

Recyklace textilních autopotahů a jejich druhotné využití v automobilovém průmyslu

Diplomová práce

Studijní program:

Autor práce:

Vedoucí práce:

N0723A270003 Průmyslové inženýrství

Bc. Anita Bělová

doc. Ing. Jiří Chvojka, Ph.D.

Katedra netkaných textilií a nanovláknenných materiálů





Zadání diplomové práce

Recyklace textilních autopotahů a jejich druhotné využití v automobilovém průmyslu

Jméno a příjmení: **Bc. Anita Bělová**
Osobní číslo: T20000367
Studijní program: N0723A270003 Průmyslové inženýrství
Zadávací katedra: Katedra hodnocení textilií
Akademický rok: **2020/2021**

Zásady pro vypracování:

- 1) Provedte rešerši k tématu zpracování druhotných surovin. Zaměřte se na materiál, který je používán na autopotahy.
- 2) Vypracujte teoretickou část. Na základě teoretických poznatků navrhnete druhotný produkt.
- 3) V experimentální části navrhnete a vyrobte druhotný produkt.
- 4) Diskutujte možnost uplatnění druhotného produktu.
- 5) Provedte zhodnocení výsledků a vypracujte závěr.

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

tištěná/elektronická
Čeština



Seznam odborné literatury:

FUNG, W. a M. HARDCASTLE. Textiles in Automotive Engineering. 1. vydání. Cambridge: Woodhead Publishing Ltd and Technomic Publishing Company, 2001. ISBN 978-18-557-3897-3.
RIEGL, D. a J. KADLEC. Textilní druhotné suroviny: získávání, opracování a zpracování textilních odpadů. 1. vydání. Praha: SNTL, 1985.
AKOVALI, G. Handbook of Composite Fabrication. 1. vydání. Smithers Rapra Technology, 2001. ISBN 1-85957-263-4.
BUNSELL, A. R. Fibre reinforcements for composite materials (Vol.2) . 1. vydání. Elsevier Science Publishers B. V., 1988. ISBN 0-444-42801-1.
HORROCKS, A. R. a S. C. ANAND. Handbook of technical textiles. 1. vydání. Woodhead Publishing Ltd and CRS Press LLC, 2000. ISBN 1 85573 385 4.
HAWLEY, J. M. Textile recycling: a system perspective. 1. vydání. Elsevier Science & Technology, 2006. ISBN 9781855739529.
AMARAL, M. C. do. Industrial textile recycling and reuse in Brazil: case study and considerations concerning the circular economy. Gestao & Producao, 2018. ISSN 1806-9649.
MUTHU, S. S. Textile and Clothing Sustainability. Textile Science and Clothing Technology. 1. vydání. Springer Nature Singapore Pte Ltd., 2017. ISBN 978-981-10-2474-0.

Vedoucí práce:

doc. Ing. Jiří Chvojka, Ph.D.
Katedra netkaných textilií a nanovláknenných materiálů

Datum zadání práce:

29. října 2020

Předpokládaný termín odevzdání:

16. května 2022

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

L.S.

Ing. Roman Knížek, Ph.D.
vedoucí katedry

V Liberci dne 4. dubna 2022

Prohlášení

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

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

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

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

Současně čestně prohlašuji, že text elektronické podoby práce vložený do IS/STAG se shoduje s textem tištěné podoby práce.

Beru na vědomí, že má diplomová práce bude zveřejněna Technickou univerzitou v Liberci v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů.

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

15. května 2022

Bc. Anita Bělová

PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych poděkovala docentu Jiřímu Chvojkovi za jeho vedení mé diplomové práce, ochotu, vstřícnost, podporu a cenné rady. Profesorovi Jakubovi Wienerovi za vstřícné konzultace a cenné rady s vedením práce. Dále bych chtěla poděkovat profesorovi Luboši Hesovi, inženýrovi Luboši Běhálkovi, docentce Kláře Kalinové a doktorce Blance Tomkové za jejich pomoc a vstřícnost. Poté bych ráda poděkovala svým kolegům z GreenRetail, inženýrovi Františku Pelechovi a doktorce Gabriele Tiché za jejich cenné rady. A v neposlední řadě bych chtěla poděkovat své rodině a přátelům za jejich podporu během celého průběhu studia.

ANOTACE

Diplomová práce se zabývá problematikou textilních odpadů vzniklých při ukončení živostnosti vozidel. Rešeršní a teoretická část práce seznamuje s problematikou nakládání textilních odpadů a poukazuje na zákony a směrnice věnující se tomuto tématu. Druhá část diplomové práce ukazuje způsob recyklace daných textilních odpadů a navrhuje možné využití recyklovaného odpadu jako nový druhotný výrobek. V závěru práce jsou vyhodnoceny mechanické, tepelně-izolační a zvukově-izolační vlastnosti navrhnutého druhotného výrobku.

Klíčová slova: recyklace, autopotahe, druhotná výroba, tepelná vodivost, zvuková pohltivost

ANNOTATION

The diploma thesis deals with the issue of textile waste generated at the end of the service life of vehicles. The research and theoretical part of the work introduces the issue of textile waste management and points to the laws and directives dealing with this topic. The second part of the thesis shows the method of recycling the textile waste and suggests the possible use of recycled waste as a new secondary product. At the end of the work, the mechanical, thermal insulation and sound insulation properties of the proposed secondary product are evaluated.

Key words: recycling, car seat covers, secondary production, thermal conductivity, sound absorption

Obsah

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	10
ÚVOD	10
ŘEŠERŠNÍ ČÁST	11
1 DĚLENÍ A LEGISLATIVA ODPADŮ	11
1.1 ZÁKON O ODPADECH	12
1.1.1 <i>Směrnice o odpadech</i>	13
1.2 CIRKULÁRNÍ EKONOMIKA V TEXTILNÍM PRŮMYSLU	13
2 TEXTILNÍ ODPADY	16
2.1 AUTOMOBILOVÝ PRŮMYSL	17
2.2 ODĚVNICTVÍ	19
2.3 PLASTOVÉ ODPADY	20
TEORETICKÁ ČÁST	22
3 RECYKLACE A NAKLÁDÁNÍ S ODPADY	22
3.1 ZPŮSOBY NAKLÁDÁNÍ S ODPADY	24
3.2 ZPŮSOBY RECYKLACE ODPADŮ	25
3.2.1 <i>Textilní recyklace odpadů</i>	27
3.2.2 <i>Mechanická recyklace textilního materiálu</i>	28
3.2.3 <i>Firma Retex a. s.</i>	29
4 MATERIÁLY POUŽÍVANÉ U AUTOSEDAČEK	30
4.1 ČALOUNICKÉ MATERIÁLY	31
4.2 MOŽNOSTI RECYKLACE AUTOPOTAHŮ	32
4.2.1 <i>Skládkování a energetická recyklace</i>	33
4.2.2 <i>Mechanická recyklace</i>	35
5 ZKUŠEBNÍ METODY	37
5.1 STANOVENÍ PLOŠNÉ HMOTNOSTI A OBJEMOVÉ HMOTNOSTI TEXTILÍ	37

5.2	STANOVENÍ ZAPLNĚNÍ A PÓROVITOSTI	38
5.3	STANOVENÍ ODPORU PROTI STLAČENÍ.....	39
5.4	STANOVENÍ TEPELNĚ IZOLAČNÍCH VLASTNOSTÍ.....	39
5.5	STANOVENÍ ZVUKOVÉ POHLTIVOSTI	40
EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST		42
6	POUŽITÉ MATERIÁLY.....	43
6.1	RECYKLÁT Z AUTOPOTAHŮ.....	43
6.2	POJIVÝ MATERIÁL.....	49
7	POSTUP VÝROBY DRUHOTNÉHO VÝROBKU	51
7.1	PŘEDBĚŽNÉ EXPERIMENTY	51
7.2	HLAVNÍ EXPERIMENT	52
7.2.1	<i>Výsledky plošné hmotnosti a objemové hmotnosti</i>	<i>55</i>
7.2.2	<i>Výsledky zaplnění a pórovitosti.....</i>	<i>56</i>
8	TESTOVÁNÍ DRUHOTNÉHO VÝROBKU	59
8.1	MĚŘENÍ ODPORU PROTI STLAČENÍ	59
8.1.1	<i>Výsledky.....</i>	<i>59</i>
8.2	MĚŘENÍ TEPELNĚ IZOLAČNÍCH VLASTNOSTÍ.....	60
8.2.1	<i>Výsledky.....</i>	<i>62</i>
8.3	MĚŘENÍ ZVUKOVÉ POHLTIVOSTI	66
8.3.1	<i>Výsledky.....</i>	<i>66</i>
DISKUZE		68
ZÁVĚR.....		71
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY		72
SEZNAM OBRÁZKŮ.....		76
SEZNAM TABULEK.....		77
SEZNAM PŘÍLOH		78

Seznam symbolů a zkratk

bico	bicomponent
coPET	kopolymerní polyetyléntereftalát
Hz	hertz
PA	polyamid
PE	polyethylen
PET	polyethylenereftalát
PUR	polyuretan
PVC	polyvinylchlorid
Sb.	sbírka
Tex	jednotka pro jemnost příze

Úvod

Jedno z průmyslových odvětví, které má značný dopad na životní prostředí je automobilový průmysl. Prodej automobilů se zvyšuje každým rokem a ohleduplnost automobilek k životnímu prostředí se pomalu stává jedním z prodejních faktorů při výběru nového vozu. Všechny automobilky světa se snaží recyklovat části aut, vyrábět součástky šetrné k životnímu prostředí a šetřit neobnovitelné zdroje energie.

Autopotah je důležitou součástí automobilu, na který jsou kladeny vysoké materiální nároky. Vylepšování potahů je jeden z nekonečných cyklů, při kterém se výrobce snaží o vysokou pevnost, propustnost textilu, odolnost vůči mechanickému poškození a v neposlední řadě životnost. Automobil má průměrnou životnost 12–15 let a je cílem, aby i potah zůstal po celou dobu životnosti automobilu neporušen. [1] Proto se používá pro výrobu těchto materiálů velmi odolné textilie, které se stávají vhodným kandidátem pro recyklaci.

Velké množství autopotahů z automobilů s ukončenou životností končí na skládkách nebo putují do spaloven pro energetické využití. Pouze jeden zpracovatel textilních odpadů zapsaný v Seznamu zpracovatelů textilních odpadů, vedeného u Ministerstva životního prostředí České republiky, zpracovává textilní odpad pomocí čištění a třídění. Všechny ostatní firmy vedeny v seznamu používají odpad pro výrobu tuhých alternativních paliv nebo pro energetické využití. [2] Podle nové legislativy, která by měla být v platnosti začátkem roku 2030, již nebude povolené skladovat textilní odpady, které mohou mít druhotné využití.

Cílem diplomové práce je recyklace textilních odpadů získaných z potahů vozů s ukončenou životností, které končí na skládkách. Druhý cíl práce je výroba nového druhotného produktu z recyklovaného textilního materiálu (drtě). Tento nově vyrobený druhotný produkt je v experimentální části testován, měřen a vyhodnocen dle svých vlastností pro určení vhodného využití produktu na trhu.

ŘEŠERŠNÍ ČÁST

Po ukončení životnosti vozidel skončí téměř všechen textil z vozidel, včetně autopotahů, na skládkách a následně ve spalovnách pro energetické využití. Podle znění nového zákona o odpadech se s rokem 2030 bude muset tato situace změnit a nebude již povoleno textilní odpad skladovat na skládkách. Tento problém, který je zatím vládou posouván, je třeba začít řešit a věnovat se více této málo probádané, ale výrazné problematice. Aktuálně se naskýtá jako efektivní mechanická recyklace textilu, která je využita i v této práci.

Neustále vyvíjený nátlak na ochranu životního prostředí, recyklaci, ochranu primárních surovin, trend cirkulární ekonomiky a další vlivy tlačí firmy k většímu využívání sekundárních zdrojů. A kvůli blížícímu se konci skládkování textilu hledají firmy nové, snadné a efektivní způsoby recyklace autopotahů i s jejich následným využitím.

1 Dělení a legislativa odpadů

Druhy odpadů se dají dělit do pěti skupin:

1. **Komunální odpad** – legislativa praví, že se jedná o všechen odpad vzniklý během činnosti fyzických osob (domácností) na obecním území.
2. **Zbytkový komunální odpad** – jedná se o zbylý odpad z komunálního odpadu po vytřídění využitelných, objemových a nebezpečných složek odpadu.
3. **Tuhý komunální odpad** – jedná se o komunální odpad, který během běžných atmosférických podmínek zachovává svůj tvar.
4. **Domovní odpad** – vzniká v domácnostech během úklidu obytných objektů neboli se jedná o běžný odpad z každodenní spotřeby domácností.
5. **Biologicky rozložitelný odpad** – veškerý odpad, který je možné biologicky rozložit

Dále lze odpady rozdělovat z několika různých hledisek, například podle skupenství hmoty (pevné a kapalné), podle původu (odpady z těžby, průmyslové, zemědělské a komunální odpady). Z hlediska legislativy se odpady dělí dle Katalogu odpadů do 20 skupin odpadů. Jako primární rozdělení odpadů existuje dělení podle složení na nebezpečný odpad, ostatní odpad a odpady, které nejsou uvedeny v seznamu nebezpečného odpadu a kategorie „nebezpečný odpad“ jim byla přiřazena. [3][4]

1.1 Zákon o odpadech

Podle zákona o odpadech, Zákon č. 541/2020 Sb. § 4, odstavec 1, je odpad definován takto: „Odpad je každá movitá věc, které se osoba zbavuje, má úmysl nebo povinnost se jí zbavit.“ Osoby se svých movitých věcí zbavují převážně, pokud daná věc již nesplňuje svůj původní účel. Ovšem podle zákona mají osoby povinnost se movitých věcí zbavit:

- a) pokud již produkt / věc není používána, popřípadě již není možné ji používat k původnímu účelu a současně může mít negativní vliv na životní prostředí,
- b) pokud daná věc byla stažena nebo vyřazena na základě právního předpisu,
- c) pokud daný odpad vznikl již při výrobě hlavního produktu a nebyl zamýšlen jako vedlejší produkt. [5]

Slovo „zbavit“ je v definici myšleno jako předání dané látky či předmětu k odstranění nebo využití. Dále se jedná o bezúplatné nebo úplatné předání oprávněné osobě ke sběru nebo výkupu či o odstranění movité věci osobou samotnou. U úmyslu zbavení je předpoklad, že zanikl původní věcný smysl, nebo že není vlastníkem prokázán opak. Pokud dojde k pochybení, rozhoduje se na žádost vlastníka nebo z moci úředního krajského soudu. Veškeré odpady jsou řazeny do kategorie odpadů, která je stanovena podle Ministerstva životního prostředí, které stanoví vyhlášku Katalog odpadů s postupem zařazování odpadů dle Katalogu odpadů. [5]

Každý občan je povinen během své činnosti předcházet vzniku odpadu, omezovat nebezpečné vlastnosti a množství odpadu. Během výroby nových výrobků jsou právnické i fyzické osoby zodpovědné za výrobu povinny zabezpečit vývoj i výrobu, tak aby omezily vznik odpadů z těchto výrobků. Zároveň jsou povinné dosáhnout co nejvyšší míry využití vzniklých odpadů v souladu s hierarchií odpadového hospodářství. Každý občan má právo kompostovat biologicky rozložitelné materiály, aby předešel vzniku odpadu. Kompost je využit v rámci své činnosti, nebo se předává v souladu se zákonem o hnojivech. Během kompostování nesmí dojít k ohrožení životního prostředí nebo zdraví lidí. [5]

Věc se nemusí stát odpadem, když se po použití bude dále běžně používat ke konkrétním účelům, když pro ni existuje poptávka nebo trh a když splňuje technické požadavky pro dané účely. V tomto případě se věc nestává odpadem, ale tzv. vedlejším produktem, pokud vznikla při výrobě a jejímž cílem nebyla výroba nebo zisk této věci, a využití této věci je dále zajištěno. Podmínkou využití je soulad s předpisy, s životním prostředím, s lidským zdravím a s dalšími kritérii. [6]

1.1.1 Směrnice o odpadech

Směrnice Evropského parlamentu a Rady Evropského společenství č. 98/2008 ze dne 19. 11. 2008 o odpadech a o zrušení některých směrnic má za úkol ochranu lidského zdraví a životního prostředí před negativním vlivem odpadů, za pomoci předcházení vzniku odpadů a efektivního nakládání s odpady. Směrnice obsahuje základní hierarchii s nakládáním odpadů pro členské státy, specifikuje požadavky předcházení vzniku odpadů, využití, recyklace nebo odstranění odpadů. Jsou zde stanoveny například i konkrétní cíle, jako je „zvýšení do roku 2020 nejméně na 50 % hmotnosti celkovou úroveň přípravy k opětovnému použití a recyklace alespoň u odpadů z materiálů, jako jsou papír, kov, plast a sklo, které pocházejí z domácností a případně odpady jiného původu, pokud jsou tyto toky odpadů podobné odpadům z domácností“.

S pomocí směrnice o odpadech vzniká v České republice plán odpadového hospodářství, který přijímá stanovená unijní opatření a nařízení, a implementuje je tak, aby byly dané cíle v České republice splněny. [7][4]

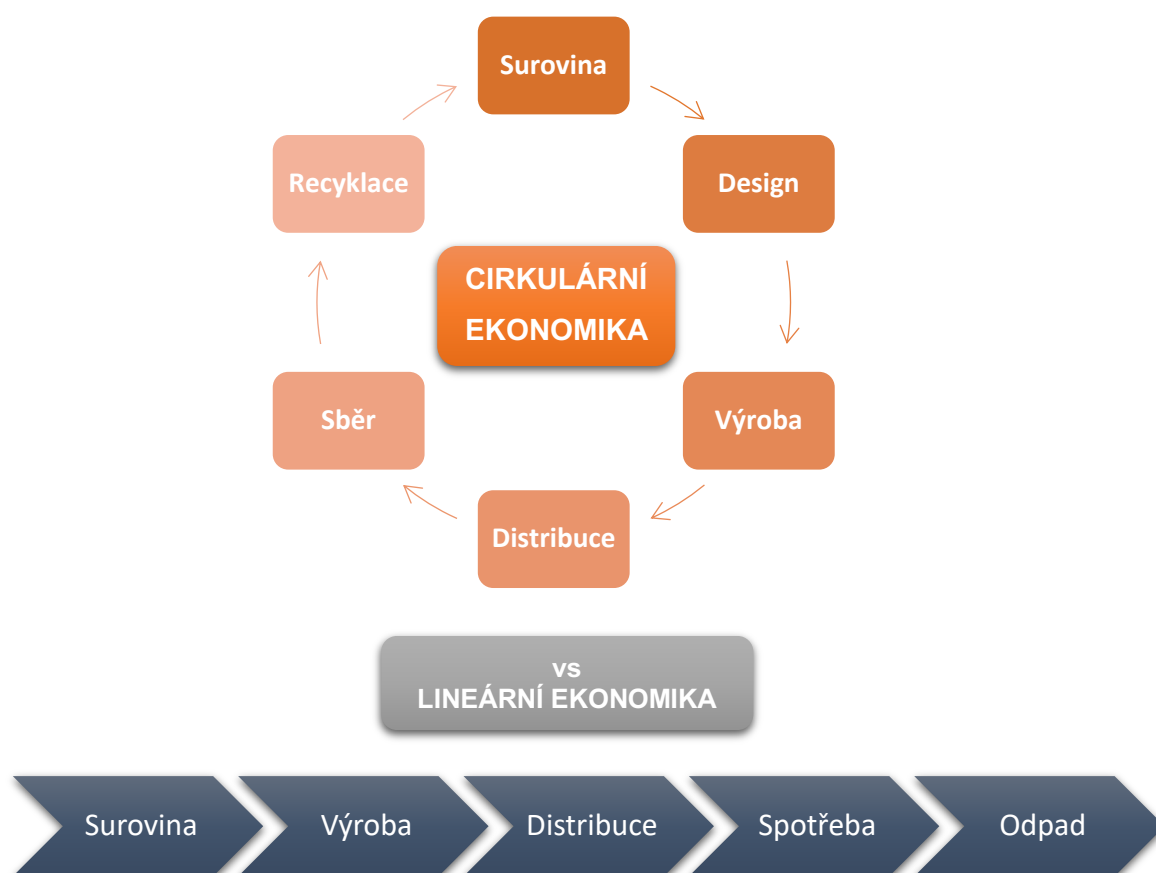
1.2 Cirkulární ekonomika v textilním průmyslu

Textilní průmysl je výrazně neefektivní z pohledu nakládání s přírodními zdroji, tento proces se vyznačuje materiálovými toky, které se v rámci technických a biologických cyklů dají označit za uzavřené v méně než 1 % případů ze všech materiálových toků, které do segmentu vstupují. V rámci modelu lineární ekonomiky lze sledovat její současnou produkci a spotřebu, či neustálý růst, díky kterému mění přírodní zdroje v základní materiály a produkty k prodeji skrze řadu kroků. Tímto způsobem se zvyšuje přidaná hodnota produktu a nese zodpovědnost za konečnou fázi životního cyklu produktu. Celý tento proces lineární ekonomiky je poháněn syndromem „větší – lepší – rychlejší – bezpečnější“.

[8]

V rámci cirkulární ekonomiky textilního průmyslu je nejdůležitější zisk, který je generován pomocí rychlého a velkoobjemového prodeje s atraktivním zbožím s krátkou životností. S nástupem lineární ekonomiky v textilním průmyslu došlo k následku drastického nárůstu spotřeby oblečení v Evropské unii, během let 1996 až do roku 2012 se objem nákupů oděvů zvýšil o 40 %. Rozdíl mezi cirkulární a lineární ekonomikou je ukázán pomocí schématu na obrázku 1. Individuální spotřeba textilu je zodpovědná za 4 až 6 % celkové uhlíkové stopy v Evropské unii. Omezení materiálových toků v textilním průmyslu zde skýtá velký potenciál pro omezení produkce emisí skleníkových plynů a dalších dopadů na životní prostředí. [8]

Příkladem je společnosti Ellen McArthur Foundation, která uvádí vizi pro textilní ekonomiku, kde se lze zbavit výše zmíněných negativních vlivů na životní prostředí. Snahou této vize je ponechat textilní výrobky stále v ekonomickém cyklu, aby se z nich nikdy nestal odpad. Zároveň vize doplňuje současné snahy o zvýšení udržitelnosti textilního průmyslu s pomocí minimalizování negativních dopadů. Je zde obzvláště kladen důraz na inovace pro přechod k jinému systému, a díky tomu představuje příležitost přinést výrazně lepší hospodářské, společenské a environmentální výsledky. [8]



Obrázek 1 Porovnání schématu cirkulární a lineární ekonomiky [6]

O cirkulární ekonomice se musí začít zamýšlet již od samého počátku výroby produktu, konkrétně již u zdrojů pro výrobu textilních materiálů. Zde můžeme dělit základní druhy materiálů, které se dělí na dvě skupiny dle původu výroby:

- a) výroba z primárních surovin,
- b) výroba z druhotných surovin.

