál		Fotografie		Šedá stupnic e	ΔE *
Název	Označ ení	Před	Po		
100% Bavlna	M1			2/3	7,7
100% PES	M2			4/5	8,4
NILCOTT	M3			2/3	5,4
NILCOTT organic	M4			2/3	5,4

NILPLA	M5			2/3	4,4
NILPLA	M6			1/2	7,4
NILPLA	M7		X	X	X
CIRPAD s elastanem	M8			5	0,8
CIRPAD	M9		X	X	X

NILPET	M10		1/2	4,2
NILPET	M11		2	8,2



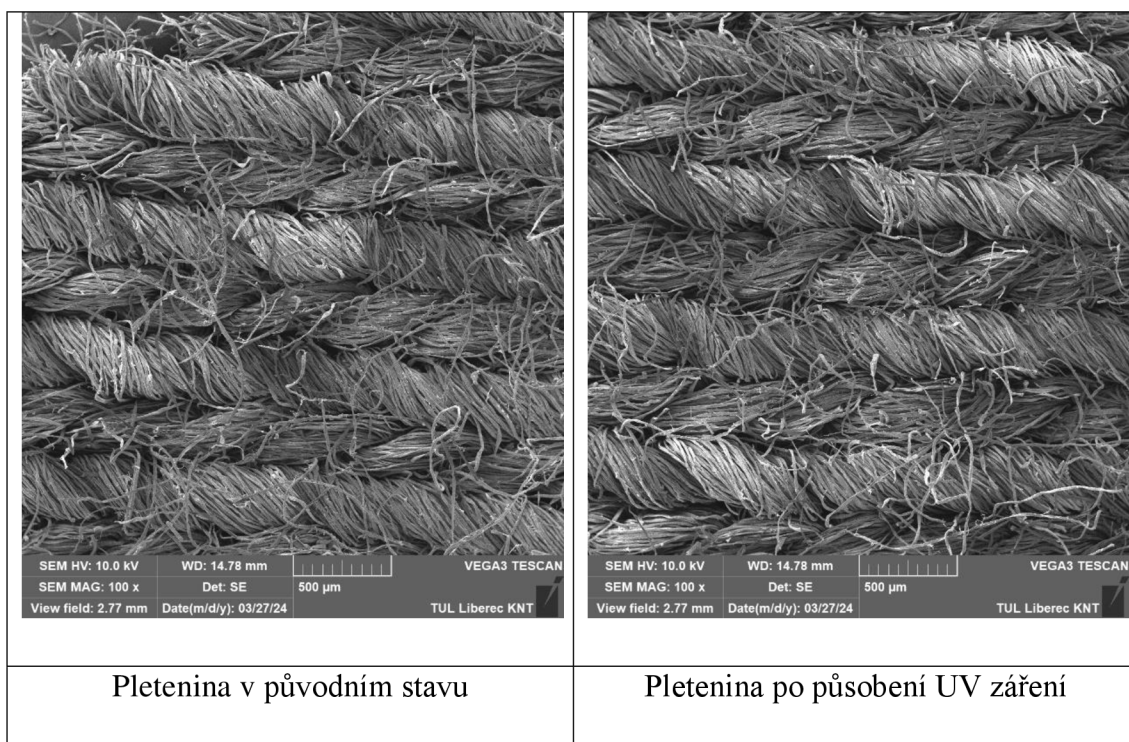
Obr. 13. Rozdíl subjektivního a objektivního hodnocení barevného odstínu pletenin



### 5.3.4 Vizuální hodnocení pletenin dle mikroskopických snímků

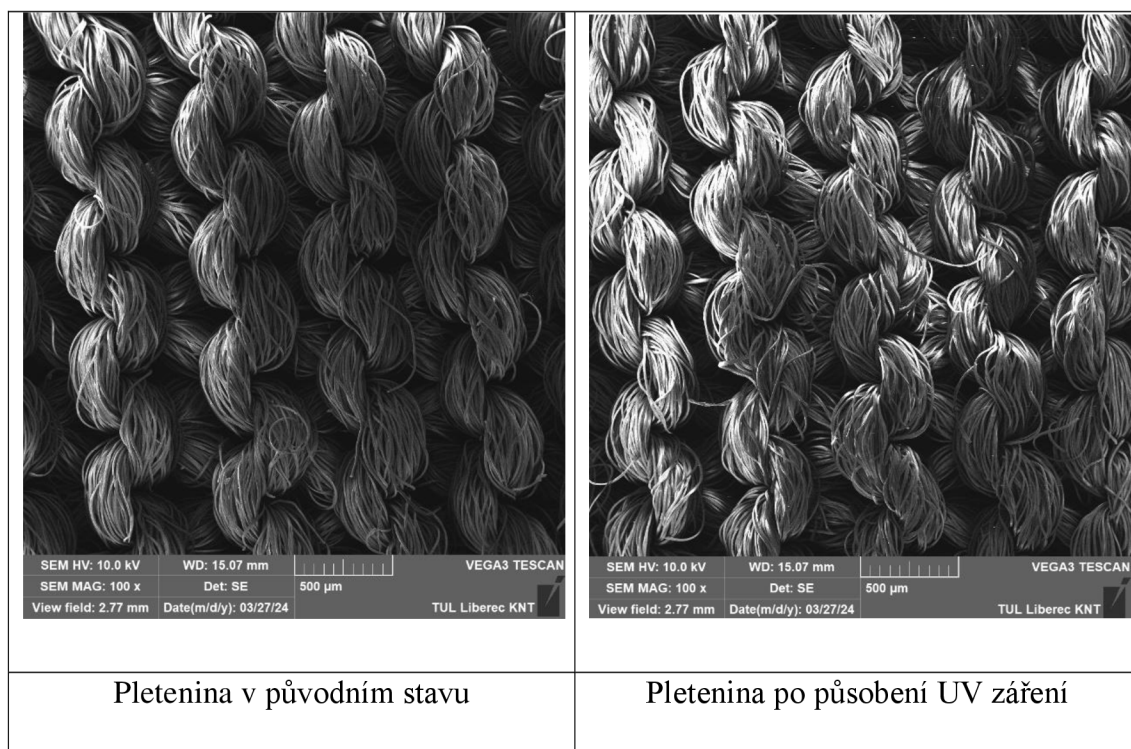
K hodnocení materiálů pomocí snímků z elektronového mikroskopu byly vybrány materiály vždy s jedolící vazbou od každého druhu, tedy materiály M1, M2, M3, M5, M8 a M11 jako oboulící pletenina. Snímky byly pořízeny z důvodu biodegradability materiálů. Očekávalo se možné poškození vzorků a degradace vláken po působení UV záření.

Na prvním snímku je vyfocen materiál M1 100% bavlna. Na snímcích Obr. 14 není zřetelně pozorovatelný rozdíl. Vlákna na druhém snímku jsou v dolní části více poškozená. Jedná se o vlákna rostlinného původu, tudíž jsou krátká a netvoří tak ucelenou vazbu. Z pohledu poklesu pevnosti po UV záření se na materiálu neprojevily žádné viditelné destrukce vláken.



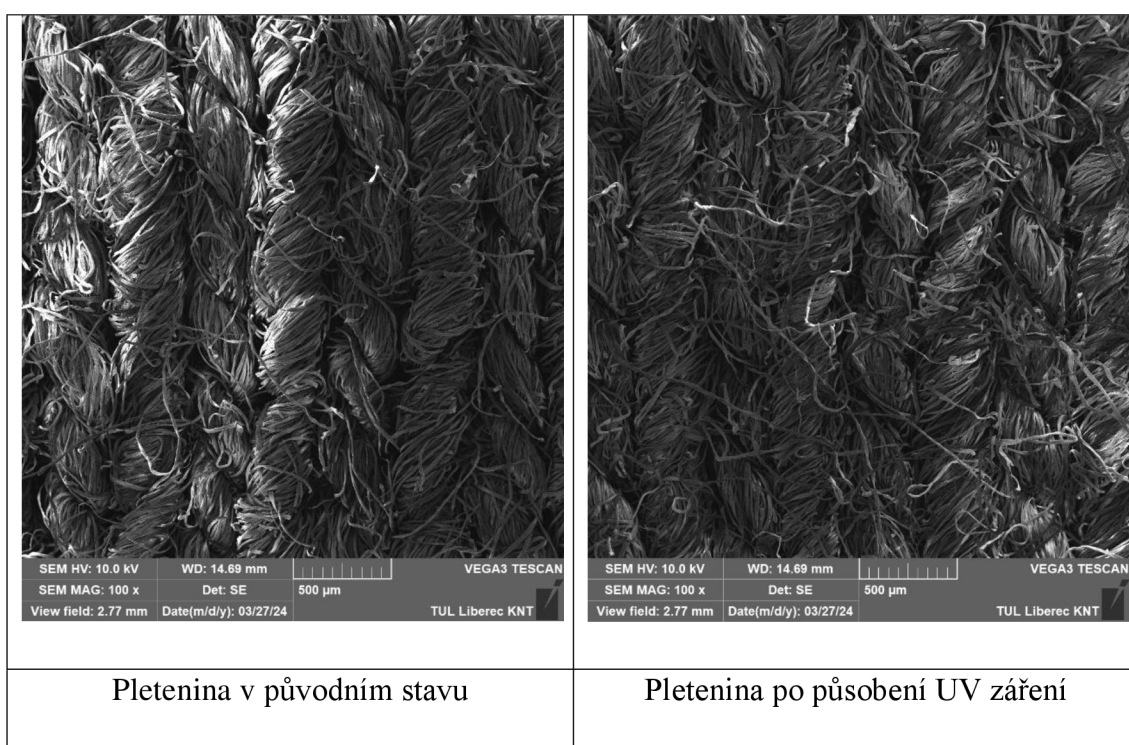
Obr. 14. Mikroskopický snímek materiálu M1 100 % bavlna před a po UV záření

Nerecyklovaný polyester je syntetický materiál s multifilovými vlákny, viz Obr. 15. Vazba je jednotná a hladká z pohledu na rubní stranu materiálu. U snímku po působení UV záření je patrná jen minimální degradace vazby vláken, kde se vlákna povolují z vazby. Tato povolena vlákna jsou vidět v levé části snímku.



