

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra agroenvironmentální chemie a výživy rostlin



**Fakulta agrobiologie,
potravinových a přírodních zdrojů**

Nakládání s textilním odpadem

Bakalářská práce

Dominika Koronovská

Ochrana krajiny a využívání přírodních zdrojů

Vedoucí práce: prof. Ing. Aleš Hanč, Ph.D.

© 2024 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Nakládání s textilním odpadem" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne 24. 4. 2024

Poděkování

Ráda bych touto cestou v první řadě poděkovala vedoucímu bakalářské práce prof. Ing. Aleši Hančovi, Ph.D. za příjemnou spolupráci, podnětné rady a čas, který mi věnoval při zpracování této práce. Dále bych chtěla poděkovat Ing. Pavlu Míchalovi, Ph.D. za jeho ochotnou pomoc při odběrech a analýze vzorků. Také děkuji svému tátovi za jeho oporu a motivaci a v neposlední řadě i ostatním členům mé rodiny a blízkým přátelům za jejich podporu během celého studia.

Nakládání s textilním odpadem

Souhrn

Tato bakalářská práce na téma Nakládání s textilním odpadem pojednává o problematice textilního průmyslu a textilního odpadu, který vzniká při jeho výrobě i následném užívání. Práce se věnovala způsobům, kterými lze s textilním odpadem nakládat a zaměřovala se na výhody i případné nevýhody konkrétních metod.

Jedním z hlavních cílů této práce bylo přiblížit vliv textilního odpadu na životní prostředí. Jde o komoditu, která je pro lidi nepostradatelná a má na dnešním trhu silné postavení. S tím se ale pojí i negativní environmentální dopady jako jsou emise skleníkových plynů, velká spotřeba vody, stále rostoucí množství odpadu a kontaminace půd a vodních těles chemikáliemi, které se z textilu uvolňují. Pro zmírnění těchto dopadů je nutné se zaměřovat na prevenci vzniku odpadu, přípravu na jeho znovuvyužití či používání udržitelnějších metod zpracování textilního odpadu jako jsou různé formy recyklace.

V praktické části práce byl založen pokus, během kterého se sledovala rozložitelnost textilního materiálu z přírodních vláken v procesu kompostování a vermikompostování. Potvrdil se předpoklad, že přírodní vlákna se v obou případech nakládání rozloží. V obou případech se jedná o přirozené procesy, a tudíž jsou jednou z dalších šetrnějších možností, jak lze redukovat množství textilního odpadu za podmínky, že vstupní materiály jsou čistě přírodního původu a rovněž neobsahují velké množství toxických chemikálií. Výsledky také ukázaly, že přítomnost textilu neměla výrazný vliv na kvalitu kompostu a vermikompostu a při rozkladu nedošlo ke kontaminaci rizikovými prvky.

Klíčová slova: textil; odpad; nakládání; biodegradabilita

Textile waste handling

Summary

This bachelor thesis on the topic of Textile waste handling explores the impact of the textile industry and the waste generated during its production and subsequent use. The thesis explored various methods of handling textile waste while focusing on the advantages and potential disadvantages of covered methods.

One of the main objectives of the literature review was to elucidate the impact of textile waste on the environment. As a commodity that is indispensable to people, it holds a strong position in today's market. This is, however, naturally associated with negative environmental impacts such as greenhouse gas emissions, high water consumption, increasing waste generation and contamination of the soil and bodies of water with chemicals released from textiles. To mitigate these causes it is necessary to focus on appropriate waste prevention, preparation for its reutilization and implementation of more sustainable methods of textile waste handling like various forms of recycling.

In the practical part, an experiment was conducted to observe the biodegradability of textile materials made of natural fibers in compost and vermicompost. The premise that natural fibers will degrade in both methods was confirmed. Both natural processes are therefore another environmentally friendly option for reducing textile waste, provided that the input materials are purely of natural origin and do not contain unwanted amount of potentially toxic chemicals. The results also showed that the presence of textiles did not significantly influence the quality of the compost and vermicompost and its decomposition did not lead to contamination of the substrate with hazardous elements.

Keywords: textile; waste; handling; biodegradability

Obsah

1	Úvod	1
2	Cíl práce	2
3	Literární rešerše	3
3.1	Textilní odpad	3
3.1.1	Příčiny vzniku textilního odpadu	3
3.1.2	Textilní vlákna	4
3.2	Environmentální dopad textilního průmyslu	6
3.3	Nakládání s textilním odpadem	7
3.3.1	Legislativa a plán odpadového hospodářství v České republice	8
3.3.2	Skládkování a spalování	9
3.3.3	Znovupoužití a sběrné kontejnery	11
3.3.4	Recyklace	12
3.3.5	Kompostování a vermikompostování	14
4	Materiály a metodika	15
4.1	Původ a druh vzorků	15
4.2	Analýza vzorků	15
4.2.1	Stanovení pH a měrné elektrické vodivosti	15
4.2.2	Stanovení spalitelných látek a přítomnosti prvků	16
5	Výsledky	16
5.1	Rozložitelnost textilu	16
5.2	Vlhkost	19
5.3	Hodnoty pH a měrné elektrické vodivosti	19
5.4	Obsah spalitelných látek	21
5.5	Obsah rizikových prvků	21
5.6	Obsah fosforu a draslíku ve vermikompostu	22
6	Diskuze	23
7	Závěr	25
8	Literatura	26

1 Úvod

Vyrábí se více, kupuje se více a vyhazuje se více. Současný dominující lineární model textilního průmyslu spočívající ve výrobě, použití a následného zbavení se způsobuje velký tlak na přírodní zdroje. Převládající množství textilního odpadu končí na skládkách nebo ve spalovnách, kde jeho životnost a využití jednoduše zaniká bez možnosti dalšího využití (Rengel 2017).

Za současným stavem textilního průmyslu stojí růst populace, zlepšování životní úrovně a rostoucí sortiment textilních materiálů, kterým zároveň klesá doba jejich životnosti. Globalizace způsobila, že oděvní průmysl vyrábí více za nižší náklady a mnoho spotřebitelů se přizpůsobilo trendu tzv. rychlé módy, která dává oblečení hodnotu pouhého jednorázového produktu. Narůstající tempo spotřeby přirozeně zvyšuje i objem vyprodukovaného odpadu (Juanga-Labayen et al. 2022). Textilní průmysl je tak v současnosti druhým největším globálním zdrojem znečištění a textilní odpad je nejrychleji rostoucím druhem odpadu na světě (Priya 2022).

Existuje několik způsobů, kterými lze s textilním odpadem nakládat, avšak vzhledem k nynější situaci je vhodné zaměřit se více na relevantní způsoby, které podporují cirkulární ekonomiku a zároveň způsobují menší dopad na životní prostředí díky prodloužení životnosti textilních materiálů (Singh et al. 2022). Důležité především je odklonit se od skládkování a spalování, které způsobují velké emise skleníkových plynů a uvolňování toxických látek do prostředí. Přeměna odpadu na hodnotné produkty je klíčová pro snížení negativního vlivu textilního průmyslu, proto jako jedna z dobrých možností je recyklace (Mishra et al. 2022). Její míra je ve světě stále malá, avšak odhaduje se, že až 93-95 % textilního odpadu se dá potenciálně recyklovat ať už chemicky, mechanicky či biologicky (Candido 2021). Přírodní formou recyklace je například kompostování a vermikompostování. Tyto procesy se nabízejí jako jednou z variant rozkladu textilního odpadu z přírodních vláken na kvalitní organický materiál, který je dále využitelný (Juanga-Labayen et al. 2022).

Udržitelný přístup k nakládání s textilním odpadem by měl být prioritou. Efektivní využití přírodních zdrojů a snížení spotřeby surovin prostřednictvím znovuvyužití a recyklace je předpokladem zmírnění dopadů tohoto průmyslu na životní prostředí. Velkou roli také nepochybně hraje chování společnosti a spotřebitelů, jejichž poptávka má přímý vliv na nabídku. Vedle vývoje nových technologií je stejně tak důležité informovat lidi o lepších a šetrnějších postupech, které tak můžou časem obrátit situaci k lepšímu (Juanga-Labayen et al. 2022).

2 Cíl práce

Cílem práce bylo přiblížit problematiku textilního odpadu. V rešeršní části je textilní odpad charakterizován včetně druhů vláken, ze kterého se skládá. Byly také popsány příčiny jeho vzniku a environmentální dopady textilní výroby. Dále byly představeny způsoby, kterými se s textilním odpadem nakládá včetně alternativních metod. V praktické části se zjišťovala rozložitelnost přírodních textilních vláken v procesu kompostování a vermikompostování. Cílem bylo zjistit, zdali jsou tyto způsoby efektivní a potenciálně aplikovatelné jako šetrné metody redukování množství textilního odpadu.

3 Literární rešerše

První část je věnována problematice textilního odpadu a příčinám jeho vzniku. Charakterizuje také jeho složení z hlediska druhu vláken a jejich vliv na životní prostředí. Rešerše dále představuje několik způsobů, kterými se s textilním odpadem nakládá, a jaké výhody či nevýhody tyto způsoby přinášejí.

3.1 Textilní odpad

Odpad je každá movitá věc, které se osoba zbavuje, má úmysl nebo povinnost se jí zbavit (Zákon č. 541/2020 Sb. o odpadech). Textilní odpad zahrnuje veškerý odpadní materiál v souladu se zákonnou definicí, který je vyrobený z textilií a vláken. Jedná se především o již nepotřebné či nepoužitelné oblečení, boty, bytové textilie nebo jiný průmyslový textilní odpad. V České republice se ročně vyprodukuje 180 tisíc tun textilního odpadu, který z celkového množství odpadu v černých kontejnerech smíšeného odpadu zaujímá kolem 3-4 % (MŽP 2023).

Podle zdroje, kde vzniká, se textilní odpad dělí do dvou základních kategorií – ten, který vzniká při průmyslové výrobě a odpad vznikající u spotřebitele (Chavan 2014). Během let 2010-2019 u nás množství průmyslového odpadu mírně stoupl z 31 000 tun na 40 000 tun. Textilní odpad z domácností však zaznamenal mnohem razantnější růst a jeho každoroční množství se za sledované období zdesetinásobilo na přibližně 36 000 tun. Tento nárůst je odrazem dnešní konzumní společnosti (Shtukaturova et al. 2023).

Průmyslový textilní odpad zahrnuje veškerý materiál, který vzniká při zpracovávání vláken a následné výrobě textilií, oděvu a obuvi. Spadají sem odřezky, odštrížky a vyřazené kousky. Obecně se odpad vzniklý v této fázi považuje za čistý a méně závadný a je jednodušší ho použít v jiném průmyslovém odvětví nebo recyklovat (Chavan 2014).

Spotřebitelský textilní odpad vzniká u spotřebitelů a jedná se o oděvy nebo domácí textilie, které již nejsou žádané kvůli opotřebení, poškození nebo se již neodpovídají trendům doby. Spadají sem také ostatní textilní předměty, které se nazývají komplexní produkty. Jedná se o např. hračky a spací pytle (Shtukaturova et al. 2023). Mnoho oděvů, kterých se spotřebitelé chtějí zbavit, bývá stále v dobré kvalitě a takové kousky se pak dají poslat dále do oběhu v rámci recyklace. Zároveň se však tento textilní odpad nedá monitorovat stejně efektivně, jako u průmyslových subjektů, a správné naložení s ním je tak na zodpovědnosti každého spotřebitele (Chavan 2014).