Pod názvem primární suroviny, je míněn přírodní materiál, který pochází z udržitelných zdrojů. Příkladem odvětví, které využívá primárních surovin může být regenerativní zemědělství, které je založeno na zlepšení stavu ekosystémů a staví na uzavření cyklů organických látek. [8]

V modelu cirkulární ekonomiky pro textilní průmysl Evropská agentura pro životní prostředí uvádí, že dalšími prioritami v rámci zdrojové politiky by měla být dohledatelnost původu materiálu a bezpečnost. Dále je uvedeno v modelu, že všechny nebezpečné látky by měly být odstraněny z výroby oblečení již v prvotní fázi designu. [8]

Módní průmysl je jednou z oblastí, kde by mohl být uplatněn princip cirkulární ekonomiky. Klíčový pilíř v aktuálním ekosystému je ekodesign, který je zaměřen na snížení dopadu produktů na životní prostředí prostřednictvím lepšího designu. Ekodesign je od roku 2009 součástí evropské legislativy pro vybrané výrobky, jedním okruhem těchto produktů jsou například domácí spotřebiče, které mají za cíl zlepšit energetickou efektivnost (Směrnice 2009/125/ES). [8]

2 Textilní odpady

Textilní odpady a následné nakládání s textilem v České republice je stále oblast, které nebylo doposud věnováno dostatečné pozornosti. Znamější oblasti materiálů, jako jsou například plastové obaly či papír jsou probádané mnohem více do hloubky. Důvodem je věnování většího zájmu těmto materiálům od vládních orgánů a neziskových organizací, tak oblast textilu stále zůstává na pozadí zájmu společnosti.

V současné době je stále velký problém dohledat chybějící data o tocích textilu, tento problém řeší Ministerstvo průmyslu a obchodu pomocí aktualizace Politiky druhotných surovin České republiky ve sledovaných letech 2019–2022. Zároveň zmiňuje, že textil jako komodita by měla být součástí Politiky druhotných surovin. Ovšem v současné době neexistuje zastřešující organizace, která by mohla dodat základní informace o toku textilních surovin v této oblasti – včetně požadavků na jejich podporu a cílů rozvoje. Kvůli těmto důvodům bylo rozhodnuto, že komodita textilu bude sledována v letech 2019–2022 a bude iniciován vznik orgánu, který by zastřešoval textilní komoditu. V roce 2022 při aktualizaci Politiky druhotných surovin České republiky by měla být textilní komodita konečně začleněna do strategického dokumentu. [8][9]

Textilní recyklační průmysl ve světě je jedním z nejstarších a nejrozšířenějších recyklačních odvětví na světě; přesto málokdo rozumí průmyslu, jeho nesčetným hráčům nebo regenerovaným textilním výrobkům obecně. V celém světě jsou použité textilní a oděvní výrobky zachraňovány jako regenerovaný textil a využívány k novým účelům. Tento „skrytý“ průmysl se skládá z více než 500 podniků, které jsou schopné každoročně odklonit více než 1 250 000 tun textilního odpadu po skončení spotřeby. Kromě toho je průmysl recyklace textilu schopen zpracovat 93 % odpadu bez produkce jakéhokoli nového nebezpečného odpadu nebo škodlivých vedlejších produktů. Rada pro recyklaci textilu naznačila, že prakticky všechny textilní výrobky po použití lze získat zpět na řadu již zavedených trhů. I přesto průmysl recyklace textilu pokračuje v hledání nových životaschopných produktů s přidanou hodnotou vyrobených z použitých textilních vláken.

Recyklační textilní materiál lze klasifikovat jako odpad před spotřebitelem nebo po spotřebiteli; recyklace textilu odstraňuje tento odpad z proudu odpadu a recykluje jej zpět na trh (průmyslový i konečný spotřebitel). Odpad před spotřebitelem se skládá z vedlejších produktů z textilního, vláknového a bavlnářského, které jsou znovu vyráběny pro automobilový, letecký, domácí průmysl, nábytek, matrace, hrubé příze, bytové zařízení, papír, oděv a další produkty. Odpad po spotřebiteli je definován jako jakýkoli druh oděvu nebo domácích předmětů vyrobených z textilií, které vlastník již nepotřebuje a rozhodne se je vyřadit. Tyto články jsou vyřazeny buď proto, že jsou opotřebované, poškozené, přerostlé nebo vyšly z módy. Někdy jsou dávány charitativním organizacím nebo předávány přátelům a rodině, ale navíc jsou ukládány do koše a končí na obecních skládkách. [10][9]

2.1 Automobilový průmysl

Aktuálně podle Seznamu zpracovatelů jednotlivých druhů odpadů (komodit) vzniklých při zpracování autovraků, uvedeného na stránkách Ministerstva životního prostředí v oddělení o vozidlech s ukončenou životností, lze nalézt seznam všech sběrných míst, kde končí textil z autovraků. Všechny firmy věnující se sběru textilu z autovraků jsou uvedeny v následující tabulce, lze vidět i konečné nakládání s daným textilem. Vyznačený řádek v následující tabulce značí firmu OSSY, která se jako jediná zabývá čištěním a tříděním textilního odpadu z autovraků namísto energetického využití nebo výroby tuhých alternativních paliv. [11][12]

Tabulka 1 Seznam zpracovatelů (SZ) textilních odpadů (komodit) vzniklých při zpracování autovraků [2]

Seznam zpracovatelů textilních odpadů				
Název společnosti	Webová adresa	Kraj	Způsob využití	Datum zapsání do SZ
OZO Ostrava s.r.o.	www.ozoostrava.cz	Moravskoslezský kraj	Výroba tuhých alternativních paliv	před 9/2017
Pražské služby a.s.	www.psas.cz	Hlavní město Praha	Energetické využití	Před 9/2017
SAKO Brno, a.s.	www.sako.cz	Jihomoravský kraj	Energetické využití	Před 9/2017
TOMA odpady s.r.o.	www.tomaodpady.cz	Zlínský kraj	Výroba tuhých alternativních paliv	Před 9/2017
FCC České republiky, s.r.o.	www.fcc-group.eu	Středočeský a Jihomoravský kraj	Výroba tuhých alternativních paliv	Před 9/2017
TERMIZO, a.s.	www.termizo.mvv.cz	Liberecký kraj	Energetické využití	Před 9/2017
OSSY s.r.o.	www.ossy.cz	Jihočeský kraj	Čištění, třídění	Před 9/2017
GLOBAL RECYCLING a.s.	www.globalrecycling.cz	Olomoucký kraj	Výroba tuhých alternativních paliv	Před 9/2017
CELIO a.s.	www.celio.cz	Ústecký kraj	Výroba tuhých alternativních paliv	Před 9/2017
Odpady CB s.r.o.	-	Jihočeský kraj	Třídění, energetické využití	21. 1. 2019
RUMPOLD s.r.o.	www.rumpold.cz	Plzeňský kraj	Výroba tuhého alternativního paliva	24. 6. 2019
Recycling – kovové odpady a.s.	www.kovove-odpady.cz	Pardubický kraj	Výroba tuhého alternativního paliva	22. 7. 2021

Z dané tabulky vyplývá, že většina textilního odpadu vytříděného z autovraků končí ve spalovnách. Ve spalovnách končí za účelem energetického využití. Druhou nejčastější možností nakládání s daným odpadem je výroba tuhého alternativního paliva. [2]

2.2 Oděvnictví

Oděvním textilním odpadem se stává produkt, který se již nadále nedá používat z důvodu jeho špatného stavu. Pro tyto případy existují sběry použitého oblečení, které se dále předávají na třídící linky, kde je oblečení tříděno dle své aktuální kvality složení a možnosti zpracování. [8]

Sběr oblečení je v aktuální době umožněn několika způsoby:

- kontejnery na sběr textilního odpadu,
- podomní sběr textilního odpadu,
- charitativní obchody,
- vybrané obchodní sítě.

Pyramidový model na následujícím obrázku představuje třídící kategorie recyklace textilu podle objemu. Kategorie třídění zahrnují druhy, které jsou vyváženy do rozvojových zemí, přeměněny na nové produkty z *otevřené recyklace* nebo přepracování, rozřezány na utírající a lešticí hadry, ukládány na skládky nebo na spalování energie a „těženy“ jako značkové oblečení. Objem je z větší části nepřímo úměrný hodnotě. Například exportované oblečení z druhé ruky je největší objemovou kategorií.



Obrázek 2 Pyramidový model pro kategorie recyklace textilu [10]

Otevřenou recyklací je myšlen proces mechanického nebo chemického „otevření“ tkaniny tak, aby se vrátila do vláknité formy. Mechanicky to zahrnuje řezání, drcení, mykání a zpracování látky. Chemicky zahrnuje enzymatické, tepelné, glykolytické nebo metanolytické metody. Jakmile jsou spotřební textilie „otevřeny“, mohou být dále zpracovány na nové výrobky pro obnovenou spotřebu. [10]

Pojmem *značkové oblečení* jsou míněny některé značky a styly, například: Levi's, Tommy Hilfiger a Harley Davidson nebo Boy Scout a bowlingová trička z 50. let. Za *značkové* je oblečení považováno na základě prémiových cen, které na určité trhy přinášejí. [10]

Největší objem zboží je tříděn pro trhy s použitým oblečením, primárně pro export do rozvojových zemí nebo pomoc při katastrofách. Západní oděv je vysoce ceněnou komoditou a možná slouží jako jediný zdroj cenově dostupného oblečení v mnoha rozvojových zemích, kde jsou úrovně příjmů tak nízké, že hlavním problémem je jídlo a čistá voda. Je zde ovšem i druhý názor, který tvrdí, že vývoz oblečení do těchto národů ohrožuje tradiční oděv mnoha domorodých kultur, a zároveň může ohrozit rodící se textilní a oděvní průmysl těchto zemí. [10]

Ne všechno oblečení je exportováno do rozvojových zemí světa. V současné době v Evropě i v České republice jsou velmi populární obchody s prodejem použitého oblečení, hlavně s prodejem značkového oblečení. Příklad tomu může být český secondhand s názvem „1981“, který se úspěšně věnuje udržitelné módě od roku 2014. [13]

2.3 Plastové odpady

Plastové odpady jsou syntetické nebo polysyntetické polymerní materiály, které se vyznačují tvrdostí, pružností a tepelnou odolností. Většina plastů je tvarovatelná, jejich hlavní výhodou je dobrá energetická zpracovatelnost a malá technologická náročnost, což je vyhovující pro masovou výrobu. Dle Českého statistického úřadu ze statistiky z roku 2018 bylo v České republice vyprodukováno až 28 milionů tun odpadu, z toho 3,7 milionů tun byl odpad komunální a celých 25 % daného komunálního odpadu tvořily plasty. Po papíru se jedná o druhou nejvytříděnější komoditu v České republice. [14]

Většina plastového odpadu se vyváží do asijských zemí z důvodů nižších nákladů na nakládání a recyklaci, než je aktuálně v Evropě. Dalším důvodem vyvážení odpadů jsou evropské restrikce pro recyklaci odpadů. Až donedávna končilo v Číně až 76 % plastového odpadu z Evropy (přibližně 7,3 milionů tun). Vývoz do Číny by měl být změněn, kde je velkou pravděpodobností, že změna nastane pouze v relokizaci konečného místa – místo Číny odpady skončí v jiném asijském státě. Změna vývozu může na druhou stranu vést i k druhé méně pravděpodobné variantě neboli k zefektivnění evropské recyklační infrastruktury. [14]

Aby byla recyklace efektivní, je nutné plasty co nejlépe vytřídit. Dnešní třídící linky pro plastový odpad jsou automatické nebo (častěji) manuální s lidskou obsluhou. Aby byl recyklát na konci třídění co nejvíce kvalitní, je nutné, aby daný plast byl při vstupu co nejčistší. Z běžného komunálního odpadu plastu, který se sbírá do žlutých popelnic, je možné recyklovat přibližně pouze 30 %. Plastové odpady se nejprve drtí a následně je tato drť použita pro výrobu nového produktu. [14]

Recyklace plastu není nikterak složitá, ovšem není ani nijak ekologicky příznivá. Jedná se o proces, který je velmi podobný prvotní výrobě plastu, při kterém vzniká odpad z nezpracovaného materiálu, ze spotřeby energie, odpadní vody a s negativními následky dopravy. [14]

Plasty se dají recyklovat takzvaným **zvlákňováním**. Zde se jedná o technologii, která má využití v textilním průmyslu. Textilní polyesterové výrobky vyrobeny z plastového odpadu již nelze dále recyklovat, tudíž až skončí jejich životnost, musí být likvidovány jako nerecyklovatelný odpad. Pro tuto výrobu se využívá roztříděný, nasekaný, čistý a vysušený PET materiál. Materiál se roztaví a zvlákni pomocí zvlákňovacího procesu, čímž vzniká textilní vlákno. [14]

Další metodou recyklace plastu je **Bottle-To-Bottle recyklace**. Zde se jedná o metodu s využitím PET lahví a výroby lahve nové. Do procesu může vstoupit pouze velice čistý PET materiál, který je pečlivě vytříděn, rozdrčen, umyt a vysušen. Následně je plast roztaven při teplotě 280 °C, poté jsou z taveniny odstraněny nečistoty a je chlazená. Tímto procesem vznikne regranulát. Z regranulátu se opět vytváří (vyfoukává) nová PET láhev. [14]

Třetí možností je získávání monomerů pomocí takzvané **chemické recyklace**, která je považována za budoucnost recyklačního průmyslu. Momentální velkou nevýhodou tohoto typu recyklace je vysoká energetická náročnost. [14]

TEORETICKÁ ČÁST

Rešeršní část diplomové práce se zabývá politickým vývojem skládkování textilního odpadu a následného nakládání s tímto odpadem. Porovnává textilní odpad způsobený automobilovým průmyslem oproti textilnímu odpadu vzniklého oděvním průmyslem a v neposlední řadě zahrnuje krátký vhled do problematicky plastových odpadů.

Teoretická část navazuje na rešeršní s bližším pohledem na recyklaci a nakládání s textilním odpadem. V této části práce jsou popsány možnosti recyklace textilních odpadů a v na konci kapitoly jsou rozebrány textilní materiály používané při výrobě potahů do automobilů.

3 Recyklace a nakládání s odpady

Každý občan má povinnosti nakládat s odpady pouze podle způsobů stanovených zákonem o nakládání s odpady, Zákon č. 541/2020 Sb., Sb. § 13, odstavec 1. mezi obecné povinnosti při nakládání s odpady se řadí: [5]

- a) Nakládání pouze způsobem stanoveným zákonem o odpadech a jinými právními předpisy vydanými ochranou životního prostředí a zdraví lidí. Během nakládání nesmí být překročen limit znečištění stanoven právními předpisy na ochranu životního prostředí a zdraví lidí.
- b) Nakládat s odpady se smí pouze v zařízeních určených k nakládání s odpady s danou kategorií a druhem odpadu. Výjimku tvoří přeprava odpadu, shromažďování odpadu, nakládání se vzorky odpadu a obchodování s odpadem.
- c) Hromadit odpady odděleně.
- d) Odpady se musí nakládat takovým způsobem, aby nemohlo dojít k odcizení odpadu, úniku nebo znehodnocení odpadu.
- e) Odpad, který není zpracován v souladu se zákonem o odpadech s výjimkami, musí předat v nezbytném množství k rozborům, analýzám a zkouškám pro vědecké účely, vývoje a výzkumy. Díky tomuto výzkumu bude odpad zařazen do kategorie odpadu pro budoucí nakládání s tímto odpadem. [5]

Každý druh odpadů má specifické vlastnosti a specifická rizika ohrožení životního prostředí, které musí být zohledněno při nakládání s odpady. U všech vzniklých odpadů musí být v první řadě omezen negativní dopad na životní prostředí a na lidské zdraví. Nakládáním s odpady se podle zákona o odpadech definuje jako: „*obchodování s odpady, shromažďování, sběr, výkup, přeprava, doprava, skladování, úprava, využití a odstranění odpadů*“. [6]

Katalog odpadů, podle vyhlášky č. 8/2021 Sb. o katalogu odpadů a posuzování vlastností odpadů (Katalog odpadů), řadí odpad podle šestimístního čísla dle druhu odpadu, první dvojčíslí značí skupinu odpadů, druhé dvojčíslí podskupinu odpadů a třetí dvojčíslí druh odpadu. Řazení odpadu do katalogu odpadů má následující logiku: [6]

1. hledání odpovídající skupiny,
2. hledání odpovídající podskupiny,
3. přiřazení názvu druhu odpadu s příslušným katalogovým číslem.

V každém případě se volí co nejurčitější označení odpadu. [15]

Významem slova recyklace je znovu využití neboli znovuuvedení do cyklu. V originálním znění znamená recyklace vrácení do procesu, ve kterém odpad vznikl – tedy s původním účelem a ve stejném systému. V dnešní době je význam recyklace rozšířenější, odpad lze rozšířit o další suroviny i umístit do jiného systému, než ve kterém vznikl. Tento systém lze považovat za strategii, která svým opakujícím se využíváním odpadů šetří přírodní zdroje a zároveň omezuje zatěžování životního prostředí škodlivinami spojenými s výrobou nového produktu. Pokud by nastal případ absolutního nedostatku, umožňuje recyklace zajištění zásob, čímž snižuje náklady při vzrůstajících cenách surovin a snižuje ekologickou zátěž prostředí odpady. [16][17]

Díky recyklaci je snaha o omezení vzniku odpadů s pomocí maloodpadových technologických postupů, ve kterých stejný výrobní proces nebo proces přímo navazující zužitkuje skoro všechny vzniklé odpady. Tato technologie je často považována za bezodpadovou technologii, zde ovšem dochází ke komplexnímu využití surovin a energie v cyklu: surovinový zdroj – výroba – spotřeba – druhotná suroviny. Tento cyklus nemá vliv na životní prostředí a není v konfliktu s jeho normální funkcí. [16][17]

Pro plné využití těchto technologií je zapotřebí udělat i zásadní změny v hospodářském systému. Z tohoto důvodu většinou zůstávají pouze na úrovni teoretických úvah nebo jsou uplatněny v nových projektech, při vytváření nových výrobních postupů. Toto konečné řešení je optimální a mělo by k němu směřovat úsilí konstruktérů, ekologů a ekonomů, ovšem je to také řešení technicky, ekonomicky i časově náročné. V současné době je trend veden spíše k druhé alternativě, čímž je uplatňování zásad recyklace ve smyslu opětovného zpracování a dalšího využití již existujících odpadů. [16][17]

3.1 Způsoby nakládání s odpady

Podle zákona o odpadech, Zákon o odpadech č. 541/2020 Sb. § 30 - § 58, se způsoby nakládání s odpady dělí následovně: [5][18]

A. Soustředování, skladování a sběr odpadu

Každý člověk má právo na soustředování odpadu, pokud splňuje technické podmínky se zajištěním ochrany životního prostředí a zdraví lidí stanovených vyhláškou ministerstva. Nebezpečné odpady musí být soustředovány odděleně, ostatní odpady nemusí být soustředovány oddělena na základě povolení příslušných státních orgánů nebo na základě povolení provozu zařízení. [5][18]

Skladování odpadu určeného k odstranění může být skladován nejvýše 1 rok. V opačném případě, pokud je odpad určen k dalšímu využití, může být skladován delší dobu než 1 rok. [5][18]

Sběr odpadu, pro usnadnění přepravy odpadu není vyžadováno třídění odpadu. Odpad smí být uložen v zařízení ke sběru odpadu nejvýše 9 měsíců. [5][18]

B. Úprava odpadu

Příklady úpravy odpadu: výroba paliv z odpadů, zpětné získávání nebo regenerace rozpouštědel, recyklace papíru, recyklace plastu, opětovné použití organických materiálů, kompostování, zpracování vozidel s ukončenou životností a tak dále. [5][18]

C. Využití odpadu

Odpad je zde určen ke konečnému využití, odpad může být přetvořen na součást povrchu terénu, zpracován do nového výrobku či stavby nebo je využit jako energie. Odpad, který je určen ke zpracování jako součást povrchu terénu, musí vyhovovat tomuto účelu a je omezen pouze na množství odpadu nezbytně nutné pro dosažení tohoto účelu. [5][18]

D. Energetické využití odpadu

Pro tento účel může být použit pouze odpad, který nepotřebuje ke spalování podpůrné palivo a vzniklé teplo se použije pro vlastní potřebu či potřebu dalších osob. Dalším způsobem využití může být použití odpadu jako paliva (přídavného paliva) pro výrobu energie v zařízeních určených pro danou výrobu. Tímto směrem nakládání s odpady se nejčastěji nakládá s textilem získaným z vozů s ukončenou životností. [5][18]

E. Odstranění odpadu

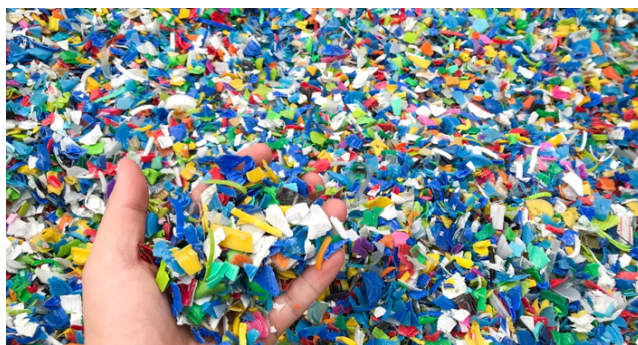
Při splnění stanovených podmínek právních předpisů může být odpad odstraněn pomocí uložení do podzemních prostorů. Oddělený soustředovaný komunální odpad, který je vhodný pro recyklaci nebo opětovné použití (zejména: papír, sklo, plasty, textil, kov a biologický odpad), nesmí být zařazen k odstranění. Jedním z druhů odstranění odpadu může být i skládkování. [5][18]

Všechny předešlé způsoby nakládání odpadů mohou být uskutečněny pouze v zařízeních určených k danému nakládání a musí splňovat technické podmínky stanovené vyhláškou ministerstva. [5][18]

3.2 Způsoby recyklace odpadů

Během výroby dochází ke vzniku technologického odpadu, například: vadné výrobky, textilní odřezky z oděvní výroby, zbytky vtokových systémů při vstřikováním a podobně. Na tento druh odpadu se nejčastěji vztahuje recyklace technologického odpadu, která tkví v jeho rozdrncení, roztrhání či natrhání, díky kterému může následovat případná regenerace. Jak regenerulát, tak drť se standardně používá zpět ve výrobě. [16]

Linka na mechanické zpracování plastového odpadu – polypropylen, polyvinylchlorid (PVC) a další, do plastové drtě, tato surovina má význam pro další plastikářské výrobky, kde je použita. Linka může mít různě velikosti sít (od 8 mm do 25 mm), což určuje výslednou velikost drtě. Na následujícím obrázku je zobrazena plastová drť. [16]



Obrázek 3 Plastová drť [16]

Regranulát je výstupem tepelného zpracování plastů a také je tato surovina použita pro výrobu dalších plastikářských výrobků. Hlavní výhodou tohoto tepelného zpracování je možnost volby velikosti a typu granulí a možnost barvení materiálu na požadovaný odstín. [16]



Obrázek 4 Ukázka velikostí plastových granulátů [16]

Textilní výrobky mohou být zpracovány několika způsoby. Textilní odpady z autopotahů bývají rozdraceny na nožovém mlýnu, například na velikost 20-40 mm. Velikost výsledné drtě se odvíjí od velikosti sítí použitých během recyklace textilu. Ostatní textilní materiály bývají většinou zpracovány pomocí trhacího stroje, který vyrábí textilní trhaninu pro další zpracování. [16]



Obrázek 5 Rozdraceny odpad z autopotahů [16]



Obrázek 6 Textilní trhanina [16]

Odpady se dají recyklovat čtyřmi možnými způsoby: [16][17]

1. mechanická recyklace,
2. chemická recyklace,
3. surovinové recyklace,
4. energetická recyklace.