**Obr. 15. Mikroskopický snímek materiálu M2 100 % polyester před a po UV záření**

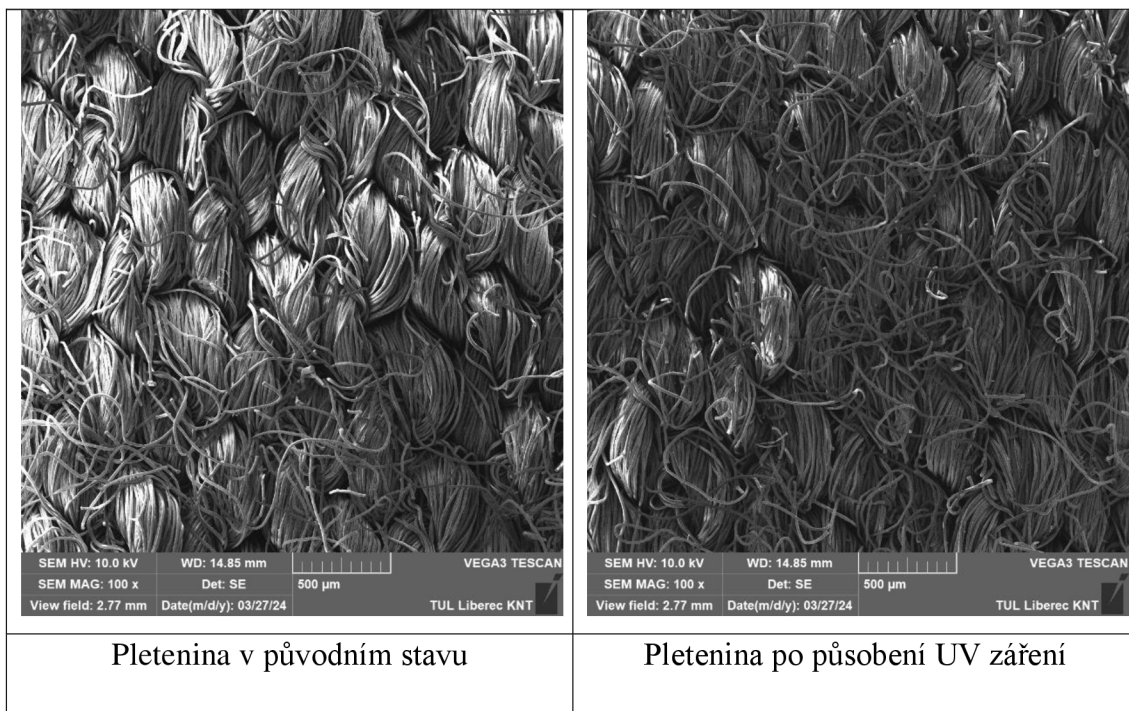
Třetí snímky jsou materiálu M3, NILCOTT Obr. 16. Tento materiál je z recyklované bavlny, tudíž vlákna jsou krátká a vazba není tak zřetelná. Ze snímku po UV záření je vidět poškození vláken. Jsou potrhána a vypadávají z vazby sloupků. NILCOTT je recyklovaná bavlna a vlákna jsou tudíž také krátká jako u materiálu M1. V souvislosti s pevností materiálu, která u M3 byla oproti 100 % bavlně o 41, 5 % vyšší a po působení UV záření byla o 40, 8 % vyšší na materiálu jsou mnohem větší destrukce než u bavlny na prvních snímcích. Na snímku materiálu M3 po působení UV záření je zřejmá mnohem větší destrukce vláken než u materiálu M1. Je tedy zřejmé, že recyklovaná vlákna pod UV zářením ztratila na uspořádanosti, co se týče vazby pleteniny.



Obr. 16. Mikroskopický snímek materiálu M3 NILCOTT před a po záření

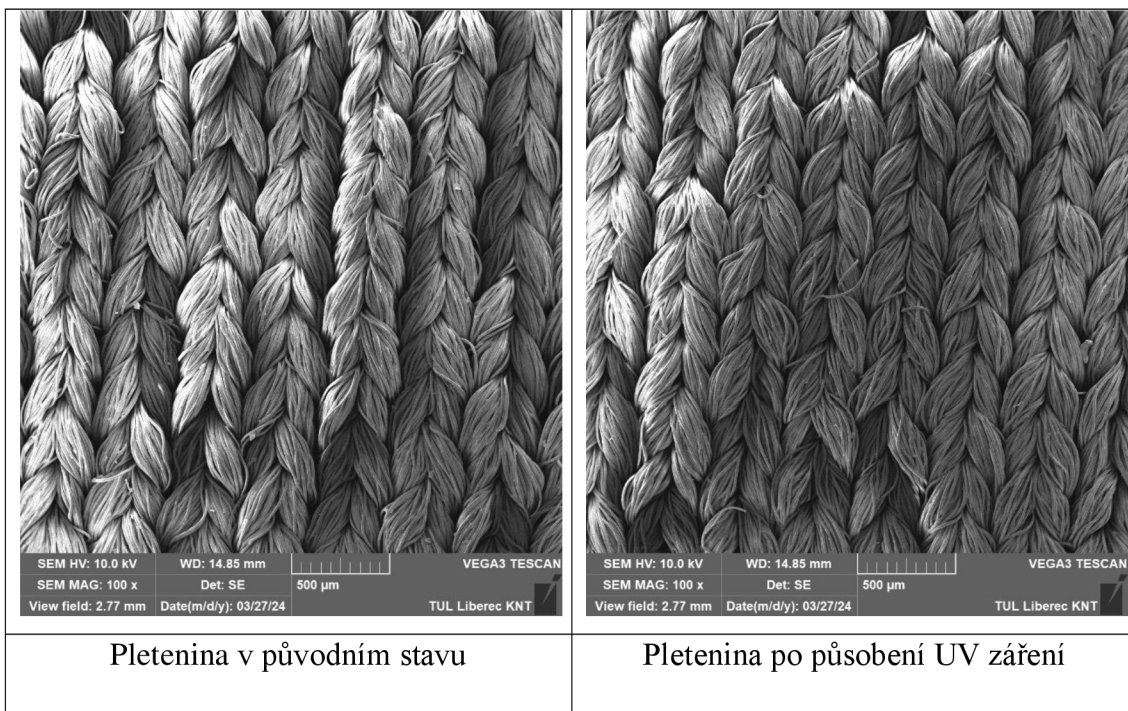


U materiálu M5 NILPLA je rozdíl před a po UV záření méně zřejmý, viditelné z Obr. 17. Materiál je totiž viditelně poškozený už před UV zářením. NILPLA je materiál z biopolymeru, tudíž je tvořen zvlákněním z taveniny a vlákna jsou multifilová. Po působení UV jsou vlákna vytažena z vazeb a chovají se spíše jako krátká vlákna bavlny. Poničená vlákna, už na snímku před působením UV záření, jsou způsobena možným špatným zpracováním materiálu nebo barvením materiálu a vystavováním ho tak vysokým teplotám, kterým materiál NILPLA dobře neodolává.

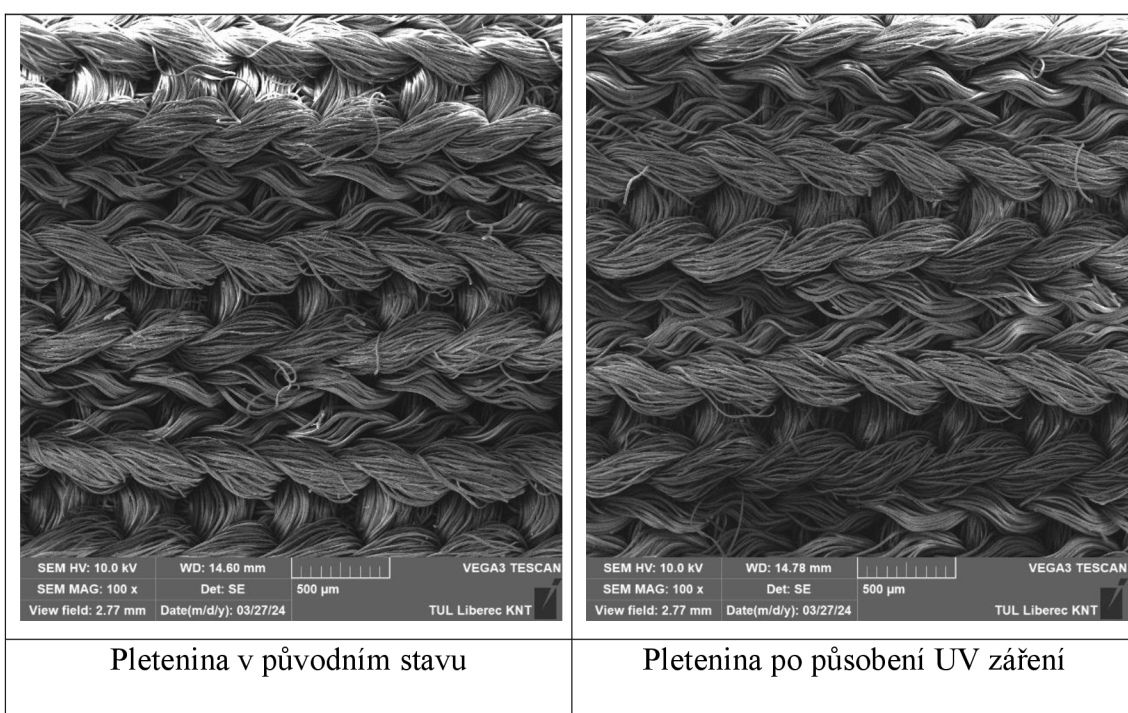


**Obr. 17. Mikroskopický snímek materiálu M5 NILPLA před a po UV záření**

Poslední dva materiály M8 a M11 jsou recykláty polyamidu a polyesteru. Jedná se také o multifilová vlákna, jako u 100 % PES a vazby jsou zřetelné a hladké. Vlákna kopírují vazbu sloupků a degradace po UV záření není ani u jednoho materiálu zřejmá, viz Obr. 18, Obr. 19. S ohledem na pokles pevnosti po působení UV záření se neprojeví žádné známky poškození i když u materiálu M8 klesla pevnost ve sloupcu o 39,5 % a u materiálu M11 poklesla o 37,5 %.



**Obr. 18. Mikroskopický snímek materiálu M8 CIRPAD před a po UV záření**

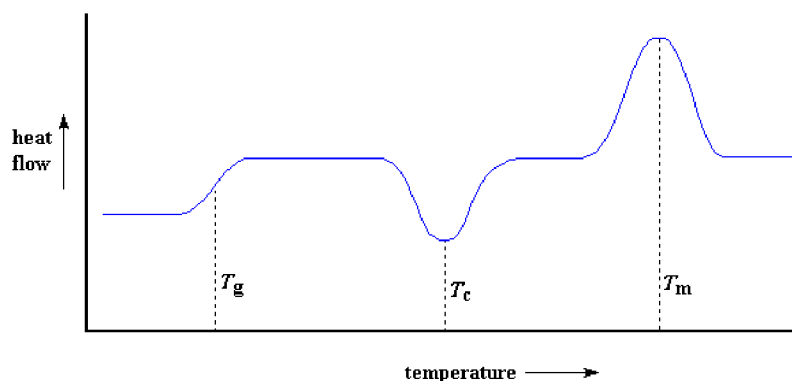


**Obr. 19. Mikroskopický snímek materiálu M11 NILPET před a po UV záření**

## 5.4 Doplnující ověřovací měření pevnosti

Po testování pevnosti po působení UV záření se nepotvrdil trend klesající pevnosti dvou materiálů M6 a M8. Oba materiály prokázaly po působení UV záření v řádku zvýšení pevnosti jeden o 6 % a druhý o 32 %. Materiál NILPLA M6, který prokázal změnu do 6 % byl vyhodnocen bez podlehnutí vlivu UV záření, beze změny. U materiálu M8 zvýšení pevnosti nebylo možno nijak vysvětlit, a proto bylo přistoupeno k ověřovacímu měření, které mohlo objasnit výsledné hodnoty.

