

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta životního prostředí

Katedra aplikované ekologie



Bakalářská práce

Využití recyklovaných plastů v chemické výrobě

Jan Lukačik

© 2020 ČZU v Praze

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Jan Lukačik

Krajinářství

Územní technická a správní služba

Název práce

Využití recyklovaných plastů v chemické výrobě

Název anglicky

Use of recycled plastics in chemical production

Cíle práce

Cílem bakalářské práce je seznámit se s problematikou recyklovaných plastů v chemické výrobě ve vybraném podniku. Provést teoretický a laboratorní rozbor vybraných vzorků plastů pro jejich finální využití.

Metodika práce vychází z určených klasifikačních, jakostních a specifikačních rámců recyklovaných plastů pro jejich finální využití. Praktická část práce zahrnuje uskutečnit kvalitativní rozbor na vybraných vzorcích recyklovaných plastů.

Metodika

1. Úvod
2. Cíl práce a metodika
3. Charakteristika plastů
4. Technologie a technika zpracování recyklovaných plastů
5. Měření a dosažené výsledky
6. Závěr
7. Seznam literatury
8. Přílohy

Doporučený rozsah práce

40 – 50

Klíčová slova

recyklační technologie, termoplasty, reaktoplasty, chemické složení

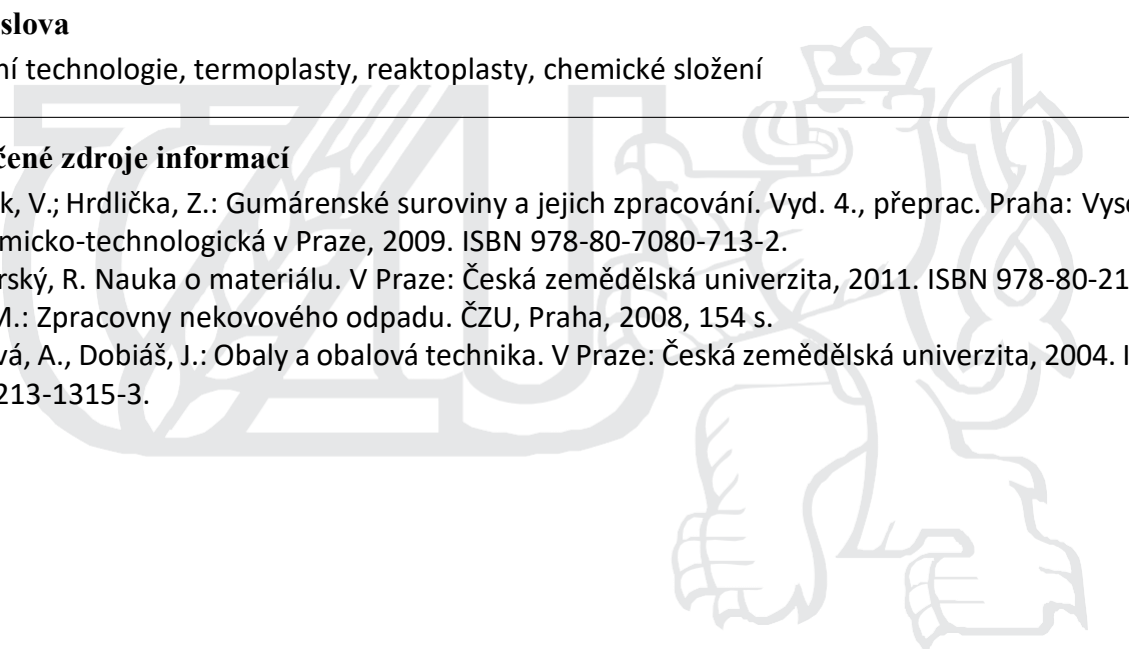
Doporučené zdroje informací

Ducháček, V.; Hrdlička, Z.: Gumárenské suroviny a jejich zpracování. Vyd. 4., přeprac. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2009. ISBN 978-80-7080-713-2.

Chotěborský, R. Nauka o materiálu. V Praze: Česká zemědělská univerzita, 2011. ISBN 978-80-213-2236-3.

Muller, M.: Zpracovny nekovového odpadu. ČZU, Praha, 2008, 154 s.

Smejtková, A., Dobiáš, J.: Obaly a obalová technika. V Praze: Česká zemědělská univerzita, 2004. ISBN 80-213-1315-3.