3.2.1 Textilní recyklace odpadů

Recyklace je proces, ve kterém je výrobek nebo jeho součásti použity k vytvoření něčeho nového, představuje technickou formu opětovného použití, ale konkrétně se týká vyřazených položek, minimalizace používání primárních surovin a množství likvidace odpadu na skládkách nebo zasilání ke spalování. Opakované použití je však obecný termín, který kombinuje materiály nebo položky, které mají opakovaně použitelné vlastnosti, bez ohledu na to, zda by produkt měl stejnou funkci nebo ne. Recyklace a procesy opětovného použití přispívají ke správě a zachování surovin, které by jinak byly vyřazeny, což snižuje potřebu nového využívání přírodních zdrojů, které by byly potřebné k výrobě nového zboží a produktů. [1]

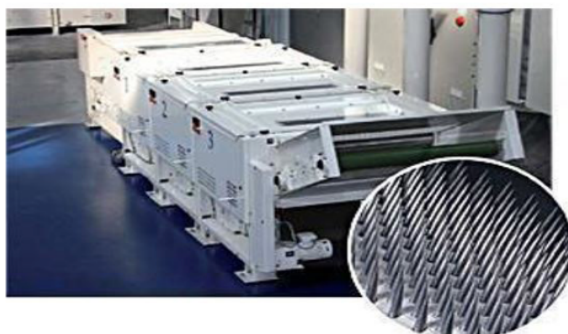
Ve většině případů se u textilu nejedná o recyklaci, ale o formu re-use nebo downcycling. Díky tomu, že je textil vyráběn z několika kombinací různých materiálů, je velmi obtížné textil recyklovat. Ve světovém měřítku se recykluje přibližně 1 % textilu z cca 100 miliard vyrobených kusů oblečení. Této skutečnosti nepomáhá ani evropská legislativa, která řešení recyklace textilu odsunula na rok 2025. V dnešní době se nejčastěji používá textil skrze downcycling pro sběrový textil s konečnou výrobou hadrů, izolací nebo výplní v čalounictví. [19]

3.2.2 Mechanická recyklace textilního materiálu

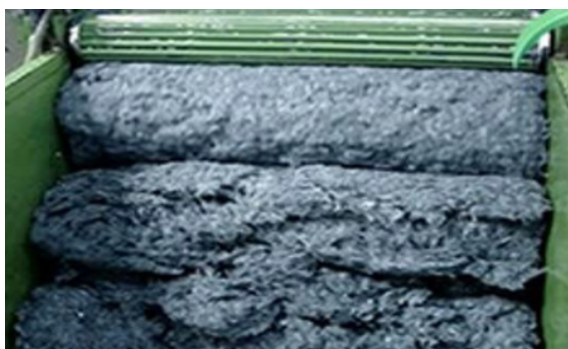
Nejběžnějším procesem recyklace textilu je mechanická recyklace řezáním a drcením zbytků tkanin podle kapacity stroje a konečného produktu. Následující obrázek zobrazuje začátek procesu řezání a drcení se strojem, který obsahuje kousky džínů. Stroj, který proces provádí, může být složen z 2, 4, 6 nebo 8 rolí válců – čím více válců, tím vyšší kvalita recyklovaného vlákna. Válečky mají různý průměr s četnými jehlami na povrchu, jak je znázorněno na obrázku, které jsou zodpovědné za trhání a drcení hadrů. Otáčejí se ve vysoké rychlosti a daný počet jehel se zvyšuje s každým válcem, aby se textilní materiály úplně rozdrtily. [18]



Obrázek 7 Zahájení drtiče džínů [10]



Obrázek 8 Drtič určený k recyklaci zbytků spřádaných, tkaných, pletených a netkaných textilií [10]



Obrázek 9 Drť z roztrhaných džínů [10]

Podle složení textilních zbytků se recyklovaná vlákna mohou znovu použít v průmyslu s přikrývkami, vycpávkami, geotextiliemi a plnivy. [18]

3.2.3 Firma Retex a. s.

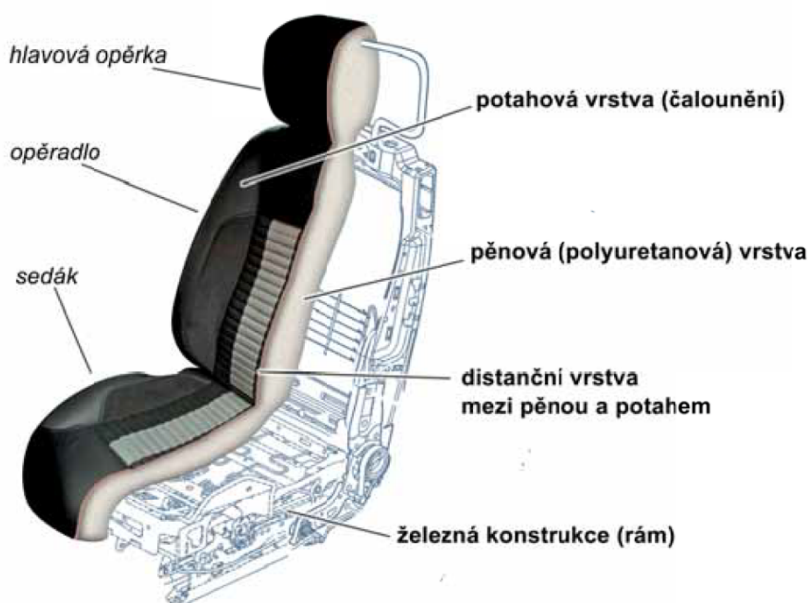
Firma RETEX je jednou z mála českých firem, která se zabývá recyklací textilu i z oblasti automobilového průmyslu. Jedná se o akciovou společnost založenou v roce 1950 s významnými zákazníky u dodavatelů komponentů pro automobilový průmysl a velké střední stavební firmy z České republiky. Firma se zabývá výrobou produktů pro automobil, geotextilie, zelené střechy a další. [20]

V rámci automobilů je RETEX výrobcem netkaných textilií, které jsou využity v automobilech následujících značek: ŠKODA Auto, Volkswagen, KIA, SUZUKI a další. Mezi hlavní výrobky firmy RETEX pro automobil patří interiérové dekorativní koberce, pohledové koberce zavazadlové části a interiérové a exteriérové izolace. Pro výrobu těchto netkaných výrobků jsou využita například tato vlákna: polyesterová vlákna, polypropylenová vlákna, recyklovaná přírodní i syntetická vlákna. [20]

Výrobky jsou vyráběny buď technologií vpichování nebo airlay. Vpichovací linka určena pro zpevňování vlákenné vrstvy pomocí vpichování, firma má k dispozici čtyři linky v rozsahu plošných hmotností 80-1500 g/m². Metoda airlay neboli aerodynamická tvorba vlákenné vrstvy s účelem termického zpevňování má rozsah plošné hmotnosti 600-6000 g/m² s tloušťkou 5-200 mm. Firma také disponuje čtyřmi recyklačními linkami o maximální kapacitě 1000 kg/h, které mechanicky (trhání a drcením) recyklují secondhandový textil a technické textilie. Tato recyklační linka byla využita pro recyklaci auto potahového materiálu využitého v této práci. Pro zušlechťovací technologie firma využívá následujících technologií: chemická a práškovací linka (latexová úprava, nehořlavá či hydrofobní úprava), velurování a postřih nebo formátování. [20]

4 Materiály používané u autosedaček

Autosedačka je jedním z hlavních prvků komfortu vozidla, u kterého je nejdůležitějším faktorem bezpečí pasažéra, přičemž důležitý je tvar opěradel. U sedícího pasažéra by opěradlo mělo přesně kopírovat záda. Klínovitě projmutá hlavová opěrka je umístěna ve vrchní části autosedačky a je jejím úkolem udržet hlavu pasažéra ve správné poloze i při prudší akceleraci vozu. Téměř všechny autosedačky jsou totožné svou základní konstrukcí a liší se hlavně druhem použitého vrchního materiálu, způsobem ušití jednotlivých částí autosedačky a způsobem uchycení materiálu. [21]



Obrázek 10 Schéma autosedačky [21]

Při výrobě autosedačky se jako první zhotovuje pěna, která se připevňuje k železné konstrukci autosedačky, na zhotovenou pěnu se následně napíná potah. Pomocí speciálních úchytů se ke konstrukci přidělávají pěnové opěrky. Předposledním úkolem při výrobě autosedaček je potažení bederní části a přežehlení celého povrchu. Jako poslední úkol je montáž doplňků – zámky, loketní opěrky, sklápěcí mechanismy a podobně. Po dokončení tohoto procesu se spojí zadní a přední sedák. [21]

Kovová konstrukce je první vyrobená část autosedačky, která je pevně ukotvena v interiéru vozidla. Může být vyrobena v různých formátech a tvarech. Má v sobě ukryto velké množství otvorů pro uchycení potahů a regulátor sklonu opěrné části sedadla pro zajištění většího komfortu pasažéra. Nadstandardní výbavou kovové konstrukce mohou být boční airbagy či vyhřívaná spirála pro vyhřívání sedaček. [21]

Pěnová vrstva tvoří tvar autosedačky a je zpravidla tvořena polyuretanovou pěnou, která je obsažena v přední části sedáku a v opěradle. Pěna může být vyrobena ve formě vložek, tvarových plátů nebo kvádrů. Důležité vlastnosti pěny jsou materiálové složení, tuhost a tvar, který závisí na typu zvoleného rámu sedadla, ten musí pěna přesně kopírovat. Tvrdost pěny mají sedadla převážně jednotnou ve všech částech sedadla. Tvrdost se může lišit u předních a zadních sedadel ve vozidle konkrétně v sedáku, ovšem musí být dostatečná pro zajištění pohodlí a pevné opory těla pasažérů. Po celé ploše pěnové vrstvy se nachází otvory pro uchycení potahu a na boční straně se nachází otvory pro průchod airbagů. [21]

Potahová vrstva neboli čalounění, je vnější vrstva autosedaček, která je tvořena textilním materiálem nebo přírodní či syntetickou usní. [21]

4.1 Čalounické materiály

Do čalounění jsou zahrnuty svrchní díly základních konstrukčních částí sedadel, loketní opěrky, stropní panely, dveřní výplně, sluneční clony a další částí automobilu. Laminace zajišťující komfort je opatřena u plošných textilií, které jsou nositeli nejen estetických vlastností potahového materiálu. Pěnová vrstva bývá potažena řídkou podkladovou tkaninou (folií, podšívkou), na kterou je potažena svrchní textilní část čalounění. Potahová tkanina slouží pro zajištění pevnosti konstrukce a pro zamezení oděru či jinému poškození materiálu. [21]

Vnější vrstva čalounění je ve velké části případů hustá tkanina vyrobena v keprové či plátňové vazbě, zhotovena na pneumatickém tryskovém stavu. Častým materiálem pro dané tkaniny je polyester, pro své vhodné vlastnosti jako je vysoká pevnost, tažnost, snadná manipulace a podobně. Hlavními vlastnosti příze vhodné pro čalounění se vyznačuje váha a vysoký objem, zde jsou vhodné jádrové efektní příze. Střed příze tvoří vnitřní hedvábná nit (jádro) opředená objemnou vnější přízí (efekt). Jádro příze zajišťuje pevnost a vnější příze určuje vzhled čalounění. [21]

Pro čalounění bývá používán například: kůže, usně, polyester, polyamid 6, polyamid 6.6, polypropylen a alcantara. [21]

4.2 Možnosti recyklace autopotahů

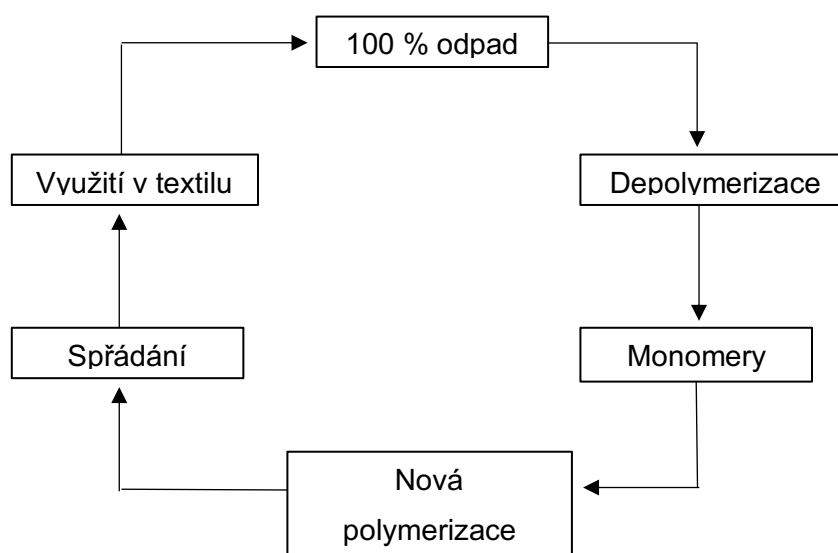
V Evropské unii se na takzvaná „vozidla s ukončenou životností“ (ELV) vztahují přísná pravidla stanovená směrnicí o elektrických vozidlech (2000/53/ES). Tato směrnice stanoví povinné recyklační cíle pro těžká vozidla a postupem času zakázala používání určitých látek v automobilech. [22]

Typické auto obsahuje asi 15 kg polyuretanů, z toho asi 8,5 kg polyuretanové pěny v autosedačkách. Ty lze recyklovat řadou různých metod. Volba metody je ponechána na recyklátorovi, který bere v úvahu technické a ekonomické podmínky, jako jsou místní podmínky, tržní kapacity pro recykláty a technická/ekonomická proveditelnost. [22]

Recyklace autopotahů se nejčastěji dělí na:

- energetická recyklace (více informací v kapitole Skládání a energetická recyklace),
- mechanická recyklace (více informací v kapitole Mechanická recyklace),
- chemická recyklace.

Pro chemickou recyklaci jsou nejčastěji použita syntetická vlákna nebo smíšená vlákna (kombinace přírodních a syntetických). Principem recyklace je rozložení původního vlákna na molekulární úroveň a poté surovinu polymerizovat, dochází k chemickému oddělení od původní textilie. Pokud jsou recyklována čistě celulózová vlákna je degradace docílena enzymatickou nebo kyselou hydrolýzou. Níže je znázorněn proces chemické recyklace. [11]



Obrázek 11 Chemická recyklace textilu ze syntetického materiálu [12]

Chemická recyklace je ekonomicky náročnější než mechanická recyklace, jelikož vyžaduje větší množství energie, ovšem využití konečného výrobku je mnohem rozmanitější. Chemická recyklace je považována za budoucnost recyklace textilu, momentálně je kvůli nákladnému provozu využívána v omezené míře. [11]

4.2.1 Skládování a energetická recyklace

Jak již bylo v práci zmíněno výše, skládování a energetické využití textilního odpadu je aktuálně nejčastější způsob skladování a recyklace odpadů autopotahů. [4]

Skládování odpadů je doprovázeno několika podmínkami, které je nutno splnit: [1]

- pozemek pro skládování musí být umístěn s přesně definovanými hydrogeologickými, hydrologickými a geotechnickými podmínkami,
- skládka musí být těsněna s ohledem na druh přijímaného odpadu,
- podle druhu přijímaného odpadu je navrženo a určeno odplynění skládky.

Skládky jsou dále kategorizovány do tří skupin: [1]

- skupina S – interní odpad, označovaná také jako S-OI,
- skupina S – ostatní odpad, označovaná také jako S-OO, zde existují tři podskupiny (S-OO1, S-OO2 a S-OO3),
- skupina S – nebezpečný odpad, označovaný jako S-NO. [1]

Terénově rozlišujeme několik druhů skládek – podúrovňové (skládka v terénních prohlubních do úrovně terénu), nadúrovňové (zakládají se na úrovni terénu) a kombinované (skládka začíná v prohlubni a pokračuje nad úroveň terénu). Další možností skládování může být podzemní skládka, kde se využívá přírodní nebo uměle vytvořené dutiny pod povrchem země. Podle stavebního hlediska se rozlišují skládky dle zajištění těsnění na netěsněné skládky a těsněné skládky přírodním materiálem (jíl nebo bentonit) nebo syntetickým materiálem (folie z PVC nebo polyetyleny), případně těsnění v kombinaci obou materiálů. [23]

Jednou z hlavních nevýhod skládkování je možné ohrožení životního prostředí. Zbavování tuhého komunálního odpadu pomocí skládkování je relativně nejméně náročný způsob odstranění odpadu. Ovšem tento způsob přináší nejen jeden problém, mezi ty nejzávažnější problémy patří například: [23]

- vznik skládkového plynu v tělese skládky,
- výtok průsakové vody z tělesa skládky,
- prašnost, zápach, úlety materiálů,
- stabilita skládky, sedání skládky,
- koncentrace výskytu hlodavců a ptactva,
- hlučnost během provozu skládky. [23]

Při skládkování oděvů dochází během jeho rozkladu k úniku metanu, skleníkového plynu, které přispívají ke globálnímu oteplování. Chemikálie a barviva, které oděvy obsahují se poté mohou dostat do povrchových vod a do půdy. [24]

Aktuálně podle Ministerstva životního prostředí je konec skládkování využitelných odpadů posunut z původního roku 2024 na rok 2030. Takto bylo rozhodnuto v novém zákonu o odpadech platným od 1. ledna 2021.

Energetická recyklace je určena pro odpad, který nelze využít jiným způsobem. Základem energetické recyklace je spalování ve speciálních topeništích určených k tomuto procesu. Výstupem procesu energetické recyklace je tepelná energie určené převážně k vytápění obcí, měst či firem. Topeniště musí být správně navržena, aby při spalování odpadu nedocházelo k únikům například dioxinů při spalování plastů. Nejvíce nebezpečné bývá spalování PVC, polyamidů, polyuretanů a pryží, zde dochází po spálení neutralizování spalin do pevné formy. [18]

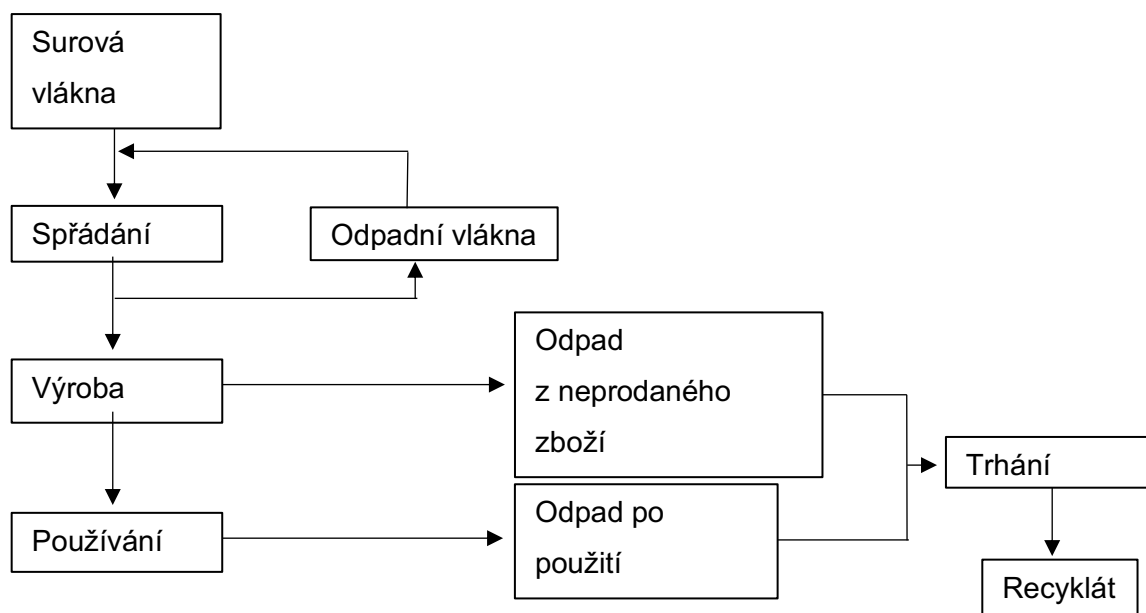
V dnešní době až 90 % textilu končí na skládkách nebo pro energetické využití. Pro porovnání v Číně každý rok skončí na skládce přibližně 20 milionů tun oblečení, v USA 10 milionů tun, ve Velké Británii 1 milion tun a v České republice přibližně 200 000 tun (cirka 6 % komunálního odpadu). [24]

4.2.2 Mechanická recyklace

Mechanická recyklace neboli materiálová recyklace (též fyzikální) zahrnuje postupy, které se zakládají degradace recyklovaného textilu se vznikem drtě. U případů kontaminovaných odpadů je nutné do procesu zahrnout i mytí, popřípadě plavení drtě. Po vytvoření drtě následuje sušení a regranulace (pokud je nutná). Regranuláty a drtě jsou využívány dle svého složení a znečištění pro výroby dalších méně náročných výrobků. Jednou z možností je využití drtě s přidaným plastem s účelem výroby nového kvalitnějšího výrobku, jako jsou například výlisky nebo pásy. [18][11]

Materiálová recyklace je velmi vhodná pro termoplasty, vzhledem k zahrnutí procesů od mletí textilních odpadů a následné tepelně mechanického zpracování pro výrobu výrobků nových. Dále proces může obsahovat kompatibilizační postupy, které u taveniny slouží jako vícesložkový materiál u směsí odpadních plastů. Tímto způsobem je rozuměn postup, který má vliv na zvýšení snášenlivosti mezi nemísitelnými termoplasty ve směsi snížením mezifázového napětí – postup vede ke zlepšení soudržnosti, pevnosti výsledného materiálu. [18]

Tento způsob recyklace textilu nejčastěji slouží k čalounění, náplní do matrací, izolací či pro výrobu zahradnických kapilárních rohoží. Níže je uvedeno schéma etap procesu mechanické recyklace. [11]



Obrázek 12 Schéma etap procesu mechanické recyklace [12]

Techniky mechanické recyklace se dělí do tří skupin:

1. Technika pro výrobu textilií – textilní odpad je nařezán na kvalitní kusy z nichž je vyroben nový produkt (například pantofle nebo peněženky). Způsob je nejčastěji využit charitami a některými firmami.
2. Technika pro výrobu vláknenných segmentů – textilní odpad je rozřezán a prohnán bubnem pro získání vláken, která jsou následně čištěna a promíchána s novými vlákny. Příze vyrobeny tímto způsobem mívají horší fyzikální vlastnosti a mají smíšenou barvu, která se špatně barví, další nevýhodou jsou různé délky vláken.
3. Technika pro výrobu příze – tato technika mechanické recyklace je vázána na vlastnosti vláken. Odpad je nejprve čištěn, poté nařezán a taven, ve výsledné fázi je namotán do příze. Výsledná příze je používána k výrobě netkaných produktů, například pro výrobu izolačních materiálů v automobilovém průmyslu, čalounění, podkladových kobereců, tamponů či jednorázových vložek. Takto vyrobené příze mívají převážně černou nebo šedou barvu. [11]

5 Zkušební metody

Textilní izolační materiály se neobejdou bez testovací fáze, při které se měří jejich mechanické, geometrické, tepelně izolační vlastnosti a zvuková pohltivost. Tyto vlastnosti se dají měřit pomocí vybraných testovacích zařízení. V podkapitolách jsou uvedeny některá z těchto měření.