K testování byla využita experimentální metoda „diferenciální skenovací kalorimetrie“ (DSC) na přístroji Mettler Toledo dle normy. Díky této metodě lze měřit teplo, které se uvolní (exotermní proces) nebo pohltí (endotermní proces) v materiálu při nějakém fyzikálním či biologickém ději. Tyto tepelné procesy jsou doprovázeny fázovými změnami materiálů neboli transformace. Metoda se hojně využívá k určení teplot tání, skelných přechodů či krystalizací materiálů[64]. Testování metodou DSC se ohřívají dvě nádoby konstantní rychlostí. Jedna z nádob je prázdná (referenční), druhá obsahuje zkoušený vzorek materiálu. Ohřev probíhá 10 °C/min. Protože referenční nádoba je prázdná a druhá obsahuje vzorek, bude se lišit tepelný tok do obou nádob a tento tok je cílem měření. Výsledky testování se promítnou do počítače, který i po celou dobu hlídá přiváděnou teplotu a zaznamenává data do grafu. V grafu jsou zřejmé jednotlivé píky, tedy fázové změny materiálu a změna tepelné kapacity materiálu[65]. Změna vnitřní struktury materiálu je spojena se skelným přechodem  $T_g$ , jež se projeví na mechanických vlastnostech materiálu. Pod teplotou přechodu bude materiál křehký a pevný, zatímco nad teplotou přechodu bude pružný. Krystalizace jakožto exotermní proces se projeví se zápornou hodnotou, dochází totiž ke snížení dodávaného tepla. Konkrétní teplota krystalizace  $T_c$  se uvádí z bodu minimálního píku. Během tání materiálu se teplo naopak absorbuje do vzorku, dochází tak k endotermnímu procesu, kdy teplota vzorku zůstává stejná i přes konstantní ohřívání. Teplota tání  $T_m$  je znázorněna na vrcholu píku s kladnou hodnotou. Všechny hodnoty jsou názorně vyobrazeny na Obr. 20, pro lepší pochopení při vyhodnocování.



**Obr. 20. Schématické znázornění grafu DCS s viditelnou teplotou skelného přechodu  $T_g$ , teplotou krystalizace  $T_c$  a teplotou tání  $T_m$**

Počítač zaznamenal výsledky do grafu pro oba materiály před působením UV a po působení UV. Neozářený polyamid prokázal teplotu tání  $224\text{ }^\circ\text{C}$ , potvrdil se tak polyamid 6. Jeho teplota tání po působení UV byla  $223\text{ }^\circ\text{C}$ . Hodnoty jsou zřetelné na grafu v příloze Příloha M a Příloha N. Tabulková teplota tání elastanu se uvádí  $230\text{--}260\text{ }^\circ\text{C}$ . Je tedy o  $30\text{ }^\circ\text{C}$  vyšší než teplota tání polyamidu. Dle Militického[47] se do elastomerových vláken přidávají UV stabilizátory, které chrání uretanové můstky před degradací. Obecně jsou tato vlákna stálá na světle. Pokud se vrátíme k DSC grafu, pokles teploty tání polyamidu je jen o jeden stupeň, jak je vidět v přílohách Příloha M a Příloha N, a nemohl tak nastat rozklad makromolekul, tudíž pevnost materiálu mohla zůstat stejná i po působení UV záření. Dále polyuretan i polyamid jsou tzv. síťující polymery[66], jejichž vlastností je tvoření příčných vazeb mezi jednotlivými makromolekulami za působení záření o vysoké energii. Polyamid nejvíce degraduje působením záření o vlnové délce  $250\text{--}310\text{ nm}$  a při uvedeném experimentu byl osvětčován UV zářením o vlnové délce  $350\text{ nm}$ , tudíž mohlo dojít k zesítnění polymeru a materiál zvýšil svou pevnost, i když na něj působilo UV záření.

## 6 Diskuze

Dosažené výsledky předkládané bakalářské práce odpovídají třem stanoveným cílům.

Byly zhodnoceny fyziologické vlastnosti pletenin biodegradabilních materiálů typ NILCOTT, NILPLA, CIRPAD a NILPET, v různých vazbách. Soubor testovaných pletenin umožnil zhodnotit prodyšnost a propustnost vodních par nově vyvinutých pletenin firmou Nilmore.

Byl zhodnocen vliv UV záření na pevnost a stálobarevnost pletenin z biodegradabilních materiálů. Degradční změny byly hodnoceny i s využitím elektronového mikroskopu.

### Fyziologické vlastnosti

Dle hodnocení fyziologických vlastností všech pletenin byla zjištěna podobnost materiálů NILCOTT a 100% nerecyklované bavlny. Zásadní rozdíl je ve složení těchto materiálů. Materiál M3 je z 50 % recyklát a z 50 % organická bavlna, zatímco materiál M4 je 100 % organická bavlna. Materiál M4 tak neobsahuje žádnou složku recyklátu a podobá se tak vlastnostem materiálu M1 100% bavlny. Materiály NILCOTT prokázaly podobné hodnoty prodyšnosti i propustnosti vodních par. Materiály mají i stejnou tloušťku a podobné hodnoty hustoty řádku a sloupku. V této chvíli se dá hledat rozdíl v pevnosti a tažnosti, ale co se týče fyziologických vlastností, mají materiály i přes odlišné složení podobné hodnoty. Tím pádem se vlastnosti materiálu M3 s 50 % obsahem recyklátu prokázaly jako srovnatelné variantě 100% organické bavlny.

U materiálů skupiny NILPLA byla větší rozmanitost ve vazbách pletenin. Prodyšnost se odvíjí od druhu vazby pleteniny a hustoty pleteniny, tudíž různé druhy vazby pletenin prokázaly jiné hodnoty. U husté jedolící vazby byla naměřena prodyšnost o 91 % nižší než u vazby piké, která má velké mezery mezi očky. Jedolící vazbu materiálu NILPLA lze porovnat s hodnotou stejné vazby u materiálu M3 a M4. Dvou odlišných vazeb jsou také materiály CIRPAD M8 vazby jedolící a M9 vazby piké. Rozdíl jejich prodyšností je 67,9 %, tedy odolnost proti povětrnostním podmínkám prokázala spíše vazba jedolící.

Propustnost vodních par je vlastnost materiálů propouštět vodní páry skrz materiál. Hodnoty propustnosti vodních par vyšly nejvyšší u materiálů M7, stejně jako hodnota

prodyšnosti. Ostatní materiály se hodnotou lišily jen o desítky g/m<sup>2</sup>. Propustnost těchto materiálů se pohybovala od 3525 g/m<sup>2</sup>/d do 3720 g/m<sup>2</sup>/d.

Testované materiály z hlediska jejich fyziologických vlastností by se daly zhodnotit za propustné vůči vodním parám a za spíše prodyšné. Tím, že se jedná o materiály s původním použitím pro první vrstvu oděvu, mají odpovídající hodnoty prodyšnosti pro dobrý komfort. Ze skupiny biodegradabilních materiálů vyšel nejlépe materiál M7, tedy polylaktid vazby piké. Jeho prodyšnost i propustnost byla nejvyšší a mohl by být využit například k vytvoření sportovního trička. Ze skupiny syntetických recyklovaných materiálů dopadly nejlépe dva materiály M2 a M10, jedná se o polyester a recyklovaný polyester interlokové vazby. Polyester je obvykle obsažen v každodenních oděvech jako jsou trička a košile pro nižší žmolkovatost a menší mačkovatost materiálů. Materiál M10 po otestování odpovídá vlastnostem nerecyklovaného polyesteru, i když prošel cyklem recyklace. Dokazuje tak funkčnost molekulární recyklace polymerů, její schopnost zachovat původní vlastnosti materiálu.

Tab. 9. Souhrnné hodnocení všech testovaných materiálů

		Prodyšnost R [mm/s]	Propustnost vodních par WVTR [g/m <sup>2</sup> /d]	Hodnocení *	Pevnost ř [N]	Pevnost s [N]	Tažnost ř [%]	Tažnost s [%]	Hodnocení*
M1	Biodegradabilní	27,56 *****	3625 *****	10	80,6 **	95,2 *	55,9 **	35,7 ***	8
M3		17,23 ***	3584 **	5	137,9 ***	152,8 **	58,9 ***	41,4 *****	14
M4		14,12 *	3570 **	3	154,3 ****	185 ***	59,5 ****	33 **	13
M5		14,86 **	3604 *****	7	204,4 *****	283,6 *****	69,5 *****	38 ****	19
M6		24,97 ****	3594 ***	7	61 *	210,4 ****	67,4 *****	21,7 *	11
M7		179,36 *****	4117 *****	12	227,8 *****	323,7 *****	41,7 *	41,3 *****	19
M2	Syntetické	64,12 *****	3673 ****	9	185,4 ***	408,1 ****	115,3 ****	32,6 *	12
M8		15,43 **	3549 **	4	202,1 ***	352,5 **	129,8 *****	83,3 *****	16
M9		48,09 ***	3636 ***	6	372,7 *****	539,6 *****	73,4 *	48,8 ***	14
M10		57,11 ****	3720 *****	9	186,5 ***	393,6 ***	80,9 **	37,8 **	10
M11		12,85 *	3525 *	2	255,6 ****	451 ****	105 ***	53,3 ****	15

## **Působení UV záření na pevnost a tažnost**

Pevnost materiálů před a po působení UV záření se změnila u všech materiálů. Procentuální pokles pevnosti u rostlinných materiálů byl podobný u všech třech, tedy M1, M3 a M4. Počáteční hodnoty pevnosti měly vyšší biodegradabilní rostlinné materiály NILCOTT o 41,55 % než porovnávací vzorek bavlny M1. Materiály skupiny NILCOTT jsou tak vlastnostmi podobné materiálu M1, i když materiál M3 prošel procesem recyklace, a dokonce svou vyšší pevností a dobrou propustností by mohly být dobrou náhradou nerecyklované bavlny. Pokles pevnosti o 19,5 % byl naměřen ve druhé skupině biodegradabilních materiálů NILPLA u materiálu M5 jedolící vazby. Pokles pevnosti byl větší než u biodegradabilních rostlinných materiálů. Ze snímků z elektronového mikroskopu je zřejmé, že došlo k velkému poškození vláken, jako například vytažená vlákna z vazby nebo potrhaná vlákna. Tento materiál je v současnosti považován za nejvhodnější biodegradabilní polymer pro použití v textilním odvětví. Bohužel materiál ztrácí pevnost v alkalickém prostředí a za zvýšených teplot, což jsou podmínky typické pro samotnou výrobu vláken [67]. Tyto vlastnosti se potvrdily právě na snímcích z elektronového mikroskopu. Ze skupiny materiálů NILPLA neprojevil rozdíl v pevnosti před a po působení UV záření materiál M6. Tento jev mohla zapříčinit interlokovaná vazba, která je i na omak tlustší než jedolící. Skrz pleteniny UV záření neprozářilo, takže se i změnil odstín materiálu jen na osvětlené straně. Pevnost materiálu M6 nemusela tak poklesnout díky malému vlivu UV záření. Výrazný pokles pevnosti byl naopak zaznamenán u materiálu M2. Pokles byl překvapivý ve srovnání s jeho recyklovanými protějšky, jejichž počáteční pevnost byla podobná. U měření stálobarevnosti se ukázalo, že materiál je opticky zjasněn a prošel tím pádem povrchovou úpravou, která mohla materiál poškodit. Dále na svých stránkách firma Nilmore uvádí [68], že jejich recyklovaný polyester se povrchově upravuje pro zlepšení prodyšnosti a přidává hydrofobní a oleofobní úpravy. Materiály NILPET získávají tak lepší vlastnosti než materiály M2. S přihlédnutím k počáteční tažnosti materiálů NILPET je v poměru s materiálem M2 ještě o 29 % nižší, tudíž pevnost recyklovaného polyesteru může být větší s ohledem na tahovou křivku materiálu. Vysoké změny hodnot pevnosti a tažnosti u materiálu M2 jsou překvapivé, proto by bylo vhodné opakovat měření, pro ověření výsledků testování 100% PES. Co se týče materiálu M8, jediného testovaného recyklovaného polyamidu, byly zaznamenány překvapivé hodnoty. Materiál M8 s obsahem elastanu prokázal zvýšení pevnosti v řádku po působení UV záření. Tento jev

by se dal odůvodnit výše zmíněnou teorií zesílení polymeru na základě působení UV záření velké vlnové délce. Vlnová délka 350 nm je nad hranicí odolnosti polyamidu, tudíž se začal zesíťovat, tedy tvořit příčné řetězce mezi makromolekulami a zvýšil tak svou pevnost. Stejnou vlastností disponuje i materiál polyuretan, který je obsažen v elastanu, tudíž se pevnost materiálu mohla velice znásobit i o naměřených 32 %.