Předběžný termín obhajoby

2019/20 LS – FŽP

Vedoucí práce

doc. Ing. Jan Malat'ák, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra technologických zařízení staveb

Elektronicky schváleno dne 4. 9. 2019

doc. Ing. Jan Malat'ák, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 9. 9. 2019

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 07. 06. 2020

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Využití recyklovaných plastů v chemické výrobě" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 07. 06. 2020

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu práce doc. Ing. Janu Malat'ákovi, Ph.D, za odborné vedení a cenné rady při vytváření této bakalářské práce. Dále bych rád poděkoval panu Ondřeji Zámečnickovi, který mě provedl a seznámil s výrobním procesem ve společnosti Silon s.r.o., za jeho rady, poznámky a především ochotu. Rád bych také poděkoval rodině za podporu a především otci Ing. Igoru Lukačikovi, za jeho cenné rady a znalosti.

Využití recyklovaných plastů v chemické výrobě

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá využitím recyklovaných odpadních plastů v chemické výrobě. V úvodní části je obsažena legislativa odpadového hospodářství, zejména zákony a vyhlášky týkající se problematiky odpadového hospodářství. Následující část se zabývá odpadem jako takovým, jeho zpracováním a nakládání s ním. Zvětšený důraz je v této části kladen na princip recyklace odpadních plastů a jejich následné separování a drcení. Další část se týká makromolekulárních látek, a to především polymerů. Je zde popsána historie polymerů, jednotlivé podskupiny polymerů, jako jsou např. termoplasty, reaktoplasty a elastomery. Také jsou v této části zmíněny nejznámější a nejpoužívanější polymerní materiály a způsoby výroby jednotlivých polymerních sloučenin. Předposlední část bakalářské práce se týká seznámení se společností Silon s.r.o., a především s výrobním procesem umělého vlákna, který je zde popsán. V poslední části je provedeno nejprve měření fyzikálně-chemických vlastností vstupních surovin, kde je prováděno měření na šesti vzorcích vstupní suroviny. Výsledky jsou následně statisticky porovnány a je například zjištěn průměr sypké hmotnosti $264,7 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, průměrná vlhkost $1,0167 \%$ a průměrná hodnota zastoupení PVC ve směsi $27,5 \text{ ppm}$. Následně je v poslední části prováděno měření na šesti vzorcích výstupní suroviny (vlákna). Stejně jako u vstupních surovin je zde provedeno statistické měření a zjištění například průměrné tažnosti vlákna o 93% , průměrná relativní pevnost $3,0467 \text{ cN/dtex}$, délková hmotnost $6,495 \text{ dtex}$, a také průměr barevných souřadnic, kdy souřadnice L vycházela $16,263$, souřadnice a $-0,12$, souřadnice b $-0,535$. Všechny zmíněné a další vlastnosti jsou uvedeny a popsány v poslední části práce.

Klíčová slova: odpad, plast, recyklace, polymer, výrobní linka, vlákno, výrobní proces

Use of recycled plastics in chemical production

Abstract

This bachelor thesis deals with the use of recycled plastic waste in chemical production. The introductory part includes waste management legislation, especially laws and decrees concerning waste management issues. The following section deals with waste as such, its treatment and management. Increased emphasis in this part is put on the principle of recycling plastic waste and their subsequent separation and crushing. The next part concerns macromolecular substances, especially polymers, the history of polymers, individual subgroups of polymers such as thermoplastics, thermosetting plastics and elastomers are described. Also mentioned in this section are the most well-known and most commonly used polymeric materials and methods of making individual polymeric compounds. The penultimate part of the thesis deals with the introduction of the company Silon s.r.o. and especially with the production process of artificial fiber, which is described here. In the last part, the physicochemical properties of the raw materials are measured first, where the measurements are carried out on six samples of the raw material. The results are then statistically compared, for example, a bulk density average of 264.7 kg/m^{-3} , an average humidity of 1.0167 % and an average PVC content of 27.5 ppm are found. Subsequently, in the last part measurements are made on six samples of output raw material (fibers). As with the feedstocks, statistical measurements and measurements are made, for example, of an average fiber elongation of 93 %, an average relative strength of 3.0467 cN/dtex, a linear weight of 6.495 dtex, and also an average of color coordinates where L was 16.263, a -0.12, coordinates b -0.535. All mentioned and other properties are listed and described in the last part of the thesis.