5.1 Stanovení plošné hmotnosti a objemové hmotnosti textilií

Plošná hmotnost textilií je vyjádřena pomocí následujícího vzorce: [25]

$$\rho_s = \frac{m}{S} = \frac{m}{l \cdot b} \text{ [kg} \cdot \text{m}^{-2}] \quad (1)$$

ρ_s ... plošná hmotnost [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$]

m ... hmotnost odstříhu [kg] plošné textilie o ploše S [m^2]

S ... plocha odstříhu plošné textilie [m^2]. l je délka vzorku a b je šířka vzorku [m^2]

Objemová hmotnost textilií je vyjádřena pomocí následujícího vzorce: [16]

$$\rho_v = \frac{m}{h \cdot S} = \frac{m}{V} \quad (2)$$

ρ_v ... objemová hmotnost [kgm^{-3}]

h ... tloušťka jednotlivých vzorků [m]

V ... objem vzorku [m^3]

5.2 Stanovení zaplnění a pórovitosti

Zaplnění μ [-] je vyjádřeno procentuálním podílem vláken v textilním nebo nevlákněném útvaru. V diplomové práci je použita pro výpočet hmotnostní interpretace zaplnění, která je vyjádřena následujícím vzorcem: [26]

$$\mu = \frac{V}{V_c} = \frac{\frac{V_c \gamma}{\rho}}{V_c} = \frac{\gamma}{\rho_{SM\check{E}S}} \quad (3)$$

γ [kgm^{-3}] představuje objemovou měrnou hmotnost vlákenného útvaru, který se vypočítá podle vzorce:

$$\gamma = \frac{m}{V_c} \quad (4)$$

kde m [kg] značí hmotnost a V_c [m^3] značí celkový objem vlákenného útvaru. [26]

$\rho_{SM\check{E}S}$ [kgm^{-3}] představuje objemovou hmotnost vlákenné směsi a vypočítá se pomocí vzorce:

$$\rho_{SM\check{E}S} = \frac{1}{100} \sum_{k=1}^k \rho_k v_k \quad (5)$$

kde v_k [%] značí procentuální podíl materiálové komponenty a ρ_k [kgm^{-3}] značí hustotu materiálové komponenty, tato hodnota je přejata z tabulek. [26]

Pórovitost P [%] je vyjádřena jako obsah pórů naplněných vzduchem v textilií a má vliv na propustnost a prodyšnost textilie. Výpočet je stanoven z hodnoty zaplnění a je vyjádřen vzorcem takto: [32]

$$P = (1 - \mu) * 100 \quad (6)$$

5.3 Stanovení odporu proti stlačení

Postup měření je uveden v normě ČSN EN ISO 3386, která odpor proti stlačení definuje takto: „*Odpor proti stlačení (compression stress/strain characteristic) (CC): napětí, vyjádřené v kilo pascalech, požadováno k vyvození tlaku při konstantní rychlosti deformace během čtvrtého zatěžovacího cyklu zkoušky specifikovaného níže jako funkce stlačení.*“ [27]

Odpor proti stlačení v kilo pascalech je vyjádřen, pro jakékoliv procentuální stlačení, následujícím vzorcem:

$$CC_{xx} = 1000 * \frac{F_{xx}}{A} \quad (7)$$

kde CC_{xx} značí odpor proti stlačení při stlačení o xx %, F_{xx} [N] značí sílu zaznamenanou při čtvrtém zatěžovacím cyklu při stlačení o xx % a A [mm^2] značí plochu povrchu zkušební tělesa. [27]

Zkušební těleso musí být upraveno na pravoúhlý, rovnoběžný nebo válcový tvar s minimálním poměrem šířky nebo průměru k tloušťce 2:1. Plocha zkušební tělesa nesmí přesahovat stlačovací desku. Normou je doporučeno provádět měřicí metodu třikrát a není doporučeno zkoušet zkušební tělesa dříve než po 72 hodin od vyrobení. [27]

5.4 Stanovení tepelně izolačních vlastností

Měrnou tepelnou vodivostí lze charakterizovat izolační (tepelné) vlastnosti každého materiálu. V diplomové práci byl zvolen přístroj Alambeta, vyvinut panem Hesem a Doležalem, který se využívá pro měření tepelných vlastností plošných textilií. Na Alambetě byly měřeny tepelně izolační vlastnosti každého vzorku: měrná tepelná vodivost, měrná teplotní vodivost, plošný odpor vedení tepla, tepelná jímavost, tepelný tok a tloušťka vzorků. [28]

Tepelný tok q ukazuje šíření tepla z hlavice přístroje (ruky) o určité teplotě t_2 do textilie o počáteční teplotě t_1 za jednotku času. Tento jev je vyjádřen následujícím vzorcem: [28]

$$q = b \frac{t_2 - t_1}{\sqrt{\pi * \tau}} [Wm^2] \quad (8)$$

Měrná tepelná vodivost λ vyjadřuje množství tepla protékajícího jednotkou délky za jednotku času, vytváří rozdíl teplot 1 K. Teplotní vodivost klesá s rostoucí teplotou. Pokud má materiál vysokou hodnotu λ je označen jako vodič, v opačném případě se jedná o izolátor. Nejnižší tepelnou vodivost mívají textilie vyrobeny z velmi jemných vláken. [28]

Měrná teplotní vodivost a určuje schopnost látky vyrovnávat teplotu. Pokud je naměřená hodnota vyšší, látka vyrovnává teplotu rychleji (při nestacionárním procesu). Tento jev je vyjádřen pomocí následujícího vzorce: [28]

$$a = \frac{\lambda}{c * \rho} [m^2 s^{-1}] \quad (9)$$

Plošný odpor vedení tepla r je určen poměrem měrné tepelné vodivosti a poměrem tloušťky materiálu. Říká, který odpor klade materiál proti průchodu tepla textilií. Čím vyšší je tepelný odpor, tím nižší je tepelná vodivost. Pokud má materiál nízkou tepelnou vodivost a vysoký tepelný odpor, jedná se o kvalitní tepelný izolant. Plošný odpor vedení tepla je vyjádřen následujícím vzorcem: [28]

$$r = \frac{h}{\lambda} \quad (10)$$

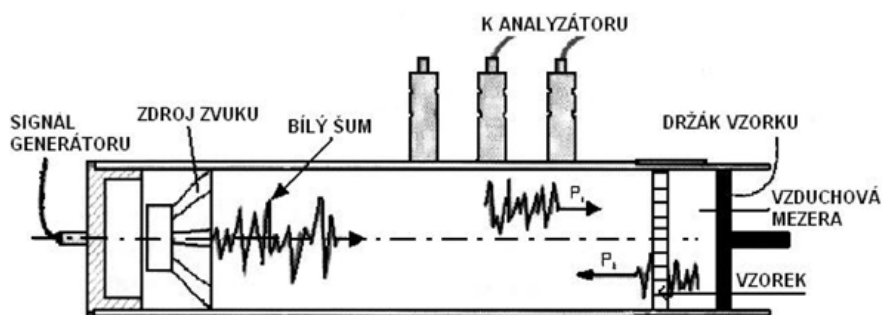
Tepelná jímavost b charakterizuje tepelný omak a ukazuje množství tepla, které proteče při rozdílu teploty 1 K jednotkou plochy za jednotku času v důsledku akumulace tepla v jednotkovém objemu. Materiál s vyšší absorpční schopností je počítován pomocí hmatu jako chladnější. Tepelná jímavost je vyjádřena pomocí následujícího vzorce: [28]

$$b = \sqrt{\lambda * \rho * c} \quad (11)$$

5.5 Stanovení zvukové pohltivosti

Pro měření akustických charakteristik (činitele zvukové pohltivosti) při kolmém dopadu zvuku se používá impedanční trubice. Měření zvukové pohltivosti funguje na přenosové funkci mezi dvěma místy v trubici. Pro toto měření jsou v trubici nainstalovány dva mikrofony, každý v odlišné vzdálenosti od měřeného materiálu. Lícová strana měřeného materiálu je umístěna v takzvané referenční rovině, podle české technické normy ČSN ISO 10534-2. K buzení rovinných vln v trubici je využit akustický zdroj vytvářející pseudonáhodný širokopásmový šumový signál. Činitel zvukové pohltivosti α je definován poměrem pohlcené akustické energie k celkové energii dopadající. Tato velikost je definována intervalem od 0 do 1. Aby byl měřený vzorek dokonale pohltivý, musí alfa nabývat jedné (100% pohltivost), naopak pokud má být vzorek dokonale odrazivý, je

pohltivost rovna nule (nulová pohltivost). Za dobře pohltivé materiály se považují materiály, které mají hodnotu alfy vyšší než 0,6. Na následujícím obrázku je ukázán náčrt uspořádání impedanční trubice s popisem. [29]



Obrázek 13 Náčrt uspořádání impedanční trubice [29]

Měření tepelné pohltivosti může být provedeno na dvou typech vzorků: [29]

- a) vzorek o kruhovém průměru 100 mm, kde se měří na nižších frekvencích (50 Hz – 1,6 kHz),
- b) vzorek o kruhovém průměru 29 mm, kde se měří na vyšších frekvencích (500 Hz – 6,4 kHz).

EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

V teoretické části byly popsány možnosti recyklace textilních odpadů s důrazem na mechanickou recyklaci, které se bude v práci využívat pro recyklaci autopotahů.

Cílem experimentální části práce je návrh a výroba druhotného produktu vyrobeného z recyklované drtě textilních autopotahů. V první části experimentu se práce zabývá recyklací textilních autopotahů, analýzou textilního recyklátu, navrhnutím a výrobou vhodného druhotného produktu. Druhá část experimentu pojednává o zkoušení daných vzorků na vybrané zkušební metody pro vyhodnocení vlastností vzorků.

Zkušební metody vyhodnocení vlastností vzorků vyrobených z drtě autopotahů a vrstvy pojivého systému jsou inspirovány diplomovou prací Veroniky Prokopové, která ve své práci podobným způsobem řeší výrobu druhotného výrobku z drtě autopotahů. Diplomová práce paní Prokopové se zabývá recyklací odpadů z čalounění automobilů. Paní Prokopová ve své práci vyráběla desky z textilního odpadu vzniklého při výrobě potahů do automobilů. Vyrobené desky poté testuje a vyhodnocuje na:

- stanovení tloušťky,
- stanovení objemové hmotnosti,
- měření tepelné vodivosti,
- měření zvukové pohltivosti,
- měření pevnosti v ohybu.

Během testování vzorků bylo vynecháno poslední měření na pevnost v ohybu a bylo nahrazena testováním vzorků na odpor proti stlačení.

Experimentální části diplomové práce probíhaly v následujícím pořadí:

- drcení materiálu na jednu určitou velikost,
- vytvoření směsi drtě s pojivým materiálem,
- vytvoření vzorků druhotného produktu,
- testování a vyhodnocení vlastností vzorků,
- navrhnutí vhodného druhotného výrobku z recyklovaných autopotah

6 Použité materiály

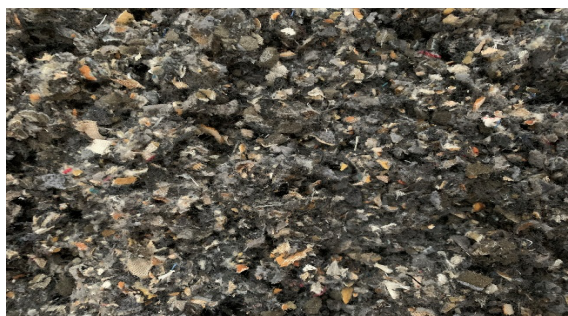
Pro výrobu vzorků byly použity odpady z autopotahů, které byly získány z Autovrakoviště Hejtmánka s. r. o. Odpady byly následně recyklovány pro vytvoření drtě. Recyklovaná drť byla analyzována pro přesné určení složení recyklátu.

6.1 Recyklát z autopotahů

Autopotahy obsahují zbytky polyuretanové pěny přilepené k textilnímu podkladu z polyesteru a polyamidu 6. Někdy obsahují zbytky kovů, plastů i drátů, které jsou k textilu přidělány pro podporu tvaru sedačky. Před začátkem recyklace byly veškeré plasty, kovy a dráty z textilu manuálně odstraněny. Pro výrobu testovacích vzorků bylo recyklováno 30 kg autopotahů. Potahy byly rozvlákněny v recyklační lince na textil ve firmě RETEX, kde byly drceny na velikost částí 10 mm.

Pro výrobu textilní drtě byla využita recyklační linka textilního materiálu firmy RETEX. Při recyklaci byly použity nožové mlýny. Firma disponuje čtyřmi recyklačními linkami s maximální kapacitou 1000 kg/h. Stroje se dělí podle druhů materiálu, který je schopen nadrtit, podle formy a rozměrů, které požaduje výsledná drť (tento efekt je ovlivněn velikostí sít). [16][20]

Odpad byl firmou recyklován na nožovém mlýnu ve velikosti přibližně 10 mm.

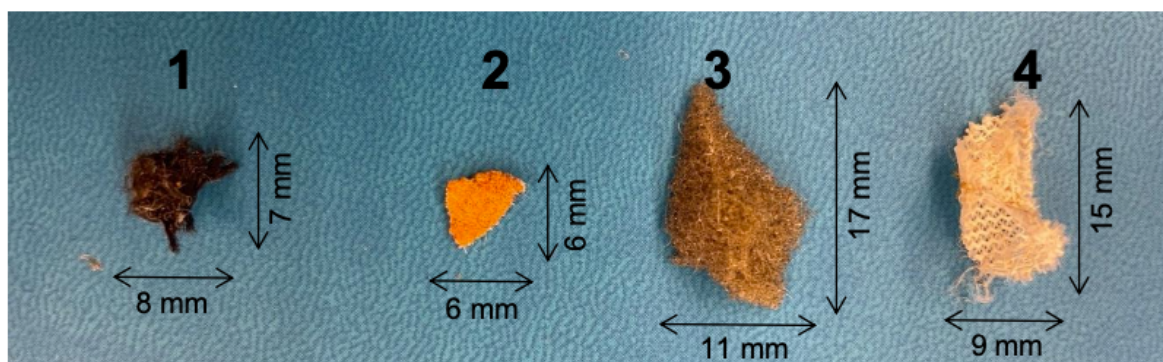


Obrázek 14 Drť z odpadového materiálu

Bylo analyzováno 100 g drtě (odebráno z pěti míst po 20 g). Následně bylo těchto 100 g drtě mechanicky rozděleno na 5 recyklátů podle vzhledu (recyklát 1-5). Recyklát 5 obsahoval drobné části materiálů, které nebylo možno rozdělit, nečistoty a prach. Zbylé recykláty 1-4 jsou zobrazeny na obrázku 15. Všechny recykláty byly zváženy pro určení relativního hmotnostního podílu jednotlivých recyklátů v recyklované drti. Hmotnostní podíl jednotlivých recyklátů je uveden v procentech v tabulce 2.

Tabulka 2 Hmotnostní a materiálové složení drtě

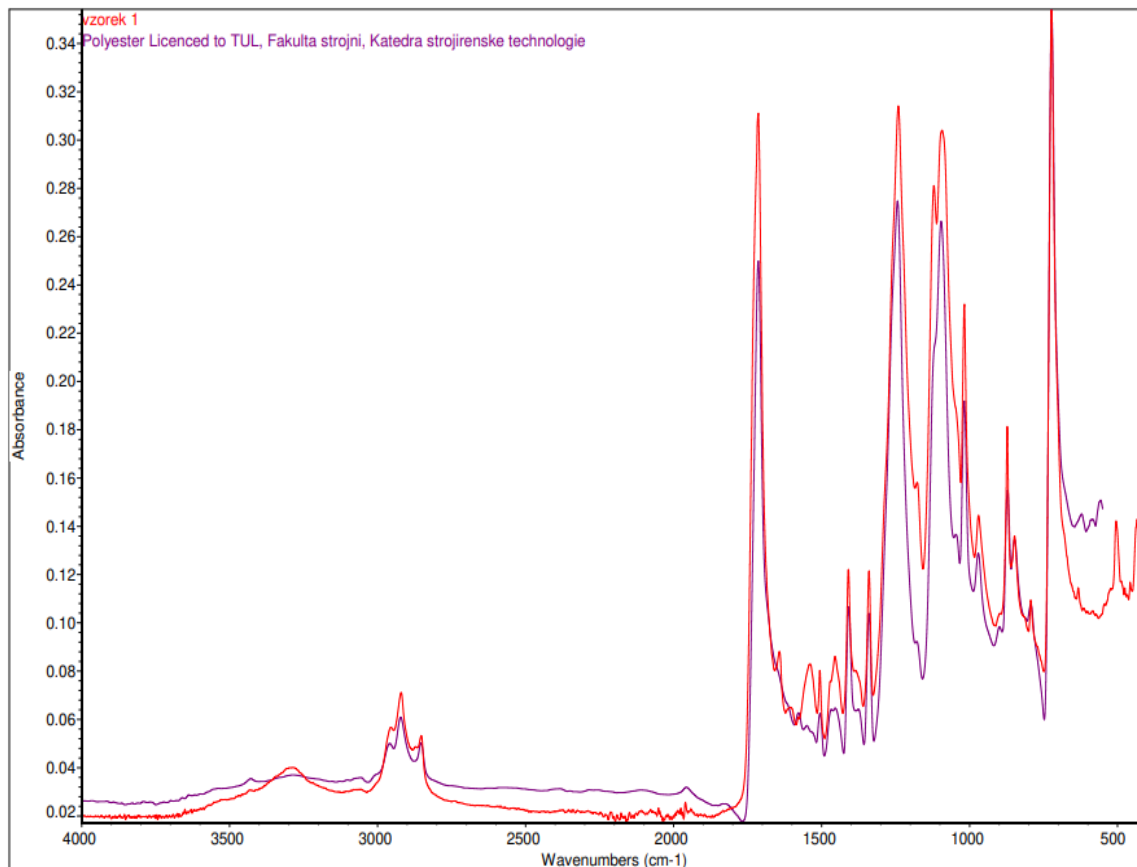
Hmotnostní a materiálové složení drtě					
	Recyklát 1	Recyklát 2	Recyklát 3	Recyklát 4	Recyklát 5
	PET	PUR/PA	PUR	PA 6	Nečistoty
Procentuální zastoupení materiálu v drti	14 %	32 %	36 %	13 %	4 %



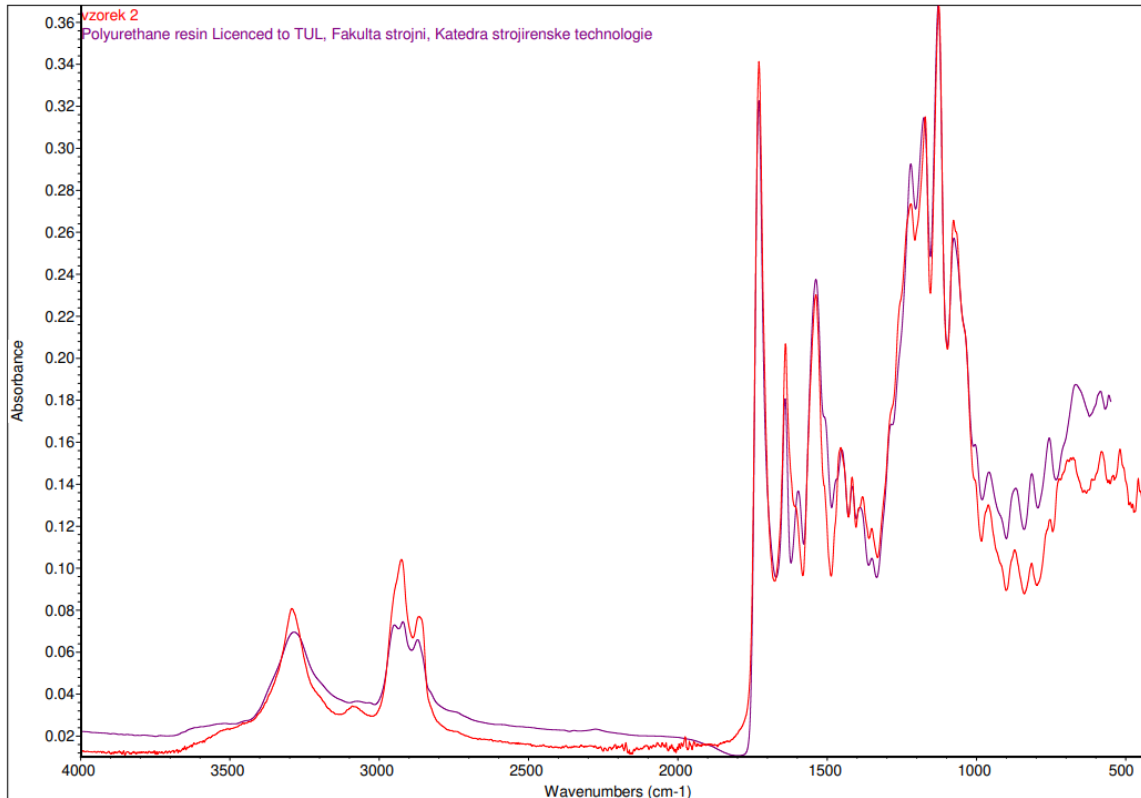
Obrázek 15 Recyklát 1 - polyester, Recyklát 2 – polyuretan/polyamid 6, Recyklát 3 - polyuretan, Recyklát 4 - polyamid 6

Recykláty 1-4 byly následně analyzovány pomocí infračervené spektrometrie s Fourierovou transformací (FTIR) na zařízení Nicolet iS10. Recyklát 5, která obsahuje drobné části materiálu, které nelze roztřídit k jednotlivým recyklátům, nečistoty a prach, není v následujících analýzách zahrnuta.