Zhodnocení materiálů z pohledu pevnostních vlastností před UV záření je uvedeno v tabulce Tab. 9. Ze skupiny biodegradabilních materiálů hodnotíme nejlépe materiál M7, stejně jako u fyziologických vlastností. Jeho pevnost v řádku i ve sloupcu je v této skupině nejvyšší. Materiál bude tak odolný vůči namáhání, a i přes menší odolnost polylaktidu vůči UV bude mít dlouhou životnost. Pleteninová vazba piké se obvykle používá u šití sportovních polotriček, která musí být dostatečně pevná a pružná, a zároveň prodyšná k využití u sportu. Těmto požadavkům odpovídá i materiál M7.

### **Vliv UV záření na stálobarevnost**

Ultrafialové záření je elektromagnetické vlnění o vlnové délce 100–400 nm. Tato vlnová délka není viditelná, ale může být škodlivá jak na pokožku člověka tak na samotný oděv, jak uvádí SZÚ[69]. Na přístroji UV CON byly vzorky osvětčovány po dobu 7 dnů vlnovou délkou 350 nm a záření se projevilo na každém z materiálů. Biodegradabilní recyklované materiály skupiny NILCOTT a NILPLA, byly hodnoceny subjektivně pomocí šedé stupnice a objektivně spektrofotometrem (stejně jako všechny ostatní materiály). Výsledky obou testování byly u těchto materiálů shodné. Podle stupnice Tab. 3 by se rozdíl těchto materiálu zhodnotily jako střední až výrazné. Nejvíce z nich odolával materiál M2. Jak již bylo zmíněno u vyhodnocení pevnosti, materiál pravděpodobně prošel povrchovými úpravami a díky tomu i stálobarevnost byla skvělá. K většímu rozdílu odstínu už u ostatních materiálů nedošlo. Velice odolný se projevil materiál M8 se slabou odchylkou. Polyamid vlivem teploty ztrácí na pevnosti, ale díky možným využitím stabilizátorů je odolnost polyamidu větší. Jeho samotná afinita k barvivům je však vysoká, protože materiál je navlhavý a odolný vůči alkáliím. Materiály jedolící vazby podléhaly v celkovém pohledu více než například materiály vazby interlokové. U materiálů jedolící vazby se změna odstínu projevila výrazně i na rubové neosvětčené straně, zatímco u interlokových vazeb byl rozdíl odstínů zřejmý hlavně na straně lící. Tento trend nepotvrdil již zmíněný materiál M8, kromě něj prokázaly špatné stálosti všechny materiály.



## 7 Závěr

Cílem práce bylo zhodnotit vybrané užitné vlastnosti recyklovaných a biodegradabilních pletenin pro výrobu oděvů. V rešeršní části bakalářské práce je shrnuta problematika udržitelnosti a recyklace textilií a procesy recyklace, u kterých se projevují problémy se směšovými materiály. Dále je v rešeršní části popsán systém cirkulární ekonomiky a její smysl pro textilní průmysl, jež je podložen množstvím zahraničních firem, které si toto téma vzaly za své. A v neposlední řadě je uvedeno rozdělení biodegradabilních materiálů, jako je PLA, který je testován v experimentální části práce. V publikacích nebylo nalezeno žádné podobné měření recyklovaných materiálů vhodných pro cirkulární recyklaci. Závěry vyplývající z této bakalářské práce jsou následující:

- Recyklované syntetické materiály by byly schopny nahradit původní materiály v oděvní výrobě díky odolnostem v tahovém namáhání a vůči působení UV záření. Z mikroskopických snímků po působení UV není zřejmé poškození vazby pleteniny ani jednotlivých vláken.
- Biodegradabilní materiály NILPLA neměly dobré stálosti vybarvení po působení UV záření. Během testování textilií se viditelně začaly žmolkovat a zhoršil se jejich omak. Viditelné poškození bylo zřejmé z mikroskopických snímků. Výsledné vlastnosti testovaných materiálů by mohly být pro oděvní výrobu nevhodné.
- Testováním se prokázalo, že testované materiály NILCOTT mají fyziologické vlastnosti nižší o 37%, ale v tahovém namáhání jsou až o 40% pevnější než samotná bavlna.
- U testovaných materiálů se projevil vliv vazby a hustoty pleteniny na fyziologické vlastnosti textilií. Nejvyšší prodyšnost se ukázala u materiálu M7 vazby piké, naopak materiál M11 s obouřící vazbou měl nejnižší hodnoty prodyšnosti o 92%. Podobné hodnoty měl materiál M8 s největší hustotou pleteniny, jehož prodyšnost byla tak druhá nejnižší.
- Snímky z elektronového mikroskopu ukázaly, že testované recyklované materiály byly po působení UV záření minimálně poškozené a neporjevíly se žádné známky degradace, na rozdíl od biodegradabilního materiálu NILPLA, kde bylo zřejmé výrazné poškození vláken a vazby pleteniny.

- Metodou diferenciální skenovací kalorimetrie (DSC) bylo dokázáno, že testovaný recyklovaný polyamid M8 působením UV záření o vlnové délce 350 nm zesítuje, neboli vytváří příčné vazby mezi jednotlivými makromolekulami a stává se tak pevnějším, než před působením UV záření. Na stejném principu reaguje i polyuretan, ze kterého se skládá elastan zastoupen i v materiálu M8.
- Výzkum prokázal spoustu nových poznatků, které by se daly rozvést v dalším měření. Bylo by možné testovat omezené množství vzorků, například jen biodegradabilní biopolymer polylaktid či jen recyklované materiály. Zajímavé by bylo také testovat působení UV záření na vybrané vzorky po intervalech několika týdnů a zjišťovat postupnou degradaci materiálů.

## Seznam použité literatury

- [1] *Jak dopadá výroba textilu na životní prostředí (infografika) | Zpravodajství | Evropský parlament* [online]. 29. prosinec 2020 [vid. 2023-10-16]. Dostupné z: <https://www.europarl.europa.eu/news/cs/headlines/society/20201208STO93327/jak-dopada-vyroba-textilu-na-zivotni-prostredi-infografika>
- [2] FLETCHER, Kate. *Sustainable fashion and textiles: design journeys*. Second edition. London: Earthscan from Routledge/Taylor & Francis Group, 2014. ISBN 978-0-415-64455-6.
- [3] MIRAFTAB, M., A. Richard HORROCKS a TEXTILE INSTITUTE (MANCHESTER, ENGLAND), ed. *Ecotextiles: the way forward for sustainable development in textiles*. Cambridge: Woodhead Pub, 2007. Woodhead publishing in textiles. ISBN 978-1-84569-214-8.
- [4] *Vývoz použitých textilií z EU v evropském oběhovém hospodářství – Evropská agentura pro životní prostředí* [online]. [vid. 2023-10-16]. Dostupné z: <https://www.eea.europa.eu/publications/eu-exports-of-used-textiles/eu-exports-of-used-textiles>
- [5] BICK, Rachel, Erika HALSEY a Christine C. EKENGA. The global environmental injustice of fast fashion. *Environmental Health* [online]. 2018, **17**, 92 [vid. 2023-10-21]. ISSN 1476-069X. Dostupné z: doi:10.1186/s12940-018-0433-7
- [6] MOORHOUSE, Debbie. Making Fashion Sustainable: Waste and Collective Responsibility. *One Earth* [online]. 2020, **3**(1), 17–19 [vid. 2023-10-13]. ISSN 2590-3322. Dostupné z: doi:10.1016/j.oneear.2020.07.002
- [7] DAHLBO, Helena, Kristiina AALTO, Hanna ESKELINEN a Hanna SALMENPERÄ. Increasing textile circulation—Consequences and requirements. *Sustainable Production and Consumption* [online]. 2017, **9**, Sustainable Utilisation of Waste, 44–57 [vid. 2023-10-21]. ISSN 2352-5509. Dostupné z: doi:10.1016/j.spc.2016.06.005
- [8] WANG, Youjiang, ed. *Recycling in textiles*. 1. publ. Boca Raton: CRC Press, 2006. Woodhead publishing in textiles. ISBN 978-1-85573-952-9.

- [9] HRŮZA, Ing Jakub. Chapter 1: Introduction and statistics. nedatováno.
- [10] BARTL, Andreas. Moving from recycling to waste prevention: A review of barriers and enables. *Waste Management & Research* [online]. 2014, **32**(9\_suppl), 3–18 [vid. 2023-10-25]. ISSN 0734-242X. Dostupné z: doi:10.1177/0734242X14541986
- [11] S.R.O, OMNIO Digital. *NILA - Recyklace textilu. Proč záleží i na zipech a knoflicích* [online]. [vid. 2023-10-25]. Dostupné z: <https://www.nila.cz/blog/archiv/osveta/recyklace-textilu-proc-zalezi-i-na-zipech-a-knoflicich/>
- [12] S.R.O, Endevel. *Plazmové zplyňování – další možný způsob zpracování odpadů | Průmyslová ekologie* [online]. [vid. 2023-10-25]. Dostupné z: <https://www.prumyslovaekologie.cz/info/plazmove-zplynovani-dalsi-mozny-zpusob-zpracovani-odpadu>
- [13] Zpracování odpadů textilních materiálů. *odpadovy-hospodar.cz* [online]. [vid. 2023-10-25]. Dostupné z: <http://odpadovy-hospodar.cz/komunalni-odpady/zpracovani-odpadu-textilnich-materialu>
- [14] WANG, Luxuan, Shuting HUANG a Yixiang WANG. Recycling of Waste Cotton Textile Containing Elastane Fibers through Dissolution and Regeneration. *Membranes* [online]. 2022, **12**(4), 355 [vid. 2023-10-20]. ISSN 2077-0375. Dostupné z: doi:10.3390/membranes12040355
- [15] *Procesy recyklace textilu, současný stav a současný vývoj: Minirecenze* [online]. [vid. 2023-10-20]. Dostupné z: doi:10.1177/0734242X18819277
- [16] VINITHA, Viswanathan, Mani PREEYANGHAA, Murugan ANBARASU, Bernaurdshaw NEPPOLIAN a Vajiravelu SIVAMURUGAN. Chemical recycling of polyester textile wastes using silver-doped zinc oxide nanoparticles: an economical solution for circular economy. *Environmental Science and Pollution Research International* [online]. 2023, **30**(30), 75401–75416. ISSN 1614-7499. Dostupné z: doi:10.1007/s11356-023-27567-0
- [17] *Depolymerace | LPM* [online]. [vid. 2023-10-21]. Dostupné z: <https://www.lpm.cz/cs/depolymerace>