Keywords: waste, plastic, recycling, polymer, production line, fiber, production process

Obsah

1 Úvod	7
2 Cíle práce a metodika	8
3 Literární rešerše.....	9
3.1 Zákonodárství odpadového hospodárství a nakládání s obaly v ČR.....	9
3.2 Základní právní předpisy nakládání s odpady a obaly v ČR.....	9
3.2.1 Zákon o odpadech.....	9
3.2.2 Zákon o obalech.....	9
3.2.3 Zákon o životním prostředí.....	10
3.2.4 Zákon o chemických látkách a chemických směsích	10
3.2.5 Další právní předpisy	10
3.3 Odpady	12
3.4 Technologie odpadového hospodárství.....	13
3.5 Skládkování odpadů	13
3.6 Energetické využití odpadů.....	14
3.7 Recyklace	14
3.7.1 Recyklace odpadních plastů.....	15
3.8 Rozdělování odpadních plastů	16
3.8.1 Rozdružování v hydrocyklónech	16
3.8.2 Elektrostatické rozdružování	17
3.8.3 Flotace.....	18
3.8.4 Optická separace	19
3.8.5 Rentgenová separace.....	19
3.9 Drcení plastového odpadu.....	19
3.9.1 Hrubé drcení plastového odpadu	20
3.9.2 Drcení plastového odpadu za použití kryogenní technologie.....	20
3.9.3 Drcení plastového odpadu bez kryogenní technologie	21
3.10 Makromolekulární látky.....	22
3.11 Historie Polymerů	24
3.12 Polymery	25
3.13 Elastomery.....	25
3.13.1 Kaučuky	26
3.13.2 Termoplastické Elastomery	26
3.14 Plasty	26
3.14.1 Reaktoplasty.....	27
3.14.2 Termoplasty	27
3.15 Základní polymery využívané v chemické výrobě	28

3.15.1	Polyethylen (PE)	28
3.15.2	Polypropylen (PP)	29
3.15.3	Polyethylentereftalát (PET)	29
3.15.4	Polyvinylchlorid (PVC)	31
3.16	Způsob výroby polymerních látek	31
3.16.1	Polymerace	31
3.16.2	Polykondenzace	32
3.16.3	Polyadice	33
4	Výchozí podmínky v podniku	34
4.1	Představení podniku	34
4.1.1	Historie podniku	35
4.1.2	Výzkumné centrum podniku	35
4.2	Výrobní proces umělého vlákna	35
5	Metodika měření	43
5.1	Měření fyzikálně-chemických parametrů vstupních surovin	43
5.1.1	Statistické zhodnocení měřených hodnot vstupních surovin	47
5.2	Měření výstupních jednotek	49
5.2.1	Výsledné průměrné parametry	53
5.2.2	Statistické zhodnocení výsledného měření	55
6	Závěr a diskuze	58
7	Seznam použitých zdrojů	60
8	Seznam obrázků	64
9	Seznam tabulek	65

1 Úvod

Odpad je v dnešním světě velmi řešené téma, jeho problematika z hlediska produkce je totiž na nejvyšším stupni ohrožení za dobu lidské existence. Díky této problematice je snaha se odpadu co nejefektivněji zbavovat a nakládat s ním. Mezinárodní organizace a jednotlivé státy se již tímto problémem zabývají a snaží se co nejvíce regulovat spotřebu odpadu. Základem je omezení výroby odpadových materiálů, a to především obalů, které slouží k ochraně produktu a docílit jejich znovuvyužití. Až při nevyžitelnosti materiálového způsobu nakládání s odpady, využít alternativní způsoby nakládání s odpady.

Bakalářská práce se zaměřuje především na plastový odpad a jeho zpětné využití. Plast je dnes zřejmě nejprobíranější materiál, a to kvůli jeho obrovské využitelnosti a s ní spojenou spotřebou. Díky svým vlastnostem je plastový materiál suverénní v obalovém hospodářství, ale o to déle se poté ve volné přírodě rozkládá.

Většina plastu skončí na skládkách nebo hůř ve volné přírodě, kde si fauna ani flóra neumí s tímto materiálem poradit. Plastový odpad zaplavuje oceány, stává se součástí lesních biotopů a svou „nezničitelností“ usmrcuje již tak ohrožené druhy zvířat. Proto musí zasáhnout sám člověk a začít napravovat, co způsobil a způsobuje.

V bakalářské práci je zkoumáno alternativní využití recyklovaného plastového odpadu v chemické výrobě, kde dochází ke zpracování plastu a znovuvyužití jako textilního materiálu.