3.1.1 Příčiny vzniku textilního odpadu

Oblečení je druhou lidskou nejdůležitější potřebou. Textilní průmysl tak hraje na trhu důležitou roli z hlediska našich potřeb i vlivu na světovou ekonomiku a jedná se o jeden ze základních pilířů spotřebního zboží (Mishra et al. 2022).

Životní styl moderní společnosti významně přispívá k dnešní nadměrné produkci textilního odpadu. Ještě relativně nedávno si móda udržovala určitý standard – nové kolekce, které vycházely nanejvýš jen párkrát do roka, byly vyrobeny z kvalitního materiálu a často byly i lokálně šity. Vlivem globalizace a vzrůstající životní úrovně se však textilní průmysl proměnil

v souboj konkurenčních firem, jejichž cílem dnes již není vytvořit textil, který má něco vydržet. Taktikou výrobců oděvů či bytových textilií je vzbudit v zákazníkovi pocit nenasytosti, který ho bude hnát kupovat stále více a za relativně malou cenu, která se však odráží na kvalitě zboží (Hawley 2009). Textil, který se dnes na trhu prodává, obvykle pochází z rozvojových zemí, kde je na úkor kvality a životnosti zhotoven za co nejnižší náklady. Výsledkem je, že nekvalitní textil se po pár použitích vyhodí a stává se tak odpadem (Nencková 2017).

V souvislosti se současnou strategií výrobců oděvů se silně a stále častěji pojí anglické slovní spojení „fast-fashion“ neboli rychlá móda. Tento v podstatě business model si zakládá na rychlosti, novotě a kolujících trendech. Principem je co nejrychleji reagovat na to, co je v daném momentu stylové a stejně bystře to i nabídnout zákazníkovi. Jeden z nejběžnějších obchodních fast-fashion řetězců nabízí ročně kolem 20 kolekcí. Tento přístup zkracuje hodnotu kupovaného oblečení, vytváří iluzi, že se jedná o komodity na jedno či pár použití a ve finále vede k větší produkci odpadu, než by bylo nutné (Centobelli et al. 2022).

Dalším faktorem ovlivňující vznik textilního odpadu je nakládání s ním. Textil je téměř zcela recyklovatelný (Hawley 2009). V současnosti je však míra recyklace stále nízká, například v Evropské unii se její hodnota pohybuje kolem 22 %, zbytek odpadu končí na skládkách nebo ve spalovnách (Evropská komise 2023).

Vliv na množství textilního odpadu má také složení. Zatímco textil vyrobený ze 100 % přírodních vláken se po několika letech biologicky rozloží, textil ze syntetických vláken, který aktuálně ve složení materiálů převažuje, tuto schopnost nemá (Aishwariya 2018).

3.1.2 Textilní vlákna

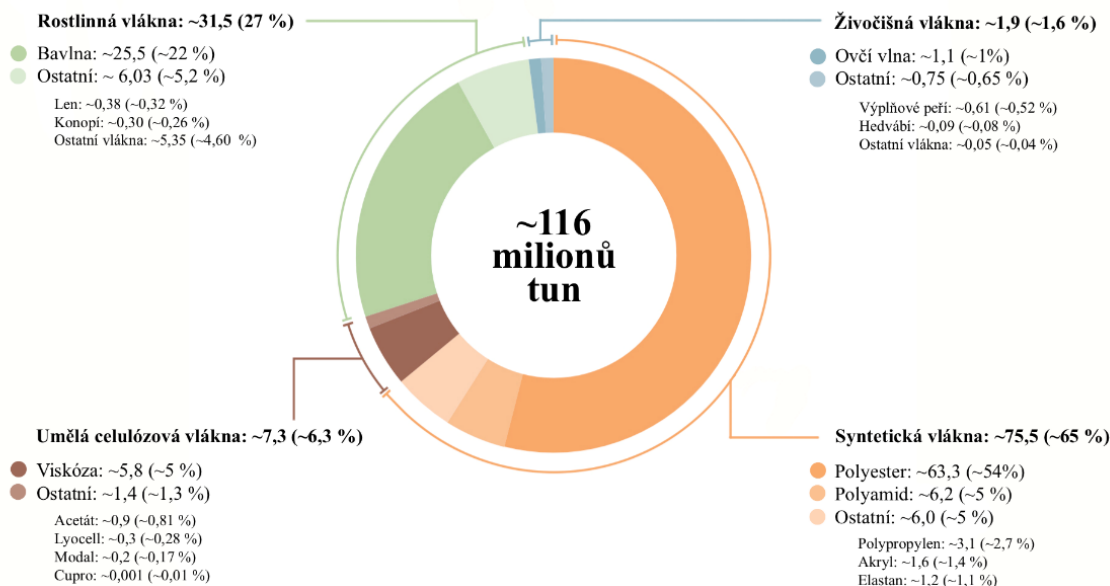
Charakter textilního odpadu závisí na typu vláken, kterými je tvořen. Většina textilního odpadu se skládá z přírodních nebo syntetických vláken. Vlastní kategorii pak tvoří tzv. speciální vlákna, která jsou navržena pro specifické situace, kdy se od materiálu vyžaduje větší pevnost, odolnost vůči vysokým teplotám nebo chemická odolnost (Wang 2010).

V roce 2022 se dle průzkumu provedeného světovou neziskovou organizací Textile Exchange globálně vyprodukovalo okolo 116 milionů tun vláken, z toho až 65 % tvořila syntetická vlákna, která mají dnes na trhu opravdu silné postavení. Nejvyráběnějším syntetickým vláknem byl polyester, kterého se ve sledovaném roce vyrobilo přibližně 63,3 milionů tun – to je polovina celkové světové produkce. Mezi ostatní syntetická vlákna patří hlavně polyamid, v mnohem menší míře pak akryl a elastan. Druhým nejprodukovánějším typem byla rostlinná vlákna s podílem 27 %, kdy se jednalo hlavně o bavlnu. Ostatní rostlinná vlákna jako je konopí či len tvoří kolem 5 % produkce. Společně s polyesterem jsou bavlněná vlákna ta nejpoužívanější, která v míře využití daleko předbíhají jiné druhy. Umělých celulósových vláken, pod které spadá např. viskóza a lyocell, bylo 6,3 % a nejmenší zastoupení na celkové produkci měla živočišná vlákna s 1,6 % (Textile Exchange 2023). Z množství a druhu ročně vyprodukovaných vláken se dá orientačně představit složení vznikajícího textilního odpadu.

Graf č. 1: Zastoupení druhů vláken v globální produkci v roce 2022 dle Textile Exchange (přeloženo autorkou práce)

Globální produkce vláken v roce 2022
(mil. tun a % globální produkce)

Data zahrnují recyklovaná vlákna



3.1.2.1 Přírodní vlákna

Přírodní vlákna používané v textiliích jsou buď rostlinného nebo živočišného původu a oproti většině uměle vyrobených vláken jsou biologicky rozložitelná. Jejich hlavními složkami jsou proteiny a celulóza (Karimah et al. 2021). V globální produkci jsou z kategorie rostlinných nejvíce zastoupena bavlněná vlákna, která jsou rovněž druhým nejpoužívanějším typem. Získávají se z bavlníku, který byl pro tyto účely vyšlechtěn do čtyř hlavních kultivarů. Pro svůj velký výnosový potenciál a dobrou adaptabilitu se ve více než 60 zemích pěstuje konkrétně mexická bavlna (*Gossypium hirsutum* L.). Výnos a kvalitu finálních vláken kromě použité odrůdy také silně ovlivňují meteorologické podmínky stanoviště (Martins et al. 2023). Ačkoliv se jedná o rozložitelný druh vlákna a z hlediska odpadu tak přívětivější variantu, představuje bavlna problém hlavně z hlediska pěstování. Tato rostlina je náročná na velké množství vody, energii a použití hnojiv a pesticidů, proto se v souvislosti s bavlnou hledají metody udržitelnějšího pěstování (Candido 2021). Šetrně vypěstovaná bavlna má na celkové dnešní produkci podíl 27 % a pomocí iniciativ jako je například „Better Cotton“ se usiluje se o zvýšení této hodnoty do roku 2025/26 na 50 % (Textile Exchange 2023).

V zájmu snížit tlak vyvíjený na produkci bavlny se na trhu textilních materiálů zvyšuje zastoupení jiných rostlinných vláken jako je len, konopí, juta nebo bambus. Především len si získává zájem textilních návrhářů a v obchodech lze najít mnoho oděvů z lněného vlákna. Juta a konopí si díky své pevnosti využívají v materiálech, kde je potřebná větší odolnost (Jhanji 2022).

Vlákna živočišného původu zahrnují především vlnu, alpakovou vlnu, kašmír a hedvábí. Vlna má v textilním průmyslu významné postavení díky svým termoizolačním vlastnostem,

prodyšnosti a schopnosti odvádět vlhkost (Le 2018). V celkové globální produkci je však zastoupena pouze z 1 % (Textile Exchange 2023).

3.1.2.2 Syntetická vlákna

Syntetická vlákna jsou uměle vytvořená a je jich mnoho druhů. Mezi ta, která se v textiliích využívají, patří například polyester, nylon, akryl a elastan. Primárním zdrojem materiálu pro výrobu těchto polymerů syntetických vláken jsou fosilní paliva – významné neobnovitelné zdroje (Wang 2010). Pro získání těchto uměle vytvořených vláken je nutné fosilní palivo, jako je ropa, zahřát na vysokou teplotu společně s chemickým katalyzátorem, který pomůže aktivovat procesy polymerizace a polykondenzace. Vzniklá směs se posléze natáhne do dlouhých pramenů vláken. Spalováním fosilních paliv při výrobě se uvolňují skleníkové plyny, které negativně ovlivňují životní prostředí (Lee 2015). Na rozdíl od vláken pocházejících z rostlin se však u syntetických vláken nespotebouvají hnojiva, pesticidy ani insekticidy a také spotřeba vody je výrazně menší.

Na trh se syntetická vlákna dostala ve 20. století jako materiál, který je odolný a pevný (Hawley 2009). Tehdy se textil z umělých vláken vyráběl výhradně z umělých vláken samotných, zatímco dnes se uplatňují jako příměsi k jiným vláknům pro zlepšení některých vlastností, především pro zvýšení odolnosti vůči pomačkání (Nencková 2017).

Mezi syntetická, tedy uměle vytvořená vlákna se řadí i vlákna, které se vyrobila v laboratoři, avšak za použití přírodních materiálů, jako je dřevěná celulóza. Do této kategorie spadá viskóza (známá také jako umělé hedvábí nebo MMC – man-made cellulose), lyocell, modal, acetát a cupro. Například viskóza, která se z těchto vláken využívá nejvíce, se vyrábí z buničiny stromu, což je obnovitelný zdroj, a je tak biologicky odbouratelná. Ovšem vzhledem k její dvojnásobné produkci ve srovnání s rokem 1990 je otázkou, zdali je do budoucna udržitelnější než jiné dostupné materiály. Lyocell se vyrábí z eukalyptové celulózy. Tato rostlina roste rychle a nevyžaduje zavlažování ani pesticidy (Shtukaturova et al. 2022).

Globální spotřeba textilu a s ní související poptávka je enormní a nelze jí tak pokrýt výhradně přírodními vlákny, proto ve složení textilií v současné době dominují syntetická vlákna či směsice přírodních a syntetických vláken. Tento fakt představuje problém hlavně na konci životního cyklu textilu, kdy recyklace a třídění je velmi obtížná (Tojo et al. 2016).