- [18] NILMORE. \_NILPLA® materiál | Nilmore. *www.nilmore.com* [online]. 7. říjen 2022 [vid. 2023-10-03]. Dostupné z: <https://www.nilmore.com/nilpla>
- [19] IPROSPECTCZECHREPUBLIC. Cirkulární ekonomika - velký průvodce - Lindström. *Lindström - Czech Republic* [online]. 3. září 2022 [vid. 2023-10-21]. Dostupné z: <https://lindstromgroup.com/cz/article/cirkularni-ekonomika-aneb-odpad-jako-hodnotny-zdroj-surovin/>
- [20] EXPERTIA. Textilní odpad? Řešením bude chemické rozpouštění - Lindström. *Lindström - Czech Republic* [online]. 25. květen 2021 [vid. 2023-10-24]. Dostupné z: <https://lindstromgroup.com/cz/article/textile-waste-global-challenge-chemical-dissolving-might-solution/>
- [21] S.R.O, SIMPLO. *Domovská stránka | TextilEco a.s.* [online]. [vid. 2024-01-02]. Dostupné z: <https://textil-eco.cz>
- [22] 14 Textile Recycling Companies Pushing for Circularity in Fashion. *Conscious Fashion Collective* [online]. 25. únor 2022 [vid. 2024-04-06]. Dostupné z: <https://consciousfashion.co/guides/textile-recycling-companies>
- [23] The Blue Jeans Go Green Program - Denim Recycling Program. *BlueJeansGoGreen* [online]. [vid. 2024-04-06]. Dostupné z: <https://bluejeansgogreen.org/>
- [24] *Circ • Threading Together the Future of Circular Fashion* [online]. [vid. 2024-04-06]. Dostupné z: <https://circ.earth/>
- [25] Welcome on our e-shop - ECONYL® Regenerated Nylon. *Econyl* [online]. [vid. 2024-04-06]. Dostupné z: <https://www.econyl.com/>
- [26] FABSCRAP. *FABSCRAP* [online]. [vid. 2024-04-06]. Dostupné z: <https://fabscrap.org>
- [27] *Frontpage - Infinited Fiber* [online]. [vid. 2024-04-06]. Dostupné z: <https://infinitedfiber.com/>, <https://infinitedfiber.com/>
- [28] *Pure Waste® | Clothes of 100% recycled fibers* [online]. [vid. 2024-04-06]. Dostupné z: <https://purewaste.com/?v=928568b84963>

- [29] *Recover<sup>TM</sup> Circular Fashion for all | Recover<sup>TM</sup>* [online]. [vid. 2024-04-06]. Dostupné z: <https://recoverfiber.com/>
- [30] Renewcell. *Renewcell* [online]. [vid. 2024-04-06]. Dostupné z: <https://www.renewcell.com/en>
- [31] BERCHICCI, Luca a Wynand BODEWES. Bridging environmental issues with new product development. *Business Strategy and the Environment* [online]. 2005, **14**(5), 272–285 [vid. 2024-03-11]. ISSN 1099-0836. Dostupné z: doi:10.1002/bse.488
- [32] NIINIMÄKI, Kirsi a Lotta HASSI. Emerging design strategies in sustainable production and consumption of textiles and clothing. *Journal of Cleaner Production* [online]. 2011, **19**(16), Promoting Transformation towards Sustainable Consumption and Production in a Resource and Energy Intensive Economy - the Case of Finland, 1876–1883 [vid. 2024-03-11]. ISSN 0959-6526. Dostupné z: doi:10.1016/j.jclepro.2011.04.020
- [33] *Circulate products and materials* [online]. [vid. 2023-12-06]. Dostupné z: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circulate-products-and-materials>
- [34] KROSOFSKY, Andrew. Which Fabrics Are Biodegradable? You Can Compost These All-Natural Materials. *Green Matters* [online]. 4. leden 2021 [vid. 2023-12-09]. Dostupné z: <https://www.greenmatters.com/p/what-fabrics-are-biodegradable>
- [35] DARIA, Marczak, Lejcuś KRZYSZTOF a Misiewicz JAKUB. Characteristics of biodegradable textiles used in environmental engineering: A comprehensive review. *Journal of Cleaner Production* [online]. 2020, **268**, 122129 [vid. 2024-01-21]. ISSN 0959-6526. Dostupné z: doi:10.1016/j.jclepro.2020.122129
- [36] BAO, HuiYing, Yan HONG, Tao YAN, Xiufen XIE a Xianyi ZENG. A systematic review of biodegradable materials in the textile and apparel industry. *The Journal of The Textile Institute* [online]. 2023, **0**(0), 1–20 [vid. 2023-12-10]. ISSN 0040-5000. Dostupné z: doi:10.1080/00405000.2023.2212848
- [37] CHEN, Jonathan Y., Liangfeng SUN, Ioan I. NEGULESCU a Bugao XU. Fabrication and evaluation of regenerated cellulose/nanoparticle fibers from lignocellulosic biomass. *Biomass and Bioenergy* [online]. 2017, **101**, 1–8 [vid. 2023-12-10]. ISSN 0961-9534. Dostupné z: doi:10.1016/j.biombioe.2017.03.024

- [38] *Recent advances in biodegradable polymers for sustainable applications | npj Materials Degradation* [online]. [vid. 2024-01-18]. Dostupné z: <https://www.nature.com/articles/s41529-022-00277-7>
- [39] TRIVEDI, Alok Kumar, M. K. GUPTA a Harinder SINGH. PLA based biocomposites for sustainable products: A review. *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research* [online]. 2023, **6**(4), Biodegradable Polymers for Engineering Applications, 382–395 [vid. 2024-01-18]. ISSN 2542-5048. Dostupné z: [doi:10.1016/j.aiepr.2023.02.002](https://doi.org/10.1016/j.aiepr.2023.02.002)
- [40] EGAN, Jeannie a Sonja SALMON. Strategies and progress in synthetic textile fiber biodegradability. *SN Applied Sciences* [online]. 2021, **4**(1), 22 [vid. 2024-01-21]. ISSN 2523-3971. Dostupné z: [doi:10.1007/s42452-021-04851-7](https://doi.org/10.1007/s42452-021-04851-7)
- [41] DARIA, Marczak, Lejcuś KRZYSZTOF a Misiewicz JAKUB. Characteristics of biodegradable textiles used in environmental engineering: A comprehensive review. *Journal of Cleaner Production* [online]. 2020, **268**, 122129 [vid. 2024-02-08]. ISSN 0959-6526. Dostupné z: [doi:10.1016/j.jclepro.2020.122129](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122129)
- [42] SADASIVUNI, Kishor Kumar, Prosenjit SAHA, Jaideep ADHIKARI, Kalim DESHMUKH, M. Basheer AHAMED a John-John CABIBIHAN. Recent advances in mechanical properties of biopolymer composites: a review. *Polymer Composites* [online]. 2020, **41**(1), 32–59 [vid. 2024-03-10]. ISSN 1548-0569. Dostupné z: [doi:10.1002/pc.25356](https://doi.org/10.1002/pc.25356)
- [43] DZIUBA, Radosław, Magdalena KUCHARSKA, Longina MADEJ-KIEŁBIK, Konrad SULAK a Maria WIŚNIEWSKA-WRONA. Biopolymers and Biomaterials for Special Applications within the Context of the Circular Economy. *Materials* [online]. 2021, **14**(24), 7704 [vid. 2024-03-10]. ISSN 1996-1944. Dostupné z: [doi:10.3390/ma14247704](https://doi.org/10.3390/ma14247704)
- [44] *Nilmore – Cirkulární oblečení | Udržitelná móda z Česka* [online]. [vid. 2023-10-30]. Dostupné z: <https://www.nilmore.com/>
- [45] Polylactic Acid (PLA) Fibers. *springerprofessional.de* [online]. [vid. 2023-10-03]. Dostupné z: <https://www.springerprofessional.de/polylactic-acid-pla-fibers/4386682>

- [46] YANG, Yadie, Minglonghai ZHANG, Zixin JU, Po Ying TAM, Tao HUA, Muhammad Waseem YOUNAS, Hasan KAMRUL a Hong HU. Poly(lactic acid) fibers, yarns and fabrics: Manufacturing, properties and applications. *Textile Research Journal* [online]. 2021, **91**(13–14), 1641–1669 [vid. 2024-01-09]. ISSN 0040-5175. Dostupné z: doi:10.1177/0040517520984101
- [47] MILITICKÝ, Jiří. *Textilní vlákna: klasická a speciální*. Liberec: Technická univerzita, nedatováno. ISBN 978-80-7372-844-1.
- [48] *Home - GOTS - Global Organic Textile Standard* [online]. [vid. 2024-04-19]. Dostupné z: <https://global-standard.org/>
- [49] *NILCOTT® materiál | Nilmore* [online]. [vid. 2024-01-02]. Dostupné z: <https://www.nilmore.com/nilcott>
- [50] *Vlákna ze semen: bavlna, kapok* [online]. [vid. 2024-01-06]. Dostupné z: <https://www.skolatextilu.cz/elearning/458/textilni-terminologie-zboziznalstvi/vlakna-prize-a-nite/Vlakna-ze-semen-bavlna-kapok.html>
- [51] BOHUMIL PILLER a OTTO LEVINSKÝ. *Malá encyklopedie textilních materiálů*. Druhé vydání. nedatováno. ISBN 04-007-82.
- [52] NILMORE. *CIRPAD materiál | Nilmore. www.nilmore.com* [online]. 2. prosinec 2022 [vid. 2024-01-02]. Dostupné z: <https://www.nilmore.com/cirpad>
- [53] *Polyamidová vlákna* [online]. [vid. 2024-01-06]. Dostupné z: <https://www.skolatextilu.cz/elearning/466/textilni-terminologie-zboziznalstvi/vlakna-prize-a-nite/Polyamidova-vlakna.html>
- [54] *content.pdf* [online]. [vid. 2024-02-29]. Dostupné z: <https://dspace.tul.cz/server/api/core/bitstreams/ac8ed4a7-95a5-42e0-8a70-b6f5fe7072fc/content>
- [55] *Laboratoř užitných vlastností textilií a speciálních měření | Ft.Tul.cz* [online]. [vid. 2024-02-29]. Dostupné z: <https://www.ft.tul.cz/katedry/katedra-odevniectvi-laboratore/laborator-uzitnych-vlastnosti-textilii-a-specialnich-mereni>
- [56] STANĚK, Jaroslav. *Nauka o textilních materiálech Díl 1., část 4*. 1. vydání. Liberec: Vysoká škola strojní a textilní, 1988.



