

Kompostovatelnost textilií

Diplomová práce

Studijní program:

N3957 Průmyslové inženýrství

Studijní obor:

Produktové inženýrství

Autor práce:

Bc. Michaela Bogarová

Vedoucí práce:

prof. Ing. Jakub Wiener, Ph.D.

Katedra materiálového inženýrství





Zadání diplomové práce

Kompostovatelnost textilií

Jméno a příjmení: **Bc. Michaela Bogarová**
Osobní číslo: T16000107
Studijní program: N3957 Průmyslové inženýrství
Studijní obor: Produktové inženýrství
Zadávací katedra: Katedra hodnocení textilií
Akademický rok: 2017/2018

Zásady pro vypracování:

- 1) Vypracujte rešerši na téma diplomové práce
- 2) Na základě rešerše navrhnete a laboratorně ověříte postup testování kompostovatelnosti textilií
- 3) Tímto postupem kompostujete různé textilní materiály, sledujte hmotnost, mechanické změny testovaných vzorků a případně i vlastnosti vzniklého kompostu
- 4) Navrhnete a otestujete postupy vedoucí k zlepšení kompostovatelnosti celulózových textilií
- 5) Výsledky diskutujete z hlediska praktického využití

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

50 – 60 stran
tištěná/elektronická
Čeština



Seznam odborné literatury:

NOVOTNÝ, Čeněk, Ostravská univerzita a Přírodovědecká fakulta. Biodegradace a biotechnologie. Ostrava: Ostravská univerzita, 2005. ISBN 978-80-7368-096-1

RUDNIK, Ewa. Compostable polymer materials. 1st ed. Oxford; Boston: Elsevier, 2008. ISBN 978-0-08-045371-2.

Vedoucí práce:

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

Datum zadání práce:

16. dubna 2018

Předpokládaný termín odevzdání:

10. ledna 2020

Ing. Jana Drašarová, Ph.D.
děkanka

L.S.

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

V Liberci dne 6. ledna 2020

Prohlášení

Byla jsem seznámena s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

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

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

Diplomovou práci jsem vypracovala samostatně jako původní dílo s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé diplomové práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že texty tištěné verze práce a elektronické verze práce vložené do IS/STAG se shodují.

10. ledna 2020

Bc. Michaela Bogarová

Poděkování

Ráda bych na prvním místě poděkovala vedoucímu této diplomové práce profesoru Ing. Jakobovi Wienerovi, Ph.D. za příjemnou spolupráci, podnětné rady a čas, který mi věnoval při řešení dané problematiky. Dále bych chtěla poděkovat Ing. Janě Grabmüllerové a Ing. Miroslavě Pechočiakové, Ph.D. za jejich pomoc s přístroji potřebnými pro výsledné měření a vyhodnocení práce. V neposlední řadě patří můj dík Dominice Křenkové – jedné z majitelek firmy „Tochceš“, za poskytnutí fotografií, materiálu a obětovanému času. Také děkuji své rodině za podporu po celou dobu studia.

Anotace

Tato diplomová práce se zabývá problematikou textilního odpadu, který vzniká jak při výrobě, tak při užívání textilních výrobků. Jednou z metod likvidace textilního odpadu je biodegradace. Důkaz o biodegradabilitě textilních materiálů by byl přínosný pro výrobce i uživatele z hlediska životního prostředí.

Podstatou této diplomové práce je v první řadě vyvinutí vhodných metod pro zjišťování kompostovatelnosti textilních materiálů, jejich následné ověření a nakonec určení biologické rozložitelnosti jednotlivých testovaných materiálů, které jsou v této práci použity. V rešeršní části je shrnuto současné nakládání s textilním odpadem, dále popis procesu biodegradace a jedna z kapitol je věnována popisu konceptu a obchodního záměru textilní firmy s názvem „Tochceš“, která výsledky této diplomové práce využije v praxi. V praktické části jsou popsány navržené a otestované zkoušky kompostovatelnosti, jejich provedení, vyhodnocení a nakonec diskuze získaných výsledků.

Klíčová slova

Kompostovatelnost, biodegradabilita, recyklace, pevnost, celulózová vlákna, textilní materiály, textilní odpad, marketing

Anotation

This work deals with the issue of textile waste, which arises both in the manufacture and use of textile products. One method of textile waste disposal is biodegradation. Evidence of the biodegradability of textile materials would be beneficial for manufacturers and users from an environmental point of view.

The essence of this thesis is first of all to develop suitable methods for determining compostability of textile materials, their subsequent verification and finally determination of biodegradability of individual tested materials used in this work. The research part summarizes the current treatment of textile waste, the description of the biodegradation process and one of the chapters is devoted to the description of the concept and business intent of the aforementioned textile company. The practical part describes the proposed and done examinations of compostability, their implementation, evaluation and finally the discussion of the results obtained.

Keywords

Compostability, biodegradability, recycling, strength, cellulose fibers, textile materials, textile waste, marketing.

Obsah

| | |
|--|----|
| ÚVOD | 10 |
| REŠERŠNÍ ČÁST | 11 |
| 1.ODPAD Z TEXTILNÍHO PRŮMYSLU | 11 |
| 1.1 Tuhý odpad | 12 |
| 1.2 Předcházení vzniku odpadu | 13 |
| 1.3 Recyklace textilu..... | 13 |
| 2 BIODEGRADACE | 15 |
| 2.1 Postup biodegradace | 15 |
| 2.2 Podmínky biodegradace..... | 17 |
| 2.3 Vývoj mikroorganismů při biodegradčním procesu | 18 |
| 2.4 Lag fáze – období přizpůsobování..... | 19 |
| 2.5 Faktory ovlivňující biodegradaci | 19 |
| 2.6 Polymery se zkrácenou životností | 21 |
| 2. 7 Druhy materiálů vzhledem k biodegradaci..... | 22 |
| 2.8 Způsoby testování biodegradability..... | 24 |
| 2.9 Využití biodegradací..... | 27 |
| 3 BIODEGRADABILNÍ POLYMERY | 28 |
| 4 Marketingová strategie značky TOHCEŠ | 33 |
| 4.1 Strategický marketing | 33 |
| 4.2 Tohceš | 34 |
| PRAKTICKÁ ČÁST | 36 |
| 5 Použité materiály..... | 37 |
| Modifikace bavlny..... | 40 |
| 6 Použité přístroje a zařízení | 41 |
| Technické parametry:..... | 43 |
| 7 Navržené a realizované testy kompostovatelnosti | 45 |
| 7.1 Test za zvýšené teploty..... | 45 |
| 7.2 Test v prostředí běžného kompostu | 47 |
| 7.3 Test založený na měření CO ₂ | 61 |

| | |
|------------------------------------|----|
| 8 Praktické využití výsledků | 68 |
| ZÁVĚR | 70 |
| Seznam literatury | 72 |
| Seznam obrázků | 74 |
| Seznam tabulek | 75 |

Seznam použitých symbolů a zkratk

| | |
|--------------|---|
| CHSK | Chemická spotřeba kyslíku |
| BSK | Biologická spotřeba kyslíku |
| PET | Polyethytereftalát |
| pH | Záporný dekadický logaritmus aktivity vodíkových kationtů |
| ppm | Parts per million – miliontiny celku |
| ČSN | Česká státní norma |
| CEN | Evropský výbor pro normalizaci |
| BDP | Biodegradabilní polymer |
| PLA | Kyselina polyléčná |
| $m_s[g/m^2]$ | Plošná hmotnost |
| SEM | Skenovací elektronová mikroskopie |

ÚVOD

Dnešní civilizace využívá stále více chemických látek. A to jak v průmyslu, tak i pro osobní potřeby obyvatelstva. Důsledkem toho je narůstající znečištění životního prostředí, které představuje rizika pro přírodu a lidské zdraví. Využívání těchto látek je možné do jisté míry omezit, ale pravděpodobně ne zastavit. Textilní odpad tvoří nemalou část směsného odpadu a ročně končí na skládkách miliony tun oblečení a jiného textilního zboží. Celkem se z textilního odpadu recyklují pouhá tři procenta. V dnešní době se zajímá o ekologii a životní prostředí stále více lidí, kteří nejsou lhostejní k této situaci. Bohužel je jen málo možností, jak s opotřebovanými textilními výrobky naložit a kromě spalování, nebo opětovného použití produktů mnoho možností není. Biodegradace neboli biologický rozklad textilních materiálů je jednou z cest, které by mohly být v budoucnu východiskem. Kompostovatelnost textilií se nabízí jako ideální řešení problému nezadržitelného nárůstu textilního odpadu. Termín biodegradace nabývá na důležitosti, protože přeměňuje materiály na vodu, oxid uhličitý a biomasu, které nepředstavují žádné riziko pro životní prostředí.

Tato diplomová práce se zabývá problematikou kompostování některých druhů textilií. Vznikla jako součást marketingové strategie značky „Tochceš“, zabývající se výrobou bytových doplňků. Celý koncept značky je směřován k ekologii, bezobalovému a bezodpadovému způsobu života jak pro samotného výrobce, tak pro konečné zákazníky. Výrobky značky „Tochceš“ jsou zhotovovány výhradně z přírodních – rostlinných materiálů, což znamená, že hlavním cílem práce je ověřit kompostovatelnost celulózových vláken a navrhnout metodu, která tuto vlastnost dokazuje a umožňuje tak výrobcům i zákazníkům ekologicky naložit s případným odpadem.

REŠERŠNÍ ČÁST

1. ODPAD Z TEXTILNÍHO PRŮMYSLU

Existuje několik typů textilních odpadů. Jejich povaha závisí na tom, jaké jsou použité technologie výroby a na zpracovávaných vláknech. Textilní průmysl také produkuje velké množství odpadních vod, zejména při zušlechťování textilií.

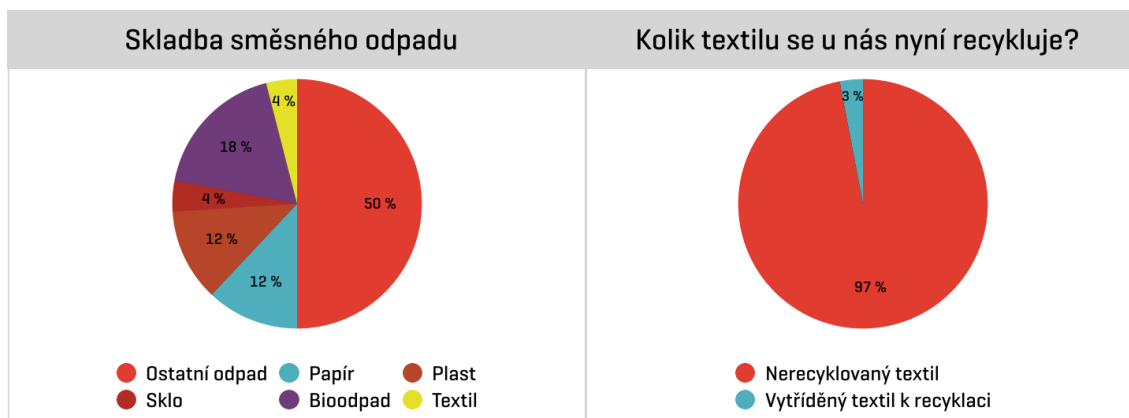
Operace ve výrobě textilu lze rozdělit na dvě základní skupiny. Jsou to mechanické operace, kam patří například předení, tkaní, pletení. Druhá skupina je zušlechťování textilií, což je hlavně zpracování za mokra. V této fázi se textiliím dodávají důležité užité vlastnosti.

Při textilních operacích můžeme jako vstupy považovat textilní vlákna s různými charakteristikami, chemické látky využívané jako barviva, pomocné prostředky. Výstupy jsou výsledné textilní produkty.

Pro životní prostředí jsou asi nejzávažnější emise do ovzduší a do vody, velká spotřeba energie a další odpady související s textilní výrobou, jako například obaly od chemických látek, zbytky ze zpracování a prostředky na údržbu strojů.

O textilním průmyslu můžeme mluvit jako o zdroji obrovského množství odpadu. A to jak z procesu výroby, tak i z následných hotových výrobků. Produkty, které se ocitnou na konci své životnosti, mají jen mizivou možnost být ekologicky likvidovány, což má při jejich množství kolosální dopad na životní prostředí.

Pokud budeme chtít hovořit čísly, tak můžeme zmínit 100 miliard oděvů, které byly vyrobeny v roce 2015 a ještě téhož roku skončilo na skládkách 60 % zmíněného množství. Toto číslo samozřejmě každoročně roste. V Číně je každým rokem 20 milionů tun oblečení součástí odpadu, v Americe 10 milionů a v České republice je to 200 000 tun. Což je cca 4 – 6 % celkového množství komunálního odpadu (ČSÚ). Pro představu je to stejné procento, jako plastového odpadu. V následujících grafech je vyobrazen podíl jednotlivých složek komunálního odpadu a dále množství textilního odpadu, který je recyklován, nebo naopak [1].



Obrázek 1 grafy znázorňující skladbu směsného odpadu v ČR a množství recyklovaného textilního odpadu [1]

Velkou roli v odpadním textilu hrají v poslední době často zmiňované mikroplasty. Jsou to velmi malé plastové částičky o velikosti menší než 5 mm. Mohou být v pitné vodě, v půdě i ve vzduchu, což znamená, že se dostávají do lidských těl i těl živočichů. Jedním z mnoha zdrojů mikroplastů jsou oděvy ze syntetických materiálů, z nich se uvolňují umělá vlákna při nošení a hlavně při praní. V průběhu jednoho praní se z fleecového výrobku uvolní až milion mikrovláken. Ty potom skončí v odpadních vodách a putují do řek a oceánů. Je to dalším důvodem, proč používat pro výrobu textilií přírodní materiály, minimálně tam, kde je to uživatelsky možné [2].

1.1 Tuhý odpad

Odpady vzniklé při výrobě textilu, ať už pevné či kapalné, musí být odstraněny. Některé je možné recyklovat a některé se předávají firmám, které s odpady nadále manipulují. Naprostá většina odpadu je potom uložena na skládku nebo spálena.

Jedním z mnoha typů odpadu z textilního průmyslu je tzv. textilní průmyslový odpad. Ten vzniká při výrobě a můžou se do něj zahrnout zbytky textilií, zkušební kusy, nepodařené produkty, odstřížky, textilní prach. Tento odpad je možné recyklovat. Dají se z něj po vyčištění vyrábět hadry, nebo je dále upravován zvlákněním a použit jako netkané textilie a plsti.

Tato zpracování textilního odpadu se ale nevyužívají ve velké míře kvůli vysokým nákladům. Proto je odpad často uložen na skládku, nebo spalován.

1.2 Předcházení vzniku odpadu

Mnoho podniků dbá na to, aby byl vzniklý textilní odpad co nejmenší, což je kladné jak pro životní prostředí, tak pro ekonomiku podniku. Jako prevence vzniku odpadu může být chápána změna suroviny, úprava technologických postupů, nebo změna samotného produktu. Podniky mohou snižovat produkci odpadu jeho recyklací.

Dále by měly být používány chemikálie s co nejmenším dopadem na životní prostředí a jejich správné množství, čehož může být dosaženo automatickými dávkovacími přístroji. V neposlední řadě je zde možnost používat k výrobě biologicky rozložitelné materiály a vzniklý odpad poté kompostovat [3].

1.3 Recyklace textilu

Jak již bylo zmíněno, recyklace textilního odpadu je náročná. Neznamená to ale, že je nemožná. Ve světě produkce textilu a tudíž i textilního odpadu stále narůstá a s velkou pravděpodobností bude narůstat nadále. Proto je potřeba věnovat recyklaci tohoto druhu odpadu větší pozornost.

Recyklaci textilu můžeme rozdělit na dva druhy.

- „Reuse“ – opětovné použití oblečení. To se děje díky velkým kovovým kontejnerům, kam může každý donést textilní odpad, včetně bot. Dále funguje velké množství bazarů, charit.
- Ostatní odpadní textil - sem patří již nenositelné oblečení a veškeré ostatní textilie. Této kategorii se nyní budeme věnovat.

Náročnost recyklace textilu je způsobena různorodostí materiálu. Často je i pro jeden kus textilu použito několik materiálů. Další komplikací jsou zipy, spony, knoflíky a jiné komponenty. Tyto je nutno z textilií odstranit. Potom následuje další krok, ve kterém je textilie rozmělněna na drť obsahující různé barvy i materiály. Tato drť se využívá na výrobu izolací, izolačních desek, jako výplně v čalounictví a automobilovém průmyslu. Dále se tento recyklát často používá jako materiál pro výrobu čistících utěrek [4].

Stále se však většina textilního odpadu nedočká takto šťastného konce a končí na skládce, sběrném dvoře nebo ve spalovně.



Obrázek 2 Textilní odpad [2]

Mechanické metody ale nejsou jedinými, kterými lze textilní odpad zpracovávat. Dále můžeme využít metod chemických a termochemických. U těchto dvou metod ztrácí odpad textilní charakter, nebo se substanciálně mění. Dochází k tomu hydrolyzou, nebo jinými destrukčními úpravami.

Spalování textilního odpadu

Spalování odpadu je nejjednodušší, nejvýhodnější a neekologičtější v malých spalovnách přímo v textilní výrobě. Lze využít i městské spalovny. Spalování odpadu je oproti ukládání na skládku výhodné z několika důvodů a to díky velkému úbytku objemu a hmotnosti, dále se dá dobře využít vysoké výhřevnosti textilu. Spalování je navíc ekologicky „přijatelné“, pokud předpokládáme, že má spalovna zařízení na zachytávání a úpravu toxických škodlivin [4].

Další, zatím nezmíněnou možností likvidace textilního odpadu je jeho biodegradace.

2 BIODEGRADACE

Jev, při kterém enzymaticky působí živé organismy neboli biologičtí činitelé na různé organické látky, se nazývá biodegradace. Dochází při něm k biologickému rozkladu polymerních materiálů. Je to speciální druh degradace zapříčiněný buď samotnými mikroorganismy anebo v častějších případech kombinací více procesů způsobujících degradaci.

Důležitou roli hraje v tomto procesu molekulová hmotnost. Čím je větší, tím náročnější je pro mikroorganismy rozkládání takového materiálu. Biodegradabilita se snižuje kvůli snížení rozpustnosti, kterou vysoká molekulová hmotnost ovlivňuje. Monomery, oligomery a dimery jsou v porovnání s polymery napadány snáz a biodegradabilita je u nich vyšší. Proto před enzymatickým rozkladem nastává rozklad abiotický. Díky němu se molekulová hmotnost snižuje a rozkladné procesy jsou jednodušší [5][6].