2 Cíle práce a metodika

Cílem práce je seznámit se s problematikou plastového odpadu a jeho následného využití. První část bakalářské práce má za úkol seznámit se s legislativou a právními předpisy odpadového hospodářství, definovat odpad jako takový a určit možné postupy při jeho zpracování. Seznámit se s odpadním plastem a s tím spojenou recyklační technologií, podrobně si představit jednotlivé postupy při recyklaci odpadního plastu. V další části práce jsou popsány a rozděleny makromolekulární látky, jejich výrobní postupy a fyzikálně-chemické vlastnosti.

V praktické části bakalářské práce je úvodním cílem představení podniku, ve kterém probíhala prohlídka výrobní linky. Popsání procesu výrobní linky a seznámení se s vzorky vstupních a výstupních surovin. Dalším úkolem je seznámit se s vlastnostmi vstupních a výstupních surovin na laboratorních měřeních prováděných podnikem.

Cílem práce je seznámit se s problematikou odpadního plastu, s možnostmi využití, chemickým složením odpadních plastů a především výrobním procesem za vzniku umělého vlákna.

Bakalářská práce bude tedy metodicky sestavena z těchto úkolů:

- Charakteristika plastového odpadu
- Technologie zpracování plastového odpadu
- Charakteristika makromolekulárních sloučenin
- Technologie výrobního procesu
- Měření vstupních a výstupních surovin

3 Literární rešerše

3.1 Zákonodárství odpadového hospodářství a nakládání s obaly v ČR

Tato část bakalářské práce obsahuje základní přehled legislativy, která je klíčová pro veškerou činnost spjatou s nakládáním odpadů a obalů. V České republice je tato problematika odpadů stanovena řadou zákonů a vyhlášek, které jsou spjaty s podmínky Evropské unie.

3.2 Základní právní předpisy nakládání s odpady a obaly v ČR

Základními zákony v České republice, které se zabývají problematikou odpadů a obalů jsou Zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech a neméně důležitý Zákon č. 477/2001., o obalech. Důležitými zákony v oboru jsou taktéž Zákon č. 17/1992 Sb., o životním prostředí a Zákon č. 350/2011 Sb., o chemických látkách. Dále se touto problematikou částečně zabývají i ostatní zákony, které jsou uvedeny v odstavci „Další právní předpisy“.

3.2.1 Zákon o odpadech

Zákon č. 185/2001 Sb., se řídí a zapracovává příslušné předpisy Evropské unie a upravuje pravidla pro předcházení vzniku jakéhokoli odpadu a pro nakládání s ním při dodržování životního prostředí, ochrany lidského zdraví a trvale udržitelného rozvoje. Při omezování nepříznivých odpadů je kladena snaha na využívání přírodních zdrojů a zlepšování účinnosti tohoto využívání. Dále se zabývá právy a povinnostmi jednotlivých osob v odpadovém hospodářství a působnosti orgánů veřejné správy v odpadovém hospodářství. [Zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech].

3.2.2 Zákon o obalech

Účelem tohoto zákona č. 477/2001 Sb., je chránit životní prostředí předcházením vzniku odpadů a především obalů. Převážně je kladen důraz na snižování hmotnosti, objemu a škodlivosti obalů či chemických látek, vše v souladu s právem Evropské unie. Tento zákon stanoví práva a povinnosti podnikajících právnických a fyzických osob a

působnost úřadů při nakládání s obaly a uvádění obalů a balených výrobků na trh nebo do oběhu, při zpětném odběru a při využití odpadu z obalů. Stanovuje poplatky a ochranné opatření, přestupky a opatření k nápravě. Zákon se vztahuje na nakládání se všemi obaly, které jsou v České republice uváděny na trh nebo do oběhu, s výjimkou kontejnerů užívaných v silniční, železniční, letecké dopravě nebo při námořní či vnitrozemské plavbě podle mezinárodních smluv, jimiž je Česká republika vázána a které byly vyhlášeny ve Sbírce mezinárodních smluv a zákonů. [Zákon č. 477/2001 Sb., o obalech].

3.2.3 Zákon o životním prostředí

Tento zákon č. 17/1992 Sb., vymezuje základní pojmy a stanoví základní zásady ochrany životního prostředí a povinnosti právnických a fyzických osob při ochraně a zlepšování stavu životního prostředí a při využívání přírodních zdrojů. Vychází z principu trvale udržitelného rozvoje a vychází ze skutečnosti, že člověk je spolu s ostatními organismy neoddelitelnou součástí přírody, připomínajíc si přirozenou vzájemnou závislost člověka a ostatních organismů. Respektuje přitom práva člověka přetvářet přírodu v souladu s již zmíněným principem trvale udržitelného rozvoje, s vědomím o odpovědnosti za zachování příznivého životního prostředí budoucím generacím. Zdůrazňuje základní právo člověka na příznivé životní podmínky. [Zákon č. 17/1992 Sb., o životním prostředí].