3.2 Environmentální dopad textilního průmyslu

Textilní průmysl je jeden z největších současných zdrojů znečištění (Mishra et al. 2022). Výroba textilních vláken, ať už přírodních či syntetických, vyžaduje nadměrné využívání zdrojů a při dnešní celosvětové produkci, která vzrostla z 5,9 kg/osobu v roce 1975 na 13 kg/osobu v roce 2018, jsou negativní dopady na životní prostředí stále výraznější. Tento růst je výzvou ke změně z hlediska požadavků na přírodní zdroje, regulaci emisí spojených s výrobou a vzniku pevného odpadu (Peters et al. 2019).

Hlavní problémy, kterým textilní průmysl čelí, jsou emise skleníkových plynů v důsledku využívání fosilních paliv při sprádkání přízí a tkaní či pletení tkanin. Dalším významným negativním dopadem na životní prostředí je enormní spotřeba vody. Každoročně se pro výrobu

textilu spotřebuje 93 bilionů kubíků vody. Zároveň 20 % světových odpadních vod pochází právě z procesů užívaných při výrobě a zpracování textilu (Priya 2022), přičemž problém představuje především používání toxických chemikálií při mokrych procesech – hlavně barvení a tisk (Sandin 2018). Výstupem těchto procesů je vyplavování odpadních vod s velkým obsahem chemikálií, jako jsou anorganické soli, barviva a těžké kovy, a nečistoty extrahované z vláken. Tyto odpadní vody mají obvykle vysoké pH a teplotu, jsou silně zabarvené a páchnoucí (Yacout & Hassouna 2016). V neposlední řadě vzniká mnoho odpadu hlavně při výrobě hotových textilních materiálů během procesů jako je vyfukování, kartáčování, vytahování, česání a tkání (Mishra et al. 2022). V posledních letech se také čím dál tím víc zkoumají mikroplasty, které silně souvisí i s textilem kvůli používaným syntetickým vláknům, především polyesteru. Textilní odpad představuje 9 % ročního příbytku mikroplastů v světových oceánech, který se tam dostává skrze odpadní vodu vznikající např. při mytí syntetického textilu (Ruiz 2024). Pro pochopení problematiky environmentálního dopadu textilního průmyslu a odpadu je třeba se zaměřit na státy, se kterými textil úzce souvisí.

Indie je jedna ze zemí, ve které má textilní průmysl velmi silné postavení. Je to hned po zemědělství, které je první, sektor, kde je zaměstnáno nejvíce obyvatel. Textilní výroby tvoří 14 % roční průmyslové produkce a zároveň se z 27 % podílí na celkovém exportu země. Stinnou stránkou této prosperity je zhoršené životní prostředí kvůli přítomnosti spalin, vláknitého prachu, hluku a znečištění vodních těles (Jeyakodi 2006). Příkladem je okres města Tiruppur, které leží v povodí řeky Noyyal a patří mezi významné exportéry oděvů do Evropy a USA. Zde se nachází přes 300 továren na textil a tato skutečnost se odráží nejvýznamněji na kvalitě vody zdejšího toku, kam se vypouští odpadní vody plné barviv, bělidel a čistících prostředků a je tak nevhodná pro lidskou spotřebu i zavlažování, přestože že se jedná o hlavní zdroj vody pro danou oblast a přilehlé okolí. Zjištěna byla i nadměrná přítomnost těžkých kovů – především mědi, olova a kadmia, které představují nebezpečí pro lidské zdraví a vodní ekosystém (Krishnaraj & Elangovan 2022). Naměřená silně zvýšená hodnota olova může způsobit poruchu centrální nervové soustavy a může vést až k paralýze. Z rostlinného hlediska zase zavlažování takovou vodou způsobuje akumulaci olova v půdě, které ve zvýšené koncentraci negativně ovlivňuje vegetaci a rostliny vypěstované v takovém prostředí nejsou vhodné ke konzumaci (Babu et al. 2017).

3.3 Nakládání s textilním odpadem

Každý textilní kousek má svoji životnost a jak s ním správně naložit je se stále vzrůstajícím množstvím odpadu téma, které se dostává více do popředí. Ročně se celosvětově vyprodukuje 92 milionů tun textilního odpadu, přičemž toto číslo již několik let stále roste (Ruiz 2024). V Evropské unii činí textilní odpad zhruba 5,8 milionů tun ročně a pouze 1,5 milionů tun (25 %) je recyklováno. Zbývající část je ukládána na skládku nebo spalována (Rapsikevičiene et al. 2019). Správné nakládání s odpady je klíčovým nástrojem k minimalizaci vznikajících odpadů a zlepšení stavu životního prostředí (Yacout & Hassouna 2016).

3.3.1 Legislativa a plán odpadového hospodářství v České republice

V České republice se ročně vyhodí přibližně 180 tisíc tun textilu a tvoří 3-4% podíl v černých popelnicích. Odpady vymezuje v české legislativě nově upravený Zákon č. 541/2020 Sb. – Zákon o odpadech, který je účinný od 1.1. 2021. Významnou změnou v nakládání s textilním odpadem v České republice bude povinný sběr textilu, který začne platit od roku 2025. Motivací k této iniciativě je snížení množství starého oblečení, bot a bytových textilií, které ve značné míře končí v černých kontejnerech a posléze na skládkách. Pro obce bude platit povinnost zřídit místo na odběr nepotřebného textilu a obuvi. Díky tomuto kroku bude možné textil jednodušeji separovat a tím ho i efektivněji recyklovat. Současně bude nutné občany více edukovat a motivovat v oblasti minimalizace odpadu a efektivního třídění, aby lidé viděli za změnami smysl a aktivně je praktikovali (MŽP 2023).

Další významná změna, která dle nového zákona bude od 1. 1. 2030 platit, je zákaz pro provozovatele skládky ukládat odpady, které lze za stávajícího stavu vědeckého a technického pokroku možné účelně recyklovat. Toto ustanovení platí i pro textil, neboť se jedná o recyklovatelný materiál (Zákon č. 541/2020 Sb. o odpadech).

Textil je rovněž vhodný pro systém rozšířené odpovědnosti výrobce neboli EPR (Extended Producer Responsibility). Jedná se o nové environmentální nařízení EU, které přenáší na výrobce zodpovědnost za vyrobený produkt až do konce jeho životnosti. Výrobce je povinen se podílet na financování za další nakládání s ním včetně nákladů na recyklaci a jiné zpracování. Ministerstvo životního prostředí je ve fázi prověřování možných variant, které by umožnily sběr textilu přímo v prodejních místech (MŽP 2023; Juanga-Labayen et al. 2022).

3.3.1.1 Hierarchie odpadového hospodářství

Odpadovým hospodářstvím se rozumí činnost zaměřená na předcházení vzniku odpadu, na nakládání s odpadem, na následnou péči o místo, kde je odpad trvale uložen, zprostředkování nakládání s odpady a kontrola těchto činností. Odpadové hospodářství je založeno na hierarchii odpadového hospodářství (Zákon č. 541/2020 Sb. o odpadech). Tak jako pro jakýkoliv jiný druh odpadu platí i pro textil hierarchie nakládání s odpady, která má tento sled:

1. Předcházení vzniku odpadů
2. Příprava k opětovnému použití
3. Recyklace odpadů
4. Jiné využití odpadů
5. Odstranění odpadů

Tato hierarchie informuje o tom, jak by lidé měli v ideálním případě k odpadům přistupovat, přičemž každý má dle § 12 Zákona o odpadech povinnost při své činnosti zodpovědně nakládat s odpady a dle možnosti jim předcházet či je omezovat. Na prvním místě je v hierarchii samotné předcházení vzniku odpadu, kdy v případě textilu je žádoucí se sám sebe před koupí ptát, zdali ten nový kus oblečení opravdu potřebuji a existují-li ekologičtější varianty, kdy potřebný oděv lze sehnat například z druhé ruky. Druhým bodem je příprava odpadů k opětovnému využití a jedná se o třídění odpadu. Již nechtěný leč stále použitelný či

nositelný textil je vhodné vhodit do sběrných textilních kontejnerů. Třetí je v hierarchii recyklace, která probíhá ve speciálních zařízeních. Procesy zde probíhající proměňují vytríděný odpad v druhotné suroviny. Jiné využití odpadu zahrnuje především energetické využití, kdy dochází k výrobě tepla nebo elektrické energie. Poslední v hierarchii, a tedy nejméně žádoucí, je skládkování odpadu. Na skládkách končí veškerý směsný komunální odpad včetně vyhozených textilií (Samosebou 2021; Portál ŽP hl. m. Prahy 2019).

3.3.2 Skládkování a spalování

Během let 2000 a 2014 se produkce textilu zdvojnásobila. Lidé kupují o 60 % více, ale oblečení unosí o polovinu méně času než dříve (UNECE 2018). Skládkování a spalování jsou celosvětově nejběžnější způsoby nakládání s textilním odpadem (Rapsikevičiene et al. 2019), a tak většina nadměrné spotřeby skončí právě na skládkách nebo ve spalovnách. Z hlediska vlivu na životní prostředí způsobuje skládkování především velké emise methanu. Spalováním vznikají vysoce toxické škodliviny, a to oxid uhelnatý, sulfan, oxid siřičitý, amoniak, dioxiny a furany. V popelu je navíc vysoký obsah těžkých kovů – arsen, kobalt, chrom apod. (Kepák 2005). Oba procesy vyžadují fosilní paliva – u spalování během procesu hoření a u skládkování během přepravy a manipulace (Yacout & Hassouna 2016). Problém, který také skládkování nebo spalování textilu představuje, je potenciální kontaminace prostředí uvolňováním detergentů, barviv, pigmentů či rozpouštědel, které se mohou dostávat do ovzduší spalováním nebo skrze skládkové výluhy do půdy. Z těchto látek nejvíce potenciálně toxické jsou barviva a pigmenty, protože při procesu barvení látek je až 70-90 % barviv absorbováno vláknem (Shtukaturova et al. 2022). Spalování má oproti skládkování výhodu, že při něm dochází k redukci objemu odpadu a jeho výhřevnost se dá využít pro energetické účely. Při řádném čištění spalin a zacházení s popelem jako s nebezpečným odpadem se dá do určité míry zamezit kontaminaci životního prostředí (Kepák 2005).

Veškerý textilní odpad, který lidé vhodí do černého kontejneru na směsný komunální odpad, skončí buď ve spalovně nebo na skládce. Česká republika patří mezi země, kde se ve srovnání s ostatními členskými státy EU nadměrně skládkuje, zatímco tendence je se od tohoto způsobu nakládání s odpady spíše odklánět. V roce 2021 se 46,9 % komunálního odpadu uložilo na skládky. Do spaloven bez energetického využití šlo pouze 0,1 % odpadu, jedná se tedy o méně významnou složku (ČSÚ 2022). V případě textilu se spaluje či skládkuje mnohem větší množství průmyslového textilního odpadu než textilního odpadu z domácností. Přístup fabrik je však k výrobě poměrně zodpovědný. Pokud se textilní odpady nedají využít za výroby, firmy je označují jako vedlejší produkty a následně je předávají k dalšímu textilnímu zpracování (například odřezky z výroby košil se stávají součástí koberců). V důsledku toho je průmyslový odpad, který je následně buď skládkován nebo spalován, skutečně odpadem, pro který v současné době neexistuje adekvátní technologie na jeho recyklaci či zpracování (Shtukaturova et al. 2023).