Pro ekologii a životní prostředí je biodegradace jako způsob recyklace velmi výhodný a pozitivní, protože materiál je přirozeným způsobem přeměněn na živiny a látky neznečišťující planetu.

2.1 Postup biodegradace

Děj biodegradace probíhá ve třech níže popsaných fázích:

1. biodeteriorace
2. biofragmentace
3. asimilace.

Biodeteriorace materiálu – Je změna vlastností materiálů zapříčiněná především činností živých organismů. Je to kombinovaný výsledek mnoha degradačních faktorů, jako je mechanická degradace, tepelná degradace a degradace v důsledku přítomnosti vlhkosti, kyslíku a ultrafialového světla.

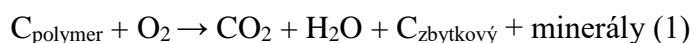
Při biofragmentaci mikroorganismy zvyšují svou populaci, vylučují enzymy a volné radikály, které štěpí makromolekuly na oligomery, dimery a monomery. Poté jsou využity jako zdroj energie a kyslíku. Degradace je nazývána mineralizací, pokud je jejím konečným produktem anorganická molekula. Čím více se polymer podobá přírodní makromolekule, tím je zpravidla jeho degradace a mineralizace jednodušší.

Asimilace je fáze, při které dochází k přeměně látek, jsou produkovány různé metabolity, jako produkty látkové výměny mikroorganismů. Do ovzduší se uvolňují jednoduché plynné molekuly, minerální soli zůstávají v půdě [7].

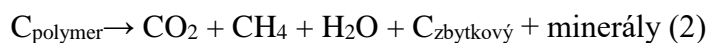
Podmínky prostředí jsou rozhodující pro vznik mikroorganismů. V případě, že je dostupný kyslík, jsou podmínky vhodné pro vznik a růst aerobních mikroorganismů. Procesy za přítomnosti vzduchu poskytují větší množství energie a díky tomu podporují více druhů mikroorganismů. V opačném případě, kdy kyslík dostupný není a podmínky jsou tedy anaerobní, je rozklad způsoben anaerobními druhy mikroorganismů [5, 6].

Proces biodegradace může být shrnut následujícími rovnicemi (1) a (2):

za aerobních podmínek:

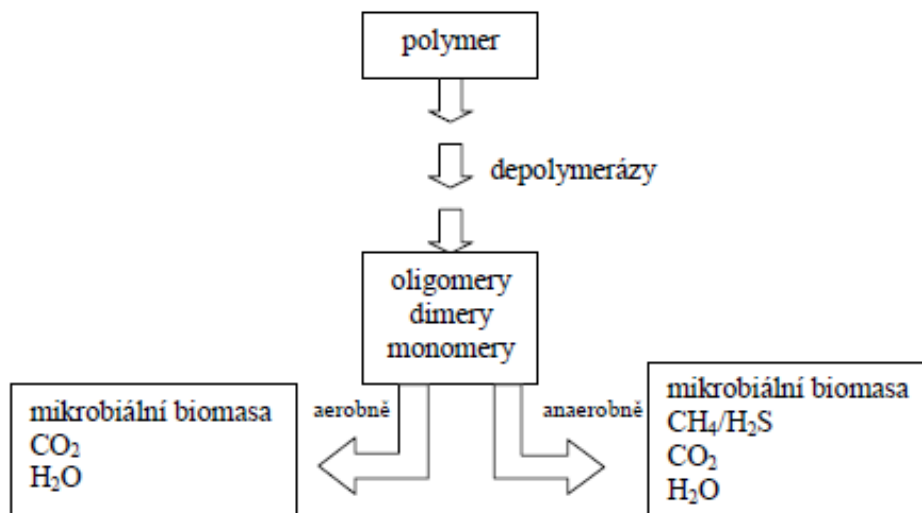


za anaerobních podmínek:



Pokud nezůstane žádný zbytkový uhlík, můžeme mluvit o tzv. kompletní biodegradaci. Ta nastává zcela výjimečně a dochází k ní tak, že je polymer úplně přeměněn na plynné látky a minerální látky. Většinou se část uhlíku stane součástí buňky a tím se stane součástí vytváření buněčné biomasy. V průběhu mikrobiálního rozkladu uhlíkatého substrátu je určitá část uhlíku přijata mikroorganismem a stane se součástí buňky, tím pádem i součástí budoucí buněčné biomasy. Uhlík je tedy během procesu buď mineralizován, nebo asimilován. V jakém poměru se uhlík mění, závisí na

typu mikroorganismu, který se na rozkladu podílel, dále na typu substrátu a na spouštějících faktorech [8][9].



Obr. 1: Schéma procesu biodegradace [9]

2.2 Podmínky biodegradace

K tomu, aby biodegradace probíhala a fungovala, je nutné dodržení určitých podmínek:

- přítomnost mikroorganismů
- dostupnost kyslíku
- množství dostupné vody
- teplota
- vhodný chemismus prostředí

Aby byl materiál biologicky odbourán, jsou zapotřebí mikroorganismy, pomocí jejichž metabolismu je polymer rozkládán. Mikroorganismy jsou přítomny v atmosféře i v půdě, která je na mikroorganismy velmi bohatá. Její vrstva v hloubce

5 – 15 cm pod povrchem je jimi nejvíce nasycená. Jeden gram půdy obsahuje až 100 druhů mikroorganismů. Ty destrukují materiál v několika krocích. Nejdříve se přichytí na buňku, dále probíhá jejich množení a tvoření množství enzymů. Následně probíhá biodegradace materiálu – snižuje se stupeň polymerace. Jestliže polymer není degradován, není splněna některá ze zmíněných podmínek [9].

Degradace celulózy

Biopolymery, které jsou biodegradovatelné, jsou hlavními zástupci sloučenin v biosféře. Je to třída obnovitelných polymerů. Biopolymery jsou polymery produkované živými organismy. Jsou to například celulóza, škrob, chitin.

Veškeré rostlinné přírodní materiály jsou celulózové. Rychlost degradace celulózy a celulózových textilních materiálů závisí hlavně na použitých mikroorganismech.

Bakterie a houby jsou dvě hlavní skupiny mikroorganismů, které způsobují enzymatickou degradaci celulózy. V přítomnosti bakterií degradace celulózových vláken postupuje od povrchu směrem dovnitř. V přítomnosti plísňových organismů pronikají sekundární stěnou do lumenu, kde rostou. Hlavní funkce enzymů je snižování stupně polymerizace, což způsobuje poškození struktury.

Rychlost degradace celulózy je přímo úměrná jejímu stupni krystalinity. Díky tomu je amorfní celulóza náchylnější k enzymatické degradaci než krystalická. Stupeň degradace je ale závislý i na jiných parametrech [10].

2.3 Mikroorganismy při biodegradačním procesu

Biologický rozklad materiálů úzce souvisí s vývojem mikroorganismů. Bakteriální buňky začnou přibývat a růst. Mikroorganismy používají rozkládaný materiál jako zdroj uhlíku a energie pro svůj vývoj. Při tom se současně snižuje koncentrace rozkládané organické sloučeniny. Když jejich potrava dojde, znamená to, že je zdroj uhlíku vyčerpán a počet mikroorganismů se snižuje [9].

Organický substrát je mineralizován, přeměněn na oxid uhličitý a jiné produkty běžné pro metabolickou dráhu. Produkce oxidu uhličitého ale nemusí být vždy spjata

s mineralizací substrátu. V případě, že materiál není pro organismy degradovatelný, neslouží jako zdroj energie a nedochází k biodegradacním procesům [9].

2.4 Lag fáze – období přizpůsobování

Při procesu biologického rozkladu často u některých organických sloučenin dochází k momentu, ve kterém není rozklad viditelný. Je to časový interval, který nazýváme období přizpůsobování nebo také lag fáze. Znamená časový úsek mezi tím, kdy se látka v prostředí poprvé vyskytne a jejím počátečním úbytkem. Při lag fázi nedochází ke změnám koncentrace látky. Rozsah této fáze je různý, v řádu hodin, ale klidně i měsíců. Doba lag fáze závisí na látce, která je degradována, na její koncentraci a na podmínkách okolního prostředí. Nejčastěji dochází k jejímu prodlužování kvůli nízkým teplotám. Fáze přizpůsobování bývá delší u anaerobní biodegradace oproti aerobní [9, 11].

2.5 Faktory ovlivňující biodegradaci

Růst, množení a přežití mikroorganismů jsou ovlivněny řadou parametrů. K hlavním faktorům patří množství a typ živin, množství kyslíku, teplota a pH prostředí. Jednotlivé faktory budou popsány následovně [9, 11].

Živiny

Aby bakterie a houby mohly růst, musí být přítomen zdroj uhlíku a energie, což zajišťuje organická látka. Dále jsou pro růst důležité akceptory elektronů. Tím je v případě aerobních mikroorganismů kyslík. U anaerobních druhů je to sulfát, nitrát a oxid uhličitý. Pro některé mikroorganismy jsou navíc podstatné speciální růstové faktory, jako jsou aminokyseliny, různé vitamíny a další organické molekuly. Pokud v substrátu není těchto látek dostatek, biodegradace se zpomaluje důsledkem bránění růstu bakterií a hub. Pro správný růst mikroorganismů bývá používán fosfor a dusík [9].

Přístup kyslíku

Přístup kyslíku umožňuje aerobní biodegradaci. Ta je podstatně rychlejší, než anaerobní rozklad. Některé organické produkty mohou být rozloženy pouze aerobně, proto dochází k jejich hromadění v případě anaerobní degradace [9, 11].

Teplota

Při biodegradaci je pravidlem, že čím vyšší teplota, tím probíhá rozklad rychleji, protože dochází k rychlejšímu množení mikroorganismů. Teplota by ale neměla přesáhnout 70 °C. Při překročení této hranice může docházet k likvidaci mikroorganismů a tím pádem i ukončení procesu biodegradace [9, 11].

pH

Rozpustnost látek je ovlivněna hodnotou pH. Biologický rozklad se většinou děje při neutrálních hodnotách pH. Pokud se na biodegradaci podílí větší množství druhů mikroorganismů, proces může probíhat v širokém rozmezí pH. Houby preferují kyselejší prostředí na rozdíl od bakterií [11].

Struktura řetězce a molekulová hmotnost

Biodegradabilita, tedy schopnost látky být degradována je závislá na velikosti makromolekuly a na jejím větvení. Větší molekulová hmotnost způsobuje pomalejší rozklad. Větší rozvětvenost molekul také zpomaluje proces rozkladu. Naopak lineární polymery jsou náchylnější na působení mikroorganismů. V polymeru se stále opakují jednotky monomerů a degradace probíhá směrem od konců polymerů dále po řetězci. Jednotlivé odštěpené monomery jsou výsledkem rozkladu. V jiném případě jsou výsledkem skupiny monomerů – fragmenty o různé molekulové hmotnosti. Stává se to v případě, že jsou v polymerech silné vazby, které degradují enzymaticky katalyzovanou hydrolyzou [12].

Krystalinita

Při biodegradaci polymeru je dalším důležitým faktorem krystalinita. Degradace krystalické struktury se děje až po degradaci amorfních částí. Polymerní řetězec odolává enzymům, pokud v něm vznikají krystalické domény. Ty jsou způsobené skládáním polymerního řetězce do těsného uspořádání. To má za následek povrchový průběh degradace a zpomalení celého procesu [13].

Pokud jde o semikrystalické polymery, biologický rozklad je závislý na amorfní struktuře. V amorfních částech jsou molekuly volné. Proto je zde rozklad snadnější než u krystalické části. Znamená to, že se nejprve rozkládají amorfní části a až po nich dochází k rozkladu krystalických částí [14].

Stupeň zesítnění polymeru

Dalším faktorem při biodegradaci je stupeň zesítnění polymeru. Pokud má polymer vysokou hustotu zesítnění, je penetrace enzymy obtížná. Enzymy pronikají do sítě polymeru pouze do určité hustoty zesítnění. Díky tomu degradace neprobíhá pouze na povrchu polymeru, ale v celém jeho objemu [14].

Přísady polymeru

Na působení bakterií a hub mají vliv také přísady v polymeru. Například biocidní aditiva mají za následek pokles účinku mikroorganismů. Plastifikátory mají naopak kladný vliv a mohou jejich účinek zesilovat [5].

2.6 Polymery se zkrácenou životností

Umělé, neboli syntetické polymery jsou vůči biodegradabilitě obvykle vysoce odolné a většinou nejsou rozložitelné vůbec. Poslední roky se ale vyvíjejí polymery se zkrácenou životností. Ty díky jistým přísadám nebo samotnému složení degradují rychleji. Jejich nejčastější využití je v obalovém průmyslu, protože u obalů není vyžadována dlouhodobá odolnost. Takovéto polymery se mají údajně zcela rozložit v poměrně krátkém čase. Je ale velmi důležité, aby jejich rychlá rozložitelnost nebyla

spíše na škodu. Musí se zabezpečit jejich funkční vlastnosti. Polymery se zkrácenou životností bývají vyráběné z fosilních a obnovitelných zdrojů [4].

Polymery se zkrácenou životností bývají rozkládány nejčastěji fotodegradací, termodegradací, chemickou a biologickou degradací. Jsou určeny ke kompostování. Během těchto procesů dochází k následujícím postupům, které uvádí Roman Honzík v odborném článku *Plasty se zkrácenou životností a způsoby jejich biodegradace*:

„1. Dehydrogenace polymerů a adice vody, vznik alkoholů, které jsou oxidovány namastné kyseliny,

2. adice volného kyslíku za vzniku hydroxyperoxidu, který se rozpadá a produkty reagují za vzniku alkoholů a dalších sloučenin, které jsou odbourávány až na kyselinu octovou nebo propionovou,

3. celulóza a některé termoplasty jsou přes pyruvát a acetylkoenzym-A převáděny do trikarboxylového cyklu. Vznikají tak kyselina citronová, jantarová, fumarová, jablečná atd.,

4. redukci dvojnásobné vazby mohou vyvolat aktinomykety a některé bakterie štěpením amidové i esterové vazby“ [15].

2. 7 Druhy materiálů vzhledem k biodegradaci

Nejdůležitějším parametrem pro množení a působení mikroorganismů je bez sporu materiál, který má být napadený – biodegradovaný. Jak už bylo zmíněno, přírodní vlákna jsou k působení biočinitelů náchylnější oproti syntetickým.

Přírodní vlákna

Zde bude podrobněji popsána degradace rostlinných – celulózových vláken a živočišných vláken v zastoupení vlny.

Celulózová vlákna

Degradace celulózy je důsledek působení celulózových enzymů produkovaných řadou bakterií a hub. Zásadním účinkem celulózových enzymů je snížení stupně polymerizace celulózy a zkrácení řetězců, což má za následek pokles síly vlákna. Skutečná rychlost slábnutí závisí z velké části na stupni krystalinity dané celulózy, protože amorfní celulóza je napadnutelná snadněji než krystalická. Další charakteristikou ovlivňující

rychlost degradace je stupeň polymerizace a dále stupeň orientace. Vlákna s vysokým stupněm orientace jsou méně náchylná na mikrobiální napadení. K degradaci dochází na místech, kde je vlákno v přímém kontaktu s mikroorganismem. Napadení mikroorganismem bývá patrné především ze zbarvení a zápachu.

Obarvení je výsledkem chemické reakce, například jako výsledek pigmentových látek vylučovaných mikroorganismy. Zkoumání poškozené bavlny ukázalo, že vrstva kutikuly podléhá trávícímu procesu jako první. U bakterií poškození pokračuje z povrchu vlákna směrem dovnitř, zatímco plísně po odstranění kutikulové vrstvy pronikají sekundární stěnou do lumenu, kde rostou. Ze všech organismů, které napadají celulózu vlákna, jsou nejaktivnější houbové rody *Chaetomium*, *Myrothecium*, *Penicillium*, *Aspergillus*. Poslední dva rody jsou významné, protože jsou schopny růst i za podmínek s mnohem nižší dostupností vlhkosti než jiné celulózové plísně [16].

Živočišná vlákna

Zde použijeme jako hlavního zástupce vlnu, jejíž hlavní složkou je keratin. V tomto proteinu jsou disulfidové můstky, které zesilují řetězce v polymeru. Díky tomu se vlna vyznačuje vyšší pevností v tahu. Vlna je napadána bakteriemi i plísněmi. Ve větší míře je keratin napadán plísní, zejména rody *Microsporum*, *Trichophyton*, *Aspergillum* a *Penicillium*. Rychlost degradace závisí na chemickém složení, molekulární struktuře, stupni polymerace substrátu a částečně i na histologické struktuře molekuly keratinu. Díky antimikrobiálnímu charakteru mastných kyselin ve vlněném vosku má vlna relativně vysokou odolnost vůči mikrobiálnímu napadení [16].

Syntetická vlákna

Až na pár výjimek syntetická vlákna nepodléhají biodegradaci. Napadení syntetických vláken plísní způsobuje zhoršení estetických vlastností a zároveň kvality produktu. Některá syntetická vlákna jsou jako odpad škodlivá pro životní prostředí. To znamená, že jejich rozklad by ani nebyl žádoucí.

Polyesterová vlákna

Polyesterová vlákna jsou sloučeniny s vysokou molekulovou hmotností s opakovanými esterovými vazbami v hlavním řetězci. Základním typem polyesterových vláken vyráběných ve velkém měřítku je polyethylentereftalát. Používá se k výrobě pletenin, tkanin, čirých záclon a technických tkanin. Jeho vlastnosti závisí mimo jiné na stupni krystalinity. Polyestery obsahující tereftalát jsou odolné vůči biologickému napadení.

Je známo, že alifatické polyestery podléhají biodegradaci snadněji. Jejich použití v textilním průmyslu je ale omezené. Jedním z materiálů toho typu, který bude možno použít v odvětví textilního průmyslu je kyselina polymléčná (PLA). Ta se vyrábí polymerací kyseliny mléčné. Tento polymer byl vyroben v reakci na požadavek biologické rozložitelnosti kvůli stále více znečištěnému životnímu prostředí. Vlákna kyseliny polymléčné se vyznačují dobrými textilními vlastnostmi podobnými PET a polyamidu 6.

Polyamidová vlákna

Polyamidy jsou makromolekuly sloučenin s vysokou molekulovou hmotností, obsahují amidové skupiny. V textilním průmyslu jsou nejvýznamnějšími polyamid 6 a polyamid 6.6. Výzkumy sledující jejich biologickou rozložitelnost ukazují, že jsou rezistentní vůči biodegradaci.

2.8 Způsoby testování biodegradability

Bylo vyvinuto několik metod pro testování biodegradability polymerů tak, aby splňovaly určité podmínky. Metody mají stanovit koncové produkty mikrobiálního metabolismu.