- [57] MATYSOVÁ, Karolína. Fyziologické a trvanlivostní vlastnosti ochranných jednorázových obleků [online]. 2023 [vid. 2023-11-16]. Dostupné z: <https://dspace.tul.cz/handle/15240/173393>
- [58] *content.pdf* [online]. [vid. 2023-11-30]. Dostupné z: <https://dspace.tul.cz/server/api/core/bitstreams/d244d67a-0ba2-416e-98aa-53dd89618448/content>
- [59] *Laboratoř hodnocení komfortu oděvů | Ft.Tul.cz* [online]. [vid. 2023-11-30]. Dostupné z: <https://www.ft.tul.cz/katedry/katedra-odevnickvi-laboratore/laborator-hodnoceni-komfortu-odevu>
- [60] *Laboratoř hodnocení komfortu oděvů | Ft.Tul.cz* [online]. [vid. 2024-03-26]. Dostupné z: <https://www.ft.tul.cz/katedry/katedra-odevnickvi-laboratore/laborator-hodnoceni-komfortu-odevu>
- [61] *content.pdf* [online]. [vid. 2024-03-04]. Dostupné z: <https://dspace.tul.cz/server/api/core/bitstreams/a87b9a47-547a-4795-a41c-4caf49f4e8b8/content>
- [62] HÁJEK, Matyáš. Hodnocení užitných vlastností materiálu Alcantara pro výrobu autopotahů [online]. 2021 [vid. 2024-04-15]. Dostupné z: <https://dspace.tul.cz/handle/15240/160820>
- [63] *content.pdf* [online]. [vid. 2024-04-13]. Dostupné z: <https://dspace.tul.cz/server/api/core/bitstreams/75a55739-e73a-4ca1-9506-2070f73c87d3/content>
- [64] PODIVÍNSKÁ, Martina a Simon JANTAČ. Diferenciální skenovací kalorimetrie – [DSC]. nedatováno.
- [65] *Diferenční skenovací kalorimetrie (DSC) | Matematicko-fyzikální fakulta* [online]. [vid. 2024-05-09]. Dostupné z: <https://www.mff.cuni.cz/cs/kfm/experimentalni-vybaveni/diferencni-skenovaci-kalorimetrie-dsc>
- [66] *Co jsou zesítěné polymery? Jaké jsou vlastnosti a aplikace zesítěných polymerů?* | *Vavavoom* [online]. 4. leden 2021 [vid. 2024-05-09]. Dostupné

z: <https://vavavoomproductions.com/cs/co-jsou-zesitene-polymeru-jake-jsou-vlastnosti-a-aplikace-zesitenych-polymeru/>

[67] KARST, David, Michelle HAIN a Yiqi YANG. Care of PLA Textiles. *Research Journal of Textile and Apparel* [online]. 2009, **13**(4), 69–74 [vid. 2024-04-21]. ISSN 1560-6074. Dostupné z: doi:10.1108/RJTA-13-04-2009-B008

[68] NILMORE. NILPET® materiál | Nilmore. *www.nilmore.com* [online]. 7. říjen 2022 [vid. 2024-04-23]. Dostupné z: <https://www.nilmore.com/nilpet>

[69] UV záření. SZÚ | *Oficiální web Státního zdravotního ústavu v Praze* [online]. [vid. 2024-04-21]. Dostupné z: <https://szu.cz/temata-zdravi-a-bezpecnosti/zivotni-prostredi/kvalita-vody/koupaliste-a-bazeny/koupani-ve-volne-prirode/rizika-pri-koupani-ve-volne-prirode/uv-zareni/>

## **Seznam příloh**

Příloha A: Reálné vzorky

Příloha B: Reálné vzorky po působení UV záření

Příloha C: Tloušťka měřených materiálů

Příloha D: Plošná hmotnost měřených materiálů

Příloha E: Hodnoty rychlosti průtoku vzduchu pro měření prodyšnosti

Příloha F: Výsledky měření propustnosti vodních par

Příloha G: Propustnost vodních par naměřených materiálů

Příloha H: Pevnost měřených materiálů v řádku a ve sloupku

Příloha I: Tažnost měřených materiálů v řádku a ve sloupku

Příloha J: Pevnost měřených materiálů po UV záření v řádku a ve sloupku

Příloha K: Tažnost měřených materiálů po působení UV záření v řádku a ve sloupku

Příloha L: Hodnoty stálosti odstínu barev měřené na Spektrofotometru „Datacolour“

Příloha M: Schématické znázornění grafu DSC materiálu M8 před působení UV záření

Příloha N: Schématické znázornění grafu DSC materiálu M8 po působení UV záření

Příloha O: Souhrn výsledných hodnot ze všech měření vybraných materiálů

## Příloha A

### Příloha A Reálné vzorky

	Materiálové složení	Vazba	Reálný vzorek materiálu
M1	100% Bavlna	Zátažná jednolícní hladká	
M2	100% PES	Zátažná jednolícní hladká	
M3	50% recyklovaná bavlna, 50% organická bavlna (NILCOTT)	Zátažná jednolícní hladká	

M4	100 % organická bavlna (NILCOTT)	Zátažná jednolícní hladká	
M5	100 % polylaktid (NILPLA)	Zátažná jednolícní hladká	
M6	100 % polylaktid (NILPLA)	Zátažná interlokovaná hladká	
M7	100 % polylaktid (NILPLA)	Zátažná piké jednolícní	

M8	90 % recyklovaný polyamid 10 % elastan (CIRPAD)	Zátažná jednolícní hladká	
M9	100 % recyklovaný polyamid (CIRPAD)	Zátažná piké jednolícní	
M10	100 % recyklovaný PES (NILPET)	Zátažná interloková hladká	
M11	100 % recyklovaný PES (NILPET)	Zátažná oboulícni hladká	

## Příloha B

### Příloha B Reálné vzorky po působení UV záření

	Materiálové složení	Vazba	Reálný vzorek materiálu	
			Před UV	Po UV
M1	100% Bavlna	Zátažná jednolící hladká		
M2	100% PES	Zátažná jednolící hladká		
M3	50% recyklovaná bavlna, 50% organická bavlna (NILCOTT)	Zátažná jednolící hladká		

M4	100 % organická bavlna (NILCOTT)	Zátažná jednolícní hladká	
M5	100 % polylaktid (NILPLA)	Zátažná jednolícní hladká	
M6	100 % polylaktid (NILPLA)	Zátažná interlokovaná hladká	
M8	90 % recyklovaný polyamid 10 % elastan (CIRPAD)	Zátažná jednolícní hladká	



M10	100 % recyklovaný PES (NILPET)	Zátažná interloková hladká	
M11	100 % recyklovaný PES (NILPET)	Zátažná obouliční hladká	

## Příloha C

### Příloha C Tloušťka měřených materiálů

P. č.	h [mm]					Průměr [mm]
	1.	2.	3.	4.	5.	
M1	0,62	0,61	0,61	0,61	0,63	0,738
M2	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,520
M3	0,57	0,57	0,54	0,54	0,54	0,552
M4	0,55	0,56	0,58	0,58	0,54	0,562
M5	0,80	0,78	0,76	0,79	0,80	0,786
M6	0,93	0,92	0,91	0,93	0,94	0,926
M7	0,62	0,62	0,61	0,61	0,61	0,614
M8	0,47	0,48	0,47	0,47	0,47	0,472
M9	0,58	0,59	0,57	0,57	0,56	0,574
M10	0,51	0,51	0,52	0,51	0,52	0,514
M11	0,60	0,61	0,60	0,61	0,62	0,608

## Příloha D

### Příloha D Plošná hmotnost měřených materiálů

P.č.	m [g]			Průměr[g]	Mp[g/m <sup>2</sup> ]
	1.	2.	3.		
M1	1,068	1,202	1,101	1,688	<b>168,8</b>
M2	1,121	1,129	1,108	1,290	<b>130,3</b>
M3	1,057	1,085	1,049	1,063	<b>167,112</b>
M4	1,102	1,082	1,059	1,081	<b>169,941</b>
M5	1,371	1,372	1,373	1,372	<b>215,689</b>
M6	1,912	1,902	1,926	1,913	<b>300,738</b>
M7	1,060	1,066	1,076	1,067	<b>167,740</b>
M8	1,050	1,005	1,006	1,020	<b>160,352</b>
M9	1,050	1,103	1,092	1,081	<b>169,941</b>
M10	0,814	0,821	0,818	0,817	<b>128,438</b>
M11	1,086	1,159	1,081	1,108	<b>174,186</b>

## Příloha E

Příloha E Hodnoty rychlosti průtoku vzduchu pro měření prodyšnosti

P. č.	Rychlost průtoku vzduchu [ml/s]					Průměr [ml/s]	Směrodatná odchylka [ml/s]	Variační koeficient [%]
	1.	2.	3.	4.	5.			
M1	50	60	50	60	50	55	5,7	10,36
M2	130	140	140	110	120	128	13	10,15
M3	37	34	32	34	35	34,400	1,816	5,279
M4	24	27	36	27	27	28,200	4,549	16,13
M5	32	35	26	24	32	29,800	4,604	15,44
M6	50	49	50	50,5	50	49,900	0,547	1,096
M7	360	360	380	330	360	358	17,888	4,996
M8	35	27	32	31	29	30,800	3,033	9,847
M9	110	100	80	100	90	96	11,401	11,876
M10	140	130	90	110	100	114	20,732	18,184
M11	25	25	24	28	27	25,800	1,643	6,368