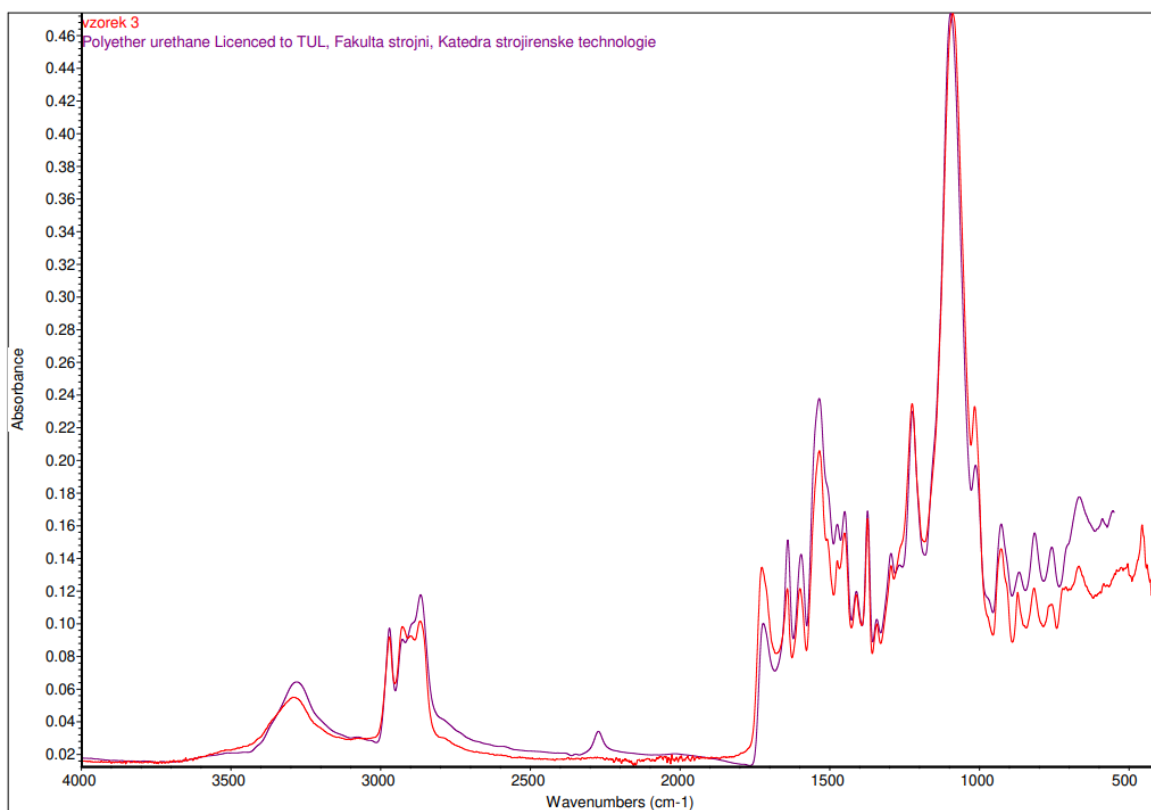
K měření byla FTIR analýzou použita technika úplného zeslabeného odrazu (ATR technika) na krystalu diamantu a naměřená spektra jednotlivých materiálů (s 8 skeny) byla porovnána s knihovními spektry. Na následujících obrázcích jsou zobrazeny naměřená spektra recyklátů 1-4.



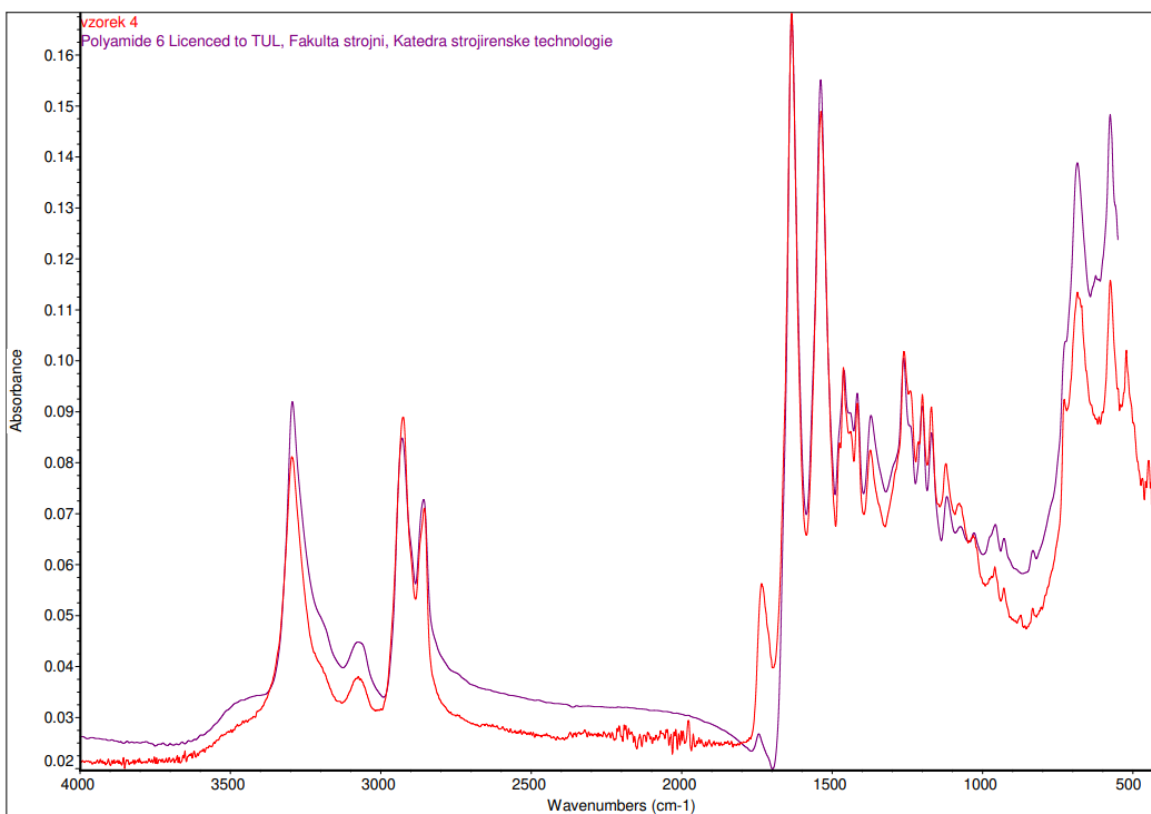
Obrázek 16 Infračervená spektrometrie třídy 1 (identifikováno jako polyester)



Obrázek 17 Infračervená spektrometrie třídy 2 (identifikováno jako polyuretan)

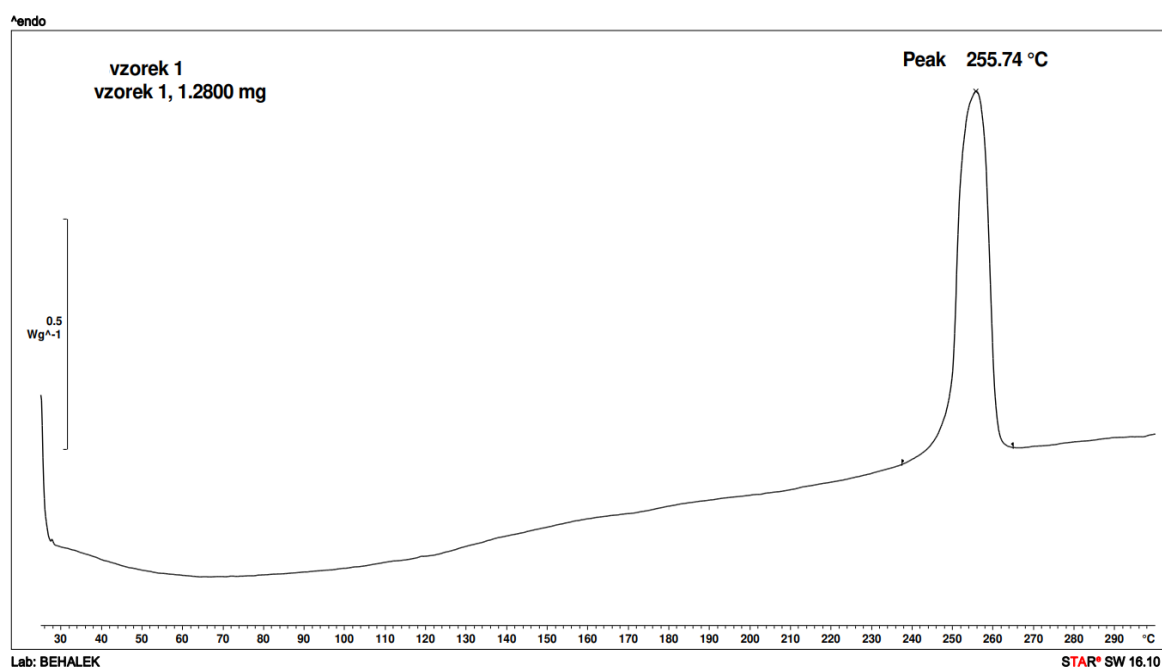


Obrázek 18 Infračervená spektrometrie třídy 3 (identifikováno jako polyuretan)

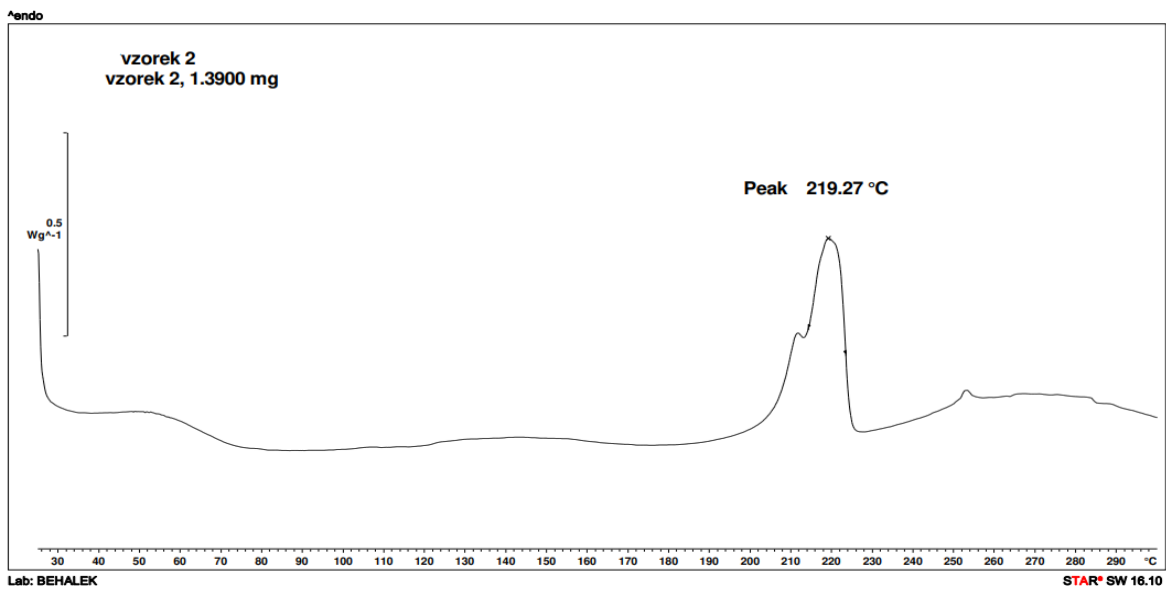


Obrázek 19 Infračervená spektrometrie třídy 4 (identifikováno jako polyamid 6)

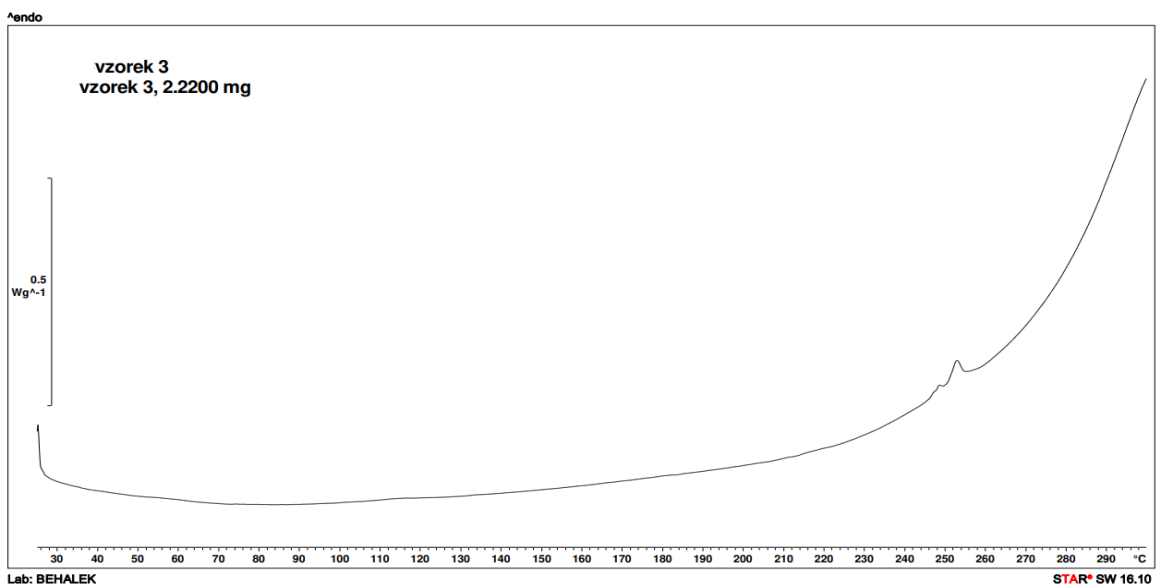
Následně byla u recyklátů 1-4 analyzována teplota tání pomocí metody diferenciální snímací kalorimetrie (DSC) na zařízení DSC1/700 Mettler Toledo. Analýza byla zvolena pro ověření správnosti určení materiálů v jednotlivých recyklátů a pro ověření infračervené analýzy. Vybrané recykláty byly zalisovány v hliníkové pánvičce a spolu s referenčním vzorkem (prázdnou hliníkovou pánvičkou s víčkem) byly umístěny na termoelektrický disk v měřicí cele kalorimetru a podrobeny lineárnímu ohřevu v inertní atmosféře dusíku (průtok: 50 ml/min) v teplotním rozsahu od 25 °C do 300 °C s rychlostí ohřevu 10 °C/min. Teplota tání byla stanovena jako pík (v anglickém jazyce: peak) endotermní přeměny dle ČSN EN ISO 11357. Před samotným měřením byla provedena kalibrace DSC kalorimetru měřením teplot a entalpií tání kalibračních standardů na bázi slitiny hliníku a india, které odpovídají teplotnímu rozsahu zařízení. Záznamy DSC křivek studovaných recyklátů jsou uvedeny v následujících snímcích. U recyklátu 3 nebyla stanovena teplota tání, je možné, že recyklát 3 nemá teplotu tání (rozkládá se).



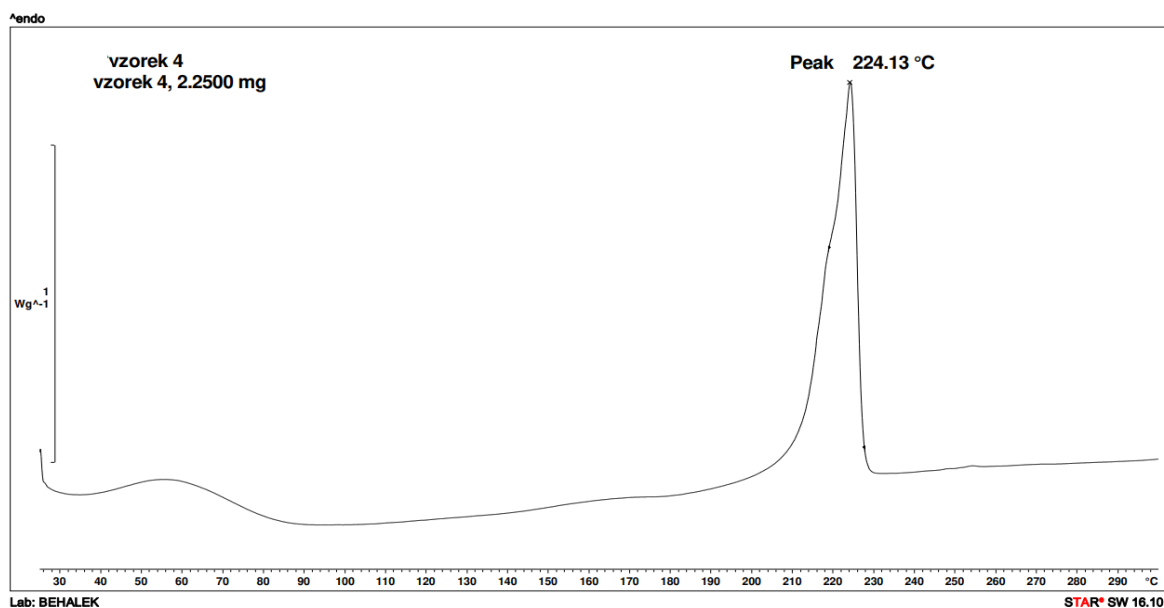
Obrázek 20 Metoda DSC pro třída 1 (identifikováno jako polyester)



Obrázek 21 Metoda DSC pro třída 2 (identifikováno jako polyamid 6)



Obrázek 22 Metoda DSC pro třída 3 (identifikováno jako polyuretan)



Obrázek 23 Metoda DSC pro třída 4 (identifikováno jako polyamid 6)

Vyhodnocení:

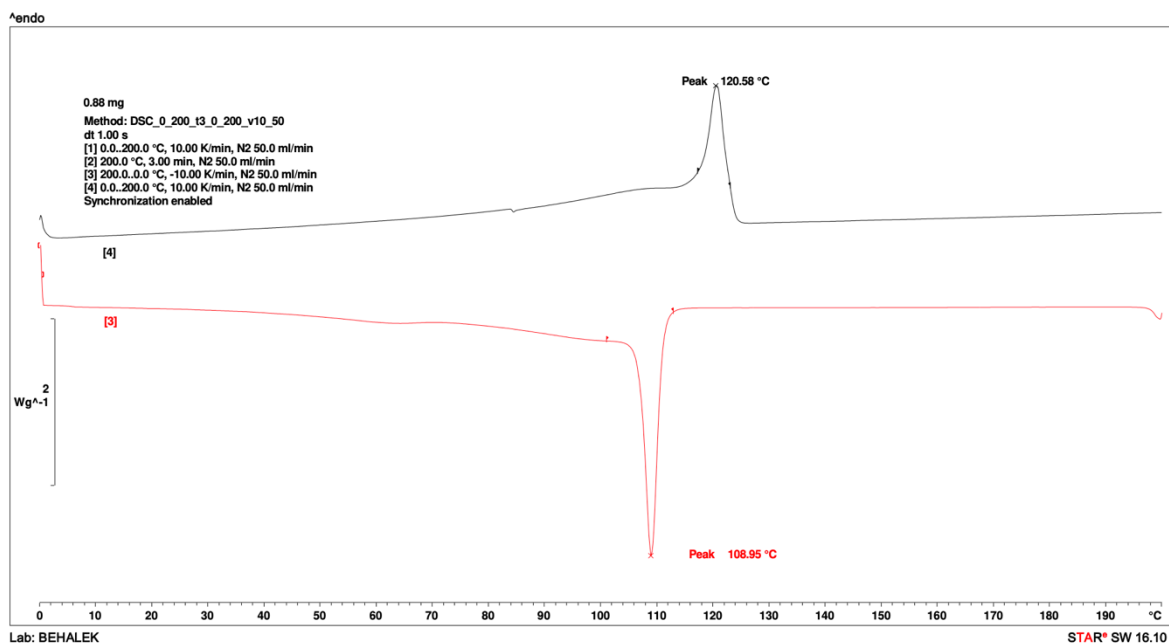
Z analýzy drti metodou DSC a FTIR vyplývá, že recyklát 1 je polyester – jak FTIR, tak i DSC jsou vzájemném souladu. Recyklát 2 je polyuretan se zátěrem z polyamidu – recyklát na FTIR analýze je určen jako PUR, ovšem u DSC analýzy je recyklát určen jako PA. Recyklát 3 je polyuretan – jak FTIR, tak i DSC jsou vzájemném souladu. Recyklát 4 je polyamid 6 - jak FTIR, tak i DSC jsou vzájemném souladu.

6.2 Pojivý materiál

Mezi nejčastěji používané pojivé materiály patří:

- práškový pojivý materiál s rozměrem zrn o velikosti 0,1-0,5 mm, kterou jsou vyrobeny mechanickým drcením ve speciálních mlýnech pod teplotou,
- bikomponentní vlákna a vlákna připravená pomocí zvlákňování,
- pojivé vrstvy vyráběny kalandrováním nebo vytlačováním taveniny tryskami, kvůli nerovnoměrnému rozložení pojiva je omezené využití tohoto pojiva,
- poslední možností pojivého materiálu jsou mřížky vyráběné zvlákňováním se speciálními zvlákňovacími tryskami nebo prořezáním fólie a jejich následným roztahováním do potřebné šířky. [11]

V diplomové práci se následně bude využívat vrstva pojivého systému na bázi polyethylenu. Pro pojení byly vyzkoušeny i jiné pojící materiály (například mřížky nebo bikomponentní vlákna). Vrstva pojiva použita pro výrobu druhotného produktu byla podle DSC analýzy vyrobena z polyethylenu, nízko hustotního typu PE-LD nebo PE-LLD, s teplotou tání 120 °C, viz obrázek níže.



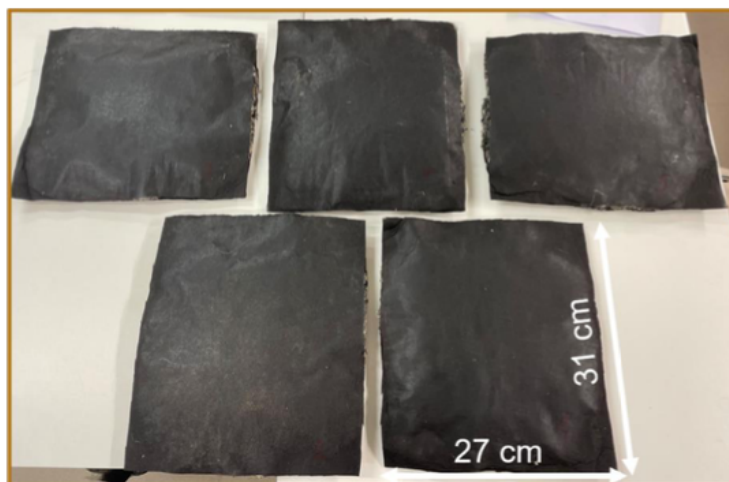
Obrázek 24 DSC analýza vrstvy pojiva

7 Postup výroby druhotného výrobku

Pro výrobu všech vzorků bylo použito pouze recyklované drtě z autopotahů a vrstvy pojivého systému. Drť z autopotahů byla vyrobena na recyklační lince pro recyklaci textilních materiálů za pomoci firmy Retex, viz. kapitola 6.1 Recyklát z autopotahů.

7.1 Předběžné experimenty

V rámci předběžných experimentů byly vyrobeny série vzorků B1-5 z recyklované drtě a pojivých bikomponentních vláken. Jako pojivá vrstva pro výrobu vzorků B1-5 byla použita bikomponentní vlákna firmy Wellman, která mají složení PET/coPET bico, jemnost vláken 3,5 dTex a délku vláken 50 mm. Bikomponentní vlákna byla před výrobou vzorků B1-5 upravena na mykacím stroji. Následně byla vyrobena série 5 vzorků, jež měly pět vrstev pojivých bikomponentních vláken, které byly prokládány vrstvami recyklované drtě. Vzorky B1-5 byly lisovány na Etážovém lisu a upraveny na jednotnou plochu 0,08 m². Všechny vzorky byly vyrobeny stejnou metodou. Vzorky B1-5 jsou zobrazeny na následujícím obrázku.