3.2.4 Zákon o chemických látkách a chemických směsích

Zákon č. 350/2011 Sb., o chemických látkách zpracovává a navazuje na přímo použitelné předpisy Evropské unie. Upravuje práva a povinnosti právnických a podnikajících fyzických osob při výrobě, klasifikaci, balení, označování, zkoušení nebezpečných vlastností, uvádění na trh, vývozu a dovozu chemických látek, nebo látek obsažených ve směsích a předmětech. Dále upravuje správnost laboratorní praxe a působnost správních orgánů při zajišťování ochrany před škodlivými účinky látek a směsí. [Zákon č. 350/2011 Sb., o chemických látkách].

3.2.5 Další právní předpisy

- Zákon č. 123/1998 Sb., o právu na informace o životním prostředí

- Zákon č. 100/2001 Sb., o posuzování vlivu na životní prostředí
- Zákon č. 167/2008 Sb., o předcházení ekologické újmy a o její nápravě a o změně některých zákonů
- Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon)
- Zákon č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší
- Zákon č. 73/2012 Sb., o látkách, které poškozují ozonovou vrstvu, a o fluorovaných skleníkových plynech
- Zákon č. 383/2012 Sb., o podmínkách obchodování s povolenkami na emise skleníkových plynů
- Zákon č. 224/2015 Sb., o prevenci závažných havárií způsobených vybranými nebezpečnými chemickými látkami nebo chemickými směsí a o změně zákona č. 634/2004 Sb., o správních poplatcích, ve znění pozdějších předpisů
- Vyhláška č. 103/2010 Sb., o provedení některých ustanovení zákona o právu na informace o životním prostředí
- Vyhláška č. 163/2012 Sb., o zásadách správné laboratorní praxe
- Vyhláška č. 376/2001 Sb., Ministerstva životního prostředí a Ministerstva zdravotnictví o hodnocení nebezpečných vlastností odpadu
- Vyhláška č. 330/2012 Sb., o způsobu posuzování a vyhodnocení úrovně znečištění, rozsahu informování veřejnosti o úrovni znečištění a při smogových situacích
- Vyhláška č. 93/2016 Sb., Ministerstva životního prostředí, kterou se stanoví Katalog odpadu, postup pro zařazení odpadu podle Katalogu odpadů a náležitosti návrhu obecního úřadu obce s rozšířenou působností na zařazení odpadu podle Katalogu odpadů
- Vyhláška č. 383/2001 Sb., Ministerstva životního prostředí o podrobnostech nakládání s odpady
- Vyhláška č. 294/2005 Sb., o podmínkách ukládání odpadů na skládky a jejich využívání na povrchu terénu
- Vyhláška č. 94/2016 Sb., o hodnocení nebezpečných vlastností odpadů
- ČSN EN 77 0003 Obaly - Obalové odpady a životní prostředí
- ČSN 64 003 Plasty – zhodnocení plastového odpadu

3.3 Odpady

„Odpady provázejí lidstvo od pradávna. Jsou produktem prakticky veškeré lidské činnosti. Vznikají při průmyslové činnosti, stavební činnosti, zemědělství, dopravě a při běžném životě člověka v konzumní společnosti. Zejména komunální odpady a kaly z čistíren odpadních vod jsou produktem prakticky všech obyvatel.“ [MŽP]

„Odpad je tedy každá movitá věc, které se člověk zbavuje nebo má v úmyslu či povinnost se jí zbavit.“ [Zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech].

Podle zákona o odpadech rozdělujeme nakládání s odpadem do pěti základních sfér, které jsou znázorněny na Obr. Nejdůležitějším je první způsob, a to předcházet vzniku odpadu, což převážně znamená, že nebude žádný odpad vznikat, nebo se radikálně sníží vliv odpadu na životní prostředí. Následující způsob opětovného použití spočívá v úpravě, či čištění vzniklého odpadu za účelem jeho znovupoužití bez nutnosti dalšího zpracování. Následující možnosti jsou podrobněji popsány v následující části práce. [Zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech]



Obr. 1 Pyramidové schéma odpadového hospodářství [<https://www.jihlava.cz/>]

3.4 Technologie odpadového hospodářství

Tato část práce je zaměřena na technologie odpadového hospodářství, a to především na recyklaci a s ní spojenou metodikou. Dále jsou zde stručně popsány další způsoby nakládání s odpady, a to konkrétně skládkování a energetické využití.