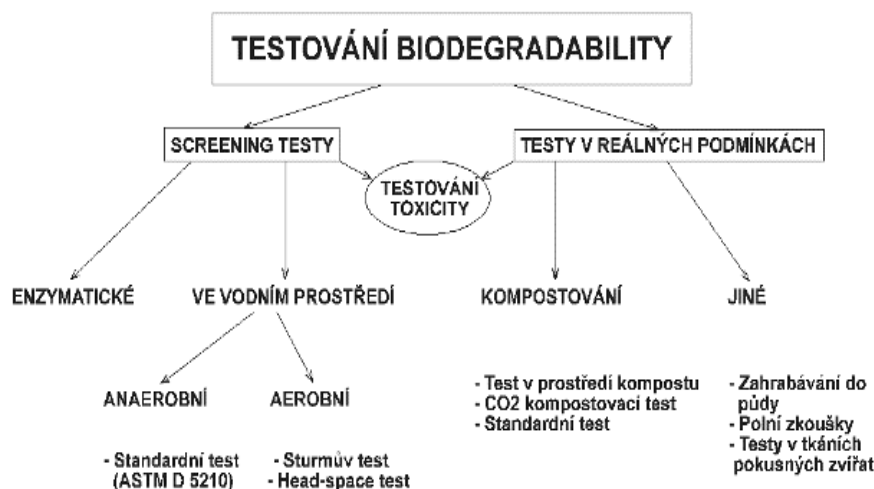
Ve všech již existujících metodách je nějakým způsobem simulován biologický rozklad v běžném prostředí. Například testy ve vodním prostředí napodobují podmínky na skládce odpadu za aerobních i anaerobních podmínek. Lze je ale použít i jako screeningové testy. Jejich velkou výhodou je to, že je možné zkoušet větší množství polymerů naráz a také nízká cena. Pokud předpokládáme, že polymer bude umístěn na kompost, je dobré přidat k inokulu i mikroorganismy z půdy, nebo právě z kompostu.

Výsledné produkty procesu biodegradace, které se v testech ve vodním prostředí stanovují, jsou u aerobní degradace oxid uhličitý a voda. U anaerobní degradace je navíc methan. Pokud je zjištěno, že ve vodním prostředí se polymer nerozkládá – biodegradabilita je nulová, neznamená to, že nemůže být degradován v jiném prostředí, například v prostředí kompostu.

Čištění odpadních vod je dobrým příkladem přirozeného aerobního rozkladu ve vodním prostředí. Naopak příklad anaerobního rozkladu můžeme pozorovat na skládkách, v jezerních usazeninách atd.

Nejběžnější je kombinace obou typů rozkladů, tedy aerobního i anaerobního. K takové kombinaci dochází v kompostech nebo v půdě. Určování stupně biodegradability se provádí zavedenými standardními metodami dle výsledných produktů metabolismu mikroorganismů. Porovnává se s teoretickým dosažitelným množstvím metabolitů [5, 17].

V případě, že známe strukturu polymeru a jsou dostupné enzymy specifické pro konkrétní polymer, můžeme použít i enzymatické testy jako screeningové. Například u materiálů na škrobové bázi byly zaznamenány podobné výsledky při použití jak enzymatických, tak jiných testů. Na konci každého testování biodegradability by měl být proveden test toxicity. Ten je požadován při zavádění nového polymeru do výroby [17].



Obrázek 3 Schéma testů biodegradability polymerů [12]

2.8.1 Screeningové testy

Sturmův test

U Sturmova testu se měří uvolňovaný oxid uhličitý během rozkládání. Množství oxidu uhličitého, které je uvolněno je jasnou informací o změně uhlíkatého řetězce polymeru na výsledné metabolické produkty. K testu je použita láhev obsahující substrát, který je zdrojem uhlíku, dále anorganické medium a také aktivovaný kal. Tato láhev je provzdušňována vzduchem zbaveným CO₂ a uložena na 28 dní při teplotě 20 – 22 °C. Vyprodukovaný oxid uhličitý je odebírán do dvou nádob obsahujících NaOH [17].

Head-space test

Head-space test je vhodné použít v případě, kdy je kvůli statistickým účelům zapotřebí velké množství stejných vzorků. Je založený na určování oxidu uhličitého v plynné a kapalně fázi. Probíhá v uzavřených baňkách s provzdušňovaným substrátem, který obsahuje minerální živiny a inokulum mikroorganismů [17].

Anaerobní degradace

Při procesu anaerobní degradace acidogenní bakterie nejdříve rozloží organické látky na nižší metabolické produkty. To jsou alkoholy a mastné kyseliny. Ty jsou dále rozkládány na oxid uhličitý, vodík a acetát. Po ukončení anaerobní degradace jsou výsledné produkty CH₄ a CO₂. Pomocí nich se určuje míra rozkladu polymeru [17].

2.8.2 Testy v reálných podmínkách

Test v prostředí kompostu

Test, který je založen na zjišťování rozkladu různých druhů polymerů v prostředí kompostu v průběhu procesu kompostování. Míra degradace je určována z rozdílů

úbytku hmotnosti testovaného materiálu. Pro testování je použit substrát tvořený bioodpadem. V průběhu testování je měřena teplota, pH, množství vyprodukovaného CO₂ a relativní zásoba kyslíku. Výsledky testu se vyhodnocují jednou týdně vizuálně. Po ukončení testu proběhne měření hmotnosti kompostu, testovaného materiálu a dalších fyzikálních veličin. Na konci procesu kompostování musí teplota v bioreaktorech klesnout na teplotu okolního vzduchu [17].

Standardní kompostovací test

Principem tohoto testu je měření vyprodukovaného oxidu uhličitého v měřeném vzorku. Vzorek polymeru je v kompostu udržován při dané teplotě, nebo se určuje teplotní profil kompostování. Tento test však neznázorňuje dostatečně reálný proces [17].

CO₂ kompostovací test

Stejně, jako u předchozího, je podstatou tohoto testu také stanovení oxidu uhličitého vyprodukovaného při procesu kompostování. Zde není teplota uměle udržovaná. Je způsobena přirozeně mikrobiální aktivitou. Během testu se měří teplota a pH. Po ukončení procesu je měřen poměr uhlíku a dusíku, NO₂, sušina, spalitelné látky a huminované látky [17].

2.9 Využití biodegradací

Polymery jsou v dnešní době jedním z nejrozšířenějších materiálů. Kvůli tomu je jejich podíl v komunálním a průmyslovém odpadu tak rozsáhlý. Jeho likvidace je z hlediska životního prostředí velkým tématem a vážným problémem. Právě proto se biodegradace polymeru stává perspektivní metodou jejich odstranění.

2.9.1 Kompostování

Je nejvýhodnějším a nejekologičtějším způsobem rozkladu biodegradabilních polymerů a obalových výrobků, které jsou z nich vyrobeny. Ve výsledném kompostu by neměly být rozpoznatelné části polymerního odpadu od zbytku organických materiálů. Proto by

měl být polymer v ideálním případě rozložen na vodu, oxid uhličitý a minerální látky [5, 17].

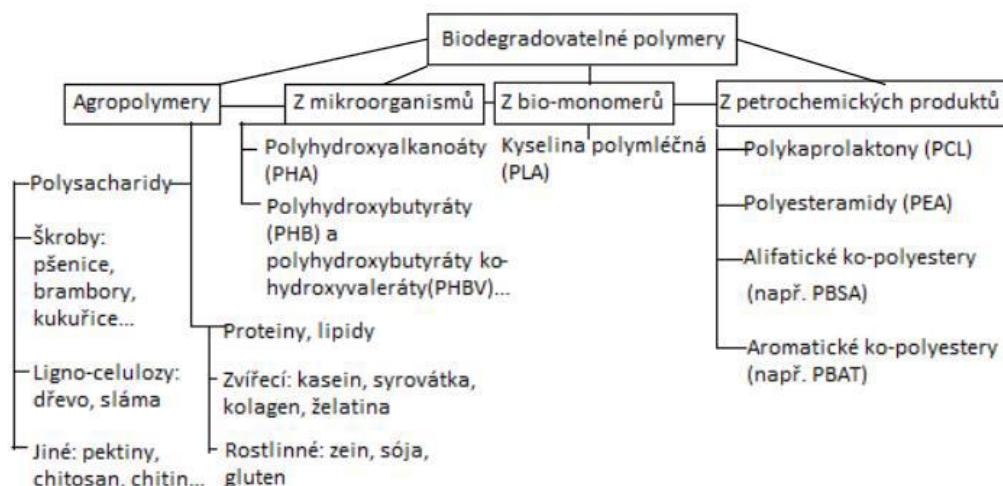
Samotný průběh kompostování závisí na typu mikroorganismů a na jejich aktivitě. V průběhu dochází k termofilní fázi, kdy je kompost samovolně ohříván vlivem působení mikroorganismů a jejich metabolické aktivity. Teplota by měla být stále nižší než 60°C. Toho lze dosáhnout prohazováním kompostu a ochlazováním prouděním vzduchu. Na druhou stranu je vyšší teplota výhodou, protože díky ní zahynou patogenní organismy, které se v odpadu mohou vyskytovat. Po nějaké době teplota klesne díky snížení metabolické aktivity mikroorganismů a kompost se dostává do takzvané mezofilní fáze. V této fázi klesá i hodnota pH, která se pohybuje mezi 7 a 8 a závisí především na množství kyslíku a vody v kompostu. Důležitým faktorem je také poměr uhlíku a dusíku. Na něm závisí množení a vývoj mikroorganismů [5, 11, 17].

3 BIODEGRADABILNÍ POLYMERY

Biologicky rozložitelné polymery jsou výrobky z hmoty, která je tvořena biomasou často s přidavkem nějakých aditiv. Mají vlastnosti podobné klasickým plastickým látkám, ale jejich odolnost proti vlivům prostředí je menší a tím pádem je jejich používání ekologicky méně závadné.

CEN – Evropský výbor pro normalizaci je definuje jako „rozložitelné plasty, které vykazují výsledky degradace ve fragmentech s nižší molekulovou hmotností a jsou produkovány působením přirozeně se vyskytujících mikroorganismů, což jsou bakterie, řasy a houby“ [18]. Jde o seskupení polymerních látek, zcela rozložitelných mikroorganismy za daných podmínek. Výslednými produkty jsou biomasa, oxid uhličitý, methan, voda, minerální látky. K procesu dochází za aerobních či anaerobních podmínek [19].

Předností biodegradabilních polymerů je právě jejich biologická rozložitelnost. Nejefektivnější rozklad je zaznamenán za přítomnosti půdních bakterií, určité teploty a vlhkosti a také přiměřeného množství vzduchu. Pokud k tomuto dochází v specializovaných průmyslových kompostárnách, dochází k přeměnění na kvalitní biomasu. Tu je možné dále použít jako efektivní průmyslové hnojivo. Celý proces má dobu trvání různou na základě již zmíněných parametrů, řádově trvá několik týdnů.



Obrázek 4 Klasifikace biodegradabilních polymerů [14]

Biodegradabilní agropolymery :

- Termoplastický škrob

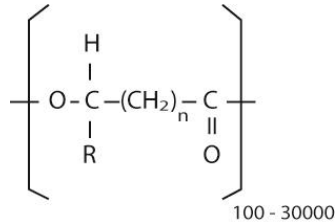
Je to materiál získávaný z pšenice, brambor nebo kukuřice, jako upravený škrob. Má velké předpoklady, aby byl používán v obalovém průmyslu. Je nutné nativní škrob upravovat hlavně kvůli jeho hydrofilite a mechanickým vlastnostem, které nejsou zcela dostačující. Vyrábí se destrukcí struktury nativního škrobu za vysoké teploty a tlaku s přidáním vody a měkčidla. Následně je zpracováván jako běžné plasty vstřikováním, litím apod. [14].

- Proteiny

Tvoří je polární a nepolární aminokyseliny. Ty jsou spojeny peptidovou vazbou. Jsou to látky většinou ve vodě nerozpustné a netavitelné. Pokud mají být zpracovány na bioplasty, je nutné je chemicky upravit. Dále se používají stejné technologie jako při výrobě syntetických plastů [14].

Biodegradabilní polymery produkované mikroorganismy [19]

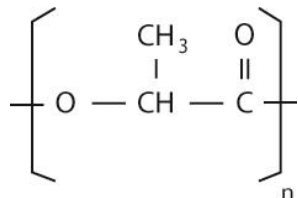
- *Polyhydroxyalkanoát, polyhydroxybutyrát*



Nejčastěji se vyskytují na modrozelených řasách a cyanobakteriích, uložených ve formě granulí v cytoplazmě. K jejich získávání se používají separační mechanicko-fyzikální postupy. K tomu se používají enzymy a organická rozpouštědla. Výsledné polymery se mohou používat jako náhrada elastomerů, protože mají podobné vlastnosti.

Biodegradabilní polymery z bio-monomerů

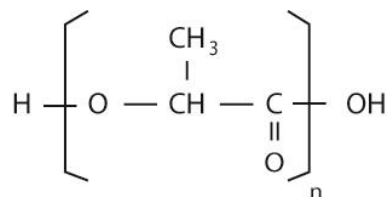
- *Kyselina polymléčná*



Kyselina polymléčná se v přírodě vyskytuje v L+ a D- formě. Je nejrozšířenější karboxylovou kyselinou a vyrábí se dvěma způsoby. Aerobní a anaerobní fermentací sacharidů chemickou syntézou kyseliny mléčné. Její vlastnosti se podobají polystyrenu.

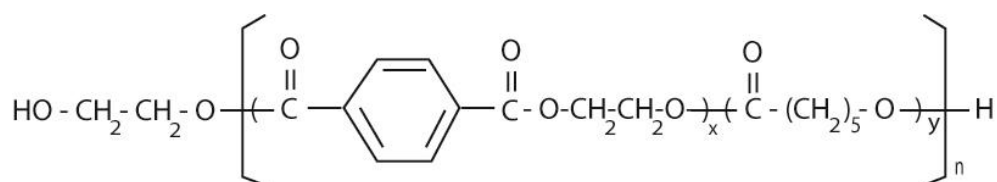
Biologicky rozložitelné polymery vyrobené z petrochemických produktů [20]

- *Alifatické polyestery a kopolyestery*



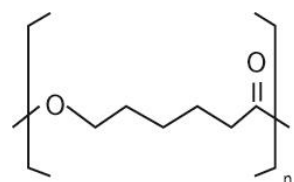
Jsou to materiály vyrobené z diolů a dikarboxylových kyselin. To, zda jsou biologicky rozložitelné, závisí na struktuře výchozích látek. Přidává se do nich kyselina adipová, díky které se snižuje krystalinita a tím je degradace jednodušší.

- Aromatické kopolyestery



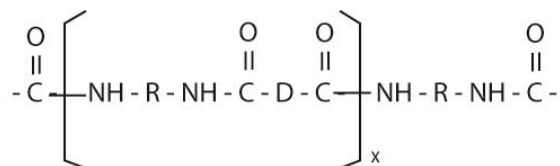
Aromatické kopolyestery mohou obsahovat kyselinu tereftalovou, na rozdíl od alifatických polyesterů. Ta ovlivňuje fyzikální vlastnosti polymeru, například teplotu tání a rychlost biodegradace.

- Polykaprolaktony



Tyto syntetické polymery bývají asimilovány a mineralizovány mikroorganismy. Mají dobré zpracovatelské vlastnosti, díky nimž mají uplatnění v různých aplikacích. Vhodné jsou pro obalový průmysl a pro kapsle s postupným uvolňováním.

- Polyesteramidy



Polyesteramidy jsou polymery, které se vyznačují vysokou krystalinitou polyamidů. Ty jsou pro mikroorganismy obtížněji degradovatelné. Aby byl polymer pro mikroorganismy přístupnější, zavádí se do nich funkční skupiny.

Známe tři způsoby, kterými jsou polymery z obnovitelných zdrojů vyráběny: Úpravou přírodních polymerů – většinou zůstávají nezměněné, například polymer na bázi škrobu [19].

- 1) Příprava bio-monomerů a jejich následná polymerace, např. kyselina polymléčná
- 2) Pomocí mikroorganismů nebo geneticky modifikovaných plodin, např. poly(3-hydroxybutyrát)

Biologicky rozložitelné polymery jsou připravovány následujícími procesy:

- 1) Biotechnologická cesta (extrakce, fermentace)
- 2) Míchání (např. škrob-polykaprolaktonové směsi)
- 3) Příprava přímo z biomasy (např. extrakce škrobu)
- 4) Konvenční syntéza
 - a) Polymerizace neobnovitelných monomerních surovin
 - b) Polymerizace obnovitelných vstupních surovin [20]

4 Marketingová strategie značky „Tochceš“

Cílem této diplomové práce je spolupráce na marketingové strategii značky „Tochceš“, která by díky důkazu o biodegradaci rostlinných textilních materiálů měla možnost nabízet své produkty mimo jiné i na základě tvrzení, že se za určitou dobu rozloží na běžném domácím kompostu.

4.1 Strategický marketing

V dnešní době je důležitým faktorem v marketingu neustálá změna. Změna přání a potřeb se týká každou minutu milionů lidí, přičemž konkurence firem narůstá a je čím dál těžší tyto měnící se potřeby odhadovat a vyhovět jim.

Jakákoliv firma má možnost se na trhu udržet a fungovat jen tehdy, nabídne-li zákazníkovi naplnění těchto jeho potřeb a přání, a to v určitém směru jinak a lépe než konkurenční. Zároveň musí předvídat dopady vývoje prostředí na své produkty a naopak.

Ve společenském marketingu je velkou změnou v posledních letech mohutně narůstající sociálně ekologická koncepce. Pro mnoho lidí je životní prostředí, jeho regenerace a udržení, důležitým a aktuálním tématem. Tímto směrem je také viditelná jistá státní podpora a poptávka celého trhu. Mezi spotřebiteli je čím dál důležitější při rozhodování o nákupu to, jestli má firma ekologický dopad, jak se staví k otázce životního prostředí, dále sociální a ekologické podmínky, za jakých jejich produkty vznikají.

Dá se říci, že značka „Tochceš“ uplatňuje tzv. společensky zodpovědný marketing, do něhož je řazeno chápání širších zájmů, etické, ekologické a společenské pojetí marketingových aktivit a programů [21].