Pro legální skládky platí v ČR přísná pravidla provozu, kdy mezi základní ustanovení patří například, že nesmí ohrožovat zdraví obyvatel a životní prostředí. Dále platí, že se skládky smí stavět pouze v místech s vhodným podložím, aby se předešlo prosakování do okolí, a musí být dobře zaizolované pomocí speciálních fólií, geotextilií nebo vrstev jílu. Textil spadá pod

tzv. skládky pro ostatní odpad, kterých je u nás kolem 170, a kam se ukládá odpad, který není nebezpečný. Tyto skládky jsou rovněž zabezpečeny zařízeními jímající plyn pro zamezení úniku znečišťujících látek (Samosebou 2021).

V souvislosti s novou legislativou se dá předpokládat, pakliže se podaří zavést efektivní systém včas, že do stanoveného roku 2035 opravdu dojde ke snížení odpadu putujícího na skládky, a tak i výrazně menší množství textilního odpadu skončí nevyužito. Na skládky se tak dostane pouze textil ve velmi špatném stavu, který je nevyužitelný a nerecyklovatelný.

3.3.2.1 Skládky s oblečením v zahraničí

Velký problém představují velké zahraniční skládky, kam se sváží neprodané či nepotřebné oblečení z celého světa. Titul největšího světového dovozce použitých oděvů drží africký stát Ghana, který každý týden importuje přibližně 15 milionů kusů. Průměrně je v balících oblečení asi 40 % klasifikováno jako odpad, tedy textil je v nepoužitelném stavu. Denně to vede k likvidaci 100 tun oblečení, realisticky je však země schopna zpracovat pouze 30 %, zbylých 70 % se spaluje v okolí nebo ukládá na nelegální skládky a způsobuje tím ekologické i sociální škody (The Borgen Project 2023). Importované oblečení se lokálně přeprořádává a končí na second-hand trzích, jako je například trh Kantamanto v okrese Accra, který zaměstnává okolo 30 000 lidí. Prodávající jsou zde na tomto zdroji příjmu závislí, avšak značná část kusů bývá zašpiněná, potřhaná či propocená, a tudíž dále neprodejná. Problém představuje také množství dovezeného textilu, které za poslední roky s přibývajícím trendem rychlé módy stoupl a je pro zdejší prodejce neudržitelné. Textil vyhodnocený jako odpad, které město nestihne zpracovat, končí na okraji města na nelegální skládce ležící blízko moře. V některých úsecích dosahuje tato skládka výšky 20 metrů. V její blízkosti se nachází laguna Korle, jejíž zakalená voda a břehy lemované odpady včetně vyhozeného textilu jsou nepříjemným odkazem nynější špatné odpadové situace. Textil do laguny uvolňuje barviva a v případě syntetických vláken i mikroplasty, což negativně ovlivňuje populace i zdraví ryb a ostatních mořských živočichů (Johnson 2023).

Další země, ve které se zdejší lidé i příroda potýkají s problémem nadměrného množství textilního odpadu je jihoamerický stát Chile. Zde, v jednom z nejsušších míst na světě, poušti Atacama, se nachází rapidně rostoucí skládka oblečení, která je jakýmsi suchozemským ekvivalentem velké tichomořské skvrny (Bartlett 2024). Ročně se sem doveze přes 60 000 tun textilu a oblečení z Evropy, Severní Ameriky a Asie, které v poušti tvoří nikoliv písečné, ale textilní duny (Papamichael et al. 2022). Importuje se do přístavu ve městě Iquique, které bylo zřízeno v roce 1975 s cílem zlepšit lokální ekonomickou situaci. Chile se tak postupně stala jedním z největších textilních importéru a stále se drží na prvních příčkách. Ekonomika oblasti vzrostla a zdejšími lidmi stoupla životní úroveň. Obdobně jako v Ghaně se ale množství textilu pro zpracování v průběhu několika let stalo neudržitelné a přebytek se začal svážet na nejjednodušší odkladní místo – do pouště Atacama. Shromažďuje se zde oblečení všech známých módních značek, běžných, ale i těch luxusnějších, přičemž mnohé kusy mají stále připevněné prodejní cedulky (Bartlett 2024). Velká část textilu se dnes vyrábí ze syntetických vláken, především polyesteru, který se rozkládá minimálně 200 let. V těchto extrémně suchých pouštních podmínkách je pak rozklad ještě pomalejší, zatímco odhozeného oblečení

každoročně přibývá. Ve vzduchu v obci Alto Hospicio, která sousedí s Iquique, se tak často zvedá černý toxický kouř a okolím se šíří silný ropný zápach vznikající zapalováním hromad syntetických textilií, které se provádí s cílem se textilu zbavit. Během jednoho z velkých požárů v roce 2021 se spálilo až 11 000 tun oblečení (Alarcón & Shipley 2024). V roce 2020 byla zřízena chilská společnost Ecocitex, která reaguje na problém pouštní skládky snahou textil recyklovat. Měsíčně firma zrecykluje 5,4 tun textilního odpadu bez použití chemikálií. Ecocitex pracuje v kolaboraci s korporací bývalých odsouzených žen Abriendo Puertas, které odstraňují z textilu ostatní elementy, jako jsou knoflíky a štítky, a zároveň třídí textil dle barev, aby se při následné recyklaci vyvarovalo dalšímu barvení. Pro výraznější zlepšení situace bude ale nutný asertivnější zásah vlády Chile a změnu na legislativní úrovni (Pérez et al. 2022).

3.3.3 Znovupoužití a sběrné kontejnery

Opětované použití představuje nejšetrnější způsob předcházení vzniku odpadů, které může potenciálně snížit množství nově vyrobených textilních výrobků a zmírnit tak environmentální dopad textilního průmyslu. Principem je prodloužení životnosti produktu nejčastěji prostřednictvím půjčování, přeprodeje, bleších trhů, second-hand obchodů a charitativních sběrů (Juanga-Labayen et al. 2022). Průmyslové, domácí oděvní a neoděvní textilie jsou nejvíce vhodné kategorie pro potenciální znovupoužití a znovuvyužití za předpokladu, že jsou to celé kusy v neponičeném stavu (Shtukaturova et al. 2023).

Síť velkých kovových kontejnerů, kam lze vytrídít textil, se stále rozrůstá. Mezi velké zpracovatelé použitého textilu v ČR patří Diakonie Broumov, Potex, Dimatex a TextilEco. Do kontejnerů lidé mohou vhodit již nepotřebné oblečení, textil, obuv i doplňky v suchém stavu a bez známek velkého opotřebení, aby se oděv dal dále nosit. Vše musí být zabaleno v pytli nebo igelitové tašce (Třídění odpadu.cz 2024). Do kontejnerů nepatří mokrá a špinavý textil, koberce, peřiny, polštáře ani spacáky – tyto předměty by se v ideálním případě měly odkládat na sběrný dvůr. Hlavním cílem provozovatelů sběrných kontejnerů je vhozené textilní produkty shromáždit, vytrídít a poslat znovu do oběhu s tím, že se upřednostňuje charitativní využití, kdy se textil dostane do rukou těch, který ho potřebují a nemohou si ho dovolit. Charitativně-ekologický projekt Potex provozující sběrné kontejnery tímto způsobem v roce 2023 vrátil do oběhu 2 323 tun textilu (Potex 2024). Společnost Dimatex vedle podpory charit nabízí z vysbíraných textilií bavlněné čisticí hadry a textilní kompozit zvaný Retextil vyrobený z recyklovaného textilu a plastu, který je jako materiál pevný, mechanicky odolný a snadno truhlářsky opracovatelný (Dimatex 2020). Občanské sdružení Diakonie Broumov působí už od roku 1993 a skloubilo ochranu životního prostředí s poskytováním sociálních služeb. Na svozu a manipulaci se podílejí lidé z okraje společnosti, kteří tak mají možnost se lépe začlenit do společnosti. Materiál z kontejnerů se sváží do Broumova, kde je hlavní třídící pracoviště a podle požadavků je dál distribuován do výdejních středisek a poskytuje se tak materiální pomoc sociálně potřebným (Diakonie Broumov 2010).

Sběrné kontejnery jsou významné z důvodu, že se snaží minimalizovat použitelný textil na skládkách a pomáhají předcházet vzniku odpadů. Pravdou ale je, že množství textilního odpadu je stále mnohem větší než poptávka po něm. Vytríděné nezužitkované oblečení se pak dále přeprodává do jiných zemí. Ačkoliv svůj smysl mají, sběrné kontejnery nejsou

univerzálním řešením, které by dokázalo zpracovat veškerý textilní odpad. Velká změna je potřebná především u nás lidí, spotřebitelů, kteří mají možnost kupovat méně (Tříděníodpadu.cz 2024).

3.3.4 Recyklace

Jedna z variant nakládání s textilním odpadem, která je efektivní z hlediska snížení množství odpadů na skládkách a ve spalovnách, je recyklace, jejíž podstatou je proměna odpadu v produkt (Wang 2006). Jedná se o žádaný způsob využití textilního odpadu, který je však v některých aspektech komplikovaný. Celosvětově se recykluje jen 1 % (Ruiz 2024). Velkou překážkou vedle finanční náročnosti je zde složení textilií a ten fakt, že na trhu čím dál tím víc převládají látky vyrobené ze směsi rozdílných druhů vláken (Candido 2021). Běžným materiálovým mixem je bavlna s polyesterem, protože tato kombinace je levná, odolná a při praní si zachovává svou barvu (Östlund 2015). Na první pohled není rozeznatelné, jestli je textilie homogenní nebo s příměsí, tedy heterogenní, a někdy také nemusí být jasné, zdali jde o přírodní nebo umělé vlákno. Štítky s informacemi o druhu použitých vláken spotřebitelé často odstřihávají nebo dochází k jejich seprání a nečitelnosti, proto je proces recyklace komplikovaný již na začátku (Shtukaturova et al. 2023). Textilie navíc často podléhají úpravám pro získání specifických žádaných vlastností jako je např. voděodolnost nebo nehořlavost a přítomnost použitých chemikálií také proces recyklace znesnadňuje (Soldatova 2022). Důležité je rovněž brát ohled na energetickou náročnost některých recyklačních procesů, které použitím chemikálií a využitím energie k pohonu strojů mohou ve finále způsobovat značné emise a znečištění. Příkladem takového procesu je chemická recyklace bavlny na lyocell, která spotřebovává více energie než vypěstování bavlny. V zájmu recyklačních center je však upřednostňovat procesy, které nejsou energeticky tolik náročné (Wang 2006; Östlund 2015). Recyklace má svůj nepostradatelný význam, protože přistupuje k odpadu, kterého stále přibývá, jako k využitelnému materiálu a v porovnání s výrobou nového textilu využívá podstatně méně vody. Z ekonomického hlediska, které je pro země exportující textil důležité, vytvářejí recyklační centra nová pracovní místa – při potenciálním zániku textílek z důvodu menší poptávky se zaměstnanci mohou pouze přesunout jinam a nepřijdou tak o své živobytí (Ütebay et al. 2020).

Se stoupajícím povědomím o současném stavu textilního průmyslu a množství textilního odpadu se i mezi spotřebiteli objevuje větší zájem o textilní produkty z recyklovaného materiálu a firmy jsou tak motivovány hledat adekvátní řešení a implementovat recyklaci do svých výrobních procesů (Ütebay et al. 2020).