3.5 Skládkování odpadů

Skládkování je v ČR nejrozšířenější způsob nakládání s odpady. Jedná se o proces odstranění odpadu bez jakéhokoliv dalšího využití. Je znázorněn na Obr. 1 na posledním místě a jedná se tedy o poslední možnost, jak s odpadem naložit. Ke skládkování dochází tehdy, kdy už odpad nelze opětovně využít, a to jak recyklací, tak energetickým způsobem. Odpady směřují na skládky, kde se pomalu rozkládají za pomoci mikroorganismů. [TRÍDĚNÍODPADU.CZ]



Obr. 2 Skládky „SONO“ u obce Šířejovice (Severní Čechy)

[<https://www.skladkasono.cz/>]

3.6 Energetické využití odpadů

V ČR je energetické využívání odpadu podstatně menší na rozdíl od již zmíněného skládkování. Na energetické využití jsou určeny především spalovny odpadu, které představují alternativu doposud používaných fosilních paliv. Při spalování je kladen důraz na energetický a materiálový potenciál odpadů, díky čemuž je energeticky získávána elektřina nebo teplo. Koeficient energetické účinnosti odpadu musí být větší než 65%, aby mohl být spalován v energetických spalovnách odpadu. Jedná se o předposlední proces v pyramidovém schématu, je tedy „druhý nejhorší“ a proto musí být kladen větší důraz na šetrnější způsoby. [MÜLLER, 2008]



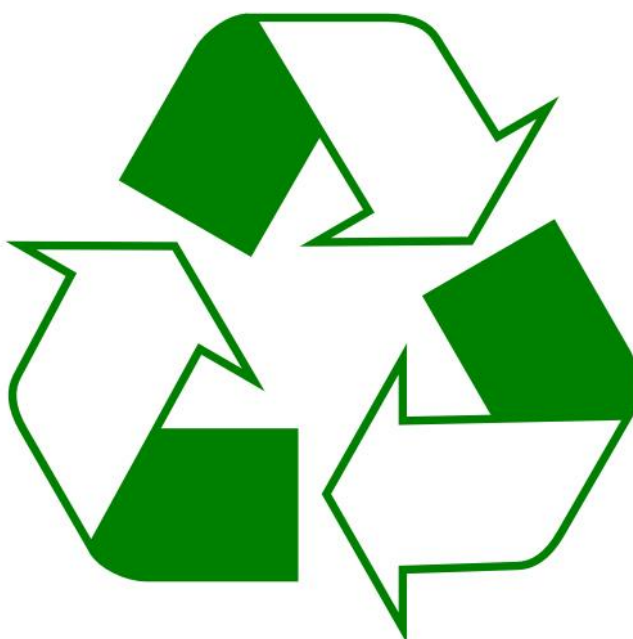
Obr. 3 Spalovna odpadů Praha-Malešice [<http://www.odpadjeenergie.cz>]

3.7 Recyklace

Recyklace je dnes již pro většinu lidí samozřejmý proces, který vede k opětovnému využití odpadů. Jedná se o cyklický proces, v němž se použitý materiál dostane zpět do

výrobního cyklu. Tento zpětný systém napomáhá snížení zátěže na životní prostředí, šetří obnovitelné i neobnovitelné zdroje a snižují se tím potřeby pro těžbu nových surovin.

Recyklaci rozdělujeme na přímou a nepřímou. Přímou recyklací definujeme znovuvyužití odpadu bez potřebných úprav. Jedná se tedy o předmět, který v použitém stavu můžeme nadále používat. Nepřímá recyklace vyžaduje znovuzpracování odpadního materiálu pro další využití. Touto metodou jsou přetvářeny např. plastové lahve a sběrný papír. [BOEUT, 2014]



Obr. 4 Znak recyklace [<https://www.siegl.cz/>]

3.7.1 Recyklace odpadních plastů

Recyklace odpadního plastu začíná stejně jako recyklace jiného odpadu, a to umístěním odpadu do příslušného (nejčastěji žlutého) kontejneru. Obsah kontejneru přeberou oprávněné osoby a pomocí svozového vozu jej převezou na třídící linku, kde zaměstnanci linky vyberou vše, co tam nepatří a rozdělí plastový odpad na jednotlivé druhy. Následuje drcení a namletí jednotlivých druhů plastů, ty se následně vyčistí a separují pomocí rozdrůžovacích technologií, které jsou zmíněny v kapitole „Rozdělování odpadních plastů“. Plast může být nadále znovu zpracován a použit za

různými účely nebo putuje do příslušných tepláren jako TAP (tuhé alternativní palivo). [BALDYGA, 1988]