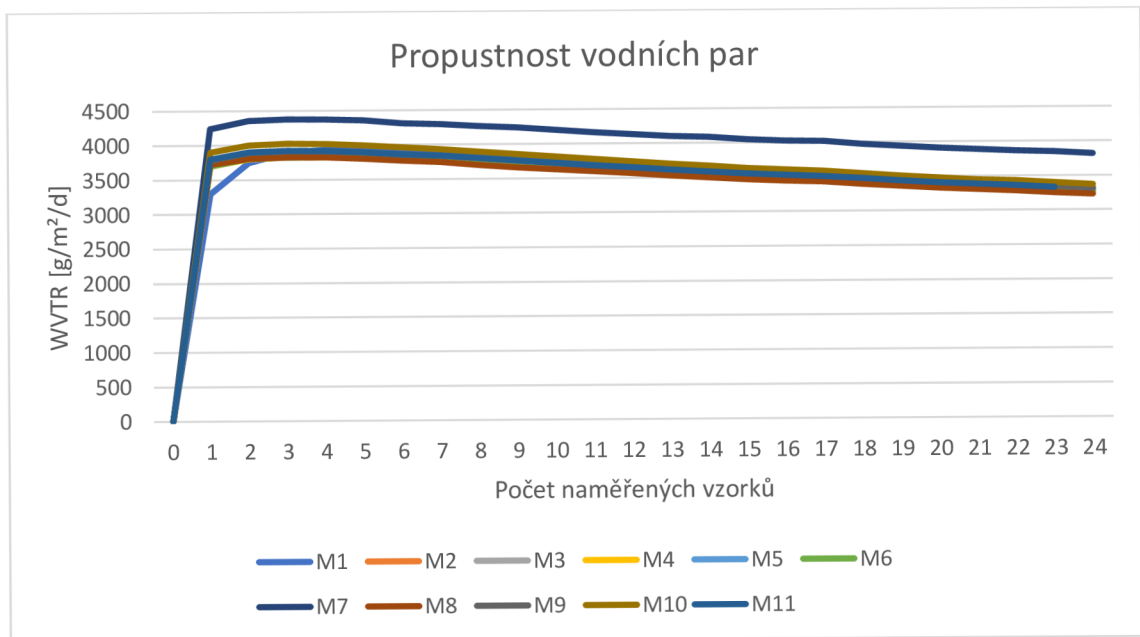
## Příloha F

### Příloha F Výsledky měření propustnosti vodních par [g/m<sup>2</sup>/d]

Čas [h]	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	3299,7	3301,7	3712	3697	3757	3699	4239	3719	3786	3898	3161,3
2	3744,3	3770,7	3816	3801	3855	3808	4358	3811	3891	4000	3608,3
3	3891,7	3925,3	3844	3829	3872	3826	4377	3826	3915	4024	3759,7
4	3932,0	3980,3	3836	3829	3860	3828	4376	3821	3909	4017,3	3810,3
5	3925,7	3979,0	3817	3815	3836	3813	4361	3801	3892	3996,7	3810,7
6	3905,7	3962,3	3785	3791	3810	3797	4314	3768	3857	3959,3	3787,0
7	3872,3	3925,0	3765	3763	3786	3779	4295	3747	3835	3934,3	3743,7
8	3836,0	3887,3	3732	3722	3751	3744	4264	3703	3798	3894,7	3710,3
9	3792,0	3846,7	3704	3681	3721	3717	4241	3664	3762	3857,3	3679,3
10	3751,0	3801,0	3666	3644	3689	3686	4199	3627	3720	3818,3	3652,7
11	3719,3	3762,7	3632	3620	3668	3666	4166	3598	3686	3776,7	3620,3
12	3682,7	3724,3	3607	3587	3636	3631	4133	3571	3654	3739,0	3586,3
13	3642,7	3691,3	3578	3562	3609	3598	4099	3532	3614	3696,3	3553,3
14	3606,0	3657,7	3547	3533	3571	3562	4083	3502	3589	3665,3	3521,0
15	3575,0	3631,0	3526	3512	3550	3541	4046	3467	3555	3629,0	3487,0
16	3541,3	3597,7	3506	3492	3524	3520	4023	3445	3535	3608,7	3459,7
17	3510,0	3565,7	3469	3450	3481	3479	4014	3427	3513	3586,3	3426,7
18	3480,0	3533,3	3434	3418	3442	3442	3970	3389	3479	3546,7	3399,0
19	3447,0	3501,7	3405	3387	3413	3416	3937	3356,0	3445	3508,7	3368,7
20	3422,7	3476,3	3384	3368	3392	3395	3911	3330,7	3417	3478,0	3345,3
21	3395,7	3450,7	3352	3338	3359	3364	3887	3304,7	3391	3447,0	3320,7
22	3369,7	3422,3	3324	3311	3332	3337	3860	3282,3	3369	3428,0	3294,3
23	3341,7	3395,3	3297	3286	3307	3312	3843	3254,7	3341	3395,3	3268,7
24	3315,7	3373,0	3277	3261	3283	3286	3817	3229,3	3314	3369,7	3245,0
Průměr	3479,987	3673,4	3440,6	3427,88	3460,16	3449,84	3952,52	3407,08	3490,667	3720	3525,8

## Příloha G

### Příloha G Propustnost vodních par naměřených materiálů



## Příloha H

Příloha H Pevnost měřených materiálů v řádku a ve sloupku

P.č.	Pevnost před UV zářením [N]			Průměr [N]	Směrodatná odchylka	Variační koeficient [%]
	Řádek					
	1.	2.	3.			
M1	80,9	70,1	90,8	80,6	10,4	12,9
M2	200	198,3	157,9	185,4	23,9	12,9
M3	140	136,8	136,8	137,9	1,8	1,3
M4	147,3	165,1	150,4	154,3	9,5	6,2
M5	215,2	200,7	197,4	204,4	9,4	4,6
M6	60,8	X	67,4	64,1	6,2	10,2
M7	302,7	334,4	334,1	323,7	18,1	5,6
M8	186,9	206,9	212,5	202,1	13,4	6,7
M9	552,5	517,2	549,2	539,6	19,4	3,6
M10	248,5	147,2	163,7	186,5	54,3	29,2
M11	254,1	246,9	265,7	255,6	9,4	3,6

P.č.	Pevnost před UV záření [N]			Průměr [N]	Směrodatná odchylka	Variační koeficient [%]
	Sloupek					
	1.	2.	3.			
M1	86,6	106,9	92,2	95,2	14,4	14,9
M2	374,8	400,1	449,5	408,1	38	9,3
M3	175,2	174,6	108,7	152,8	38,2	25,1
M4	176,1	174,5	204,3	185,0	16,7	9,1
M5	199,5	332,6	318,8	283,6	73,2	25,8
M6	234,4	X	208,9	221,7	23,2	11
M7	223,9	228,6	230,9	227,8	3,2	1,4
M8	343,3	357,3	356,8	352,5	8,1	2,2
M9	327,9	396,8	393,4	372,7	38,5	10,4
M10	387,7	382,7	410,4	393,6	14,8	3,7
M11	520,1	434,3	398,6	451,0	62,4	13,8

## Příloha I

Příloha I Tažnost měřených materiálů v řádku a ve sloupku

P.č.	Tažnost před UV zářením [%]			Průměr [%]	Směrodatná odchylka	Variační koeficient [%]
	Řádek					
	1.	2.	3.			
M1	59,3	55,6	52,7	55,8	3,3	5,6
M2	119,45	118,5	107,9	115,2	6,4	5,6
M3	59	58,8	59,15	58,9	0,1	0,1
M4	59,2	60,1	58,25	59,1	0,9	1,5
M5	71,6	68,55	68,2	69,4	1,8	2,5
M6	67,5	68	66,7	67,4	0,6	0,8
M7	38,75	43,9	42,5	41,7	2,6	6,7
M8	127,9	129,7	131,1	129,5	1,6	1,2
M9	75,9	73,5	70,7	73,3	2,6	3,5
M10	90,5	74,9	77,4	80,9	8,3	10,2
M11	107,4	103,9	103,7	105	2,2	1,9

P.č.	Tažnost před UV zářením [%]			Průměr [%]	směrodatná odchylka	variační koeficient [%]
	Sloupek					
	1	2	3			
M1	36,1	35,6	35,4	35,7	0,4	1,2
M2	31,25	32,5	34,05	32,6	1,4	4,2
M3	43,6	42,1	38,4	41,4	2,7	5,1
M4	31,9	33,4	33,7	33,0	1,0	3,1
M5	29,2	43,8	41,1	38,0	7,8	20,5
M6	22	21,1	22,1	21,7	0,6	2,7
M7	42,15	41,55	40,3	41,3	0,9	2,1
M8	84,1	82,9	82,9	83,3	0,7	0,8
M9	47,35	51,6	47,3	48,8	2,5	5,1
M10	36,8	36,2	40,3	37,8	2,2	5,8
M11	56,9	52,6	50,4	53,3	3,3	6,2



## Příloha J

### Příloha J Pevnost měřených materiálů po UV záření v řádku a ve sloupku

P.č.	Pevnost po UV záření [N]			Průměr [N]	Směrodatná odchylka	Variační koeficient [%]
	Řádek					
	1.	2.	3.			
M1	75,7	80,9	81,2	79,3	3,1	03,1
M2	98,6	114,4	99,4	104,1	8,9	8,5
M3	129,4	136,6	136,2	134,1	4,0	2,9
M4	X	169,1	150,2	159,7	13,4	8,3
M5	163,6	161,9	168,6	164,7	3,5	2,1
M6	67,7	X	68,8	68,3	0,8	3,8
M7	X	X	X	X	X	X
M8	278,3	321,1	X	299,7	30,3	10,1
M9	X	X	X	X	X	x
M10	148,3	137,7	162,6	149,5	12,5	8,3
M11	212,7	227,4	X	220,1	10,4	4,7

P.č.	Pevnost po UV záření [N]			Průměr [N]	Směrodatná odchylka	Variační koeficient [%]
	Sloupek					
	1.	2.	3.			
M1	81,7		79,8	80,8	1,3	1,6
M2	364,5		421,3	392,9	40,2	12,1
M3	127,8	144,8	136,2	136,3	8,5	6,2
M4	170,1	197,5	196,8	188,1	15,6	8,2
M5	265,4	264,1	228,8	252,8	20,8	8,2
M6	218,8	207,8	240,7	222,4	16,7	7,5
M7	X	X	X	X	X	X
M8	215,3	202,4	221,9	213,2	9,9	4,6
M9	X	X	X	X	X	X
M10	230,3	x	216,8	223,6	9,5	4,2
M11	278,5	319,8	245,4	281,2	37,3	13,2

## Příloha K

Příloha K Tažnost měřených materiálů po působení UV záření v řádku a ve sloupku

P.č.	Tažnost po UV záření			Průměr	Směrodatná odchylka	Variační koeficient
	Řádek					
	1.	2.	3.			
M1	74,2	79,1	X	76,7	76,7	3,5
M2	158,2	169	155,3	160,7	160,8	7,2
M3	95,8	87,8	96,7	93,4	93,4	4,9
M4	106,4	109,1	106,7	107,4	107,4	1,5
M5	120,7	122,2	134,3	125,7	125,7	7,5
M6	127,8	126,7	126,7	127,1	127,1	0,6
M7	X	X	X	X	X	X
M8	X	162,8	150,2	156,5	156,5	8,9
M9	X	X	X	X	X	X
M10	132,1	131,6	131,9	131,9	131,9	0,3
M11	191,5	185,1	X	188,3	188,3	4,5

P.č.	Tažnost po UV záření			Průměr	směrodatná odchylka	variační koeficient
	Sloupek					
	1	2	3			
M1	52,5	X	50	51,3	51,3	1,8
M2	56	47,6	62,5	55,4	55,4	7,5
M3	62,1	63,3	65,2	63,5	63,5	1,6
M4	69,7	67,9	X	68,8	68,8	1,3
M5	69,9	65,3	61,9	65,7	65,7	4,0
M6	36,9	38,4	38,8	38	38,0	1,0
M7	X	X	X	X	X	X
M8	262,1	242,7	253,2	252,7	252,7	9,7
M9	X	X	X	X	X	X
M10	53,1	59,7	52,7	55,2	55,2	3,9
M11	87,9	92	82	87,3	87,3	5,0