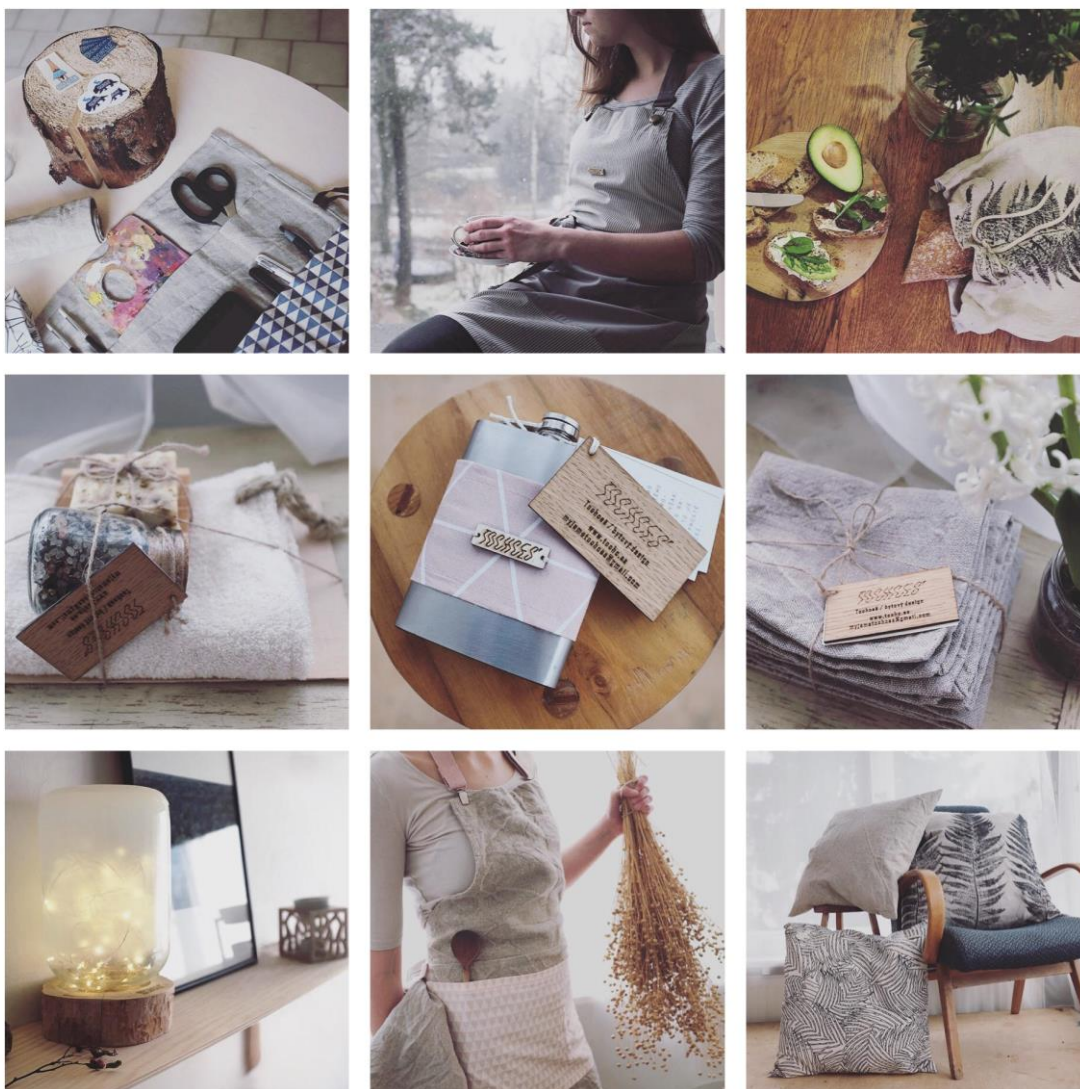
4.2 Značka „Tochceš“

Tato značka funguje v Liberci od roku 2016. Zabývá se výrobou bytových doplňků převážně z českých materiálů. Konceptem značky je kromě originálního designu výroba s ohledem na ekologii, přírodu, recyklaci a původ materiálů. V neposlední řadě se zabývá i bezobalovým a bezodpadovým způsobem života. Při tvorbě je kladen důraz na co nejmenší produkci odpadního materiálu, a to jak u výrobce, tak u spotřebitele. Proto jsou také produkty značky „Tochceš“ často recyklované. To znamená, že jsou pro výrobu používány zbytky textilních materiálů, odpadky a materiál nakoupený v sacondhandech. Jedním z takových produktů jsou váčky na nakupování ovoce a zeleniny, které jsou vyráběné z použitých záclon, dózy a jiné doplňky vyrobené z použitých plechovek a stolní lampy zhotovené ze zavařovacích sklenic. Dále můžou být příkladem recyklace pratelné odličovací tampóny, které jsou šity ze zbytků bavlněného froté pocházejícího od českého výrobce. Ty napomáhají minimalizovat odpad značky „Tochceš“, protože jsou vyráběny z těch nejmenších zbytků, které by jinak mířily do odpadu. Zároveň minimalizují odpad zákazníka.



Obrázek 5 Příklady recyklovaných produktů [23]

A protože převážná většina výrobků této značky je ušita z celulózových textilních materiálů, byl by velkým přínosem fakt, že se mohou jak zbytky materiálů, tak hotové produkty jednoduše přidat do běžného domácího kompostu, kde by se po několika měsících dokonale rozložily. Zvláště potom u produktů s předpokládanou krátkou životností, jako jsou například houby na mytí nádobí šité ze zbytků nebarveného rezného lnu. U těch se očekává, že po několika prání životnost skončí a likvidace v podobě rozložení na domácím kompostu je ideálním řešením takového odpadu.



Obrázek 6 Produkty značky „Tochceš“

PRAKTICKÁ ČÁST

V praktické části diplomové práce proběhly celkem 3 testy, které měly zajistit zjištění schopnosti biodegradace u různých textilních materiálů, z nichž některé byly z přírodních a některé ze syntetických vláken. Prvním z testů byla zkouška za zvýšené teploty, simulující zrychlený proces kompostování díky ideální teplotě pro růst a aktivitu mikroorganismů. Následoval test v prostředí běžného kompostu, který je to tuto práci stěžejní. Byl časově nejnáročnější a jeho výsledky byly následně statisticky vyhodnoceny. Nakonec proběhl test založený na měření CO₂, který je založen na sledování množství vzniklého oxidu uhličitého při procesu biodegradace.

Všechny zkoušky měly vést k jednoduchému a reprodukovatelnému způsobu hodnocení biologické rozložitelnosti textilních materiálů. Testy byly inspirovány již existujícími postupy a normami. Pro testování byly použity různé přístroje a laboratorní pomůcky.

5 Použité materiály

Pro testování bylo zvoleno několik celulóзовých materiálů, u kterých je biodegradabilita předvídatelná. Bavlněná tkanina byla dále modifikovaná – poškozená, pro dosažení většího rozkladu textilie. Z živočišných materiálů byla zvolena vlna, ze syntetických polyamid, u kterého se kompostovatelnost nepředpokládá. Dále byly testovány rozložitelné sáčky do odpadkového koše.

Bavlněná tkanina (dále „bavlna“) 100 % - plátňová vazba, plošná hmotnost $m_s=130$ g/m², tloušťka 0,30 mm. Bavlna byla použita pro testování biodegradability jako nejběžnější zástupce celulóзовých materiálů.



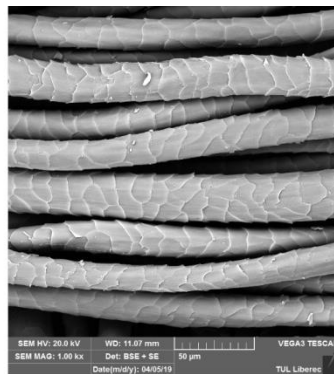
Obrázek 7 SEM snímek struktury bavlněné tkaniny

Lněná tkanina (dále „len“) -100 %- plátňová vazba, plošná hmotnost $m_s=200$ g/m², tloušťka 0,45 mm. Len byl pro testování použit především z toho důvodu, že je to nejvíce využívaným textilním materiálem značky „Tochceš“.



Obrázek 8 SEM snímek lněné tkaniny

Vlněná tkanina (dále „vlna“) 100 % - plátňová vazba, plošná hmotnost $m_s=180 \text{ g/m}^2$, tloušťka 0,45 mm. Vlněná tkanina je mezi testované vzorky zahrnuta jako zástupce textilií z živočišných vláken.



Obrázek 9 SEM snímek vlněné tkaniny

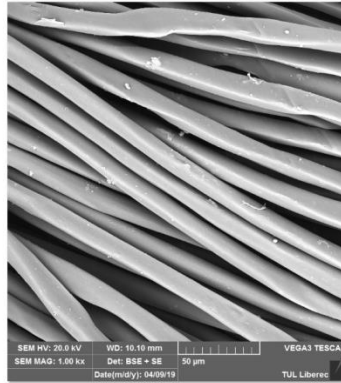
Viskozová tkanina (dále „viskoza“) 100 % - plátňová vazba, plošná hmotnost $m_s=140 \text{ g/m}^2$, tloušťka 0,30 mm



Obrázek 10 SEM snímek viskozové tkaniny

Tkanina z polyamidu 6 (dále „polyamid“) 100 % - plátňová vazba, plošná hmotnost $m_s=140\text{ g/m}^2$, tloušťka 0,35 mm.

Polyamidová tkanina byla testována jako zástupce syntetických vláken, u nichž není předpokládána žádná biodegradace.



Obrázek 11 SEM snímek polyamidové tkaniny

Rozložitelné odpadkové pytle = ekosáčky, tloušťka 0,02 mm.

Byly mezi testované vzorky zahrnuty spíše pro zajímavost, zda uvedené vlastnosti jsou pravdivé a jestli je jejich používání přínosné pro běžné uživatele.



Obrázek 12 Rozložitelné odpadkové pytle

Modifikace bavlny

Modifikovaná bavlněná tkanina 100 % - plátňová vazba, plošná hmotnost $m_s=130 \text{ g/m}^2$, tloušťka 0,30 mm. Modifikace proběhla dvěma způsoby popsány níže. Cílem modifikace bylo získat materiál, který by se rozkládal lépe a rychleji než běžná bavlna.

Oxidační poškození – chlornan sodný NaClO

Vzorky byly ponořeny do 100 g chlornanu sodného (120 g aktivního chlóru na litr) na 15 minut za nezvýšené teploty. Poté byly vyždímány a důkladně vymyty vodou. Následoval oplach roztokem siřičitanu sodného (10 g/l) pro odstranění zbytků chlornanu sodného a poté opět důkladné vymytí vodou. Vzorky byly vysušeny při 105 °C v sušárně po dobu jedné minuty.

Důkaz oxidačního poškození:

Oxidační poškození vzorku je možné ověřit pomocí methylenové modři, která způsobí vznik karboxilových skupin, díky kterým má poškozený bavlněný vzorek znatelně tmavší modrý odstín než vzorek nepoškozený.

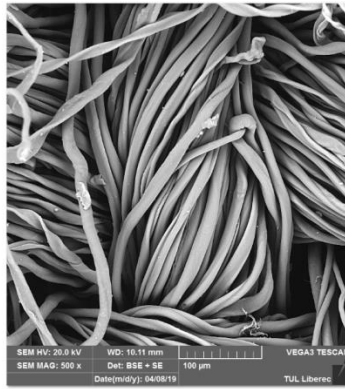
Pro tento test byl použit 1 g barviva, smíchan s 1 l vody, v tomto roztoku byly bavlněné vzorky (oxidačně poškozené i původní) ponořeny 5 minut při 20 °C a následovalo 20 minut proplachování studenou vodou. Výsledkem je modré zbarvení, které je výrazně tmavší u vzorku poškozeného chlornanem sodným.

Kyselé poškození – kyselinou sírovou H₂SO₄

Bavlněné vzorky byly ponořeny do 10 % kyseliny sírové po dobu 30 minut. Následovalo vyždímání a propláchnutí uhličitanem sodným. Poté byly vzorky opět vyprány v čisté vodě a vysušeny 105 °C v sušícím zařízení po dobu jedné minuty.

Důkaz kyselého poškození:

Kyselé poškození vzorku je možné ověřit pomocí Fehlingova roztoku. V přítomnosti kyseliny vznikají v celulóзовých vláknech aldehydicke skupiny, díky kterým z Fehlingova roztoku redukuji červený oxid měďný.



Obrázek 13 SEM snímek modifikované bavlněné tkaniny kyselinou sírovou

6 Použité přístroje a zařízení

Pro zajištění vzorků, výsledků a jejich vyhodnocení byly použity následující přístroje. Všechny jsou součástí vybavení Technické univerzity v Liberci.

Sušárna – horkovzdušný sterilizátor

Jedná se o sušárnu s nucenou cirkulací a ventilátorem. Byla použita pro správné vysušení vypraných vzorků. Přístroj je od výrobce Chirana Brno, řada HS 62A, má objem 60 l a maximální teplotu 200 °C.



Obrázek 14 Sušárna

Trhací stroj TIRA test 2300

Slouží ke zjišťování pevnosti, tažnosti a modulu pružnosti materiálů. Součástí je software SMAPS, který vypočítá základní statistické charakteristiky měření po zadání parametrů materiálu. Zároveň vytvoří graf – křivku zaznamenávající změnu pevnosti materiálu po dobu celého procesu měření až do přetruhu [22]. Tento přístroj byl jedním z nejdůležitějších pro získání výsledků k vyhodnocení testu v prostředí kompostu.



Obrázek 15 přístroj TIRA test 2300 [22]

Laboratorní inkubátor

Digitální inkubátory používají se pro mikrobiologické a hematologické aplikace. Teplota je libovolně nastavitelná po 0,1 °C až do maximální teploty 70 °C. Topná tělesa jsou zabudována do krytu základní desky a do stěn, což zajišťuje tepelnou stabilitu a její rovnoměrné rozložení [17]. Byl použit přístroj od dodavatele VWR Collection řady INCU – Line. Zajišťoval udržení teploty testovaných vzorků, což bylo velmi důležité pro jednu z navržených metod.



Obrázek 16 Inkubátor [17]

Senzor CO₂

Byl použit přístroj Rotronic Hygrometer, který současně měří a zaznamenává CO₂, vlhkost a teplotu. Přístroj spolupracuje se softwarem Rotronic SW21, díky němuž lze snadno nastavit záznam podle potřeby a data pak lze stáhnout, uložit a analyzovat. Dále umožňuje zobrazení maximální, minimální a průměrné hodnoty. Má nastavitelný akustický a vizuální alarm CO₂ a volitelnou externí sondu a paměť 40000 datových bodů pro hodnoty CO₂, vlhkosti a teploty [23]. Pomocí tohoto přístroje bylo možné navrhnout a otestovat jednu z metod pro určení kompostovatelnosti.

Technické parametry:

Rozsahy:

měření koncentrace CO₂: 0 – 5000 ppm

měření relativní vlhkosti: 0,1 - 99,95 %

měření teploty: -20 – 60 °C

přesnost měření:

koncentrace CO₂: ±30 ppm

relativní vlhkost: ± 3 %

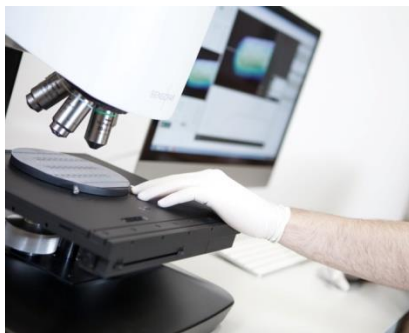
teplota: ± 0,6 °C



Obrázek 17 Přístroj Rotronic Hygrometer [23]

Mikroskop „S NeoxSensofar“

Mikroskop s konfokální, interferometrickou a Focus Variation metodou snímání představuje velmi přesný měřicí nástroj pro 3D optickou analýzu povrchu testovaného materiálu. Má patentovanou Microdisplay technologii skenování bez pohyblivých součástí s maximálním rozlišením 140 nm [16]. Byl použit pro vizualizaci povrchu vzorků a pro jejich následné porovnání.



Obrázek 18 Konfokální mikroskop [16]

Elektronový mikroskop - TESCAN VEGA3

Je univerzální SEM systém wolframových termionických emisí určený pro vysokotlaké i nízko vakuové operace. VEGA3 je vybaven moderní elektronovou optikou se čtyřmi objektivy s proprietárním mezilehlým objektivem [18]. Díky elektronové mikroskopii bylo možno detekovat změny kompostovaných vzorků tkanin v této diplomové práci.



Obrázek 19 Elektronový mikroskop [18]

7 Navržené a realizované testy kompostovatelnosti

Byly navrženy 3 testy pro zjištění biodegradability textilních materiálů, z nichž všechny nějakým způsobem částečně vycházely z již existujících norem.

ČSN EN 14046 (Obaly) – Hodnocení úplné aerobní biodegradace obalových materiálů při řízených podmínkách kompostování. Metoda analytického stanovení uvolněného oxidu uhličitého.

Tato zkušební metoda simuluje proces aerobního kompostování. Biodegradace je určena z porovnání množství CO_2 vzniklého ze zkoušeného materiálu s maximálním množstvím, které by bylo možné získat [19].

ČSN EN 13432 (Obaly) – Požadavky na obaly využitelné ke kompostování a biodegradaci. Zkušební schéma a kritéria hodnocení pro konečné přijetí obalu.

Druhá norma, ze které se vycházelo, stanovuje požadavky pro určení kompostovatelnosti pomocí několika charakteristik, jako je biodegradabilita, ovlivnění procesu biologické úpravy, nebo účinnost výsledného kompostu [19].

7.1 Test za zvýšené teploty

Tento test byl navržen jako urychlený způsob testování biologické rozložitelnosti v laboratorních podmínkách a ve zmenšeném měřítku.

Pomůcky:

5x skleněná odměrka

5x plastová odměrka

homogenizovaná tráva – zajištěno pomocí stolního mixéru

destilovaná voda

Postup testu:

Test probíhal po dobu 2 týdnů při teplotě 60 °C v inkubačním přístroji. V každé z pěti plastových odměrek bylo 50 g homogenizované trávy, do níž byl umístěn vzorek bavlněné textilie. S intervalem 24 hodin bylo přidáváno do každé nádoby určité množství destilované vody. Množství přidávané vody bylo v rozmezí od 0,5 ml H₂O do 3 ml H₂O s rozestupy po 0,5 ml. Obsah nádob se po každém intervalu vážil pro zjištění úbytku hmotnosti. Vzorek byl zatížen shora skleněnou nádobou pro zajištění potřebného tlaku na materiál. Cílem testu bylo zjistit optimální množství přidávané vody potřebné pro správné fungování biodegradace. Na obrázku níže jsou znázorněny nádoby obsahující vzorky, zatížené skleněnými odměrkami. Vlevo potom stejné nádoby umístěné v inkubátoru při teplotě 60 °C.