3.3.4.1 Typy recyklačních procesů

Recyklaci můžeme klasifikovat dle různých kritérií. Obecně rozlišujeme dva hlavní typy recyklace – mechanickou a chemickou. Mechanická recyklace je jednodušší a spočívá v rozkládání odpadu pro jiné než původní využití, nejčastěji pro dekorační, stavební, zemědělské a zahradnické účely. Typickým příkladem je využití textilního odpadu k výrobě izolačních desek. Mechanická recyklace zahrnuje tzv. *down-cycling* procesy, které dávají vláknům druhý

život, ale jsou nižší kvality. Chemická recyklace zahrnuje procesy regenerace textilního odpadu na zcela nová vlákna tavením syntetických polymerní vláken (např. polyester, polyamid a akryl) a rozpouštěním bavlněných vláken a umělých vláken na bázi celulózy (viskóza, lyocell, modal), přičemž výstupem mohou být vlákna kvalitou srovnatelné se vstupními materiály, a to hlavně u vláken syntetických. Extrahovaná vlákna, které jsou na bázi proteinů, se dají také využít na výrobu lepidel a buněčná vlákna pro výrobu bioethanolu. Kvůli tomu, že se rozpouštění a tavení od sebe silně liší je smíšená textilie jako bavlna-polyester náročná na chemickou recyklaci a pro tyto procesy se hodí pouze homogenní textilie (Juanga-Labayen et al. 2022; Östlund 2015).

Další způsob klasifikace pohlíží na povahu procesů a úroveň rozložení materiálů, kdy se recyklační technologie se rozdělují na primární, sekundární, terciární a kvartérní přístupy. Primární přístupy zahrnují proces recyklace materiálu zpět do jeho původního stavu. Sekundární recyklace znamená tavení plastového materiálu do nového produktu nižší kvality. Terciární recyklace se týká procesů, které přeměňují plastový odpad na základní chemikálie nebo palivo, nejčastěji pomocí pyrolýzy a hydrolýzy. Kvartérní recyklace zahrnuje spalování vláknitých pevných odpadů a jejich přeměnu na zdroj energie využívající vygenerované teplo (Wang 2006). Nejúčinnější jsou primární přístupy, které jsou aplikovatelné pouze na syntetická vlákna, neboť jsou snadno zpracovatelná. V tomto případě se získá odhozený textilní odpad a získá se z něj materiál pro výrobu nové znovupoužitelné přize. Přírodní vlákna se ve srovnání s vlákny umělými více opotřebovávají, vlákna se stávají kratšími a jejich využití je tím omezené. Pomocí hrubého rozvolňování se velké kusy trhají na menší a dále se třídí podle kvality a složení pro další zpracování. V textilním průmyslu lze takto získané recyklované materiály použít jako jednu ze složek pro výrobu papíru nebo lepenek, jako výplň v čalounictví nebo ve zmiňovaných izolačních materiálech (Ütebay et al. 2020; Nencková 2017). Aby recyklovaná textilní vlákna měla srovnatelnou kvalitu se vstupním materiálem musí se sprádat společně s novými vlákny (Östlund 2015).

Recyklaci stojí v cestě dnešní velké zásobením obchodů levnými materiály a produkty, které vytvářejí demotivující prostředí pro potřebný výzkum a technologické inovace, aby se recyklační procesy staly výhodnějšími a tím i rozšířenějšími. Už teď ale na trhu lze nalézt textil označený některou z certifikačních značek garantující výrobek z recyklovaných materiálů na základě určeného standardu. Neziskové organizace, který se tímto druhem certifikace zabývají, jako například The Forest Stewardship Council (FSC) a The Federal Trade Commission (FTC), se také snaží šířit povědomí o stavu textilního průmyslu a motivovat textilní společnosti k udržitelnějším přístupům (Ütebay et al. 2020). V České republice se podobným tématem zabývá Asociace recyklace použitého textilu, jejímž hlavním cílem je podpora separace, sběru, využití a recyklace použitého textilu. Mimo jiné se asociace snaží prosadit zavedení recyklačního poplatku při nákupu textilních výrobků, aby prodejci měli z čeho recyklaci financovat (Aretex 2021).

V rámci inovativních recyklačních procesů vyvinula například švédská společnost Renewcell vlastní zajímavou metodu recyklace, při které se z textilního odpadu s vysokým podílem celulózy vyrábí textilní buničina. Plánem bylo zpracovávat opotřebený textil získaný z prádlen, nemocnic, hotelů a průmyslový textilní odpad (Östlund 2015). Principem zjednodušeně bylo skartování a rozpouštění textilií na kaši, kdy se následně se suspenze vysušila a výsledný materiál v podobě rozpuštěné buničiny mohly odběratelé využít k výrobě vláken a přizí pro své výrobky. Za svou dobu působení firma stihla několik kolaborací se

známými módními značkami, které vydaly kolekce vyrobené právě z této recyklované buničiny. Renewcell taktéž v roce 2023 vyhrála ekologickou cenu mezinárodní organizace Severská rada za průkopnické řešení problému nakládání s textilním odpadem (Carstad 2023). Z důvodu neschopnosti zajistit dostatečné financování musela však společnost v únoru 2024 vyhlásit bankrot. Je bohužel patrné, že dobrá myšlenka nestačí a módní průmysl musí projít značnými změnami, aby se podobné firmy na trhu udržely (Renewcell 2024).

3.3.5 Kompostování a vermikompostování

V případě textilního odpadu z přírodních vláken lze uvažovat o alternativní možnosti jeho rozložení pomocí kompostování a vermikompostování. Přírodní vlákna jsou organického původu a díky tomu jsou i biologicky rozložitelná.

Kompostování je přirozená přeměna rozložitelných organických produktů a odpadů na stabilní produkty pomocí činnosti převážně aerobních mikroorganismů a hub. Je to bezpečný a šetrný způsob nakládání s organickými odpady, při kterém vzniká přírodní hnojivo. Nevýhodou kompostování je zápach a produkce skleníkových plynů jako je oxid uhličitý, oxid siřičitý a oxid dusičitý (Ayilara et al. 2020). V první fázi, kdy se rozkládají polysacharidy, bílkoviny a tuky, se uvolňuje teplo, které zrající kompost zahřívá na teplotu 50–65 °C. Během této fáze se na rozkladu lignocelulózové hmoty podílejí i termofilní houby. Hromadění organických kyselin v důsledku těchto hydrolyzních procesů vede ke zvyšování kyselosti substrátu. V další fázi teplota klesá na 40–45 °C. Dochází ke změně ve složení mikroorganismů, vznikají humusové látky a odpady jsou od původní formy nerozeznatelné. Kompost postupně během dozrávání získává svou hnědou barvu, přibývá podíl humusových látek a klesá kyselost substrátu. Důležité pro vyvarování se hnití je kompost provzdušňovat – to se provádí nejčastěji překopáváním, tlakovou aerací nebo odsáváním oxidu uhličitého přes vzdušný filtr. Provzdušňování zajišťuje rychlejší zrání (Váňa 2002).

Pokročilejší formou kompostování je vermikompostování, které navíc využívá pro rozklad žížaly, které zároveň z velké části zajišťují překopávání, fragmentaci a aeraci. Na rozdíl od kompostování nezahrnuje termofilní fázi rozkladu. Vermikompost je bohatý na živiny, obsahuje velmi kvalitní humus a rostlinám prospěšné látky a enzymy. Pro optimální průběh vermikompostování je nutné zajistit vhodné podmínky pro žížaly. Důležitý je dostatek biologického odpadu, vlhké prostředí, ideální teplota okolo 20 °C, dostatečná míra provzdušnění a obsah solí do 0,5 %. Existují různé typy technologických systémů vermikompostování od jednoduchých malých domácích zařízení až po složité dvoumodulové vermireaktory (Hanč & Plíva 2013). Žížaly mohou zkonsumovat cokoli organického a za den jsou schopné sníst přibližně polovinu své tělesné váhy v závislosti na úrovni rozložení dodaného jídla (Munroe 2007).

Ani jedna z těchto metod není vůbec běžná pro nakládání s textilním odpadem, přestože se jedná o vhodnou a přírodě blízkou alternativu (Juanga-Labayen et al. 2022). Aby se kompost a vermikompost dal použít pro rozložení textilie je nutné, aby byla látka čistě z přírodních vláken, zatímco dnes převažují látky smíšené a syntetické, a nesmí být barvena, bělena ani čištěna za použití toxických chemikálií (Arshad et al. 2014). Jejich přítomnost by kromě negativního vlivu na žížalu zdegradovala kvalitu vznikajícího kompostu.

4 Materiály a metodika

V praktické části bakalářské práce byla sledována rozložitelnost textilu z přírodních vláken, konkrétně bavlny, viskózy a lnu, a to pomocí kompostování a vermikompostování. Rovněž byla hodnocena kvalita kompostu a vermikompostu z hlediska požadovaných normových hodnot a platné legislativy. Pokus probíhal v prostorách výzkumné a pokusné stanice FAPPZ (Fakulty agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů) v Červeném Újezdě. Část vzorků byla vždy odebrána po 2, 3 a 4 měsících. Následná analýza odebraných vzorků probíhala v laboratořích v prostorách fakulty. V této bakalářské práci byly sledovány vzorky odebrané po 3 měsících od založení pokusu, tedy 2. odběr.

4.1 Původ a druh vzorků

Vzorky látek, které byly během pokusu sledovány, pocházely od české firmy PRO LEN s.r.o. Jednalo se o vzorky výhradně z přírodních vláken a textilie byly vyrobeny s použitím certifikovaných chemikálií, aby byla zaručená nízká toxicita.

Kousky látek byly vždy promíchány se substrátem. V rámci pokusu byly založeny 3 kompostovací varianty a 3 varianty vermikompostování, přičemž každá varianta obsahovala všechny 3 typy látek – viskózu, bavlnu a len, a to ve třech opakováních. Kompostovací i vermikompostovací varianta zahrnovala každá i kontrolní varianty. Celkem bylo vytvořeno 132 vzorků, aby byly vzorky pro každý odběr pro čas 2, 3 a 4 měsíce.

Druhy vzorků:

- Děrované zatavené obálky s 10 g suchého textilu uložené v děrovaných schránkách v kompostovacích sudech (3×9) a vermikompostovacích miskách (3×9)
- Perforované baňky s 50 g substrátu a 1 g textilu v děrovaných bednách s kompostem (3×9) a vermikompostem (3×9)
 - Bedny, do kterých byly baňky uloženy, byly s přidavkem malých namočených kousků 4×4 cm textilu zvláště pro viskózu, bavlnu a len
- Perforované baňky se substrátem bez textilu do kontrolních variant pro kompost (9) a vermikompost (9)
- ½ kusu namočeného oblečení z viskózy, bavlny a lnu v bednách s kompostem (3) a vermikompostem (3) (*knoflíky a lemy byly odstraněny*)

4.2 Analýza vzorků

4.2.1 Stanovení pH a měrné elektrické vodivosti

Do 100 ml plastových třepacích baněk bylo naváženo 8 g čerstvého substrátu a poté se do nich přidalo 40 ml demineralizované vody. Baňky se suspenzí se 10 minut třepaly a následně bylo pomocí pH metru změřeno jejich pH.

V návaznosti na měření pH se vzorky připravily ke stanovení měrné vodivosti. 20 ml suspenze se navážilo do kónických zkumavek, které se poté umístily do centrifugy, kde se po

dobu 10 minut a při rychlosti 4000 otáček odstředovaly. Následně se pomocí konduktometru změřila hodnota měrné elektrické vodivosti.

4.2.2 Stanovení spalitelných látek a přítomnosti prvků

Perforované baňky s kousky textilu se nejdříve vysušily v sušárně, aby byly zbaveny vody. Poté byl v jednotlivých perforovaných baňkách zjištěn poměr hmotnosti textilu ku hmotnosti substrátu. Tento poměr se zachoval, přičemž celková navážka do tepluvzdorných baněk činila 2 g od každého vzorku. Tepluvzdorné kádinky se pak přikryly hodinovými sklíčky a umístily na plotnu, kde se odpařovaly 1 h při 160 °C, 1 h při 220 °C, 1 h při 280 °C a 1 h při 350 °C. Po uplynutí poslední hodiny se kádinky přendaly do muflových pecí, kde se nechaly přes noc postupně péct až na maximální teplotu 500 °C. Další ráno se kádinky vyndaly, nechaly vychladnout a poté zvažily pro zjištění hmotnosti spalitelných látek.