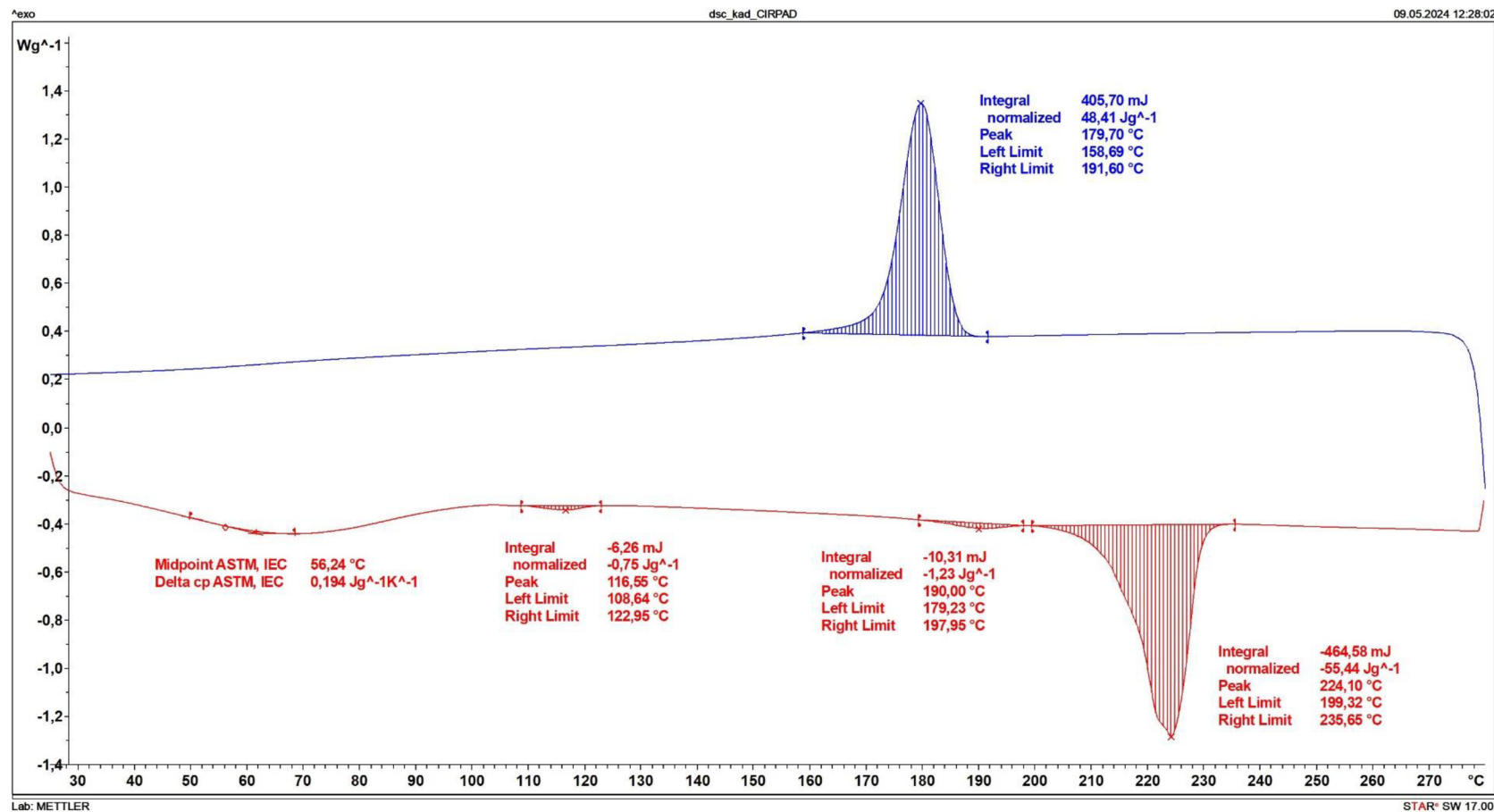
## Příloha L

Příloha L Hodnoty stálosti odstínu barev měřené na Spektrofotometru „Datacolour“

	<b>L*</b>	<b>a*</b>	<b>b*</b>	<b>dE*</b>
<b>Bavlna neosvícená</b>	79,22	4,31	10,70	
<b>Bavlna osvícená</b>	86,30	2,44	13,16	<b>7,73</b>
<b>PES neosvícený</b>	92,55	3,01	-9,13	
<b>PES osvícený</b>	93,58	0,52	-1,16	<b>8,42</b>
<b>NILCOTT neosvícený</b>	91,96	-0,01	6,32	
<b>NILCOTT osvícený</b>	87,75	1,32	9,50	<b>5,44</b>
<b>NILCOTT organic neosvícený</b>	13,53	0,20	-1,52	
<b>NILCOTT organic osvícený</b>	18,14	1,64	0,95	<b>5,42</b>
<b>NILPLA neosvícený</b>	69,63	-15,32	-2,45	
<b>NILPLA osvícený</b>	71,42	-12,55	-1,29	<b>3,49</b>
<b>NILPLA interlok neosvícený</b>	43,70	0,56	8,27	
<b>NILPLA interlok osvícený</b>	49,73	4,72	9,63	<b>7,45</b>
<b>CIRPAD elastan neosvícený</b>	14,55	-0,08	-3,32	
<b>CIRPAD elastan osvícený</b>	15,28	-0,39	-3,70	<b>0,88</b>
<b>NILPET neosvícený</b>	46,67	-2,55	-1,75	
<b>NILPET osvícený</b>	49,52	0,62	-2,17	<b>4,28</b>
<b>NILPET obouliční neosvícený</b>	15,04	0,02	-1,62	
<b>NILPET obouliční osvícený</b>	22,17	3,50	0,45	<b>8,20</b>

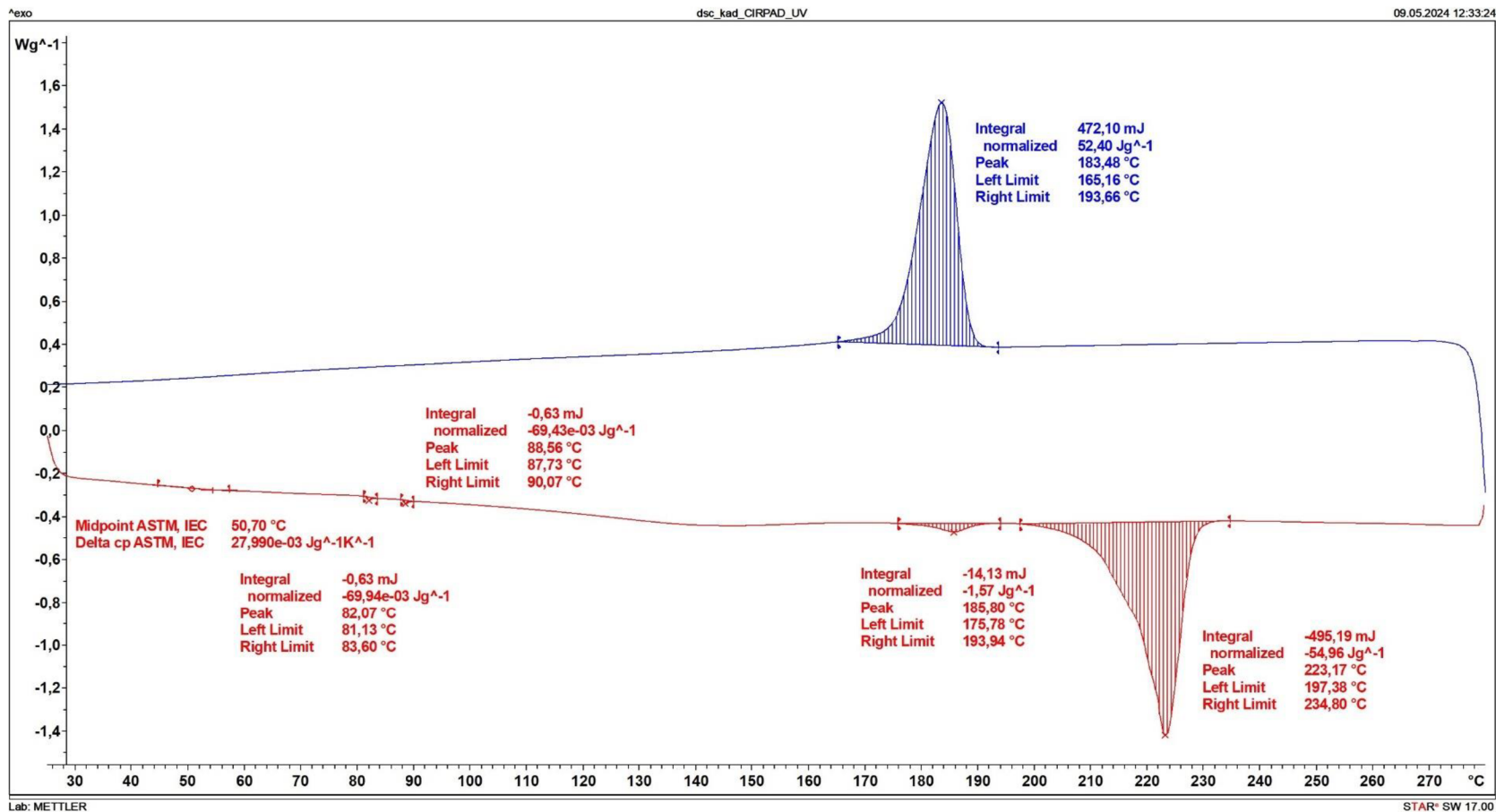
## Příloha M

Příloha M Schématické znázornění grafu DSC, na kterém je vidět teplota krystalizace materiálu M8 o teplotě 224 °C (znázorňuje červený pík vpravo) a teplota tání o teplotě 179,7 °C (modrý pík nahoru)



# Příloha N

Příloha N Schématické znázornění DSC grafu, na kterém je vidět teplota krystalizace materiálu M8 po působení UV záření o teplotě 223,17 °C (znázorňuje červený pík vpravo) a teplota tání o teplotě 183,4 °C (modrý pík nahoru)



## Příloha O

### Příloha O Souhrn výsledných hodnot ze všech měření vybraných materiálů

	Plošná hmotnost [g/m <sup>2</sup> ]	Tloušťka [mm]	Prodyšnost [mm/s]	Propustnost vodní par [g/m <sup>2</sup> /d]	Pevnost [N]		Tažnost [%]		Pevnost po UV [N]		Tažnost po UV [%]		Stálobarevnost Šedá stupnice
					řádek	sloupek	řádek	sloupek	řádek	sloupek	řádek	sloupek	
M1	168,8	0,738	27,56	3473	80,6	95,2	55,8	35,7	79,3	80,8	76,7	51,3	2/3
M2	130,3	0,52	64,12	3673	185,4	408,1	115,2	32,6	104,1	392,9	160,7	55,4	4/5
M3	167,1	0,552	17,23	3584	137,9	152,8	58,9	41,4	134,1	136,3	93,4	63,5	2/3
M4	169,9	0,562	14,12	3570	154,3	185	59,1	33	159,7	188,1	107,4	68,8	2/3
M5	215,7	0,786	14,86	3604	204,4	283,6	69,4	38	164,7	252,8	125,7	65,7	2/3
M6	300,7	0,926	24,97	3594	61	210,4	67,4	21,7	69,8	222,4	127,1	38	1/2
M7	167,7	0,614	179,36	4117	323,7	227,8	41,7	41,3	-	-	-	-	-
M8	160,4	0,472	15,43	3549	202,1	352,5	129,5	83,3	299,7	213,2	156,5	252,7	5
M9	169,9	0,574	48,09	3636	539,6	372,7	73,3	48,8	-	-	-	-	-
M10	128,4	0,514	57,11	3720	186,5	393,6	80,9	37,8	149,5	223,6	131,9	55,2	1/2
M11	174,2	0,608	12,85	3473	255,6	451	105	53,3	220,1	281,2	188,3	87,3	2