Obrázek 25 Vzorky B1-5 vyrobené během předběžných experimentů

U vzorků B1-5 byly měřeny tepelně izolační vlastnosti. Zvuková pohltivost byla z měření vynechána, kvůli nemožnosti mechanické úpravy vzorků na potřebnou velikost na měření činitele zvukové pohltivosti na impedanční trubici. Naměřené výsledky měření a vlastností vzorků B1-5 jsou uvedeny v následující tabulce.

Tabulka 3 Výsledky měření vzorků B1-5 z předběžného experimentu

Měření	Vzorek B1	Vzorek B2	Vzorek B3	Vzorek B4	Vzorek B5
h [mm]	29	31	31	31	32
m [g]	247	244	246	238	245
ρ_v [kgm ⁻³]	101	93	95	93	92
μ [-]	0,09	0,06	0,06	0,06	0,06
P [%]	90	94	94	94	94
q [Wm ⁻²]	406	416	500	402	405
λ [Wm ⁻¹ K ⁻¹]	0,12	0,15	0,13	0,11	0,12
r [W ⁻¹ Km ²]	0,27	0,26	0,25	0,32	0,35

Kvůli vysoké tloušťce vzorků bylo složité definovat přesné parametry vzorků B1-5. U vzorků nebylo možné naměřit tepelně izolační ani zvukově izolační vlastnosti, kvůli vysoké tloušťce vzorků. U tepelných vlastností nedocházelo k prostupu tepla skrze vzorek, čímž nebylo možné naměřit všechny veličiny. U zvukové pohltivosti nebylo možné vzorky mechanicky upravit na potřebnou velikost pro měření. Z těchto důvodů bylo opuštěno od této metody výroby vzorků a vyrobily se vzorky s nižší tloušťkou, které jsou snadno definovatelné a je možné na nich provést veškerá měření, viz kapitola 7.2 Hlavní experiment.

7.2 Hlavní experiment

Výroba vzorků probíhala v následujícím pořadí:

1. úprava pojivé vrstvy na požadovanou velikost vzorku 0,04 m²,
2. vrstvení pojivé vrstvy s drtí,
3. lisování vzorků na lisu Termolis Schulze Bluepressl,
4. zarovnání vzorků na jednotnou plochu 0,04 m².

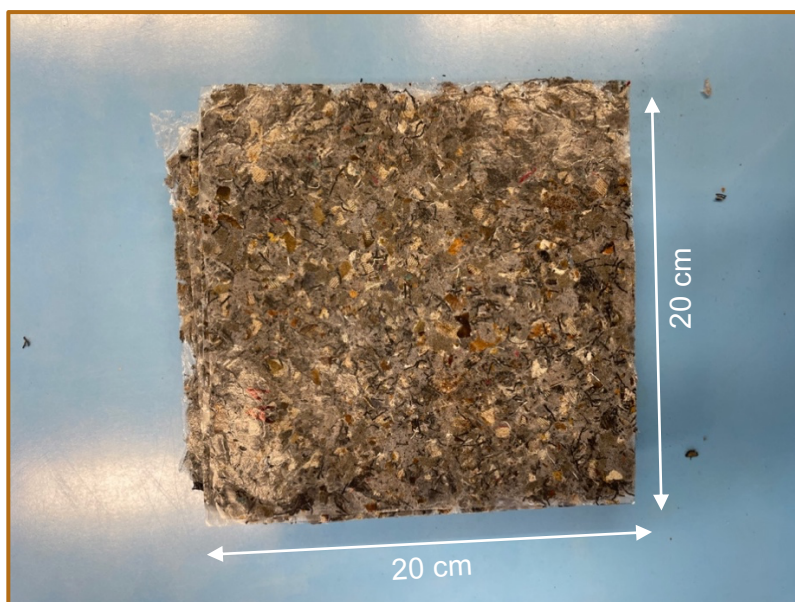
Vzorky byly vytvořeny ze tří vrstev pojivého systému, které byly proloženy dvěma vrstvami drtě. Následně byly vzorky umístěny do lisu a lisovány při 120 °C po dobu 5 minut. Tímto způsobem bylo vyrobeno celkem 12 vzorků označených A1 až A12. Vzorky se lišily v různých plošných hmotnostech (přibývajícím množstvím drtě v obou vrstvách konstantně), která vzrůstala od 578 gm⁻² (A1) až po plošnou hmotnost 2153 gm⁻² (A12). Výroba skončila

vzorkem A12, jelikož další výroba nebyla již proveditelná. Vzorky jsou znázorněny na následujících obrázcích.

V následující tabulce jsou uvedeny základní vlastnosti jednotlivých vzorků. Tloušťka vzorků byla měřena na přístroji Alambeta v rámci měření zvukových vlastností vzorků, přístroj je popsán v kapitole Měření tepelné izolačních vlastností. Objemová hmotnost a plošná hmotnost vzorků je uvedena v kapitole 7.2.1 Výsledky plošné hmotnosti a objemové hmotnosti.

Tabulka 4 Charakteristické vlastnosti vzorků A1-A12 (plocha vzorku vždy 0,04 m², hmotnost pojivového systému ve vzorku 3 g)

Vzorek	Tloušťka [mm]	Hmotnost celková [g]	Hmotnost drtě [g]
A1	2,4	23,1	20,6
A2	3,1	30,9	28,4
A3	3,7	38,4	35,9
A4	4,6	45,3	42,8
A5	5,6	53,3	50,8
A6	5,7	61,6	59,1
A7	7,6	73,3	70,8
A8	8,5	75,5	73,0
A9	8,8	75,2	72,7
A10	9,6	79,7	77,2
A11	10,3	82,2	79,7
A12	13,5	86,1	83,6



Obrázek 26 Vzorek A1



Obrázek 27 Vzorek A1-A12

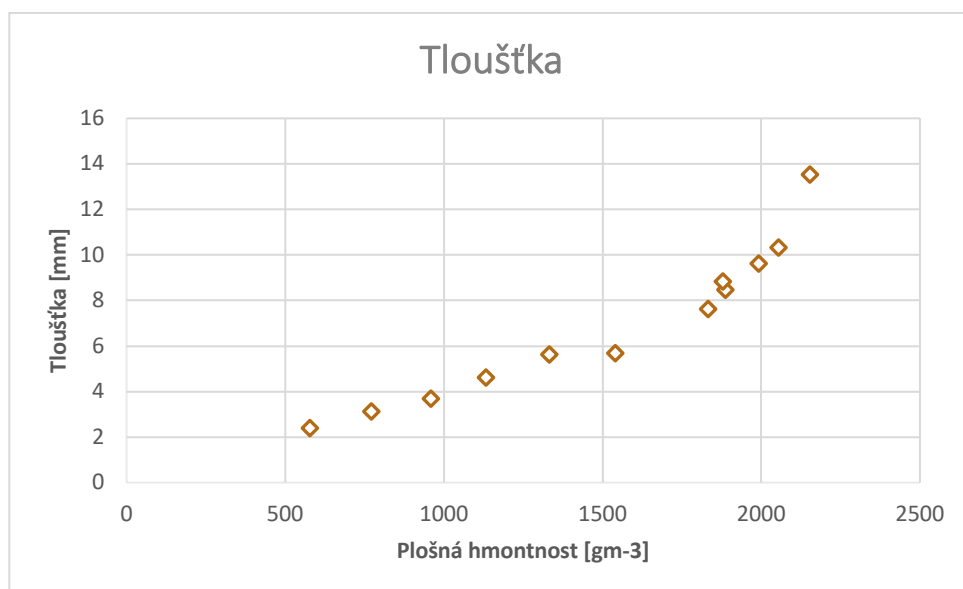
7.2.1 Výsledky plošné hmotnosti a objemové hmotnosti

Hmotnosti byly stanoveny podle vzorců pro výpočet plošné hmotnosti (vzorec 1) a objemové hmotnosti (vzorec 2) textilií uvedených v kapitole 5.1 Stanovení plošné hmotnosti a objemové hmotnosti textilií. Výsledné hodnoty jsou uvedeny v následující tabulce, kde jsou zobrazeny i hmotnosti, výšky a plochy vzorků pro naměřené hodnoty jednotlivých hodnot:

Tabulka 5 Vypočítané hodnoty plošné hmotnosti vzorků (plocha vzorku vždy 0,04 m²)

Vzorek	Hmotnost [g]	Tloušťka [mm]	Objemová hmotnost [gm ⁻³]	Plošná hmotnost [gm ⁻²]
A1	23,1	2,4	305	578
A2	30,9	3,1	377	773
A3	38,4	3,7	324	960
A4	45,3	4,6	309	1133
A5	53,3	5,6	336	1333
A6	61,6	5,7	328	1540
A7	73,3	7,6	360	1833
A8	75,5	8,5	290	1888
A9	75,2	8,8	264	1880
A10	79,7	9,6	251	1993
A11	82,2	10,3	252	2055
A12	86,1	13,5	250	2153

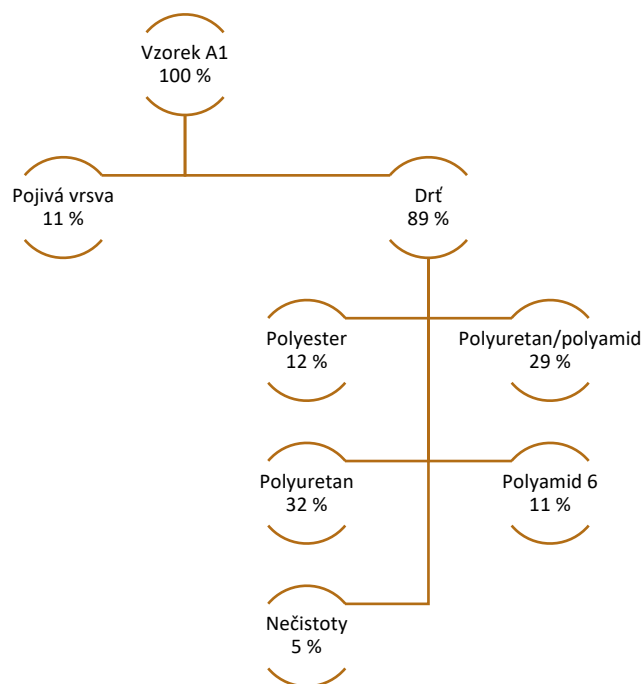
V následujícím obrázku je zobrazena závislost mezi tloušťkou a plošnou hmotností vzorků A1-12. Z obrázku vyplývá, že se zvyšující plošnou hmotností vzorku se zvyšuje i tloušťka vzorků.



Obrázek 28 Vyhodnocení vlivu plošné hmotnosti na tloušťku vzorků A1-A12

7.2.2 Výsledky zaplnění a pórovitosti

Výpočet zaplnění a pórovitosti se opírá o analýzu recyklované drtě, která je uvedena v kapitole 6.1 Recyklát autopotahů. Infračervená analýza drtě a DSC analýza ukázaly, že drť obsahuje převážně polymery polyesteru, polyuretan se zátěrem z polyamidu, polyuretanu a polyamidu 6. Následný rozbor a analýza recyklované drtě ukázaly relativní procentuální zastoupení jednotlivých stanovených recyklátů (PES, PUR/PA, PUR, PA 6) v drti. Vrstva pojivového systému je vyrobena z polyethylenu (PE). Na základě těchto analýz bylo určeno následující relativní procentuální zastoupení jednotlivých materiálů v jednom vzorku. Každý vzorek obsahuje 2,5 g pojivového systému. Na následujícím obrázku je graficky znázorněno relativní procentuální zastoupení jednotlivých materiálů ve vzorku A1.



Obrázek 29 Procentuální rozložení použitého materiálu ve vzorku A1

Předchozí procentuální rozložení použitých materiálů ve vzorku A1 značí procentuální podíl materiálových komponentů v_k , u výpočtu objemové hmotnosti vlákenné směsi $\rho_{SMĚS}$. Jako hustotu materiálové komponenty ρ_k jsou použity následující hodnoty převzaty z tabulek. Vzhledem k velké rozmanitosti použité drti není proveditelné stanovit přesnou hodnotu všech jednotlivých komponentů obsažených v recyklované drti a jsou použity obecné hodnoty.

Tabulka 6 Hustota materiálových komponent

Komponent	Hustota materiálové komponenty $\rho_k [kgm^{-3}]$
Polyester	1390
Polyuretan	1260
Polyamid 6	1140
50% Polyuretan / 50% Polyamid	1200
Polyethylen	930

Ukázka výpočtu objemové hmotnosti vláknenného útvaru (vzorec 5) pro vzorek A1:

$$\rho_{SM\check{E}S_{A1}} = \frac{1}{89} * ((930 * 11) + (1390 * 12) + (1200 * 32)(1260 * 36) + (1140 * 11))$$

$$= 1286 \text{ kgm}^{-3}$$

Zbýlých 11 % jsou nečistoty a prach, které jsou obsaženy v drti a nejsou do výpočtu zahrnuty. Mezi výpočty procentuálního rozložení komponent v jednotlivých vzorcích (A1-A12) jsou zobrazeny v příloze 1.

Objemová měrná hmotnost vláknenného útvaru γ (vzorec 4), zaplnění μ (vzorec 3) a pórovitost P (vzorec 6) byly vypočítány podle uvedených vzorců a jejich výsledky pro jednotlivé vzorky jsou uvedeny v následující tabulce:

Tabulka 7 Výsledky objemové měrné hmotnosti, zaplnění a pórovitosti pro vzorky A1-A12

Vzorek	γ [kgm^{-3}]	μ [-]	P [%]
A1	1286	0,02	98
A2	1255	0,03	97
A3	1238	0,03	97
A4	1227	0,02	98
A5	1219	0,03	97
A6	1212	0,03	97
A7	1206	0,03	97
A8	1205	0,02	98
A9	1205	0,02	98
A10	1203	0,02	98
A11	1202	0,02	98
A12	1201	0,02	98

8 Testování druhotného výrobku

Pro měření vlastností vyrobených vzorků A1-12 byly zvoleny měření zaměřená na hodnocení odporu proti stlačení, zvukové pohltivosti a tepelné izolace. Tyto zkušební metody byly zvoleny na základě výsledků materiálového rozboru drtě, kde bylo zjištěno, že drť obsahuje převážně recykláty na bázi PES, PUR/PA, PUR a PA 6. Metody jsou popsány v kapitole 5 Zkušební metody.

8.1 Měření odporu proti stlačení

Popis měření: Vypočítá se plocha zatěžovaného povrchu a změří se rozměry zkušebního tělesa podle normy ISO 1923. Zkušební těleso je v přístroji umístěno tak, aby zatěžující síla působila ve středu zkušebního stroje. Zkušební těleso je stlačováno stlačovací deskou o rychlosti 100 ± 20 mm/min o 70 % původní tloušťky tělesa. Následně se stlačovací deska stejnou rychlostí zvedá, dokud se vzdálenost mezi stlačovací deskou a základnou nevyrovná původní tloušťce zkušebního tělesa. Tento postup se stejně opakuje třikrát a během čtvrtého cyklu se odečítá síla v newtonech při předepsané deformaci. [27]

8.1.1 Výsledky

Metoda měření vychází z normy ČSN EN ISO 3386-1, během které jsou vzorky A1-A12 umístěny mezi stlačovací čelisti a statistickou podložku. Vlivem horní stlačovací čelisti dochází ke stlačování vzorku do 70 % původní tloušťky vzorku během tří cyklů (modulů). Vzorky jsou stlačovány konstantní normovanou rychlostí (100 ± 20) mm³min⁻¹ dokud stlačení nedosáhne 70 % původní tloušťky. V tomto bodě stlačení je zaznamenána síla stlačení v newtonech.

Vzorky podle normy musí být stejného rozměru jako je stlačovací čelisti a statistická podložka, proto byly vzorky A1-A12 upraveny na danou velikost. Různé tloušťky vzorků nemají vliv na naměřené hodnoty.

Následně byl vyjádřen odpor proti stlačení podle vzorce 7. Níže je uvedena ukázka výpočtu odporu proti stlačení pro vzorek A1, výpočty pro všechny vzorky A1-A12 jsou uvedeny v následující tabulce.

$$CC_{70} = 1000 \times \frac{F_{70}}{A} = 1000 \times \frac{1,60}{20106,19} = 0,72 \text{ kPa}$$

Tabulka 8 Výsledné hodnoty odporu proti stlačení pro vzorky A1-12 (plocha povrchu zkoušeného vzorku vždy 20106 mm²)

Vzorek	F ₇₀ [N]	CC ₇₀ [kPa]
A1	1,60	0,72
A2	2,21	1,22
A3	2,61	1,10
A4	3,11	33,54
A5	3,61	4,69
A6	3,91	2,00
A7	5,31	1,59
A8	5,61	1,36
A9	6,51	4,47
A10	6,71	1,21
A11	6,01	12,97
A12	8,01	3,15
Průměr	4,60	5,67

Z předchozí tabulky vyplývá, že průměrný odpor proti stlačení zkoušených vzorků je 5,67 kPa. Pro porovnání jsou zde uvedeny tři izolační desky z PUR: pojený molitan RE 120 – odpor proti stlačení 16,6 kPa, molitanová deska z PUR pěny – odpor proti stlačení 7,0 kPa a molitanová deska RE pojená deska – odpor proti stlačení 13,0 kPa. [30][31] Vzorky A1-12 ovšem nemají dobrou stabilitu naměřených dat.

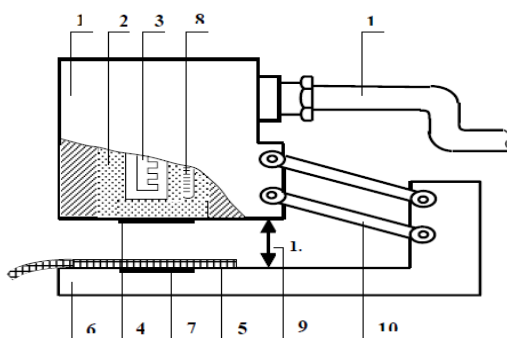
8.2 Měření tepelně izolačních vlastností

Podstata zkoušky na stroji Alambeta spočívá v průchodu tepelných toků $q_1(t)$ a $q_2(t)$ povrchy vzorku od neustáleného stavu k ustálenému. Přístroj je počítačem řízený poloautomat, který dokáže spočítat statistické parametry měření. Součástí přístroje je autodiagnostický program, který zabraňuje vzniku chybných operací přístroje během měření. t_1 značí teplotu měřicí hlavy a t_2 značí teplotu vzorku, základny přístroje. [28]

Na následujícím obrázku je zobrazeno schéma měřicího přístroje, které ukazuje základnu přístroje Alambeta, která tvoří spodní část (6). Tato část je vyhřívána na okolní teplotu a je zde umístěn testovaný vzorek (5). Hlavice (1) je vyhřívána na teplotu přibližně 33 °C, která simuluje teplotu kůže lidského těla. Číslo 4 značí snímač tepelného toku a 7 značí měření tepelného toku mezi jednotlivými povrchy. Součástí hlavice je teploměr (8), termostat (2), topné těleso (3) a tepelná izolace. Důležitým krokem před zahájením samotného měření je nechat nejprve klesnout měřicí hlavici bez vzorku, aby se tloušťka nastavila na nulu. [28]

Parametry přístroje: [28]

- přítlak hlavice: 200 Pa-1000 Pa,
- tloušťka vzorku: 0,5-8,0 mm,
- rozměr vzorku: min. 10 x 10 mm,
- doba měření: 10-100 sekund,
- ovzduší: odpovídá normě ČSN EN 20139 pro klimatizované ovzduší-



Obrázek 30 Schéma měřicího přístroje Alambeta [28]

Měřená data jsou zpracována počítačem. Aby bylo možné data statisticky zpracovat, je minimální počet měření 3 a maximální počet měření je 20. Během tohoto testování byly vzorky měřeny 10krát. Z naměřených dat se vypočítává aritmetický průměr z jednotlivých měření a variační koeficient (na nejbližší 0,1%), je možné vypočítat i interval spolehlivosti při 95% hladině významnosti a směrodatnou odchylku. [28]

Před začátkem měření se musí měřené vzorky připravit a upravit podle stanové normy ČSN EN 12751, úprava vzorků podle normy může být nahrazena po společné dohodě mezi účastníky měření. Aby byly výsledky co nejpřesnější, musí se vzorky zbavit nečistot, zvlnění a přehybů. Je doporučeno vzorky měřit minimálně 3 cm od kraje materiálu a během každého měření měnit proměřovaná místa, případně vyčkat na vychladnutí (aklimatizaci materiálu na teplotu laboratorního prostředí, stanovenou normou ČSN EN 20139) materiálu před dalším měřením. Měření na přístroji probíhá následovně: [28]

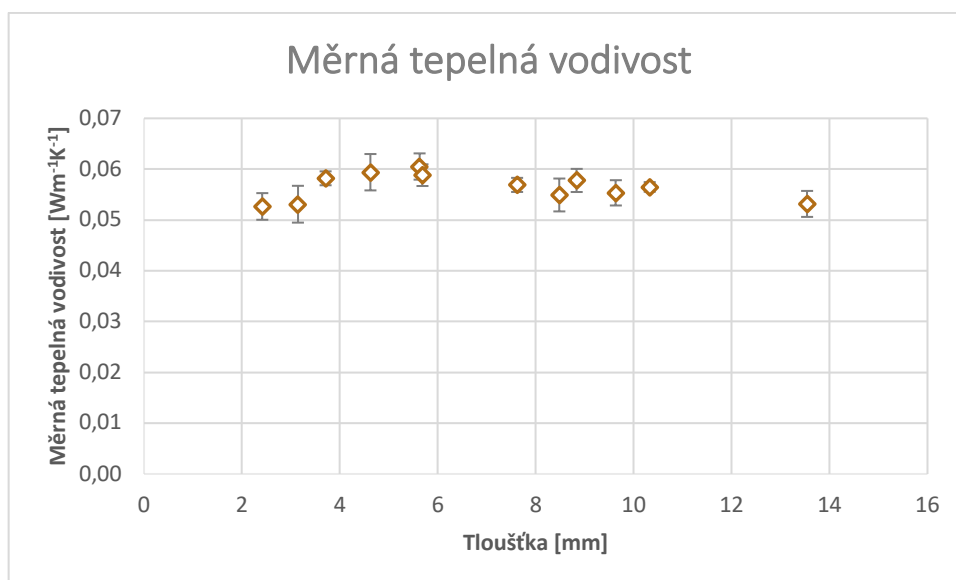
- a) prověření a zapsání teploty a vlhkosti laboratoře,
- b) zapnutí a vyčkání na zahřátí přístroje pro přesnější měření,
- c) jedno spuštění měření bez vloženého vzorku,
- d) vložení vzorku a spouštění měření,
- e) postupně se proměří všechny vzorky a zaznamenají se naměřené hodnoty,
- f) vyhodnocení naměřených hodnot.

8.2.1 Výsledky

Měření měrné tepelné vodivosti probíhalo na přístroji Alambeta, popsaného v kapitole 5.4 Stanovení tepelně izolačních vlastností. Měření probíhalo na všech dvanácti připravených vzorcích. Mezi jednotlivými měřeními byla vždy provedena časová pauza, aby vzorek vychladl (ustálila se jeho teplota na stanovenou teplotu laboratoře) pro další měření. U každého měření se měřila jiná část vzorku, aby byl kompozit proměřen rovnoměrně po celé své ploše. Všechna měření se opakovala pětkrát a následně se z měření vypočítal průměr, směrodatná odchylka a variační koeficient. Všechny naměřené hodnoty a výpočty jsou uvedeny v přílohách 2-7. Během měření vzorků na přístroji Alambeta se měřila a vyhodnocovala měrná tepelná vodivost, měrná teplotní vodivost, tepelný tok, plošný odpor vedení tepla, tepelná jímavost a tloušťka.