Obrázek 20 Test za zvýšené teploty

Diskuze výsledků:

Přestože testování včetně slepých pokusů trvalo 6 týdnů, nepodařilo se zjistit optimální množství přidávané vody, úbytky hmotnosti byly nejednotné a zřejmě byly způsobené pouze vysoušením H₂O, nikoli úbytkem hmoty nebo biodegradací. Výsledkem byl obsah nádob buď vysušený, nebo naopak příliš vlhký, což vedlo k plesnivění použité trávy. Test byl zřejmě prováděn v příliš malém měřítku a po krátkou dobu na to, aby proces biodegradace mohl vzniknout a fungovat, proto bylo přistoupeno k testu v prostředí běžného kompostu.

7.2 Test v prostředí běžného kompostu

Tento test byl navržen jako simulace kompostování v běžných podmínkách, použitelný pro každého uživatele textilních výrobků.

Byly použity následující vzorky textilních materiálů s rozměrem 30x300 mm

- Bavlna 100 %
- Bavlna s oxidačním poškozením
- Bavlna s kyselým poškozením
- Len 100 %
- Vlna 100 %
- Viskóza 100 %
- Polyamid 100 %
- Rozložitelné odpadkové pytle

Pomůcky:

- Homogenizovaná tráva
- 5 plastových nádob o objemu 30 l
- Kovové svorky

Urychlovač kompostu – AGRO - směs nezávadných, užitečných bakterií a enzymů, které přirozenou cestou rozkládají odpad organického původu. Nosným prvkem urychlovače je ZEOLIT, který navíc kompost provzdušňuje. Svým účinkem zajišťuje vyšší rychlost rozkladu organických látek a rychlejší zrání a snížení objemu kompostovaného odpadu.



Obrázek 21 Urychlovač kompostu [24]

Postup testu:

Do každé z 5 nádob bylo umístěno 15 l homogenizované trávy důkladně pomísené se 100g urychlovače kompostu. Do trávy byly rovnoměrně po vrstvách vloženy vzorky – 5 od každého materiálu do každé nádoby. Pro rozeznání vzorků bylo použito označení pomocí kovových svorek.

Test probíhal po dobu 5 měsíců, přičemž po každém jednom měsíci byla jedna nádoba vyprázdněna, vzorky vymyty čistou vodou a vysušeny. S přibývajícím časem některé vzorky výrazně křehly a bylo nutné je z kompostu vypreparovat a následně očistit se značnou opatrností. Vznikající kompost byl použit pro zahradnické účely. Průběh testu a postupný rozklad bavlněné tkaniny můžeme vidět na obrázcích níže. Na obrázku 25 jsou zachyceny vzorky bavlněné tkaniny, která se postupně měnila vlivem kompostování. Pod číslem 0 je umístěn vzorek původní nedegradované bavlny. Další čísla vyjadřují počet měsíců vzorku v prostředí kompostu.



Obrázek 22 Nádoby pro test v prostředí kompostu



Obrázek 23 Část kompostu po 3 měsících



Obrázek 24 Vzorek bavlněné textilie po 3 měsících



Obrázek 25 Postupný rozklad bavlněné textilie

Způsob vyhodnocení testu:

U vzorků byla měřena pevnost na trhacím stroji TIRA test 2300. V tabulce 1 jsou znázorněny průměrné hodnoty pevností jednotlivých měření. Jsou to hodnoty vyhodnocené přímo softwarem, který se strojem komunikuje. Pro každý textilní materiál byla měřena pevnost v newtonech u 6 vzorků – od původní nekompostované tkaniny až po pátý měsíc v prostředí kompostu. Bylo provedeno vždy 5 správných měření u každého vzorku. V případě přetrhu materiálu v oblasti čelistí, což je považováno za nesprávný pokus, bylo měření vyřazeno a zopakováno. Pole v tabulce obsahující nulu znamenají, že již nezbyl žádný vzorek, u něhož by bylo možné pevnost naměřit. To znamená, že se tkanina v kompostu téměř, nebo zcela rozložila, a tudíž můžeme její pevnost považovat za nulovou.

Nastavení stroje – upínací délka byla nastavena na 50 mm a rychlost rozpínání čelistí 20mm za minutu pro všechny vzorky materiálů.

Pevnost materiálu v tahu [N]

Tabulka 1 Průměrné hodnoty pevností naměřené na stroji TIRA test 2300

| Počet měsíců→ - Materiál↓ | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Len | 253,9 | 247,4 | 239,9 | 118,2 | 0 | 0 |
| Bavlna | 174,0 | 165,0 | 162,3 | 30,3 | 0 | 0 |
| Bavlna + kyselina | 170,8 | 158,5 | 138,2 | 132,4 | 0 | 0 |
| Bavlna + chlornan | 172,2 | 155,2 | 139,9 | 23,7 | 0 | 0 |
| Viskoza | 176,9 | 172,5 | 126,3 | 74,6 | 0 | 0 |
| Vlna | 187,0 | 165,0 | 86,6 | 93,2 | 72,6 | 66,4 |
| Polyamid | 253,5 | 251,8 | 250,0 | 256,9 | 268,7 | 258,0 |
| Ekosáčky | 8,9 | 9,3 | 8,1 | 8,0 | 9,2 | 8,9 |

Základní statistické charakteristiky

Protože bylo při testování provedeno omezené množství měření – 5 měření pro každý vzorek, byly základní statistické charakteristiky vypočítány pomocí Hornova postupu pro malé výběry, který se používá v případech, kdy je počet měření větší než 4 a menší než 20. Statistické zpracování vychází z pořádkové statistiky souboru. Odhadem parametru polohy je pivotová polosuma a odhadem rozptýlení je v tomto případě pivotové rozpětí.

Tabulka 2 Pivotová polosuma

| Počet měsíců → - Materiál ↓ | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|--|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Len | 258,9 | 244,9 | 242,9 | 156,1 | - | - |
| Bavlna | 169,8 | 160,8 | 158,7 | 44,5 | - | - |
| Bavlna + kyselina | 174,3 | 158,7 | 146,6 | 140,0 | - | - |
| Bavlna + chlornan | 122,0 | 119,7 | 103,2 | 25,2 | - | - |
| Viskoza | 175,1 | 166,8 | 143,1 | 62,9 | - | - |
| Vlna | 187,0 | 165,9 | 93,8 | 91,5 | 76,2 | 69,9 |
| Polyamid | 261,8 | 272,5 | 259,8 | 263,2 | 271,2 | 274,3 |
| Ekosáčky | 8,6 | 9,3 | 8,3 | 9,4 | 9,9 | 9,2 |

V tabulce 2 jsou zaznamenány hodnoty pivotové polosumy, která je odhadem parametru polohy. Čísla se mírně liší od průměrných hodnot, které jsou uvedeny v tabulce 1. Pivotová polosuma se vypočítá jako součet dolního a horního pivotu, dělen dvěma. Pro tento výpočet je potřeba znát:

$$\text{Pivotová polosuma } P_L = \frac{x_D - x_H}{2}$$

$$\text{Hloubka pivotu } H = \text{int} \frac{n+1}{2}$$

$$\text{Dolní pivot } x_D = x_{(H)}$$

$$\text{Horní pivot } x_H = x_{(n+1-H)}$$

n.....počet měření

int.....zaokrouhlení na celé číslo [25]

Tabulka 3 Pivotové rozpětí

| Počet měsíců → - Materiál ↓ | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|--|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Len | 75,4 | 39,7 | 76,9 | 33,0 | - | - |
| Bavlna | 11,3 | 35,4 | 6,02 | 44,8 | - | - |
| Bavlna + kyselina | 20,7 | 32,4 | 22,1 | 28,9 | - | - |
| Bavlna + chlornan | 31,2 | 28,9 | 20,9 | 10,1 | - | - |
| Viskoza | 10,2 | 27,8 | 40,9 | 34,2 | - | - |
| Vlna | 0,3 | 25,2 | 20,6 | 15,9 | 20,6 | 51,8 |
| Polyamid | 60,8 | 66,7 | 28,2 | 33,5 | 30,2 | 28,5 |
| Ekosáčky | 0,9 | 0,31 | 0,7 | 1,01 | 0,57 | 0,5 |

V tabulce 3 můžeme vidět hodnoty pivotového rozpětí, charakterizující parametr rozptýlení. Pivotové rozpětí se vypočítá jako rozdíl mezi horním a dolním pivotem.

$$R_L = x_H - x_D [25]$$

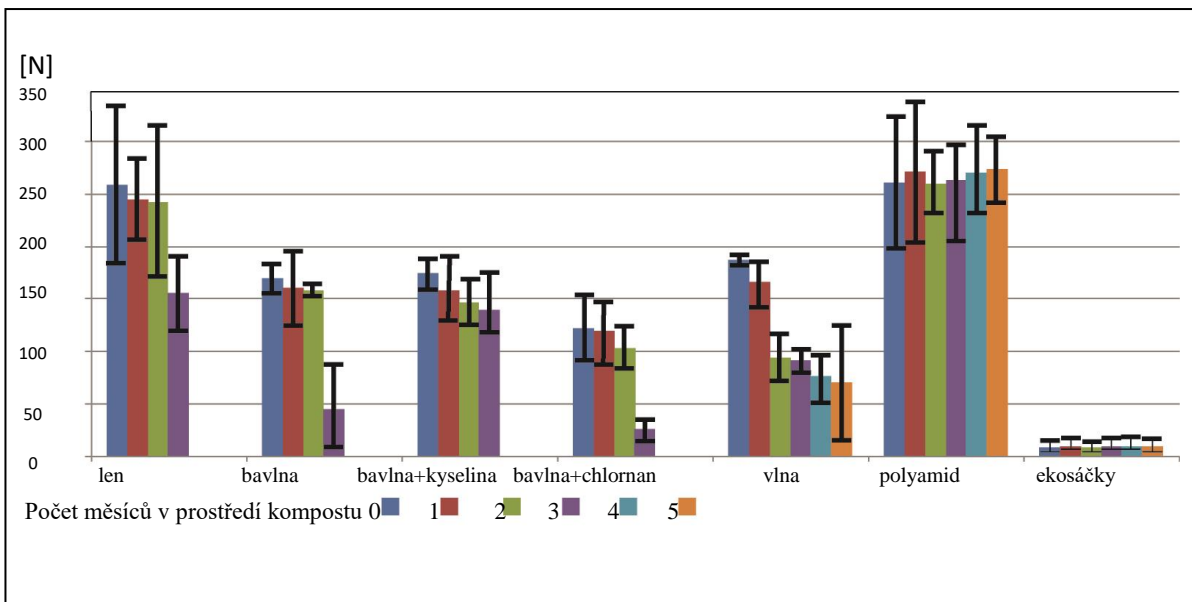
Tabulka 4 95% interval spolehlivostní pro střední hodnotu

| Počet měsíců → - Materiál ↓ | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|--|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Len | (180,8; 336,9) | (203,8; 285,9) | (163,3; 322,4) | (121,9; 190,3) | - | - |
| Bavlna | (158,1; 181,6) | (124,4; 197,4) | (151,7; 164,2) | (15,08; 90,8) | - | - |
| Bavlna + kyselina | (153,8; 195,6) | (125,1; 192,1) | (123,6; 169,4) | (120; 179,9) | - | - |
| Bavlna + chlornan | (89,7; 154,3) | (89,1; 148,8) | (81,3; 124,6) | (14,8; 35,6) | - | - |
| Viskoza | (164,4; 185,5) | (158,1; 215,5) | (69,6; 216,4) | (27,5; 98,3) | - | - |
| Vlna | (186,8; 187,3) | (139,7; 191,9) | (62,5; 105,1) | (75; 107,8) | (55,3; 96,7) | (16,6; 123,2) |
| Polyamid | (198,9; 324,7) | (203,4; 341,5) | (230,6; 289) | (202,8; 296,4) | (235,5; 315,2) | (244,8; 303,8) |
| Ekosáčky | (7,6; 9,6) | (9; 9,7) | (7,6; 8,9) | (8,4; 10,5) | (9,3; 10,5) | (8,6; 9,7) |

Tabulka 4 obsahuje 95 % intervaly spolehlivosti pro střední hodnoty měření. Jednotlivé intervaly odpovídají jak vypočítaným průměrným hodnotám, tak hodnotám pivotové polosumy. 95 % interval spolehlivosti střední hodnoty je vypočítá následovně:

$$P_L - R_L t_{L,0,975}(n) \leq \mu \leq P_L + R_L t_{L,0,975}$$

$t_{L,0,975}$hodnota z tabulky kvantilů normálního rozdělení [25]



Obrázek 26 Graf hodnot pivotové polosumy s 95 % intervalem spolehlivosti pro střední hodnoty

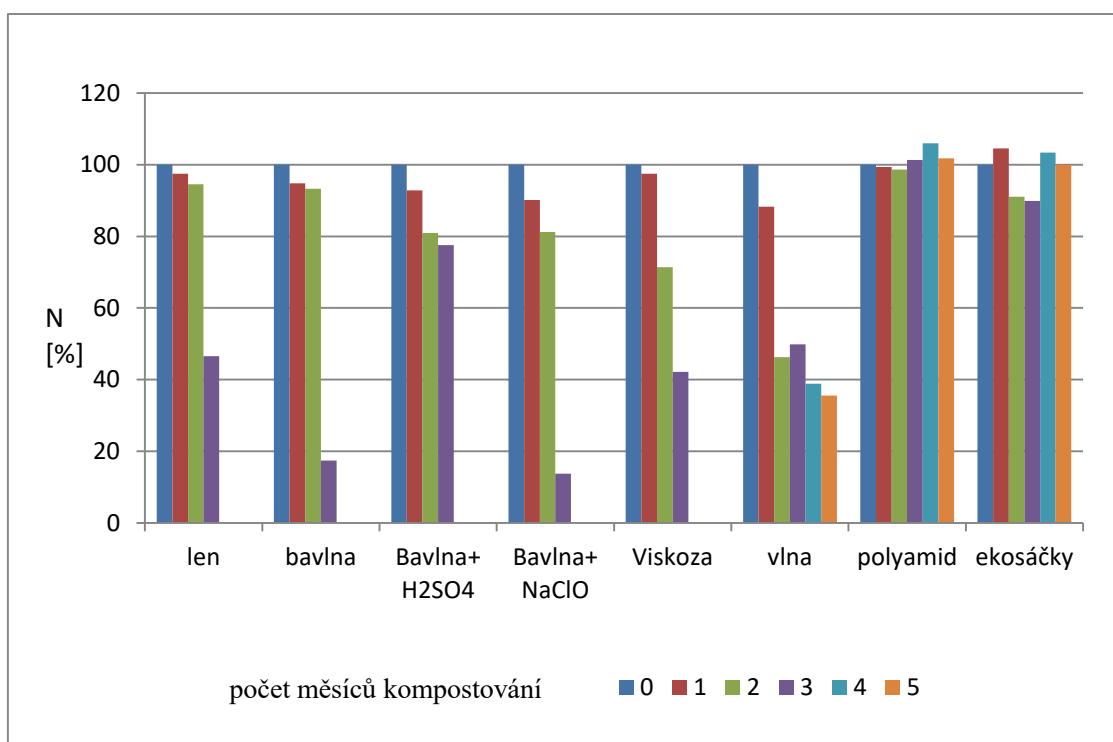
Graf na obrázku 26 znázorňuje hodnoty pivotové polosumy. U celulóзовých vláken můžeme vidět klesání pevnosti v důsledku doby kompostování vzorků. Klesání je zaznamenáno od původního textilního vzorku až po třetí měsíc kompostování. Čtvrtý a pátý měsíc již vzorky byly rozloženy do takové míry, že nebylo možno je měřit, tudíž nejsou v grafu uvedeny. U vlněného vzorku hodnota systematicky klesá až do posledního – pátého měsíce, degradace probíhá, ale pomaleji než u celulóзовých tkanin. U vzorků polyamidu, stejně jako u ekosáčky do odpadkových košů, se hodnota pivotové polosumy téměř nemění.

V grafu jsou také zaznamenány 95 % intervaly spolehlivosti pro střední hodnotu jednotlivých měření. Hodnoty pivotové polosumy vždy spadají do příslušného intervalu.

Tabulka 5 Relativizované průměrné hodnoty pevností

| Počet měsíců → - Materiál ↓ | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|--|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Len | 100 | 97,4 | 94,5 | 46,6 | 0 | 0 |
| Bavlna | 100 | 94,8 | 93,3 | 17,4 | 0 | 0 |
| Bavlna + kyselina | 100 | 92,8 | 80,9 | 77,5 | 0 | 0 |
| Bavlna + chlornan | 100 | 90,1 | 81,2 | 13,8 | 0 | 0 |
| Viskoza | 100 | 97,5 | 71,4 | 42,2 | 0 | 0 |
| Vlna | 100 | 88,2 | 46 | 49,8 | 38,8 | 35,5 |
| Polyamid | 100 | 99,3 | 98,6 | 101,3 | 106 | 101,8 |
| Ekosáčky | 100 | 104,5 | 91 | 89,9 | 103,4 | 100 |

V tabulce 5 jsou zaznamenány hodnoty relativních pevností v procentech pro srozumitelnou interpretaci výsledků. U původního vzorku, kde je počet měsíců kompostování 0, je pevnost dána jako 100 % a ostatní hodnoty naměřené po určité době kompostování jsou relativním podílem.