V návaznosti na předešlý postup se do každé kádinky se spálenými vzorky přidaly pomocným dávkovačem 2 ml 100% kyseliny dusičné a vzniklé roztoky se nechaly odpařovat na plotně na 120 °C přibližně 1,5 h v zavřené digestoři. Po odpaření se umístily do muflové pece na 500 °C po dobu 1 h. Po vychladnutí se do každé kádinky pomocí stříčky přidalo malé množství 1,5% roztoku kyseliny dusičné. Za krouživých pohybů se kádinky po jednom přidržely v ultrazvukové lázni, aby došlo k odlepení usazeniny. Obsah kádinky se poté převedl do očíslované 50 ml zkumavky a její obsah se doplnil stříčkou po rysku. Ve vzorcích v připravených a očíslovaných zkumavkách se analyzovaly obsahy prvků na přístroji OES-ICP (optický emisní spektrometr s indukčně vázaným plazmatem).

5 Výsledky

5.1 Rozložitelnost textilu

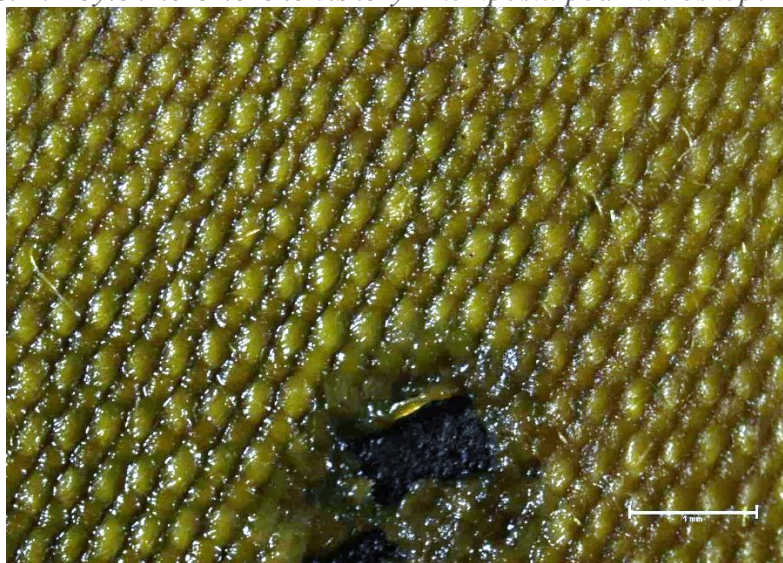
V rámci části pokusu s obálkami uloženými v kompostovacích sudech a vermikompostovacích miskách došlo k úplnému rozložení všech třech druhů textilií u variant s vermikompostem. Z Tab. č. 1 lze vidět, že u kompostovacích variant, kde byly nějaké zbytkové textilie, je rozložitelnost menší, ale stále velmi vysoká, přičemž jako nejlépe rozložitelný vyšel len. Z obrázků z mikroskopu lze vidět proces rozkladu zbytků textilu.

Tab. č. 1: Rozložitelnost textilií v kompostu a vermikompostu

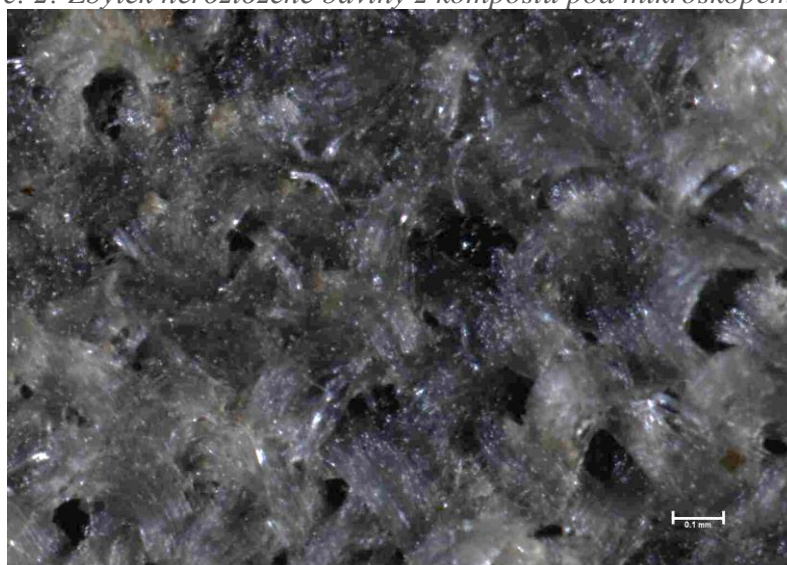
KOMPOSTOVÁNÍ		VERMIKOMPOSTOVÁNÍ	
Textil	rozložitelnost	Textil	rozložitelnost
Viskóza	91,17 % ± 1,96 %	Viskóza	100,00 %
Bavlna	90,37 % ± 5,79 %	Bavlna	100,00 %
Len	97,43 % ± 1,94 %	Len	100,00 %

Hodnoty vyjadřují průměry a směrodatnou odchylku

Obr. č. 1: Zbytek nerozložené viskózy z kompostu pod mikroskopem (80x)



Obr. č. 2: Zbytek nerozložené bavlny z kompostu pod mikroskopem (80x)



Obr. č. 3: Zbytek nerozloženého lnu z kompostu pod mikroskopem (6,3x)



U kusů oblečení, které se rozkládaly v kompostovacích a vermikompostovacích bednách se ve většině případů převážná část rozložila. Zcela rozložený byl kus bavlny v kompostu, který se v bedně nenašel, ani jeho zbytek. Kus bavlny ve vermikompostu byl plně rozložený již po 2 měsících při 1. odběru. U zbytků lnu u kompostovací i vermikompostovací varianty lze vidět, že nerozložené zatím zůstaly hlavně švy a místa, kde byla látka zdvojená.



Obr. č. 4 (vlevo): Zbytek lnu z kompostu a Obr. č. 5 (vpravo): Zbytek lnu ve vermikompostu

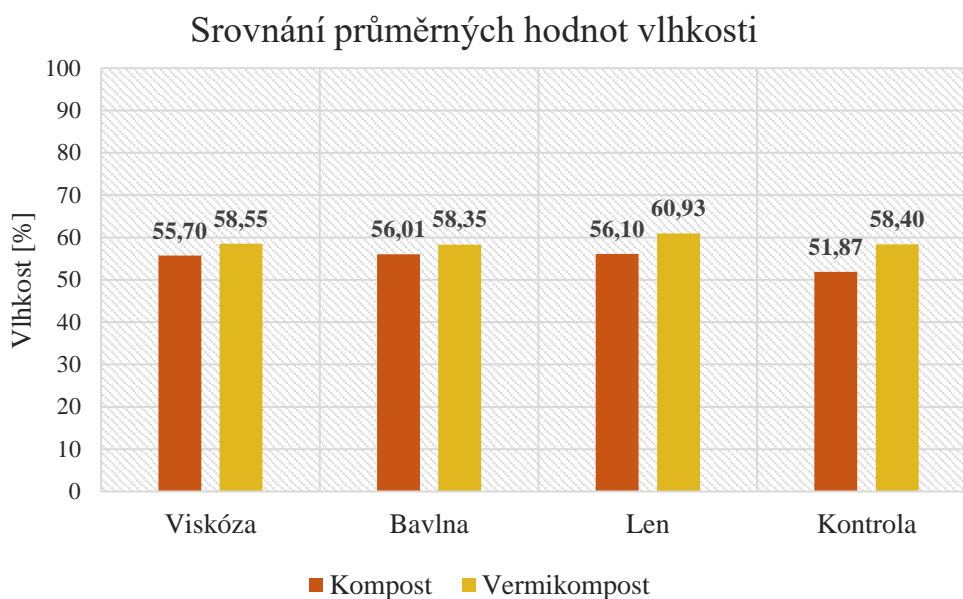
Podobně na tom byla i viskóza, kde zůstaly nerozložené nitě ze švů. Je také možné, že tyto nitě nejsou z přírodních vláken.



Obr. č. 6: Nerozložené části viskóзовé látky v kompostu

5.2 Vlhkost

Nejvyšší průměrná vlhkost 60,93 % byla zaznamenána u substrátu bez žížal se lnem. Nejnižší hodnota 51,87 % byla u kompostové kontrolní varianty. Jak jde názorně vidět v Grafu č. 2, substrát bez žížal dosahoval ve všech případech o trochu větší vlhkosti než kompost. Z hodnot lze vyčíst, že obě varianty se lnem mají větší hodnotu vlhkosti než zbylé varianty, což může být způsobené velkou nasáklivostí tohoto druhu textilu.



Graf č. 2: Srovnání průměrných hodnot vlhkosti kompostu a vermikompostu

5.3 Hodnoty pH a měrné elektrické vodivosti

Zjištěné hodnoty pH uvedené v Tab. č. 2 a 3 vyšly u kompostu i vermikompostu velmi podobně s tím, že průměrně byly u vermikompostu nepatrně vyšší. Celkově se hodnoty pohybovaly okolo pH 9, prostředí je tedy mírně zásadité. Největší naměřené pH 9,30 bylo u vermikompostu v miskách s viskózou a nejmenší bylo pH 9,00 v sudech u schránek s bavlnou. Z hodnot není patrné, že by některý druh textilu měl zásadní vliv na pH prostředí v porovnání s ostatními.

Tab. č. 2: Hodnoty pH kompostu

SUDY		BEDNY	
Textil	pH	Textil	pH
Viskóza	9,12 ± 0,12	Viskóza	9,14 ± 0,04
Bavlna	9,00 ± 0,18	Bavlna	9,17 ± 0,08
Len	9,04 ± 0,05	Len	9,11 ± 0,19
		Kontrola	9,19 ± 0,03

Hodnoty vyjadřují průměry a směrodatnou odchylku

Tab. č. 3: Hodnoty pH vermikompostu

MISKY		BEDNY	
Textil	pH	Textil	pH
Viskóza	9,30 ± 0,06	Viskóza	9,23 ± 0,13
Bavlna	9,27 ± 0,11	Bavlna	9,19 ± 0,05
Len	9,29 ± 0,01	Len	9,21 ± 0,04
		Kontrola	9,07 ± 0,07

Hodnoty vyjadřují průměry a směrodatnou odchylku

Z Tab. č. 4 a 5 je patrné, že rozdíly mezi naměřenými hodnotami měrné elektrické vodivosti nejsou velké a samotné hodnoty se drží nízko, což naznačuje malý obsah solí. Z Tab. č. 4 vidíme, že největší hodnoty 1,75 mS/cm dosáhla viskóza ve vermikompostovacích miskách. Při srovnání hodnot kontrolních variant s textilními variantami lze zaznamenat, že jsou u kompostu i vermikompostu nižší než u vzorků, kde byl textil. Přítomnost textilu mírně zvýšila konduktivitu.