Testování vzorků: vzorky musí být zbaveny nečistot, přehybů a zvlnění; musí se měnit proměřovaná místa, aby nedocházelo k opětovnému měření zahřátého místa – popřípadě vytvářet časové rozestupy mezi jednotlivým měřeními. [28]

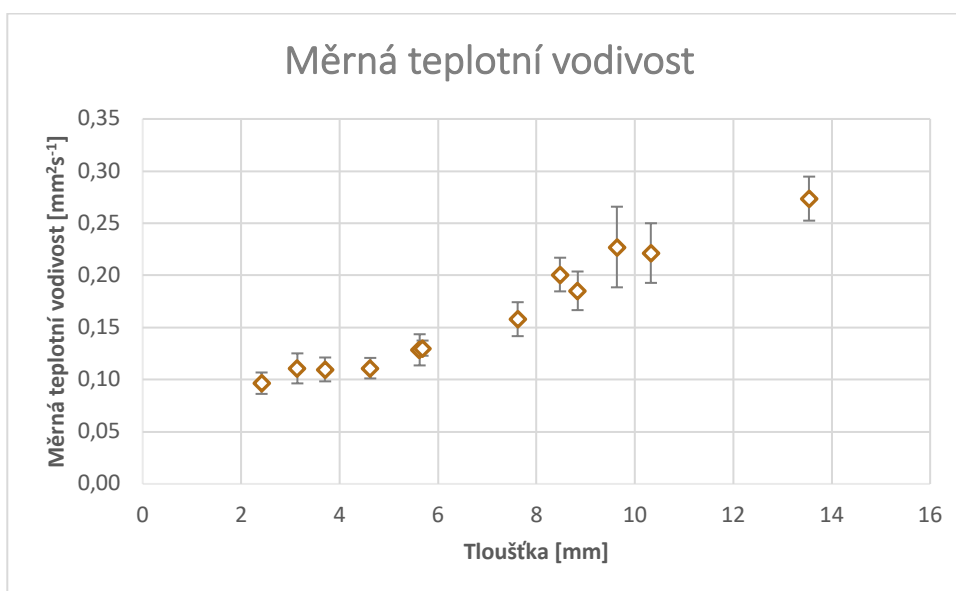
Měrná tepelná vodivost určuje množství tepla protékajícího jednotkou délky za jednotku času a vytváří rozdíl teplot 1 K. Teplotní vodivost klesá s rostoucí teplotou. Pokud má materiál vysokou hodnotu λ je označen jako vodič, v opačném případě se jedná o izolátor. [26] Naměřené hodnoty měrné tepelné vodivosti jsou uvedeny v následujícím obrázku.



Obrázek 31 Výsledné hodnoty měrné tepelné vodivosti

Z obrázku měrné tepelné vodivosti vyplývá, že tloušťka vzorků neovlivňuje měrnou tepelnou vodivost vzorků A1-A12. Měrná tepelná vodivost je u všech měřených vzorků konstantní a nabývá hodnot v rozmezí 0,05 až 0,06 $W^{-1}K^{-1}$.

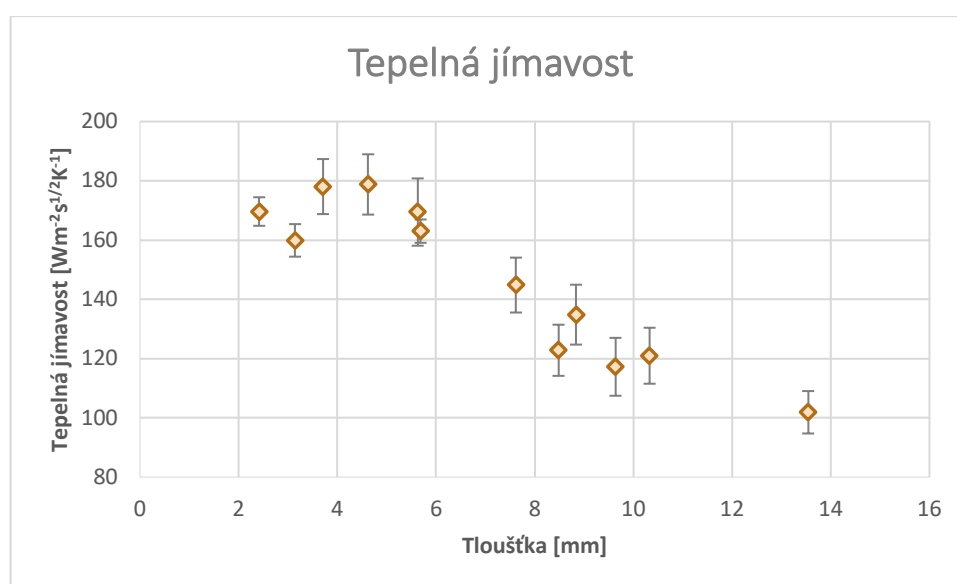
Měrná teplotní vodivost určuje schopnost materiálu vyrovnávat teplotu, čím vyšší je naměřená hodnota, tím materiál rychleji vyrovnává teplotu. Výsledky měření měrné tepelné vodivosti jsou uvedeny v následujícím obrázku. [28]



Obrázek 32 Výsledné hodnoty měrné teplotní vodivosti

Z obrázku měrné teplotní vodivosti vyplývá, že nejrychleji vyrovnává teplotu vzorek A12, který má největší tloušťku – 13,54 mm, a i nejvyšší měrnou teplotní vodivost – $0,274 \text{ mm}^2\text{s}^{-1}$. Naopak nejnižší měrnou tepelnou vodivost má vzorek A1 – $0,097 \text{ mm}^2\text{s}^{-1}$ (nejpomaleji vyrovnává teplotu), který má i nejnižší tloušťku – 2,42 mm. Z této závislosti vyplývá, že tloušťka vzorků ovlivňuje měrnou teplotní vodivost, čím vyšší je tloušťka vzorku (a i vyšší pórovitostí), tím vyšší je měrná teplotní vodivost.

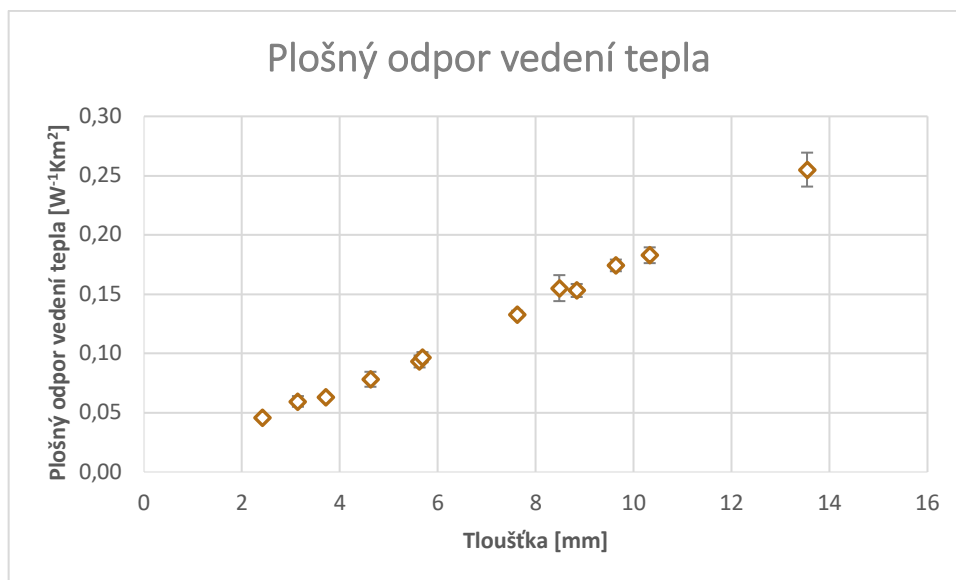
Tepelná jímavost charakterizuje tepelný omak, který zobrazuje množství tepla protočeného materiálem při rozdílu teploty 1 K za jednotku času. Materiál s vyšší absorpční schopností je pocíťován jako chladnější. [28] Výsledky tepelné jímavosti jsou zobrazeny v následujícím obrázku.



Obrázek 33 Výsledné hodnoty tepelné jímavosti

Z obrázku tepelné jímavosti vyplývá, že tloušťka vzorků A1-A12 ovlivňuje tepelnou jímavost. Největší množství tepla proteklo vzorkem A4 – $178,78 \text{ Wm}^{-2}\text{s}^{1/2}\text{K}^{-1}$ a nejnižší množství tepla proteklo vzorkem A12 – $101,90 \text{ Wm}^{-2}\text{s}^{1/2}\text{K}^{-1}$. Z obrázku vyplývá, že pokud má vzorek nižší tloušťku má vyšší tepelnou jímavost (tepelný omak) a opačně pokud má vyšší tloušťku má vzorek nižší tepelnou jímavost. Z grafu vyplývá, že se zvyšující se tloušťkou (a zvyšující se pórovitostí) se snižuje tepelná jímavost.

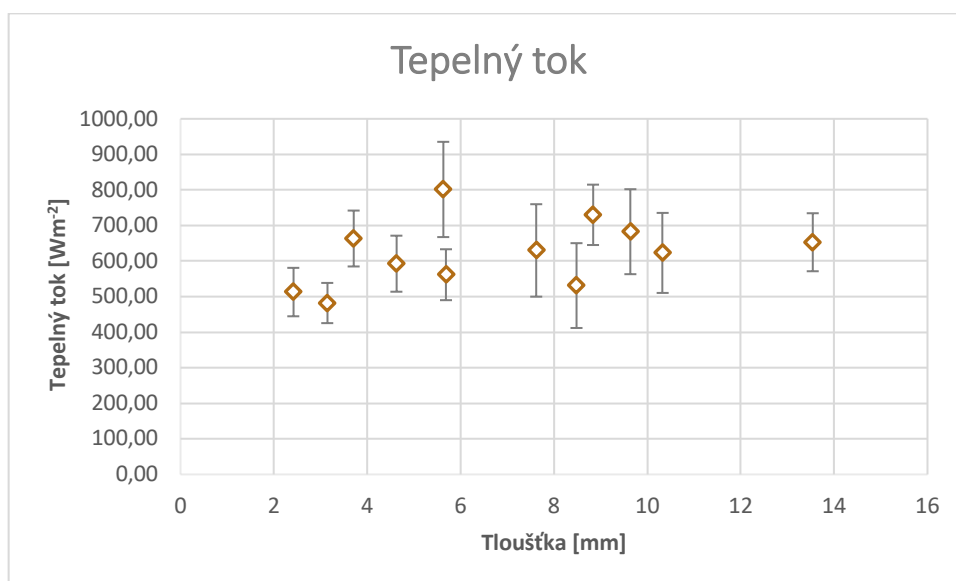
Plošný odpor vedení tepla je určen poměrem měrné tepelné vodivosti a poměrem tloušťky materiálu. Říká, který odpor klade materiál proti průchodu tepla textilií. Čím vyšší je tepelný odpor, tím nižší je tepelná vodivost. Pokud má materiál nízkou tepelnou vodivost a vysoký tepelný odpor, jedná se o kvalitní tepelný izolant. [28] Naměřené hodnoty plošného odporu vedení tepla jsou uvedeny v následujícím obrázku.



Obrázek 34 Výsledné hodnoty plošného odporu vedení tepla

Z obrázku plošného odporu tepla vyplývá, že tloušťka vzorků A1-A12 ovlivňuje plošný odpor vedení tepla následovně: nejvyšší plošný odpor vedení tepla má vzorek A12 – 0,255 W⁻¹Km⁻², který má největší tloušťku – 13,54 mm a nejnižší plošný odpor vedení tepla má vzorek A1 – 0,046 W⁻¹Km⁻², který má i nejnižší tloušťku – 2,42 mm. Z obrázku vyplývá, že pokud má vzorek nižší tloušťku má i nižší plošný odpor vedení tepla a opačně pokud má vyšší tloušťku má vzorek vyšší plošný odpor vedení tepla.

Tepelný tok určuje šíření tepla z hlavice přístroje o určité teplotě do textilie s počáteční teplotou za jednotku času. [28] Výsledky měření tepelného toku jsou zobrazeny v následujícím obrázku.



Obrázek 35 Výsledné hodnoty tepelného toku

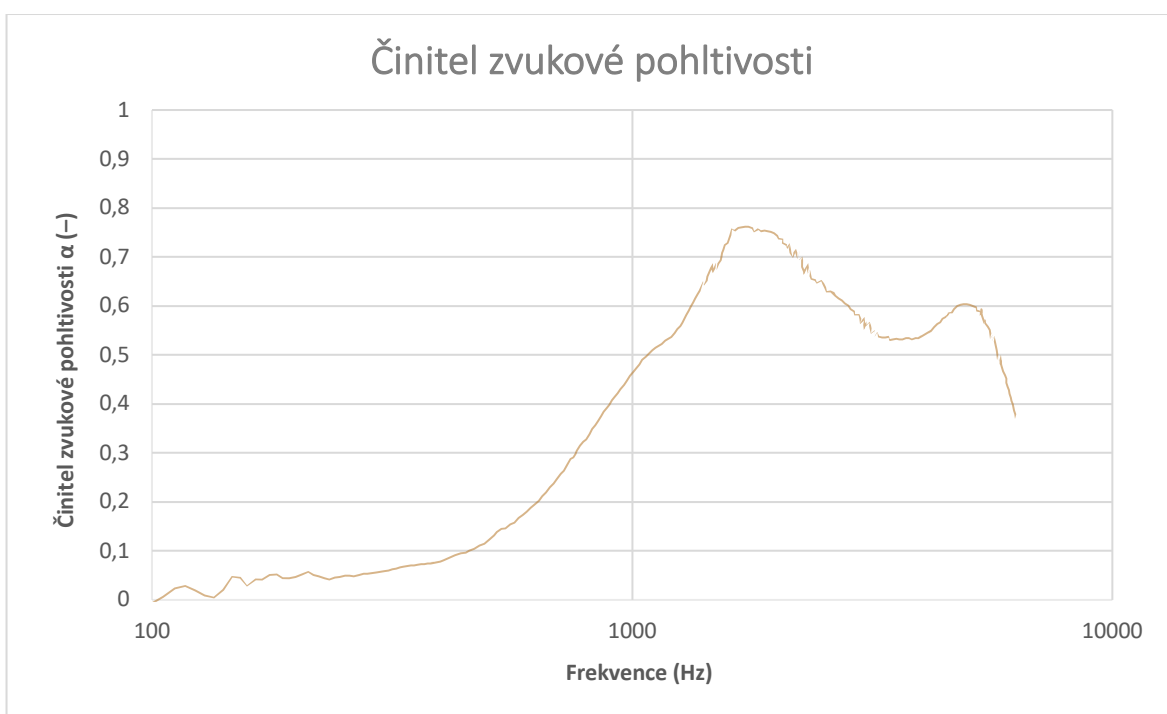
Z obrázku tepelného toku vyplývá, že tloušťka vzorků A1-A12 neovlivňuje tepelný tok u jednotlivých vzorků A1-12. Tepelný tok neprocházel skrze vzorky, kvůli vrchní vrstvě pojivého systému a vychází relativně konstantně.

8.3 Měření zvukové pohltivosti

Pro zkušební metodu byla použita impedanční trubice, kde se měří činitel zvukové pohltivosti při kolmém dopadu zvuku. Měření probíhá podle normy ČSN ISO 10534-2, která určuje, že měřený vzorek je umístěn lícni stranou v referenční rovině do přístroje. K dokonalé pohltivosti materiálu dochází, pokud činitel zvukové pohltivosti (alfa) nabývá $1 = 100\%$ pohltivost.

8.3.1 Výsledky

Měření probíhalo na vzorku A7, zbylé vzorky nebyly proměřeny kvůli finanční náročnosti měření. Vzorek A7 byl upraven do kruhového průměru 100 mm (pro měření nižších frekvencí – 50-1,6 kHz) a do kruhového průměru 29 mm (pro měření vyšších frekvencí – 500-6,4 kHz). Výsledky měření jsou znázorněny na následujícím obrázku.



Obrázek 36 Výsledky měření zvukové pohltivosti pro vzorek A7

Z obrázku činitele zvukové pohltivosti (α) vyplývá, že měřený vzorek A7 má nejvyšší činitel zvukové pohltivosti 0,75 pro frekvence 1799 Hz. Za dobře zvukově izolační materiály jsou považovány materiály s α 0,6 a výše (uvedeno v kapitole 5.5 Stanovení zvukové pohltivosti), tudíž lze vzorek A7 dosahuje dobrých zvukově izolačních vlastností u frekvenci 1799 Hz.

Diskuze

Smyslem diplomové práce je recyklace autopotahů a výroba druhotného produktu. Diplomová práce se snaží přijít s novým způsobem, jak naložit s tímto druhotným materiálem, aby nekončila jeho životnost jako energetické využití nebo jako výroba tuhých alternativních paliv. Téma diplomové práce bylo vymyšleno ve spolupráci s oddělením GreenRetail ze společnosti ŠKODA AUTO a. s.

V diplomové práci byla vypracována rešeršní a teoretická část na téma recyklace textilních odpadů se zaměřením na odpadový textil z vozů s ukončenou životností. Téma práce se opírá o zákon o odpadech, který bude od roku 2030 upraven a dojde ke změně skládkování textilních odpadů. Díky tomuto zákonu se stává zpracování textilních odpadů z vozů s ukončenou životností aktuálním tématem.

První část experimentální práce se zabývá recyklací odpadových autopotahů a analýzou recyklované drtě. Z analýzy recyklátu vyplývá, že drť obsahuje polymery na bázi polyesteru (14 %), polyuretanu se zátěrem z polyamidu (32 %), polyuretanu (36 %), polyamidu 6 (13 %) a zbylé nečistoty (4 %).

Výroba vzorků probíhala nejprve za pomoci pojivých bikomponentních vláken (vzorky B1-5). Vzorky B1-5 byly testovány na tepelnou vodivost, tepelný odpor a tepelný tok. Zbylé měření na vzorcích nebylo možné provést kvůli vysoké tloušťce vzorků a špatné definovatelnosti základních vlastností. Proto byla v hlavním experimentu upravena výroba vzorků a byl zvolen jiný typ pojivého systému. V hlavním experimentu byly vyrobeny vzorky A1-12, které byly vyráběny pomocí vrstvy pojivého systému na bázi polyethylenu a byly pojeny na lisu při 120 °C po dobu 5 minut. Recykláty obsažené v drti mají teplotu tání vyšší než 200 °C, tudíž během lisování nedocházelo k jejich tavení. Vzorky A1-12 se lišily svou plošnou hmotností, vzorek A1 měl nejnižší plošnou hmotnost a vzorek A12 nejvyšší. Vzorek A12 byl poslední vzorek, který bylo možné mechanicky vyrobit, aby měl po lisování stabilní soudržnost a nedocházelo k rozpadání vzorku. U vzorků byly vyhodnoceny základní vlastnosti, které jsou shrnuty v následující tabulce.

Tabulka 9 Souhrn vlastností vzorků A1-12

Vzorek	Hmotnost [g]	Tloušťka [mm]	Objemová hmotnost [gm ⁻³]	Plošná hmotnost [gm ⁻²]	Pórovitost [%]
A1	23,1	2,4	305	578	97
A2	30,9	3,1	377	773	97
A3	38,4	3,7	324	960	97
A4	45,3	4,6	309	1133	97
A5	53,3	5,6	336	1333	97
A6	61,6	5,7	328	1540	97
A7	73,3	7,6	360	1833	97
A8	75,5	8,5	290	1888	98
A9	75,2	8,8	264	1880	98
A10	79,7	9,6	251	1993	98
A11	82,2	10,3	252	2055	98
A12	86,1	13,5	250	2153	98

Druhá část experimentální práce se zaměřovala na měření odolnosti proti stlačení, tepelně izolačních vlastností a zvukově izolačních vlastností na vzorcích A1-12. Průměrná odolnost proti stlačení vzorků A1-12 (5,67 kPa) je srovnatelná s PUR deskami nabízenými na trhu. Měření vzorků ovšem nebylo stabilní a pro uvádění hodnoty stlačení je vhodné měření zopakovat.

Měření tepelných vlastností vzorků A1-12 probíhalo na nové verzi přístroje Alambeta, který je vyvinut profesorem Lubošem Hesem. Měrná tepelná vodivost vykazuje velmi stabilní hodnoty u všech vzorků A1-12, průměrná hodnota měrné tepelné vodivosti vzorků je porovnána s konkurenčními izolačními materiály v následující tabulce. Z porovnání je patrné, že vzorky A1-12 vykazují hodnotu měrné tepelné vodivosti srovnatelnou s konkurenčními izolačními materiály nabízenými na trhu.

Tabulka 10 Porovnání měrné tepelné vodivosti průměrné hodnoty vzorků A1-12 s konkurenčními zvukovými izolanty [30]

Vzorek	Měrná tepelná vodivost [Wm-1K-1]
Průměrná hodnota vzorků A1-12	0,056
Polystyren pěnový, vypěnovaný	0,051
Polystyren pěnový, vytlačovaný	0,034
Formaldehydrát pěnové pryskyřice struktura otevřená	0,037
PVC pěnění	0,051
Materiály z minerální plsti	0,056
Materiály z minerální plsti, lisované	0,095
Materiály ze skleněné plsti	0,046

Dalšími měřenými tepelnými vlastnostmi byla měrná teplotní vodivost, tepelná jímavost a plošný odpor vedení tepla. Všechna tato měření byla vyhodnocena v kapitole 8.2.1 Výsledky a potvrzují správnou funkčnost tepelně izolačních vlastností vzorků A1-12. Dále byl na přístroji Alambeta měřen tepelný tok, který byl také vyhodnocen v kapitole 8.2.1 Výsledky, a jehož hodnoty vychází konstantně. U tepelného toku nedošlo k proměření celého vzorku, kvůli vrchní vrstvě pojivého systému, který nepropustil tepelný tok skrze měřený vzorek.

Na vzorku A7 byla měřena zvuková pohltivost na přístroji impedanční trubice. Měření probíhalo pouze na jednom vzorku kvůli vysoké finanční náročnosti měření. U vzorku byl vyhodnocen nejvyšší činitel zvukové pohltivosti (alfa) 0,75 pro frekvence 1799 Hz. Za dobré zvukové izolanty se považují materiály s alfou vyšší než 0,6. Podle ČSN EN ISO 11654 se dá zvuková pohltivost vzorku A7 zařadit do popisné třídy C pohltivosti zvuku. Třída pohltivosti zvuku se třídí na třídy A, B, C, D, E a neklasifikováno. [33] Jako podstatou dalších měření by mohla být hlubší analýza zvukově pohltivých vlastností vzorků A1-12, kde by vzorky s vyšší plošnou hmotností mohly dosahovat lepších výsledků hodnoty alfa.

Na základě dobrých výsledků měření vzorků A1-12 na tepelně izolačních vlastnosti je vhodné použít vzorky jako tepelně izolační druhotný produkt.