Obrázek 27 graf relativizovaných průměrných pevností vzorků

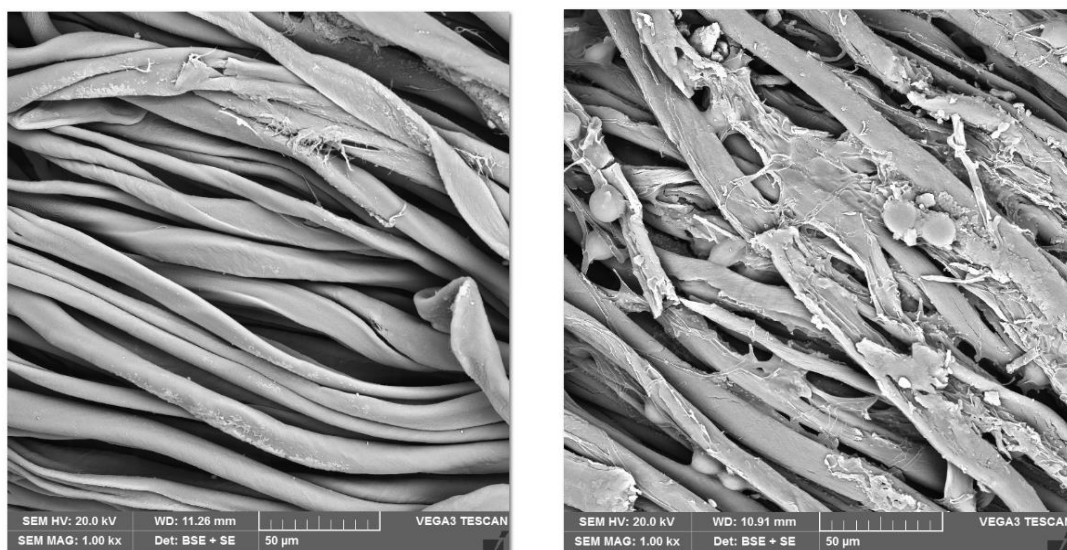
Graf uvedený výše je grafickým znázorněním tabulky relativizovaných průměrných hodnot. Z grafu je patrné, že u většiny textilních materiálů pevnost klesá. Jednotlivé sloupky vyjadřují relativní pevnost vzorků v procentech po každém jednom měsíci v prostředí kompostu. Tmavě modrá barva znázorňuje vždy pevnost původního – nekompostovaného vzorku a má hodnotu 100 %. Ostatní barvy znázorňují změny pevností oproti původnímu vzorku. U všech celulózových materiálu je vývoj téměř stejný. Jejich pevnost výrazně klesá až do třetího měsíce. V následujících měsících se vzorky v kompostu téměř nebo úplně rozložily, takže v grafu nejsou vůbec znázorněny. Důvodem je fakt, že jejich velikost byla tak malá (často jen několik milimetrů), že nesplňovaly podmínky pro měřitelnost na stroji TIRA test 2300.

Odlišnou tendenci mají sloupky vyjadřující změnu pevnosti vlněného materiálu. Pevnost také výrazně klesá, ale i po 5 měsících v prostředí kompostu jsou vzorky v celku, měřitelné a s určitou pevností – zhruba 25 % pevnosti oproti původnímu vzorku.

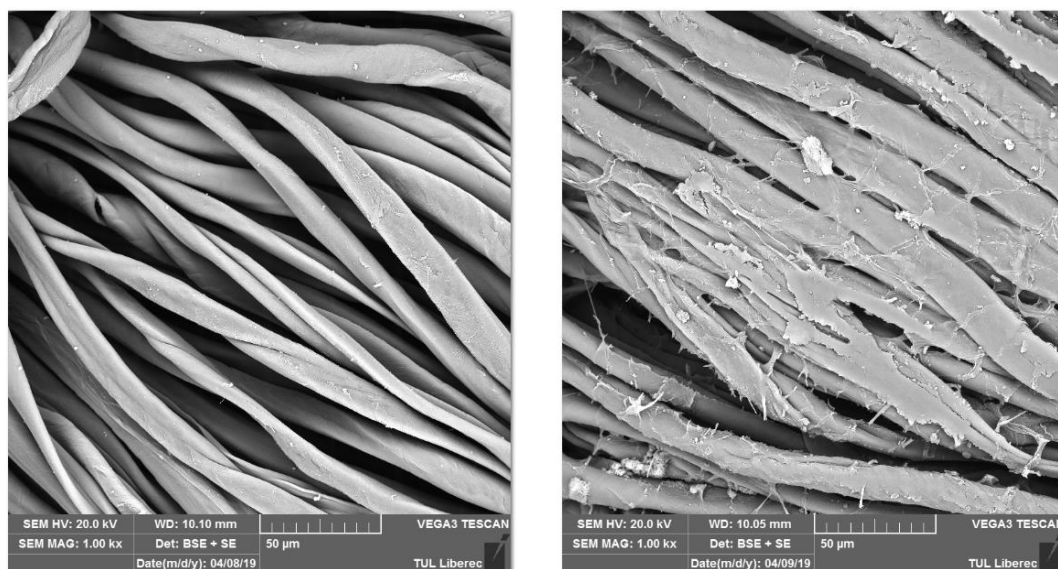
U vzorků polyamidu i sáčků do odpadkového koše jsou relativní změny pevností minimální, dá se říci, že zanedbatelné.

Analýza snímků ze SEM

Důsledek biologického rozložení vzorků byl pozorován pomocí skenovací elektronové mikroskopie. Byly pořízeny snímky vzorků od každého materiálu před zahájením testování a po uplynutí tří měsíců v prostředí kompostu.



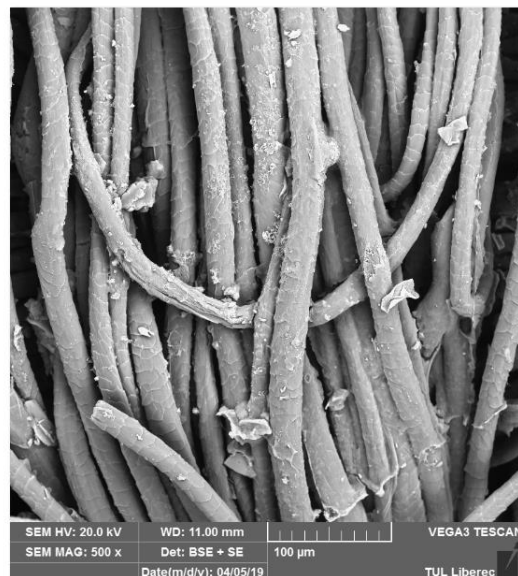
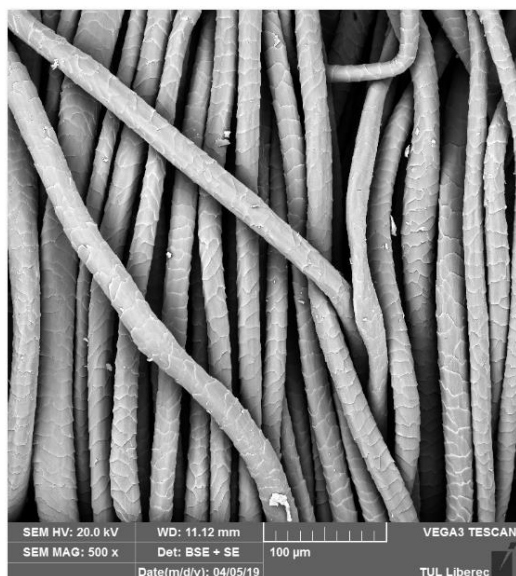
Obrázek 28 Bavlna původní (vlevo) a kompostovaná (vpravo) po dobu 3 měsíců



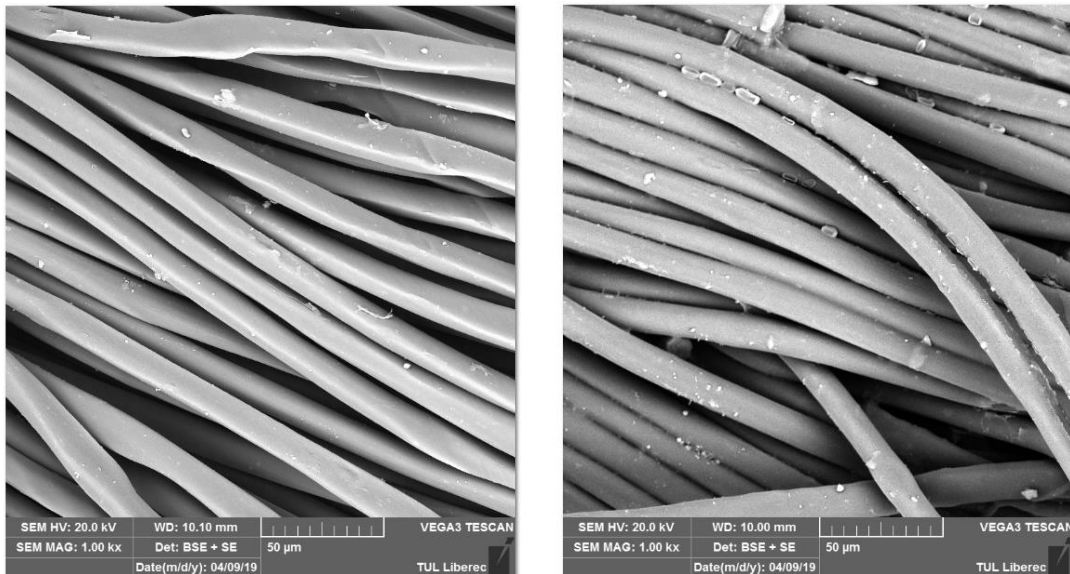
Obrázek 29 Bavlna porušená kyselinou původní (vlevo) a kompostovaná (vpravo) po dobu 3 měsíců



Obrázek 30 Len původní (vlevo) a kompostovaný (vpravo) po dobu 3 měsíců



Obrázek 31 Vlna původní (vlevo) a kompostovaná (vpravo) po dobu 3 měsíců



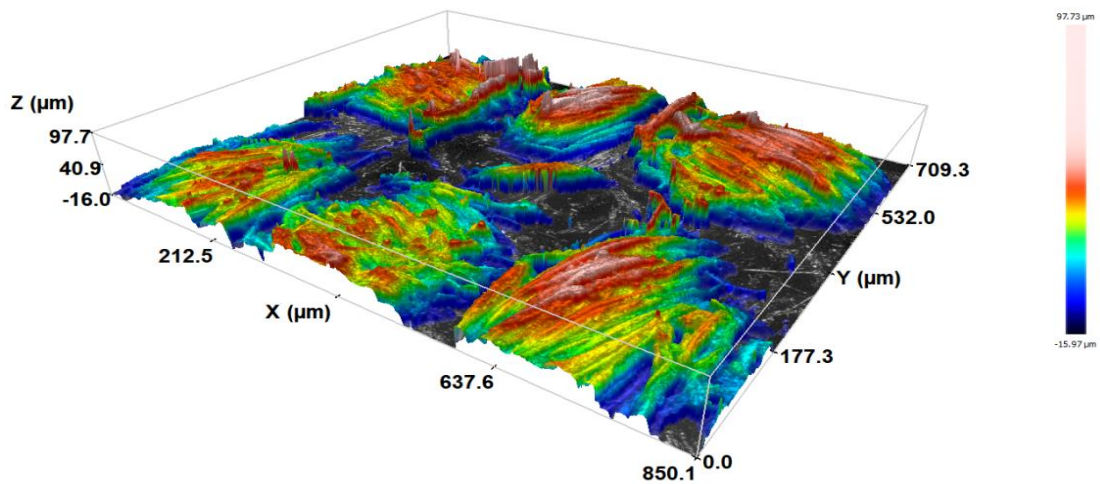
Obrázek 32 Polyamid původní (vlevo) a kompostovaný (vpravo) po dobu 3 měsíců

Snímky ze SEM na obrázcích 28 – 32 kopírují číselné výsledky změn pevnosti. U bavlněných tkanin je po třech měsících kompostování biodegradace výrazná. Jsou zde zřetelné změny mezi původní – nekompostovanou tkaninou, kde jsou vidět hladká celistvá vlákna oproti tkanině, která byla po 3 měsíce uložena v prostředí kompostu. Na ní můžeme vidět porušená vlákna s trhlinami. Přestože modifikovaná bavlna nevykazovala výrazné změny pevnosti oproti neporušené bavlněné tkanině, na snímcích z elektronové mikroskopie můžeme vidět jisté rozdíly mezi kompostovanou bavlnou porušenou kyselinou sírovou a neporušenou. Na obrázcích 28 – 32 můžeme vidět rozdílný výsledek kompostování u těchto dvou materiálů. Modifikovaná vlákna mají povrch jako „rozteklý“ do stran. Podobný vzhled jako bavlna má kompostovaná tkanina ze 100% lnu, která má vlákna viditelně deformovaná a přetrhaná. U vlny je porušení vláken také znatelné. Šupinky, které jsou na snímku původní tkaniny jasně vidět, se důsledkem biodegradace téměř ztratily. U polyamidu můžeme mluvit o nulových změnách. Tkanina má stejný vzhled před kompostováním, jako po něm. Povrch polyamidového vlákna zůstal neporušený.

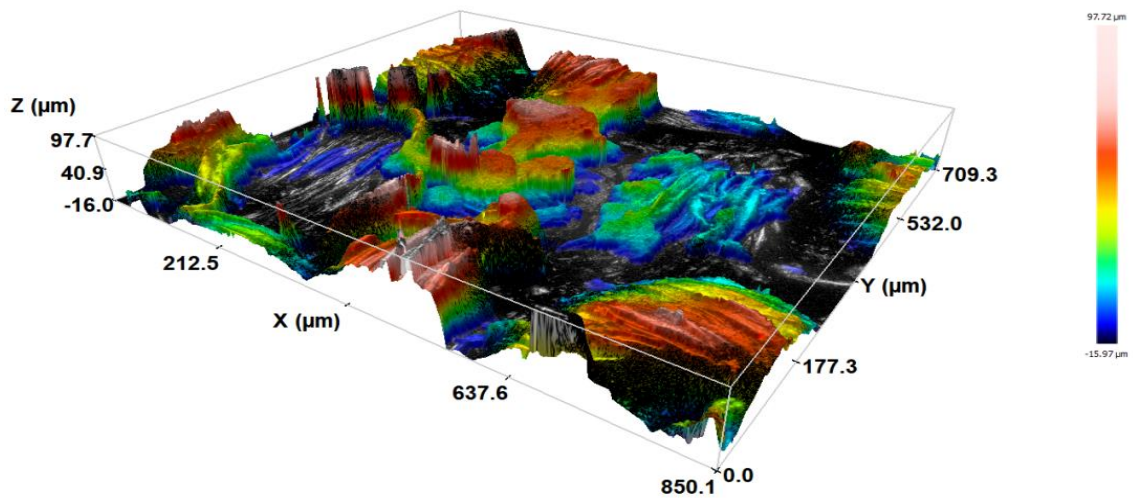
Analýza snímků z mikroskopu „S Neox“

Dále byly vzorky bavlněného materiálu vizuálně pozorovány a vizuálně snímány pomocí konfokálního mikroskopu „S Neox“ od výrobce Sensofar (viz obrázky 33 a 34).

I zde jsou zřetelné změny povrchu. Po dvou měsících jsou vlákna stále rozlišitelná a celistvá, oproti tomu po čtyřech měsících můžeme vidět velký úbytek materiálu, vlákna se ztrácejí.



Obrázek 33 Bavlněná tkanina po 2 měsících v prostředí kompostu



Obrázek 34 Bavlněná tkanina po 4 měsících v prostředí kompostu

Diskuze výsledků:

Cílem testu v prostředí kompostu bylo zjistit, které z testovaných textilních materiálů jsou biodegradabilní, což bylo splněno.

Z průměrných hodnot naměřených pevností jednotlivých materiálů (viz tabulka 1) je patrné, že celulózové materiály degradují, snižuje se jejich pevnost a po uplynutí 4 měsíců se v kompostu zcela rozložily, a tudíž můžeme tvrdit, že jsou kompostovatelné a téměř ze 100 % biodegradovatelné. Důkazem jsou i 3D snímky z konfokálního mikroskopu, na kterých můžeme pozorovat rozdíl mezi bavlněnou tkaninou po 2 a 4 měsících v prostředí kompostu. Po dvou měsících je rozklad viditelný, ale stále jsou zachována jednotlivá vlákna a struktura tkaniny, zatímco po 4 měsících můžeme vidět značný úbytek materiálu.

Pevnost vlněné tkaniny se také znatelně snížila, ale v porovnání s celulózovými vlákny je rozklad výrazně pomalejší. Kompostování živočišných vláken je tedy zdlouhavé a nemůžeme ho považovat za vhodné.

Syntetické materiály nejsou vhodné pro kompostování, což bylo dokázáno testováním polyamidu, který svou pevnost po 5 měsících kompostování téměř nezměnil.

U rozložitelných sáčků do odpadkového koše byla předpokládána značná degradace a snížení pevnosti, ke které nedošlo, proto nejsou biodegradabilní a není vhodné je kompostovat. Tyto výsledky potvrdily snímky ze SEM, na nichž nejsou změny po 3 měsících kompostování viditelné.

7.3 Test založený na měření CO₂

Třetí test je zaměřen na nárůstu oxidu uhličitého v okolí vzorků, způsobený procesem biodegradace. Byl navržen jako snadná a rychlá metoda pro testování kompostovatelnosti textilií.

Vzorky:

- Bavlna 100 %
- Polyamid 100 %

Materiál byl nastříhán na vzorky ve tvaru kruhu o průměru 100 mm.