Výsledné výrobky z recyklovaného plastu jsou kolikrát stejně kvalitní a odolné jako původní výrobky z primárních surovin. Záleží k jak velké/malé dojde degradaci během recyklačního procesu. Při nadměrné degradaci může docházet k omezování možností využití recyklovaných plastů. Proto je zapotřebí dbát na co nejefektivnější způsob zpracování odpadních plastů. [TRÍDĚNÍODPADU.CZ]

Samotný recyklační proces není příliš ekologicky příznivý. I v tomto procesu vzniká nežádoucí odpad, který již nadále není zpracováván. Při čistících a rozdělovacích teologiích vznikají nežádoucí odpadní vody, spotřeba energie a při převozu a dovozu odpadu nepříznivé následky silniční dopravy. Z celkového pohledu jde však stále o záslušnou činnost, která napomáhá snižování plastového odpadu a tím do značné míry pomáhá životnímu prostředí. [TRÍDĚNÍODPADU.CZ]

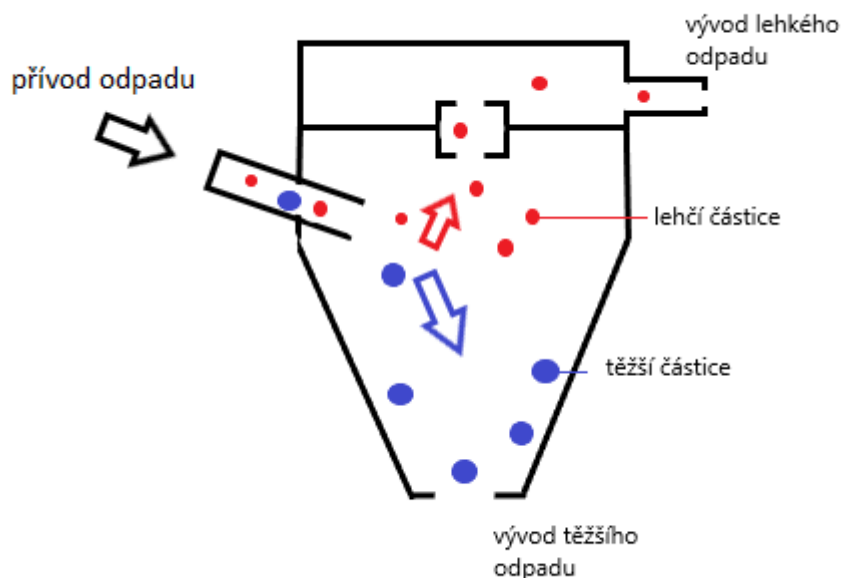
3.8 Rozdělování odpadních plastů

Účelem rozdělování odpadních plastů je oddělit jednotlivé druhy plastů od sebe a od ostatních nečistot. Rozdělování plastů je založeno na fyzikálně-chemických vlastnostech odpadních plastů. Principy vychází z metod rozdělování nerostných surovin, od kterých byly převzaty. [BOEUT, 2014]

3.8.1 Rozdružování v hydrocyklónech

Tato separační metoda se řídí rozdílností hustot jednotlivých plastů. Hydrocyklón se skládá z příváděcí válcové části, kterou je plast přiveden do kuželového tříděče (hydrocyklónu), zde probíhá vysoká rychlost proudění, což má za výsledek vysokou odstředivou sílu, díky které se těžší a hrubší částice vytlačují na stěny kuželového tříděče, po kterých sklouzávají do spodní části nádoby a odtud opouštějí separační jednotku. Zatímco lehčí a jemnější části jsou pomocí vzniklého víru vynášeny vzhůru do horní části jednotky, kde jednotku opouští. Tento způsob rozdělování je velice