Závěr

Cílem diplomové práce byla recyklace textilního odpadu vzniklého z autopotahů z vozů s ukončenou životností. Téma diplomové práce bylo vymyšleno ve spolupráci s kolegy ze společnosti ŠKODA AUTO a.s., kde se touto problematikou zabývají. Na základě tohoto zadání bylo docíleno recyklace odpadních textilních materiálů z autopotahů na takzvanou drť. Recyklace proběhla ve spolupráci s firmou Retex, která se zaměřuje na recyklaci a výrobu textilních výrobků pro automobil.

V první části experimentu byla vytvořena analýza recyklovaného odpadu. Na základě materiálové analýzy drtě, kde bylo zjištěno, že drť nejvíce obsahuje zbytků recyklátů polyuretanové pěny (36 %), polyuretanové pěny se zátěrem z polyamidu (32 %), zbytků textilních potahů vyrobených z polyesteru (14 %) a zbytků recyklátů polyamidu 6 (13 %). Podíl nečistot v recyklované drti byl 4 %. Po vyhodnocení analýzy drtě byl navržen druhotný produkt, jehož využití by bylo jako tepelný izolant nebo jako tvarový díl do dopravních prostředků.

Výroba vzorků probíhala na lisu Termolis Schulze Bluepressl, kde se vyrobila série 12 vzorků (A1-12), které byly spojeny vrstvou pojivého systému na bázi polyethylenu s teplotou tání 120 °C. U vyrobených vzorků byl testován odpor proti stlačení, tepelné vlastnosti a zvuková pohltivost. Zvuková pohltivost byla měřena pouze na vzorku A7, kvůli finanční náročnosti měření. Vzhledem k dobrým výsledkům činitele zvukové pohltivosti u vzorku A7 – 0,75, bylo vyvozeno doporučení rozsáhlejší analýzy zvukové pohltivosti u zbylých vzorků A1-12.

Průměrný odpor proti stlačení vzorků A1-12 byl 5,67 kPa. Tato hodnota stlačení je srovnatelná s konkurenčními PUR deskami nabízenými na trhu, ovšem měřené vzorky vykazovaly nestabilitu během měření.

Tepelné vlastnosti vzorků A1-12 byly měřeny na novém přístroji Alambeta, na kterém se měřila měrná tepelná vodivost, měrná teplotní vodivost, tepelná jímavost, plošný odpor vedení tepla a tepelný tok. Tato měření ukázala dobrou měrnou teplotní vodivost vzorků, která je srovnatelná s konkurenčními izolačními materiály. Ostatní měření také vykazovala velmi dobré tepelné vlastnosti vyrobených vzorků A1-12, čímž potvrdily správnou funkčnost tepelných vlastností vyrobených vzorků a vhodnost využití vzorků jako tepelně izolačního materiálu.

Seznam použité literatury

- [1] Třídění odpadů CZ. Autovraky. [online] © 2021 [vid. 2021-06-05]. Dostupné z: <https://www.trideniodpadu.cz/jak-se-recykluji-autovraky>
- [2] Ministerstvo životního prostředí. Seznam zpracovatelů komodit vzniklých při zpracování autovraků. [online] © 2020 [vid. 2021-06-05]. Dostupné z: https://www.mzp.cz/cz/prehled_zpracovateleu_slozek_autovraky
- [3] Wikipedie. Odpad. [online] © 2021 [vid. 2021-07-21]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Opad>
- [4] Ministerstvo životního prostředí. Vozidla s ukončenou životností (autovraky). [online] © 2020 [vid. 2021-05-11]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/nova_evidence_odpadu_prirucka_2016/\\$FILE/OODP-strucna_prirucka_evidence_autovraku-20190829.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/nova_evidence_odpadu_prirucka_2016/$FILE/OODP-strucna_prirucka_evidence_autovraku-20190829.pdf)
- [5] Zákon pro lidi. Zákon č. 541/2020 Sb., zákon o odpadech. [online] © 2021 [vid. 2021-09-05]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2020-541#cast2>
- [6] KAPOUNOVÁ, K. Odpadové hospodářství v zahraničním obchodě České republiky. Liberec, 2018. Bakalářská práce. Fakulta ekonomická Technická univerzita v Liberci. Vedoucí práce: Iva Nedomelelová.
- [7] Úřední věstník Evropské Unie. Směrnice Evropského parlamentu a rady 2005/64/ES. [online] © 2020 [vid. 2021-06-05]. Dostupné z: http://publications.europa.eu/resource/ellar/dcdf433-7132-4c59-909f-b38e83dec390.0001.03/DOC_1
- [8] VASHKEVICH, S. Analýza současného stavu nakládání s textilním odpadem v České republice a identifikace příležitostí uplatnění principů cirkulární ekonomiky v tomto odvětví. Olomouc, 2020. Diplomová práce. Fakulta přírodovědecká Univerzita Palackého v Olomouci. Vedoucí práce: Tomáš Daněk.
- [9] MERKISZ-GURANOWSKA, A. The optimization of vehicles recycling facility location. In: Chapter [online] researchgate.net © 2020 [vid. 2020-04-10]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/267757988_The_optimization_of_vehicles_recycling_facility_location

- [10] HAWLEY, J. M. Textile recycling: a system perspective. In: www.researchgate.net. [online] © 2021 [vid. 2021-08-14]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/29867912_Textile_recycling_A_system_perspective
- [11] MIKESKA, M. Recyklace textilního odpadu. Ostrava, 2017. Bakalářská práce. Fakulta hornicko-geologická Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava. Vedoucí práce: Miluše Hlavatá.
- [12] Volkswagen. Recyklace vozu s ukončenou životností. [online] © 2021 [vid. 2020-04-10]. Dostupné z: <https://www.volkswagen.cz/servis/recyklace/recyklace-vozu-s-ukoncenou-zivotnosti>
- [13] 1981. O nás. [online] © 2021 [vid. 2021-05-11]. Dostupné z: <https://www.1981.cz/1981/o-nas/>
- [14] JANDUSOVÁ, M. Pravda o recyklaci: Plasty. [online] © 2020 [vid. 2021-07-21]. Dostupné z: <https://www.prumyslovaekologie.cz/info/pravda-o-recyklaci-plasty>
- [15] Zákony pro lidi. Vyhláška č. 8/2021 Sb., Vyhláška o Katalogu odpadů a posuzování vlastností odpadů (Katalog odpadů). [online] © 2021 [vid. 2021-06-05]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2021-8#p3>
- [16] PROKOPOVÁ, V. Recyklace odpadu z čalounění automobilů. Liberec, 2006. Diplomová práce. Fakulta textilní Technické univerzity v Liberci. Vedoucí práce: Jakub Wiener.
- [17] KANARI, N. a J. L. PINEAU a S. SHALLARI. End-of-Life Vehicle Recycling in European Union. In: Article [online] researchgate.net © 2020 [vid. 2020-04-10]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/226522156_End-of-life_Vehicle_Recycling_in_the_European_Union
- [18] AMRAL M. C., ZONATTI W. F., SILVA K. L., JUNIOR D. K., NETO J. A., BAUQUE-RAMOS J. Industrial textile recycling and reuse in Brazil: case study and consideration concerning the circular economy. In: [https://www.researchgate.net](http://www.researchgate.net). [online] © 2021 [vid. 2021-08-14]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/324544738_Industrial_textile_recycling_and_reuse_in_Brazil_Case_study_and_considerations_concerning_the_circular_economy

[19] InOdpady. Jak skutečně funguje reální recyklace textilního odpadu?. [online] © 2021 [vid. 2021-08-20]. Dostupné z: <https://inodpady.cz/jak-skutecne-funguje-realna-recyklace-textilniho-odpadu/>

[20] Retex. Automotiv. [online] © 2021 [vid. 2021-09-10]. Dostupné z: <https://www.retex.cz/automotive/>

[21] ŠOLTYSOVÁ, V. Textilní a vlákenné materiály používané v automobilovém průmyslu. Liberec, 2013. Bakalářská práce. Fakulta textilní Technická univerzita v Liberci. Vedoucí práce: Ondřej Novák.

[22] Euro Moulders. End of life. [online] © 2021 [vid. 2021-08-20]. Dostupné z: <https://www.euromoulders.org/sustainability/end-of-life>

[23] Vysoká škola Chemicko-Technická v Praze. Skripta: Skládkování odpadů. [online] © 2001 [vid. 2021-09-08]. Dostupné z: <http://old.vscht.cz/uchop/udalosti/skripta/1ZOZP/odpady/odpady4.htm>

[24] Energy Globe. Textilní odpad – problém, který nevidíme. [online] © 2021 [vid. 2021-09-10]. Dostupné z: <https://www.energyglobe.cz/temata-a-novinky/textilni-odpad-neviditelny-problem-modniho-prumyslu>

[25] Technická univerzita v Liberci. Zkoušení textilií – 10. přednáška. *Konstrukční parametry plošných textilií*. Liberec: TUL.

[26] LEDNICKÝ, M. Vliv konstrukčních parametrů textilie na její pórovitost. Liberec, 2012. Bakalářská práce. Fakulta textilní Technická univerzita v Liberci. Vedoucí práce: Renáta Nemčoková.

[27] ČSN EN ISO 3386-1. Měkké lehčenné polymerní materiály – Stanovení odporu proti stlačení – Část 1: nízkohustotní materiály. Praha: Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření, 1999.

[28] Interní norma č. 23-304-02/01. Měření tepelných vlastností na přístroji Alambeta. [online] © 2004 [vid. 2021-11-15]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/26451717-Interni-norma-c-01-mereni-tepelnych-vlastnosti-na-pristroji-alambeta.html>

[29] KALINOVÁ, K. Kalkulace, metoda – akustická měření. Liberec, 2022. Fakulta textilní Technická univerzita v Liberci.

[30] Molitany.com. Akustický molitan. [online] © 2019 [vid.2022-05-15]. Dostupné z:
<https://www.molitany.com/produkt/pojeny-molitan-re-120-200x90-cm/>

[31] Propur. RE pojená pěna. [online] © 2020 [vid.2022-05-15]. Dostupné z:
<https://www.propur.cz/molitanova-deska-na-miru-re-pojena-pena-re130>

[32] BATKOVÁ, H. Hodnocení užitečných vlastností vybraných závěsových tkanin. Liberec, 2014. Bakalářská práce. Fakulta textilní Technická univerzita v Liberci. Vedoucí práce: Petr Tumajer.

[33] Izolace info. Protihluková izolace – základní pojmy. [online] © 2021 [vid.2022-05-15]. Dostupné z: <https://www.isolace-info.cz/technicke-informace/fyzikalni-veliciny/9843-protihlukova-izolace-zakladni-pojmy-a.html#.YoFJly9Xob1>

Seznam obrázků

Obrázek 1 Porovnání schématu cirkulární a lineární ekonomiky [6]	14
Obrázek 2 Pyramidový model pro kategorie recyklace textilu [10]	19
Obrázek 3 Plastová drť [16]	26
Obrázek 4 Ukázka velikostí plastových granulátů [16].....	26
Obrázek 5 Rozdrcený odpad z autopotahů [16].....	26
Obrázek 6 Textilní trhanina [16]	27
Obrázek 7 Zahájení drtiče džínů [10]	28
Obrázek 8 Drtič určený k recyklaci zbytků spřádaných, tkaných, pletených a netkaných textilií [10].....	28
Obrázek 9 Drť z roztrhaných džínů [10]	28
Obrázek 10 Schéma autosedačky [21]	30
Obrázek 11 Chemická recyklace textilu ze syntetického materiálu [12]	32
Obrázek 12 Schéma etap procesu mechanické recyklace [12]	35
Obrázek 13 Náčrt uspořádání impedanční trubice [29].....	41
Obrázek 14 Drť z odpadového materiálu	43
Obrázek 15 Recyklát 1 - polyester, Recyklát 2 – polyuretan/polyamid 6, Recyklát 3 - polyuretan, Recyklát 4 - polyamid 6	44
Obrázek 16 Infračervená spektrometrie třídy 1 (identifikováno jako polyester)	45
Obrázek 17 Infračervená spektrometrie třídy 2 (identifikováno jako polyuretan)	45
Obrázek 18 Infračervená spektrometrie třídy 3 (identifikováno jako polyuretan)	46
Obrázek 19 Infračervená spektrometrie třídy 4 (identifikováno jako polyamid 6)	46
Obrázek 20 Metoda DSC pro třída 1 (identifikováno jako polyester)	47
Obrázek 21 Metoda DSC pro třída 2 (identifikováno jako polyamid 6)	48
Obrázek 22 Metoda DSC pro třída 3 (identifikováno jako polyuretan).....	48
Obrázek 23 Metoda DSC pro třída 4 (identifikováno jako polyamid 6)	49
Obrázek 24 DSC analýza vrstvy pojiva	50
Obrázek 25 Vzorky B1-5 vyrobené během předběžných experimentů	51
Obrázek 26 Vzorek A1	54
Obrázek 27 Vzorek A1-A12	54
Obrázek 28 Vyhodnocení vlivu plošné hmotnosti na tloušťku vzorků A1-A12	56
Obrázek 29 Procentuální rozložení použitého materiálu ve vzorku A1	57
Obrázek 30 Schéma měřícího přístroje Alambeta [28]	61
Obrázek 31 Výsledné hodnoty měrné tepelné vodivosti	63
Obrázek 32 Výsledné hodnoty měrné teplotní vodivosti	63

Obrázek 33 Výsledné hodnoty tepelné jínavosti	64
Obrázek 34 Výsledné hodnoty plošného odporu vedení tepla.....	65
Obrázek 35 Výsledné hodnoty tepelného toku	65
Obrázek 36 Výsledky měření zvukové pohltivosti pro vzorek A7.....	66

Seznam tabulek

Tabulka 1 Seznam zpracovatelů (SZ) textilních odpadů (komodit) vzniklých při zpracování autovraků [2].....	18
Tabulka 2 Hmotnostní a materiálové složení drtě.....	44
Tabulka 3 Výsledky měření vzorků B1-5 z předběžného experimentu	52
Tabulka 4 Charakteristické vlastnosti vzorků A1-A12 (plocha vzorku vždy 0,04 m ² , hmotnost pojivového systému ve vzorku 3 g).....	53
Tabulka 5 Vypočítané hodnoty plošné hmotnosti vzorků (plocha vzorku vždy 0,04 m ²)... 55	
Tabulka 6 Hustota materiálových komponent	57
Tabulka 7 Výsledky objemové měrné hmotnosti, zaplnění a pórovitosti pro vzorky A1-A12	58
Tabulka 8 Výsledné hodnoty odporu proti stlačení pro vzorky A1-12 (plocha povrchu zkoušeného vzorku vždy 20106 mm ²)	60
Tabulka 9 Souhrn vlastností vzorků A1-12	69
Tabulka 10 Porovnání měrné tepelné vodivosti průměrné hodnoty vzorků A1-12 s konkurenčními zvukovými izolanty [30].....	70

Seznam příloh

Příloha 1 – Procentuální rozložení jednotlivých komponent pro vzorek A1-A12

Vzorek	Pojivo PE [%]	PUR/PA [%]	PUR [%]	PES [%]	PA6 [%]	Nečistoty [%]
A1	11	29	32	12	11	5
A2	8	29	33	13	12	5
A3	7	30	34	13	12	5
A4	6	30	34	13	12	5
A5	5	30	34	13	12	5
A6	4	31	35	13	12	5
A7	3	31	35	13	12	5
A8	3	31	35	13	12	5
A9	3	31	35	13	12	5
A10	3	31	35	13	12	5
A11	3	31	35	13	12	5
A12	3	31	35	13	12	5

Příloha 2 – Naměřené hodnoty měrné tepelné vodivosti

Měrná tepelná vodivost [$W^{-1}K^{-1}$]								
Vzorek	1. měření	2. měření	3. měření	4. měření	5. měření	Průměr	Směr. odchyl.	Var. koef.
A1	0,051	0,057	0,055	0,050	0,051	0,053	0,003	0,000
A2	0,048	0,059	0,051	0,056	0,052	0,053	0,004	0,000
A3	0,057	0,059	0,060	0,059	0,057	0,058	0,001	0,000
A4	0,059	0,060	0,064	0,053	0,061	0,059	0,004	0,000
A5	0,058	0,063	0,061	0,057	0,064	0,061	0,003	0,000
A6	0,056	0,063	0,059	0,057	0,059	0,059	0,002	0,000
A7	0,058	0,055	0,059	0,056	0,057	0,057	0,001	0,000
A8	0,052	0,055	0,060	0,057	0,051	0,055	0,003	0,000
A9	0,060	0,055	0,056	0,061	0,058	0,058	0,002	0,000
A10	0,055	0,051	0,057	0,059	0,056	0,055	0,002	0,000
A11	0,058	0,057	0,055	0,057	0,056	0,057	0,001	0,000
A12	0,053	0,058	0,051	0,054	0,050	0,053	0,003	0,000

Příloha 3 – Naměřené hodnoty měrné teplotní vodivosti

Měrná teplotní vodivost [mm²s⁻¹]								
Vzorek	1. měření	2. měření	3. měření	4. měření	5. měření	Průměr	Směr. odchyl.	Var. koef.
A1	0,088	0,110	0,106	0,096	0,083	0,097	0,010	0,000
A2	0,094	0,134	0,098	0,110	0,118	0,111	0,014	0,000
A3	0,098	0,129	0,108	0,115	0,099	0,110	0,011	0,000
A4	0,103	0,128	0,110	0,100	0,114	0,111	0,010	0,000
A5	0,112	0,149	0,113	0,142	0,127	0,129	0,015	0,000
A6	0,119	0,140	0,128	0,136	0,128	0,130	0,007	0,000
A7	0,127	0,158	0,163	0,170	0,172	0,158	0,016	0,000
A8	0,173	0,214	0,192	0,211	0,214	0,201	0,016	0,000
A9	0,185	0,170	0,209	0,160	0,202	0,185	0,019	0,000
A10	0,178	0,240	0,201	0,292	0,225	0,227	0,039	0,001
A11	0,206	0,174	0,238	0,233	0,256	0,221	0,029	0,001
A12	0,302	0,270	0,279	0,237	0,280	0,274	0,021	0,000

Příloha 4 – Naměřené hodnoty tepelné jímavosti

Tepelná jímavost [$\text{Wm}^{-2}\text{s}^{1/2}\text{K}^{-1}$]								
Vzorek	1. měření	2. měření	3. měření	4. měření	5. měření	Průměr	Směr. odchyl.	Var. koef.
A1	171,2	171,0	167,9	161,7	176,4	169,6	4,8	23,2
A2	156,5	159,8	163,5	167,8	151,9	159,9	5,5	30,2
A3	190,5	163,5	183,3	172,5	180,5	178,1	9,3	86,2
A4	185,5	167,2	193,5	167,8	179,9	178,8	10,2	103,6
A5	174,3	162,2	181,3	150,9	178,6	169,5	11,4	128,9
A6	162,9	167,0	165,8	155,7	163,7	164,0	3,9	15,5
A7	162,3	138,0	145,9	140,8	137,1	144,8	9,3	85,8
A8	125,3	118,5	135,8	124,9	109,6	122,8	8,6	74,5
A9	139,4	132,5	122,3	151,7	128,3	134,8	10,1	102,1
A10	130,1	104,5	125,9	108,6	117,1	117,2	9,8	95,5
A11	126,9	136,1	112,8	118,6	110,5	121,0	9,4	89,2
A12	96,8	110,7	97,0	110,5	94,5	101,9	7,2	51,2

Příloha 5 – Naměřené hodnoty plošného odporu vedení tepla

Plošný odpor vedení tepla [$W^{-1}Km^{-2}$]								
Vzorek	1. měření	2. měření	3. měření	4. měření	5. měření	Průměr	Směr. odchyl.	Var. koef.
A1	0,044	0,044	0,046	0,048	0,047	0,046	0,002	0,000
A2	0,066	0,052	0,061	0,058	0,060	0,060	0,004	0,000
A3	0,062	0,063	0,062	0,065	0,064	0,063	0,001	0,000
A4	0,080	0,073	0,072	0,090	0,077	0,078	0,006	0,000
A5	0,096	0,088	0,093	0,101	0,089	0,093	0,005	0,000
A6	0,101	0,089	0,096	0,100	0,099	0,097	0,004	0,000
A7	0,131	0,133	0,130	0,133	0,139	0,133	0,003	0,000
A8	0,166	0,152	0,140	0,149	0,169	0,155	0,011	0,000
A9	0,146	0,159	0,158	0,148	0,155	0,153	0,005	0,000
A10	0,175	0,178	0,170	0,168	0,181	0,174	0,005	0,000
A11	0,180	0,172	0,185	0,186	0,192	0,183	0,007	0,000
A12	0,247	0,236	0,268	0,249	0,275	0,255	0,014	0,000

Příloha 6 – Naměřené hodnoty tepelného toku

Tepelný tok [Wm ⁻²]								
Vzorek	1. měření	2. měření	3. měření	4. měření	5. měření	Průměr	Směr. odchyl.	Var. koef.
A1	539,5	584,3	417,3	447,3	575,7	512,8	68,1	4638,4
A2	485,1	561,4	500,7	477,2	385,6	482,0	56,5	3195,9
A3	742,8	545,3	718,4	594,2	716,4	663,4	78,6	6174,9
A4	659,3	520,9	704,8	499,5	578,5	592,6	78,8	6209,0
A5	804,4	847,7	894,5	544,8	915,5	801,4	133,9	17936,5
A6	531,3	692,3	564,5	476,2	543,8	561,6	71,6	5123,8
A7	809,3	485,0	712,2	665,6	477,4	629,9	130,0	16896,9
A8	466,1	532,4	625,1	685,6	346,2	531,1	119,3	14224,2
A9	778,0	597,2	748,2	845,6	681,1	730,0	84,9	7205,1
A10	807,6	458,3	737,5	731,5	678,1	682,6	119,5	14272,2
A11	646,8	697,0	734,4	625,2	411,2	622,9	112,5	12663,3
A12	612,2	715,4	612,8	776,0	548,3	652,9	81,6	6653,1

Příloha 7 – Naměřené hodnoty tloušťky

Tloušťka [mm]								
Vzorek	1. měření	2. měření	3. měření	4. měření	5. měření	Průměr	Směr. odchyl.	Var. koef.
A1	2,250	2,485	2,534	2,404	2,405	2,416	0,096	0,009
A2	3,170	3,055	3,138	3,226	3,126	3,143	0,056	0,003
A3	3,694	3,683	3,737	3,794	3,632	3,708	0,054	0,003
A4	4,727	4,369	4,601	4,741	4,682	4,624	0,137	0,019
A5	5,599	5,480	5,669	5,754	5,635	5,627	0,090	0,008
A6	5,653	5,550	5,706	5,751	5,773	5,687	0,080	0,006
A7	7,564	7,284	7,664	7,695	7,890	7,619	0,198	0,039
A8	8,642	8,333	8,301	8,552	8,581	8,482	0,138	0,019
A9	8,730	8,703	8,835	8,949	8,963	8,836	0,108	0,012
A10	9,569	9,107	9,596	9,845	10,062	9,636	0,320	0,102
A11	10,368	9,740	10,188	10,638	10,702	10,327	0,347	0,121
A12	13,158	13,577	13,759	13,478	13,737	13,542	0,218	0,048