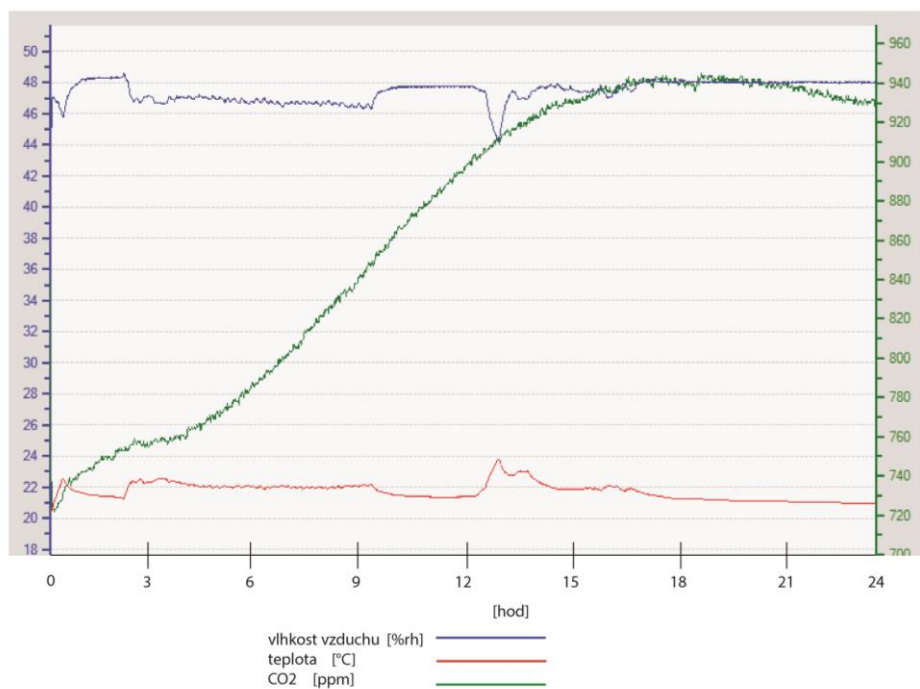
Pomůcky:

- Plastová nádoba se vzduchotěsným uzávěrem o objemu 2 l
- Přístroj na měření CO₂ – ROTRONIC HYGROMER®
- Fungující kompost
- Urychlovač kompostu
- Petriho miska o průměru 100 mm

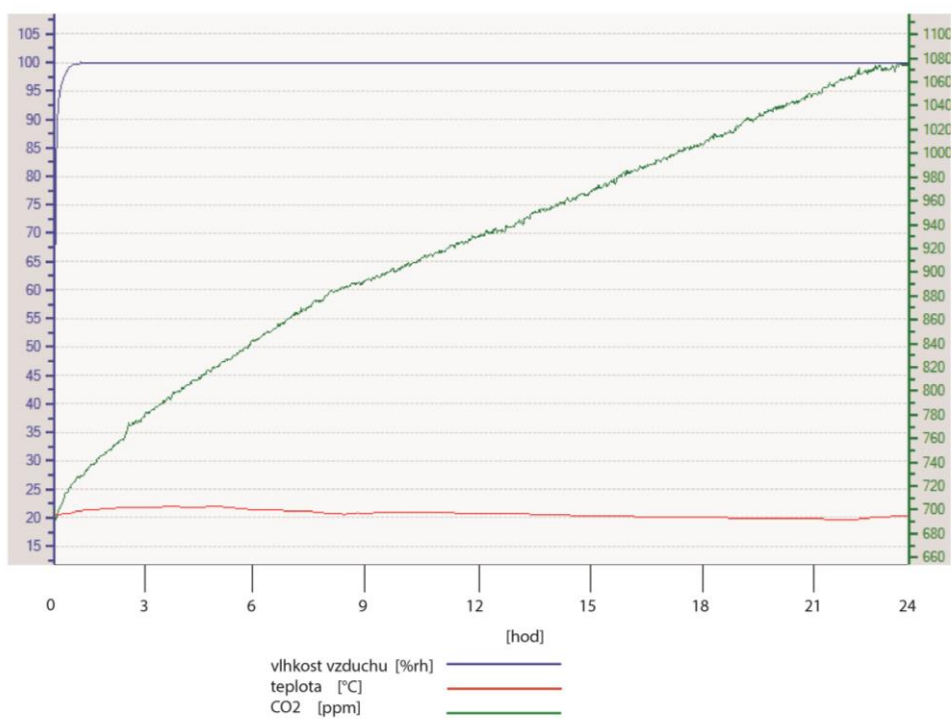
Bylo vyzkoušeno několik způsobů přípravy vzorků tak, aby bylo zajištěno správné působení rozkladu. Do petriho misky se umísťovaly textilní materiály spolu s kompostem v různých formách – kousky tuhého kompostu, kompost ve formě roztoku s vodou atd. Finální pokusy měly následující podobu. V prvním z nich byl do petriho misky umístěn roztok kompostu o objemu 2 ml a 0,5 g urychlovače kompostu. Druhý obsahoval totéž s přidáním bavlněné tkaniny s průměrem přesně sedícím do petriho misky, tzn. 100 mm. Ve třetím finálním testu bylo v petriho misce opět 2 ml roztoku kompostu, urychlovač kompostu o váze 0,5 g a dále polyamidová tkanina jako zástupce syntetických materiálů o průměru 100 mm. Kromě toho bylo provedeno i několik slepých pokusů pro zjištění správného fungování přístroje. Například se samotnou bavlněnou tkaninou, nebo pouze s roztokem kompostu (viz obrázky 35 a 36). Na grafu se samotnou bavlnou lze vidět postupné stoupání od 700 do cca 940 ppm CO₂, potom se růst zastavuje a poté množství oxidu uhličitého mírně klesá, což znamená, že bavlněná tkanina se sama o sobě nerozkládá. Graf se samotným roztokem kompostu stabilně roste po celou dobu měření, což dokazuje správnou biodegradační funkci. Tyto pokusy probíhaly po dobu 24 hodin.

Následně byl testován stálý růst CO₂ u roztoku kompostu při delším časovém rozmezí, a to po dobu tří dnů. Tento slepý test můžeme vidět na obrázku 37.

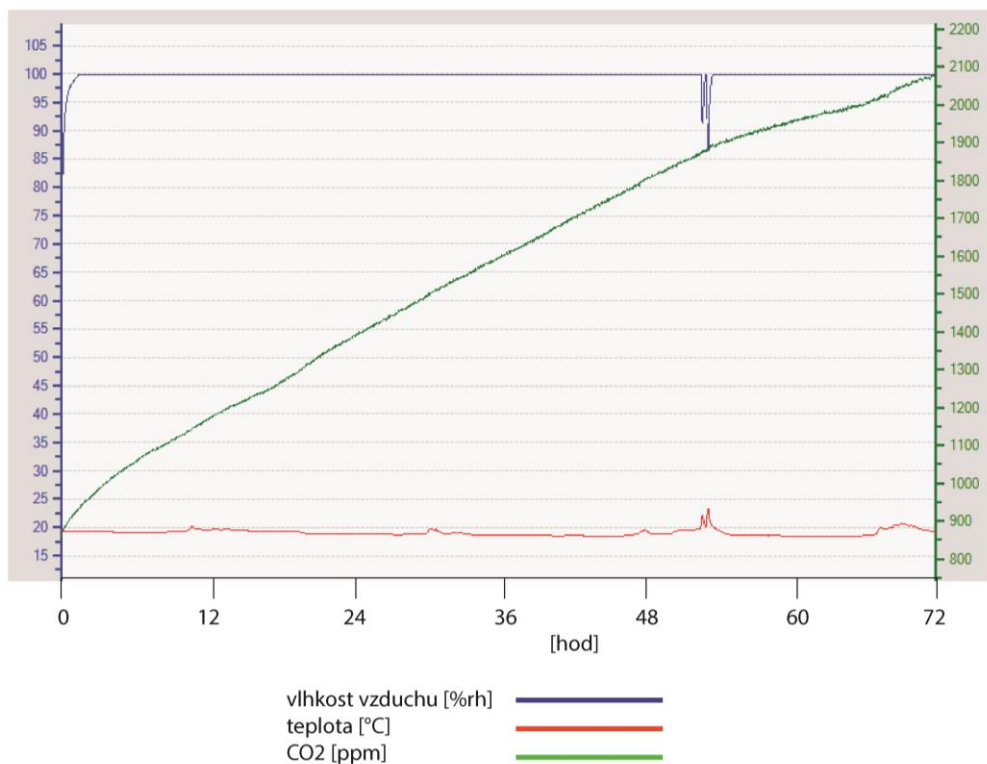
Všechny pokusy založené na měření CO₂ byly měřeny při pokojové teplotě. Data byla sbírána pomocí přístroje Rotronic a jejich vyhodnocení bylo zajištěno grafy a jejich porovnáním. Zmíněné grafy generuje program spolupracující s tímto přístrojem.



Obrázek 35 Slepý test – bavlna



Obrázek 36 Slepý test - roztok kompostu



Obrázek 37 Slepý test - třídenní - roztok kompostu

Postup testu:

Do plastové nádoby byl umístěn přístroj na měření CO₂ a petriho miska. Do petriho misky byly přidány měřené vzorky:

- roztok kompostu 2 ml + urychlovač kompostu 0,5 g
- roztok kompostu 2 ml + urychlovač kompostu 0,5 g + bavlna
- roztok kompostu 2 ml + urychlovač kompostu 0,5 g + polyamid

Roztok kompostu byl vytvořen jako směs H₂O a fungujícího kompostu v poměru 1:1 ve vysoké nádobě, přičemž se pevné částice nechaly usadit na dně nádoby a pro test byl odebrán roztok pouze z hladiny. Do petriho misky byl roztok přesně přidáván pomocí injekční stříkačky.

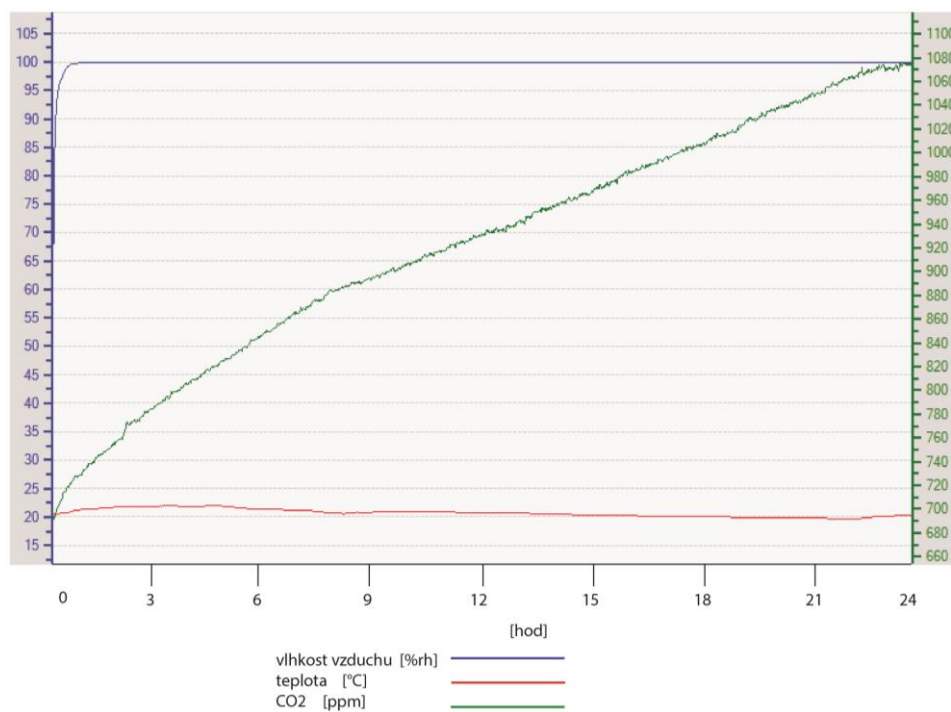
Doba trvání jednoho testu: 24 hodin



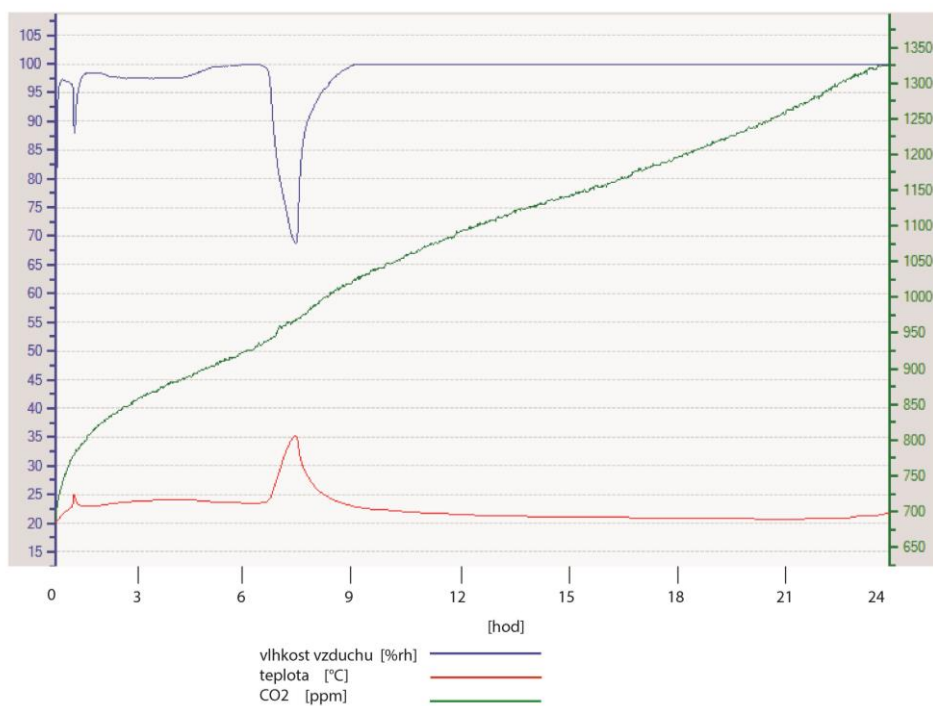
Obrázek 38 Testování pomocí přístroje Rotronic

Způsob vyhodnocení testu:

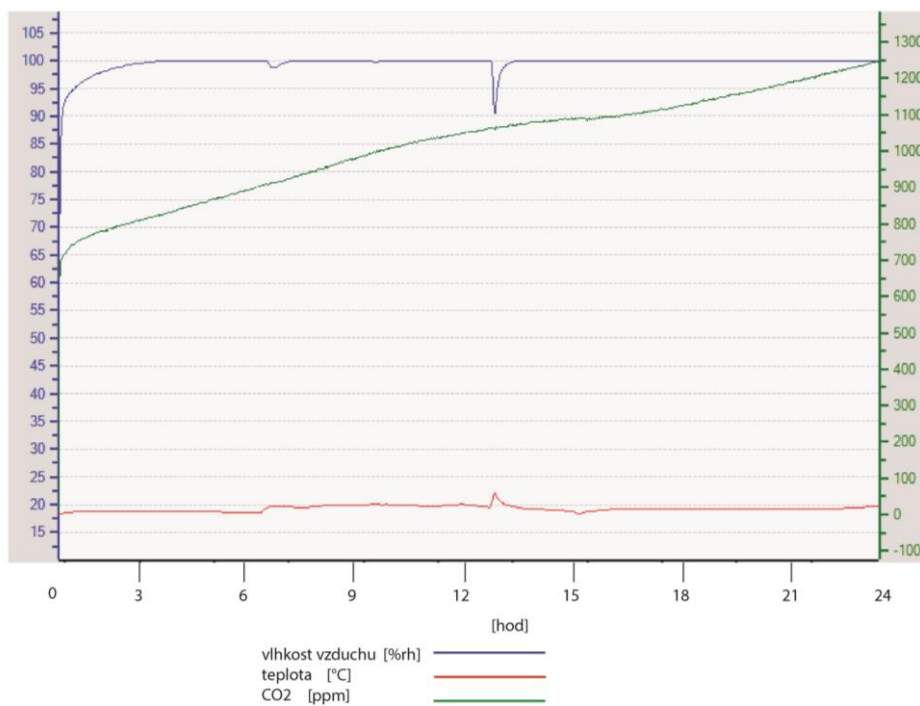
Test byl vyhodnocen pomocí grafů, na kterých lze porovnat změnu hodnoty oxidu uhličitého. Grafy byly vygenerovány programem Rotronic SW21, který je součástí měřícího přístroje.



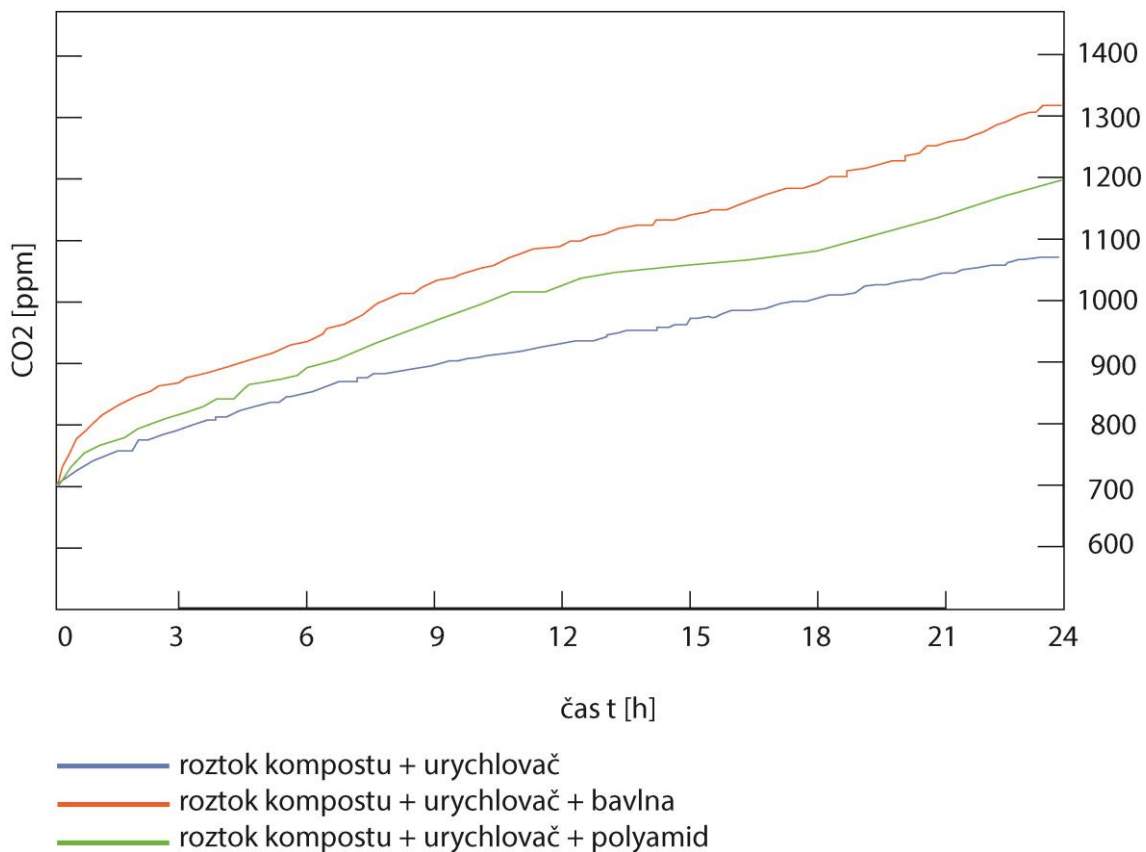
Obrázek 39 Roztok kompostu s aktivátorem kompostu



Obrázek 40 Bavlna s roztokem kompostu a aktivátorem kompostu



Obrázek 41 Polyamid s roztokem kompostu a aktivátorem kompostu



Obrázek 42 Porovnání nárůstu CO₂

Diskuze výsledků:

Na obrázcích 39 - 41 jsou zobrazeny 3 grafy vygenerované programem spolupracujícím s přístrojem Rotronic. Bylo dokázáno správné fungování roztoku kompostu a biodegradace zvyšováním hodnoty CO₂ v nádobě, což je patrné z prvního grafu. Na druhém grafu je znázorněn nárůst CO₂ v nádobě při vložení bavlněné textilie společně s roztokem kompostu a urychlovačem kompostu. V tomto případě je křivka nárůstu ppm CO₂ podobná jako na předešlém grafu, ale rozdíl počáteční a konečné hodnoty je asi o 200 jednotek ppm vyšší, což může způsobovat biodegradaci bavlněného materiálu. Na třetím grafu je nárůst CO₂ za přítomnosti polyamidu s roztokem kompostu a urychlovačem kompostu o něco mírnější. Znamená to, že biodegradace probíhá pomaleji, zřejmě v důsledku přítomnosti polyamidového materiálu, který není kompostovatelný. Na obrázku 42 je graf, ve kterém jsou pro porovnání všechny tři křivky nárůstu CO₂. Na jeho ose x je znázorněn čas testování v hodinách, na ose y jsou jednotky ppm oxidu uhličitého, stejně jako u předešlých tří grafů.