Tab. č. 4: Měrná elektrická vodivost kompostu

SUDY		BEDNY	
Textil	EC [mS/cm]	Textil	EC [mS/cm]
Viskóza	1,63 ± 0,07	Viskóza	1,55 ± 0,07
Bavlna	1,68 ± 0,08	Bavlna	1,39 ± 0,10
Len	1,61 ± 0,06	Len	1,53 ± 0,03
		Kontrola	1,31 ± 0,05

Hodnoty vyjadřují průměry a směrodatnou odchylku

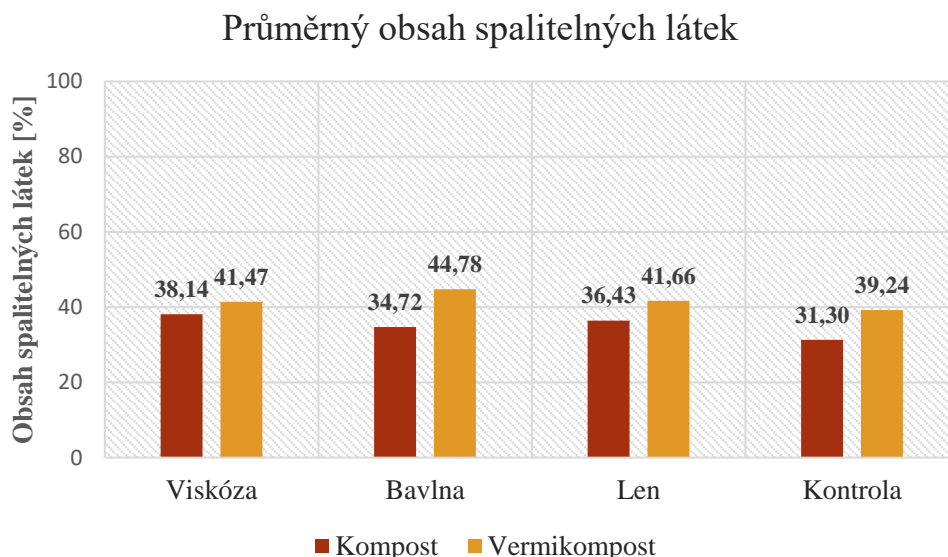
Tab. č. 5: Měrná elektrická vodivost vermikompostu

MISKY		BEDNY	
Textil	EC [mS/cm]	Textil	EC [mS/cm]
Viskóza	1,75 ± 0,11	Viskóza	1,50 ± 0,04
Bavlna	1,64 ± 0,11	Bavlna	1,58 ± 0,12
Len	1,58 ± 0,05	Len	1,56 ± 0,10
		Kontrola	1,49 ± 0,20

Hodnoty vyjadřují průměry a směrodatnou odchylku

5.4 Obsah spalitelných látek

Obsah spalitelných látek, který je zobrazen v Grafu č. 3, ve všech variantách převažuje u vermikompostu, kde jich je ve srovnání s kompostem více. Největší množství spalitelných látek 44,78 % bylo zjištěno u vermikompostu s bavlnou. Nejméně spalitelných látek bylo v obou případech u kontrolních variant z čehož je patrné, že přítomnost přírodních textilních vláken zvýšila obsah spalitelných látek.



Graf č. 3: Průměrný procentuální obsah spalitelných látek v kompostu a vermikompostu

5.5 Obsah rizikových prvků

Podle vyhlášky č. 474/2000 Sb., stanovující limitní hodnoty rizikových prvků v hnojivech, se jejich obsah u všech variant pohyboval v přípustné normě. Limitní hodnoty v mg/kg jsou pro jednotlivé prvky uvedené ve sloupci LH u Tab. č. 6 a 7 pro srovnání s naměřenými hodnotami. U žádného případu se nevyskytla hodnota, která by hraničila s maximálním přípustným množstvím určitého prvku či ho překročila. Obecně jsou u kompostu naměřené hodnoty prvků o málo vyšší než u vermikompostu, avšak tento rozdíl není významný.

Tab. č. 6: Obsah rizikových prvků v kompostu v mg/kg

KOMPOST					
mg/kg					
	Viskóza	Bavlna	Len	Kontrola	LH
Kadmium	0,27	0,21	0,21	0,21	2
Olovo	12	9	10	10	100
Arsen	5	3	3	4	30
Chrom	11	10	10	11	100
Měď	24	15	18	17	150
Nikl	4	4	3	4	50
Zinek	104	75	79	89	600

Tab. č. 7: Obsah rizikových prvků ve vermikompostu v mg/kg

VERMIKOMPOST					
mg/kg					
	Viskóza	Bavlna	Len	Kontrola	LH
Kadmium	0,18	0,14	0,17	0,17	2
Olovo	8	7	8	9	100
Arsen	3	2	2	3	30
Chrom	9	7	9	9	100
Měď	17	12	15	14	150
Nikl	3	2	2	2	50
Zinek	68	63	74	69	600

5.6 Obsah fosforu a draslíku ve vermikompostu

Pro srovnání požadavků na obsah živin ve vermikompostu byl přepočítán obsah fosforu na obsah oxidu fosforečného a obsah draslíku na obsah oxidu draselného. Z Tab. č. 8 vidíme, že nejvíce P_2O_5 bylo u viskózy a v kontrolní variantě. Varianty s bavlnou a lnem nesplnily normativní minimální hodnotu 0,6 %. Minimální obsah K_2O 1,0 % byl splněn ve všech případech s nejvyšší hodnotou u varianty s viskózou.

Tab. č. 8: Obsah celkového P_2O_5 a K_2O v sušině vermikompostu v %

	P_2O_5	K_2O
Viskóza	0,6 %	1,5 %
Bavlna	0,5 %	1,2 %
Len	0,5 %	1,4 %
Kontrola	0,6 %	1,3 %

6 Diskuze

Výsledky měření po 3 měsících ukázaly, že přírodní textilní materiály, v tomto případě viskóza, bavlna a len, jsou v kompostu i vermikompostu dobře rozložitelné. Celulóza, ze které jsou tyto tři druhy vláken složené, je sloučenina bohatá na uhlík. Vedle něj obsahuje také bílkoviny, pektiny a vosky. Díky tomuto složení jsou tato vlákna vhodná jako zdroj živin pro mikroorganismy i žížaly (Singh et al. 2022). Rozklad tímto způsobem umožňuje přeměnu organického materiálu na kompost, který je schopen vrátit živiny do půdy a tím uzavřít celý cyklus (Arshad et al. 2014). Pro nakládání s textilním odpadem je to tak vhodná a udržitelná alternativa, především v porovnání s dnešním převažujícím skládkováním a spalováním.

Vermikompostovací varianty rozložily vzorky lépe než kompostovací varianty, projevíly se tedy jako efektivnější. Není to však způsob, který by byl v souvislosti s textilem řádně prozkoumaný. Jediná práce, která se našemu pokusu přibližuje je Singh et al. (2022), kde se sledoval hlavně vliv přítomnosti bavlněného textilního odpadu na proces vermikompostování. Prvně se jemně rozmixovaná bavlněná vlákna kompostovala ve speciální izolační nádobě v rámci přípravné fáze. Poté se do nádoby přidaly žížaly a za standardních podmínek teploty kolem 20 °C a 70 % vlhkosti se kompost s bavlnou nechal dále rozkládat. Závěr na základě poměru C:N byl takový, že bavlna proces neovlivnila a naopak byla dobrým zdrojem živin pro žížaly. Během našeho pokusu, ačkoliv se sledovaly odlišné parametry, taktéž nebyl nalezen žádný významný vliv přítomnosti textilií.

Ze sledovaných textilních druhů měl nejvyšší míru rozložitelnosti len. Obdobný závěr můžeme najít v práci Arshad et al. (2014), která měla podobný princip pokusu. Vzorky bavlny, juty, lnu a vlny byly rozstříženy na čtverečky o velikosti 5×5 cm a poté odděleně podle druhu zahrabány do kompostu. Postupně se po dobu 4 týdnů sledovala míra jejich rozložení. Nejrychleji biodegradaci podlehl také len a autoři tento fakt vysvětlují tím, že jeho vlákna nejsou tak pevně stočena v přízi jako ostatní materiály, což vedlo k lepší dostupnosti materiálu pro mikroorganismy. V této práci navíc sledovali i rozložení látky z vláknité směsi lnu a polyesteru a očekávaně se polyesterová vlákna na rozdíl od těch lněných nerozložila. To poukazuje na problém dnešních často používaných směsí přírodních a syntetických vláken, která se tak na tento způsob nakládání s odpady nehodí.

V práci Bogarové (2020) bylo cílem zjistit, které textilní materiály jsou biologicky rozložitelné. Vyhodnocení tohoto parametru zde ale probíhalo na základě naměřených pevností jednotlivých materiálů pomocí trhacího stroje. Používaly se vzorky látek s rozměrem 30×300 mm čili o něco větší proužky, které se taktéž rozkládaly v nádobách s kompostem. Potvrdilo se, že celulózové materiály, jako je právě např. bavlna a len, degradují, s časem se snižuje jejich pevnost a v tomto případě se kompletně rozložily po 4 měsících. V našem pokusu se velký kus bavlny kompletně rozložil již po 3 měsících. Tento rozdíl pravděpodobně závisí hlavně na parametrech kompostovací zakládky.

Ve všech zmiňovaných pracích, jmenovitě Singh et al. (2022), Arshad et al. (2014), Bogarová (2020), se sledoval vedle ostatních hodnot také poměr C:N, který je důležitý pro stanovení zdraví kompostu. Pro lepší srovnání našich výsledků s výsledky jiných výzkumů by bylo dobré do budoucna při pokusech podobného charakteru změřit i tento parametr.

Kompostování a vermikompostování má význam tehdy, pakliže je známo složení vláken a textil byl vyroben ekologicky. Z praktického hlediska se tento postup dá aplikovat v současné době spíše na úrovni jednotlivců, kteří ví, od jaké firmy, co kupují a po dosloužení mohou textil vložit do vlastního kompostu či vermikompostu. Z tohoto důvodu se vedle nastřížených kousků sledovalo také rozložení ½ kusu oblečení jednoduše zahrabaného v kompostu, aby nejlépe simulovalo domácí prostředí. V tomto případě zůstaly nerozložené hlavně švy. Pakliže nedojde k dodatečnému rozložení po uplynutí dalšího měsíce je možné předpokládat, že jsou buďto špatně přístupné, nebo zhotoveny s příměsí syntetických materiálů.

7 Závěr

- Přírodní textilní materiál je biologicky rozložitelný a k jeho rozkladu je možné využít kompostování i vermikompostování za předpokladu, že vstupní materiál je 100 % z přírodních vláken nebo umělých celulóзовých vláken a vyrobený s použitím minimálního množství škodlivých chemikálií, které by mohly potenciálně výsledný substrát znehodnotit.
- Vermikompostování se ve všech případech ukázalo jako efektivnější způsob rozkladu textilního materiálu. Ve srovnání s kompostováním se textil ve vermikompostovacích variantách rozložil rychleji. Již po 3 měsících byla převážná část textilních vzorků rozložena. U vermikompostování zůstaly nerozložené pouze malé části z původních velkých kusu celého oblečení, a to především švy a místa, kde byla vrstva textilu zdvojená.
- Z hlediska druhu textilu se na základě pokusu s obálkami, které obsahovaly 10 g textilu, zjistilo, že len má nejvyšší míru rozložitelnosti. Tento závěr je v této práci pouze orientační, protože k výpočtu nebyly použity odbornější statistické metody.
- Nebyl zjištěn žádný výrazný negativní vliv přítomnosti textilu na kvalitu kompostu a vermikompostu. Téměř všechny sledované parametry, tedy vlhkost, pH, konduktivita a obsah spalitelných látek se pohybovaly ve standardních hodnotách. Hodnoty byly v souladu s normou ČSN 46 5735 pro komposty a normou ČSN 46 5736 pro vermikomposty. Výjimku tvořil nižší obsah P_2O_5 u vermikompostovacích variant bavlny a lnu. Rozdíl však není velký a z hlediska proměnlivosti obsahu živin je tudíž zanedbatelný. Bylo zjištěno, že obsah všech změřených rizikových prvků byl v souladu s přílohou č. 1 k vyhlášce č. 474/2000 Sb. o stanovení požadavků na organická hnojiva. Taktéž nebyly zaznamenány významné rozdíly všech sledovaných hodnot mezi třemi druhy použitých látek.