8 Praktické využití výsledků

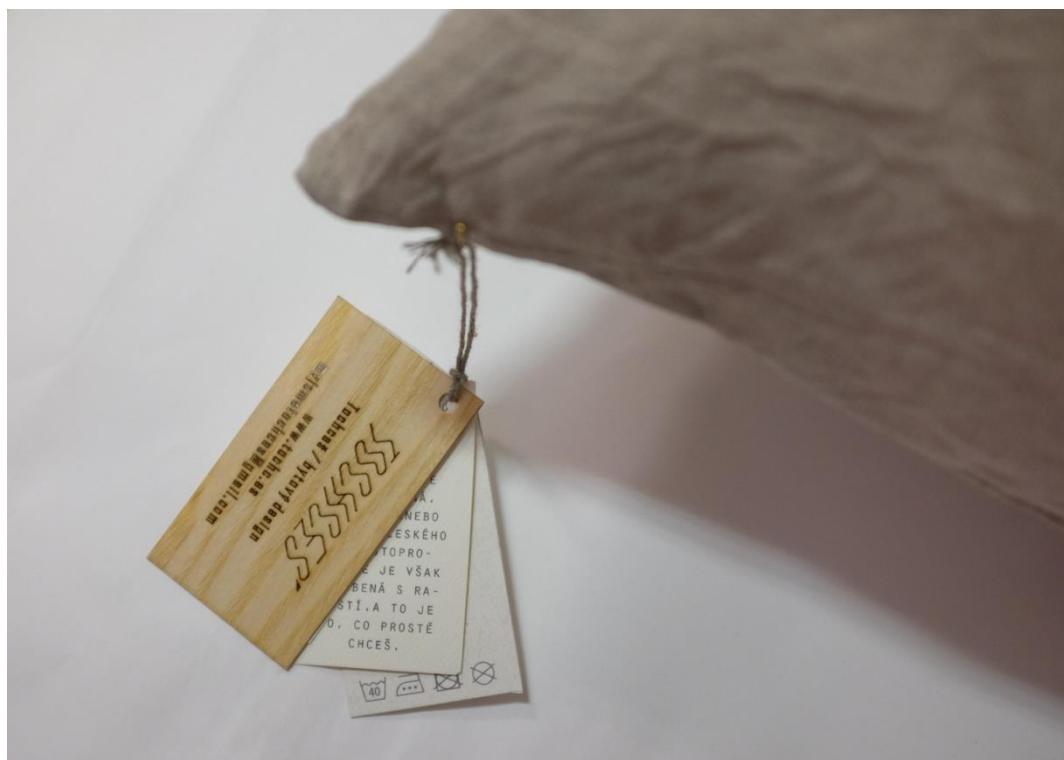
Důkaz o kompostovatelnosti celulózových textilních materiálů je pro značku „Tochceš“ velmi přínosný. V rámci marketingové strategie značky je zákazníkovi – kupujícímu zdůrazněno pomocí visačky připevněné na každém výrobku, že zakoupená věc je vyráběna s ohledem na přírodu. Může se dočíst, že složení výrobku je pouze přírodní, často recyklované, dokonce může znát původ rostliny, která je ručně natisknutá na povrchu tkaniny. Nyní nově může značka „Tochceš“ využít i této diplomové práce a upozornit na rozložitelnost výrobků, které jsou z celulózových materiálů. Velkou výhodou je to u věcí s předpokládanou kratší životností. Takové jsou například mycí houby na nádobí, které jsou šity ze zbytků 100 % nebarveného lnu. U nich je možno uvést, že po skončení životnosti výrobku je možno jej bez obav přidat do běžného domácího kompostu, v němž se spolehlivě rozloží během několika měsíců. Příklad visaček připevňovaných na výrobky je znázorněn na obrázcích níže.



Obrázek 43 Visačky pro kompostovatelný povlak na polštář



Obrázek 44 Visačky pro kompostovatelnou mycí houbu



Obrázek 45 Ukázka visačky na hotovém produktu

ZÁVĚR

V práci byly testovány 3 dosud nevyzkoušené metody, z nichž o dvou můžeme mluvit jako o do jisté míry fungujících a reprodukovatelných testovacích metodách.

První z nich byl test za zvýšené teploty, který má simulovat zrychlený proces biodegradace pomocí ideální teploty pro růst mikroorganismů zajišťujících biologický rozklad. Druhý test probíhal v prostředí běžného kompostu, tudíž byl časově náročnější, ale pro tuto práci velmi přínosný. Probíhal po dobu 5 měsíců a bylo v něm otestováno celkem 8 materiálů. Třetí test byl založen na měření oxidu uhličitého, vznikajícího při procesu biodegradace. K měření CO₂ byl použit přístroj Rotronic a k vyhodnocení dat program Rotronic SW21, který s přístrojem spolupracuje. V tomto testu je prokazatelný nárůst oxidu uhličitého u přírodních vláken, naopak u syntetických materiálů je množství CO₂ měřeného v jednotkách ppm konstantní.

Obzvláště test v prostředí kompostu dokázal, které z textilních materiálů jsou biodegradabilní a tudíž je lze kompostovat i v běžných domácích podmínkách. Dle předpokladů jsou to především celulózové materiály, tzn. materiály z rostlinných vláken. Jako zástupci celulózových materiálů byla v diplomové práci použita bavlna, len, viskóza. Přičemž bavlna byla dvěma způsoby modifikována – poškozena za účelem dosažení rychlejšího rozkladu textilie. Tyto modifikace se neukázaly jako významné v procesu biodegradace a rozdíl výsledných vzorků není patrný. Dále byla testována vlněná tkanina, u které byl ověřen postupný rozklad, ale znatelně pomalejší než u celulózových vláken. Tudíž můžeme mluvit o biodegradovatelnosti, ale nelze produkty z živočišných vláken doporučit jako vhodné pro běžné domácí kompostování. Mezi testovanými vzorky byl i polyamid, u kterého nebyl zjištěn žádný rozklad, proto dle očekávání nejsou syntetické materiály považovány za kompostovatelné. Překvapením byla nulová změna vzhledu i pevnosti vzorků rozložitelných odpadkových sáčků, u kterých byla biodegradace předpokládána. Vzorky byly hodnoceny vizuálním porovnáváním snímků ze SEM a konfokální mikroskopie pořízených před procesem biodegradace a po ukončení procesu. Dále u nich byla měřena pevnost na trhacím stroji, která spolehlivě vypovídá o míře degradace materiálů.

Tato práce může být považována za přínosnou pro marketingovou strategii značky „Tochceš“, jelikož dokazuje rozložitelnost celulózových vláken, ze kterých jsou bytové doplňky vyráběny. Důkaz biologické rozložitelnosti je přínosný jak pro výrobce, který má nyní bezproblémovou likvidaci odpadu, tak i pro zákazníka, který po čase může zakoupený výrobek využít jako součást běžného domácího kompostu.

Závěrem lze konstatovat, že navržené metody mohou být dále používány pro zjišťování biodegradace textilních materiálů, což by mohlo být přínosem pro zpracování textilního odpadu. Důkaz kompostovatelnosti celulózových materiálů je velmi kladný z hlediska možnosti likvidace textilu v domácím prostředí.

Seznam literatury

- [1] Textilní odpad - problém, který nevidíme [online]. nedatováno. Dostupné z: <https://www.ecofuture.cz/clanky/textilni-odpad-neviditelny-problem-modniho-prumyslu>
- [2] FREIDINGER, Jana. Co jsou mikroplasty a proč je musíme omezit [online]. 2018. Dostupné z: https://www.greenpeace.org/czech/clanek/894/co-jsou-mikroplasty-a-proc-je-musime-omezit/?gclid=CjwKCAiA6bvwBRBbEiwAUER6JdFLffROylkRpmA_Ho1AEfH-LtEs5jVPhYkRVeanv12zEezKIyMQoRoCHP4QAvD_BwE
- [3] *Odpady z textilního průmyslu* [online]. [vid. 2019-01-10]. Dostupné z: <https://odpady-online.cz/odpady-z-textilniho-prumyslu/>
- [4] Zpracování odpadů textilních materiálů. *odpadovy-hospodar.cz* [online]. [vid. 2019-01-10]. Dostupné z: <http://odpadovy-hospodar.cz/komunalni-odpady/zpracovani-odpadu-textilnich-materialu>
- [5] SHAH, Aamer Ali, Fariha HASAN, Abdul HAMEED a Safia AHMED. Biological degradation of plastics: A comprehensive review. *Biotechnology Advances* [online]. 2008, **26**(3), 246–265. ISSN 07349750. Dostupné z: doi:10.1016/j.biotechadv.2007.12.005
- [6] GU, Ji-Dong. Microbiological deterioration and degradation of synthetic polymeric materials: recent research advances. *International Biodeterioration & Biodegradation* [online]. 2003, **52**(2), 69–91. ISSN 0964-8305. Dostupné z: doi:10.1016/S0964-8305(02)00177-4
- [7] UELAND, Maiken, Johanna HOWES a Shari FORBES. Degradation patterns of natural and synthetic textiles on a soil surface during summer and winter seasons studied using ATR-FTIR spectroscopy. nedatováno, **2007**. ISSN 185:69-76.
- [8] GRIMA, Sophie, Véronique BELLON-MAUREL, Pierre FEUILLOLEY a Françoise SILVESTRE. Aerobic Biodegradation of Polymers in Solid-State Conditions: A Review of Environmental and Physicochemical Parameter Settings in Laboratory Simulations. *Journal of Polymers and the Environment* [online]. 2000, **8**(4), 183–195. ISSN 1572-8900. Dostupné z: doi:10.1023/A:1015297727244
- [9] HORÁKOVÁ, Dana. *Bioremediace*. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 2000. ISBN 978-80-7080-416-2.
- [10] KHUBAIB ASHRAD, Mikael SKRIFVARS, Vera VIVOD a Bojana VONČINA. Biodegradation of Natural Textile Materials in Soil. nedatováno, **2014**.
- [11] NOVOTNÝ, Čeněk, OSTRAVSKÁ UNIVERZITA a PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA. *Biodegradace a biotechnologie*. Ostrava: Ostravská univerzita, 2005. ISBN 978-80-7368-096-1.

- [12] HAWKINS, W. Lincoln, ed. *Polymer stabilization*. New York: Wiley-Interscience, 1971. ISBN 978-0-471-36300-2.
- [13] YOUNG, R. J a P. A LOVELL. *Introduction to polymers*. London: Chapman and Hall, 1995. ISBN 978-0-412-30640-2.
- [14] YOO, E. S. a S. S. IM. Effect of Crystalline and Amorphous Structures on Biodegradability of Poly(Tetramethylene Succinate). *Journal of environmental polymer degradation* [online]. 1999, 7(1), 19–26. ISSN 1572-8900. Dostupné z: doi:10.1023/A:1021838017958
- [15] HONZÍK, Roman. Plasty se zkrácenou životností a způsoby jejich degradace [online]. nedatováno. Dostupné z: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/plasty-se-zkracenou-zivotnosti-a-zpusoby-jejich-degradace>
- [16] SZOSTAK, Jadwiga. biodeterioration of textiles. *Elsevier* [online]. 2004. Dostupné z: doi:10.1016/S0964-8305(03)00090-8
- [17] *Antonín Slejška - Testování biodegradability* [online]. [vid. 2019-01-10]. Dostupné z: http://czbiom.fortunecity.ws/c/en/as/biodegr_test.html
- [18] 14:00-17:00. ISO 17088:2012. *ISO* [online]. [vid. 2019-01-10]. Dostupné z: <http://www.iso.org/cms/render/live/en/sites/isoorg/contents/data/standard/05/79/57901.html>
- [19] AVÉROUS, Luc. Biodegradable Multiphase Systems Based on Plasticized Starch: A Review. *Journal of Macromolecular Science, Part C: Polymer Reviews* [online]. 2004, 44(3), 231–274. ISSN 1532-1797, 1520-5746. Dostupné z: doi:10.1081/MC-200029326
- [20] RUDNIK, Ewa. *Compostable polymer materials*. 1st ed. Oxford ; Boston: Elsevier, 2008. ISBN 978-0-08-045371-2.
- [21] JAKUBÍKOVÁ, Dagmar. *Strategický marketing*. 2013. ISBN 978-80-247-4670-8.
- [22] Univerzální zkušební stroje dvousloupové do max. zatížení 20 kN. (stolní provedení) [online]. nedatováno. Dostupné z: <http://www.tempos.cz/zkusebni-stroje/zkusebni-trhac%C3%AD-stroje-tira/dvousloupove-zkusebni-trhaci-stroje>
- [23] *CL11 - INEXPENSIVE MULTIPLE PARAMETER METER* [online]. Dostupné z: <https://www.rotronic.com/en/cl11.html>
- [24] AGRO CS Urychlovač kompostů 1 L [online]. nedatováno. Dostupné z: https://www.mall.cz/hnojiva/agro-cs-urychlova-kompost-1-l-100002217604?gclid=Cj0KCQjwwODIBRDuARIsAMy_28WDNZR0N29fYhY87L_VgmKEuYqIFgQJJ_I2ofe_MACJZbiDXrQDXDsaAkgvEALw_wcB
- [25] Směrnice 1/2011 Statistické vyhodnocování dat [online]. nedatováno. Dostupné z: http://www.silvyvoj.cz/Smernice_1_2015.pdf

Seznam obrázků

| | |
|---|----|
| <i>Obrázek 1 grafy znázorňující skladbu směsného odpadu v ČR a množství recyklovaného textilního odpadu [1]</i> | 12 |
| <i>Obrázek 2 Textilní odpad [2]</i> | 14 |
| <i>Obrázek 3 Schéma testů biodegradability polymerů [12]</i> | 25 |
| <i>Obrázek 4 Klasifikace biodegradabilních polymerů [14]</i> | 29 |
| <i>Obrázek 5 Příklady recyklovaných produktů [23]</i> | 34 |
| <i>Obrázek 6 Produkty značky „Tochceš“</i> | 35 |
| <i>Obrázek 7 SEM snímek struktury bavlněné tkaniny</i> | 37 |
| <i>Obrázek 8 SEM snímek lněné tkaniny</i> | 37 |
| <i>Obrázek 9 SEM snímek vlněné tkaniny</i> | 38 |
| <i>Obrázek 10 SEM snímek viskozové tkaniny</i> | 38 |
| <i>Obrázek 11 SEM snímek polyamidové tkaniny</i> | 39 |
| <i>Obrázek 12 Rozložitelné odpadkové pytle</i> | 39 |
| <i>Obrázek 13 SEM snímek modifikované bavlněné tkaniny kyselinou sírovou</i> | 41 |
| <i>Obrázek 14 Sušárna</i> | 41 |
| <i>Obrázek 15 přístroj TIRA test 2300 [22]</i> | 42 |
| <i>Obrázek 16 Inkubátor [17]</i> | 42 |
| <i>Obrázek 18 Přístroj Rotronic Hygrometer [23]</i> | 43 |
| <i>Obrázek 19 Konfokální mikroskop [16]</i> | 44 |
| <i>Obrázek 20 Elektronový mikroskop [18]</i> | 44 |
| <i>Obrázek 21 Test za zvýšené teploty</i> | 46 |
| <i>Obrázek 22 Urychlovač kompostu [24]</i> | 48 |
| <i>Obrázek 23 Nádoby pro test v prostředí kompostu</i> <i>Obrázek 24 Část kompostu po 3 měsících</i> . | 49 |
| <i>Obrázek 25 Vzorek bavlněné textilie po 3 měsících</i> <i>Obrázek 26 Postupný rozklad bavlněné textilie</i> | 49 |
| <i>Obrázek 27 Graf hodnot pivotové polosumy s 95% intervalem spolehlivosti pro střední hodnoty</i> | 54 |
| <i>Obrázek 28 graf relativizovaných průměrných pevností vzorků</i> | 56 |
| <i>Obrázek 29 Bavlna původní (vlevo) a kompostovaná (vpravo) po dobu 3 měsíců</i> | 57 |
| <i>Obrázek 30 Bavlna porušená kyselinou původní (vlevo) a kompostovaná (vpravo) po dobu 3 měsíců</i> | 57 |
| <i>Obrázek 31 Len původní (vlevo) a kompostovaný (vpravo) po dobu 3 měsíců</i> | 58 |
| <i>Obrázek 32 Vlna původní (vlevo) a kompostovaná (vpravo) po dobu 3 měsíců</i> | 58 |
| <i>Obrázek 33 Polyamid původní (vlevo) a kompostovaný (vpravo) po dobu 3 měsíců</i> | 59 |
| <i>Obrázek 34 Bavlněná tkanina po 2 měsících v prostředí kompostu</i> | 60 |
| <i>Obrázek 35 Bavlněná tkanina po 4 měsících v prostředí kompostu</i> | 60 |
| <i>Obrázek 36 Slepý test – bavlna</i> | 63 |
| <i>Obrázek 37 Slepý test - roztok kompostu</i> | 63 |
| <i>Obrázek 38 Slepý test - třídění - roztok kompostu</i> | 64 |
| <i>Obrázek 39 Testování pomocí přístroje Rotronic</i> | 65 |
| <i>Obrázek 40 Roztok kompostu s aktivátorem kompostu</i> | 65 |
| <i>Obrázek 41 Bavlna s roztokem kompostu a aktivátorem kompostu</i> | 66 |

| | |
|---|----|
| <i>Obrázek 42 Polyamid s roztokem kompostu a aktivátorem kompostu</i> | 66 |
| <i>Obrázek 43 Porovnání nárůstu CO₂</i> | 67 |
| <i>Obrázek 44 Visačky pro kompostovatelný povlak na polštář</i> | 68 |
| <i>Obrázek 45 Visačky pro kompostovatelnou mycí houbu.....</i> | 69 |
| <i>Obrázek 46 Ukázka visačky na hotovém produktu.....</i> | 69 |

Seznam tabulek

| | |
|---|----|
| <i>Tabulka 1 Průměrné hodnoty pevností naměřené na stroji TIRA test 2300.....</i> | 50 |
| <i>Tabulka 2 Pivotová polosuma.....</i> | 51 |
| <i>Tabulka 3 Pivotové rozpětí.....</i> | 52 |
| <i>Tabulka 4 95 % interval spolehlivostní pro střední hodnotu.....</i> | 53 |
| <i>Tabulka 5 Relativizované průměrné hodnoty pevností.....</i> | 55 |