8 Literatura

Aishwariya S. 2018. Waste Management Technologies in Textile Industry. Online. *Innovative Energy & Research* **7**(3):211.

Alarcún M, Shipley J. 2024. La montañas de ropa se esfumaron del desierto de Atacama, pero el problema no desapareció. *EL PAÍS*. Available from <https://elpais.com/america-futura/2024-01-04/las-montanas-de-ropa-se-esfumaron-del-desierto-de-atacama-pero-el-problema-no-desaparecio.html> (accessed March 2024).

Aretex. 2021. Činnosti a poslání. Available from <https://aretex.cz/cs/o-asociaci> (accessed March 2024).

Arshad K, Skrivfars M, Vivod V, Valh JV, Vončina B. 2014. Biodegradation of Natural Textile Materials in Soil. *Tekstilec* **57**(2):118-132.

Ayilara MS, Olanrewaju OS, Babalola OO, Odeyemi O. 2020. Waste Management through Composting – Challenges and Potentials. *Sustainability* **12**(11):4456.

Babu A, Chinnaiyan P, Abinaya S. 2017. Effect of dyeing ad textile industry of Noyyal river water quality, Tiruppur – a case study. *International Journal of Civil Engineering and Technology* **8**(10):1064-1071.

Bartlett J. 2024. Fast fashion goes to die in the world's largest fog desert. *National Geographic*. Available from <https://www.nationalgeographic.com/environment/article/chile-fashion-pollution> (accessed February 2024).

Bogarová M. 2020. Kompostovatelnost textilií [MSc. Thesis]. *Textilní fakulta technické univerzity v Liberci, Liberec*.

Candido R. 2021. Recycling of textiles and its economic aspects. *Fundamentals of Natural Fibers and Textiles* **17**:599-624.

Carstad J. 2023. Vinnare av Nordiska rådets miljöpris 2023. *Nordisk samarbete*. Available from <https://www.norden.org/sv/nominee/vinnare-av-nordiska-radets-miljopris-2023> (accessed March 2024).

Centobelli P, Abbate S, Nadeem SP, Garza-Reyes JA. 2022. Slowing the fast fashion industry: An all-round perspective. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry* **38**(2):100684.

Český statistický úřad. 2022. Produkce, využití a odstranění odpadů – 2021. Available from <https://www.czso.cz/csu/czso/produkce-vyuziti-a-odstraneni-odpadu-mgyqmwjyr8> (accessed December 2023).

- ČSN 46 5735. 2020. Kompostování. Česká agentura pro standardizaci, Praha.
- ČSN 46 5736. 2018. Vermikomposty. Česká agentura pro standardizaci, Praha.
- Diakonie Broumov. 2010. Odložené věci nemusí být odpadem. Odpadové fórum **11**(9):22.
- Dimatex. 2020. Produkty. Available from <https://www.dimatex.cz/produkty> (accessed March 2024)
- Rengel A. 2017. Recycled Textile Fibres and Textile Recycling. Federal Office for the Environment, Switzerland.
- Hanč A., Plíva P. 2013. Vermikompostování bioodpadů – Certifikovaná metodika. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.
- Hawley JM. 2009. Understanding and improving textile recycling: A systems perspective. In Sustainable Textiles. Life Cycle and Environmental Impact **179**:199.
- Chavan RB. 2014. Environmental Sustainability through Textile Recycling. Journal of Textile Science & Engineering **2**(2):1-6.
- Jhanji Y. 2022. Natural Fibers: The Sustainable Alternatives for Textile and Non-Textile Application. Natural Fiber DOI: 10.5772/intechopen.106393
- Johnson S. 2023. It's like a death pit: how Ghana became fast fashion's dumping ground. The Guardian. Available from <https://www.theguardian.com/global-development/2023/jun/05/yvette-yaa-konadu-tetteh-how-ghana-became-fast-fashion-dumping-ground> (accessed March 2024).
- Juanga-Labayen JP, Labayen IV, Yuan Q. 2022. A Review on Textile Recycling Practices and Challenges. Textiles **2**(1):174-188.
- Karimah A, Ridho MR, Munawar SS, Adi DS, Damayanti RI, Subiyanto B, Fatriasari W, Fudholi A. 2021. A review on natural fibers for development of eco-friendly bio-composite: characteristics, and utilizations. Journal of Materials Research and Technology **13**:2442–2458.
- Kepák F. 2005. Průmyslové odpady 1. část. Fakulta životního prostředí Univerzity Jana Evangelisty Purkyně, Ústí nad Labem.
- Krishnaraj G, Elangovan N. 2022. Sustainable Textile Waste Management Practices among Consumers: Implications of Textile Knowledge and Environmental Concerns. Journal of Indian Association for Environmental Management **42**(3):21-28.

Le K. 2018. Textile Recycling Technologies, Colouring and Finishing Methods. Metro Vancouver, Vancouver.

Lee E. 2015. Textile waste management: current situation in Hong Kong and overseas practices [MSc. Thesis]. The university of Hong Kong, Hong Kong.

Martins ITA, Sentelhas PC, Martins JH. 2023. Quality of cotton fiber and its relationship with meteorological conditions. *Global Journal of Engineering and Technology Advances* **15**(2):033-051.

Ministerstvo zemědělství. 2021. Vyhláška č. 474/2000 Sb. ze dne 27. srpna 2021 o stanovení požadavků na hnojiva. Částka 137/2021.

Ministerstvo životního prostředí. 2023. Povinný sběr textilu začne platit od roku 2025. Available from https://www.mzp.cz/cz/news_20231204_Povinný-sber-textilu-zacne-platit-od-roku-2025-Prvni-volbou-by-ale-mela-byt-cirkularni-druha-sance (accessed February 2024)

Mishra PK, Izrayeel AMD, Mahur BK, Ahuja A, Rastogi VK. 2022. A comprehensive review on textile waste valorization techniques and their applications. *Environmental Science and Pollution Research* **29**:65962-65977.

Munroe G. 2007. Manual of On-Farm Vermicomposting and Vermiculture. Organic Agriculture Centre of Canada.

Nencková L. 2017. Současný stav a nakládání s textilním odpadem z domácností v ČR [PhD Thesis]. Vysoká škola ekonomická, Praha.

Östlund Å. 2015. Textilåtervinning – Tekniska möjligheter och utmaningar. Naturvårdsverket, Bromma.

Papamichael I, Chatziparaskeva G, Pedreño JN, Voukalli I, Candel MBA, Zorpas AA. 2022. Building a new mind set in tomorrow fashion development through circular strategy models in the framework of waste management. *Current Opinions in Green and Sustainable Chemistry* **36**:100638.

Pérez LAE, Pérez ATE, Vásquez ÓC. 2022. Exploring an alternative to the Chilean textile waste: A carbon footprint assessment of a textile recycling process. *Science of The Total Environment* **830**:154542.

Peters GM, Sandin GA, Spak B. 2019. Environmental Prospects for Mixed Textile Recycling in Sweden. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering* **7**(13):11682-11690.

Portál životního prostředí hlavního města Prahy. 2019. Předcházení vzniku odpadu. Available from https://portalzp.praha.eu/jnp/cz/odpady/predchazeni_vzniku_odpadu/index.html (accessed March 2024).

- Priya A. 2022. Impact of Second-Hand Clothing Waste in Ghana. *International Journal of Law Management & Humanities* **5**(2):1679-1683.
- Rapsikevičiene J, Gurauskiene I, Jučiene A. 2019. Model of Industrial Textile Waste Management. *Journal of Environmental Research, Engineering and Management* **75**(1):43-55.
- Renewcell. 2024. Available from <https://www.renewcell.com/en/renewcell-decides-to-file-for-bankruptcy/> (accessed March 2024).
- Ruiz A. 2024. 17 Most Worrying Textile Waste Statistics & Facts. The Roundup. Available from <https://theroundup.org/textile-waste-statistics/> (accessed February 2024).
- Samosebou. 2021. Třídím jako diva: jak to vypadá a funguje na skládce odpadu? Available from <https://www.samosebou.cz/2021/10/21/tridim-jako-diva-jak-to-vypada-a-funguje-na-skladce-odpadu> (accessed February 2024).
- Singh V, Wyatt J, Zoungrana A, Yuan Q. 2022. Evaluation of Vermicompost Produced by Using Post-Consumer Cotton Textile as Carbon Source. *Recycling* **7**(1):10.
- Scott A. 2015. Cutting Out Textile Pollution. *Chemical & Engineering News Archive* **93**(41):18-19.
- Shtukaturova A, Šyc M, Gregor J, Kropáč J, Pavlas M, Valta J. 2023. Postup provádění rozborů KO/SKO se zaměřením na textilní odpady. Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost, Praha.
- Shtukaturova A., Šyc M., Gregor J., Kropáč J., Pavlas M., Valta J. 2022. Inovativní řešení v oblasti prevence vzniku textilních odpadů a hodnocení nově vznikajících technologií ke zpracování textilních odpadů. Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost, Praha.
- Soldatova A. 2022. Časopis Odpady: Textilní odpady z domácností v Česku za poslední dekádu narostly desetinásobně. Available from <https://odpady-online.cz/casopis-odpady-textilni-odpady-z-domacnosti-v-cesku-za-posledn-dekadu-narostly-desetinasobne/> (accessed March 2024)
- Textile Exchange. 2023. Materials Market Report 2023. Available from <https://textileexchange.org/knowledge-center/documents/materials-market-report-2023> (accessed January 2024).
- The Borgen Project. 2023. The Impact of Textile Waste in Ghana. Available from <https://borgenproject.org/textile-waste-in-ghana> (accessed March 2024).

Tojo N., Kogg B., Kiørboe N., Kjær B., Aalto K. 2012. Prevention of Textile Waste. Copenhagen: Nordic Council of Ministers. ISBN 978-92-893-2385-7.

Tříděníodpadu.cz. 2024. Textil. Available from <https://www.trideniodpadu.cz/textil> (accessed February 2024).

UNECE. 2018. UN Alliance aims to put fashion on path to sustainability. Available from <https://unece.org/forestry/press/un-alliance-aims-put-fashion-path-sustainability#> (accessed March 2024).

Ütebay B., Çelik P., Çay A. 2020. Textile Wastes: Status and Perspectives. Waste in Textile and Leather Sectors DOI: 10.5772/intechopen.92234

Váňa J. 2002. Kompostování odpadů. Biom.cz. Available from <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/kompostovani-odpadu> (accessed March 2024).

Wang Y. 2010. Fiber and Textile Waste Utilization. Waste and Biomass Valorization **1**(1):135–143.

Wang Y. 2006. Recycling in Textiles. Woodhead publishing, Cambridge.

Yacout MMD, Hassouna MS. 2016. Identifying potential environmental impacts of waste handling strategies in textile industry. Environmental Monitoring and Assessment **188**:445.

Zákon č. 541/2020 Sb. Zákon o odpadech. Zákony pro lidi. Available from <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2020-541> (accessed February 2024).