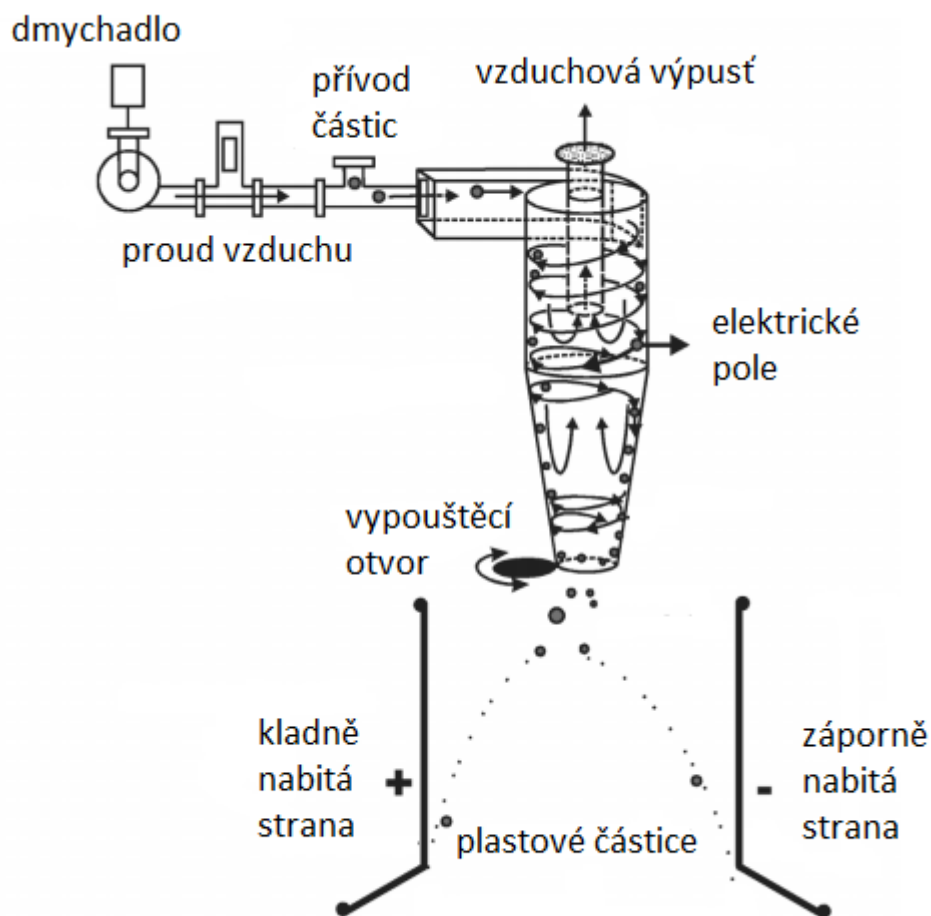
efektivní pro drobné částičky plastu. Proto se využívá až po rozdrčení plastových předmětů. [SEDLÁŘ, 1987]



Obr. 5 Schéma hydrocyklónu. Upraveno dle [SEDLÁČKOVÁ, 2004]

3.8.2 Elektrostatické rozduřování

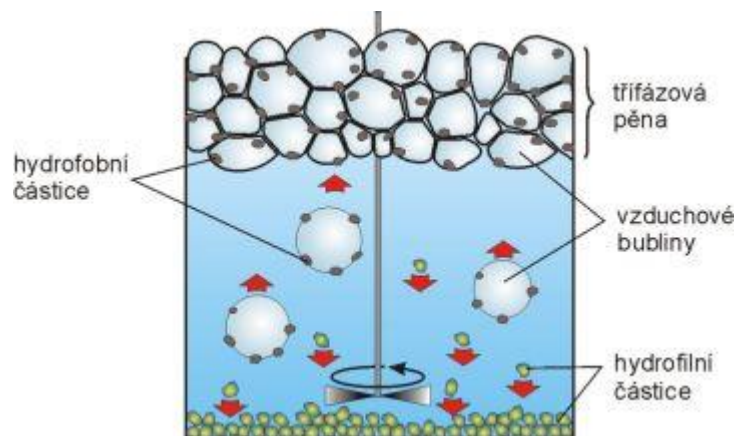
Elektrostatická neboli triboelektrická metoda je založena na rozdílnosti elektrického náboje jednotlivých částic plastů, které se v separační jednotce o sebe třou a vytvářejí tak elektrický náboj. Drobné nežádoucí částice jsou na počátku odváděny vzduchem pryč a tím se zamezí jejich přítomnost v hlavní části separační jednotky. Zbylé plasty se dostanou do hlavní válcové jednotky, ve které je stejnoměrné elektrické pole. Pomocí tření o sebe dostávají částice kladný nebo záporný náboj a pokračují do vypouštěcího otvoru, ze kterého se dostávají k elektrodám a přitahují se k té opačně nabitě. Pod elektrodami jsou umístěny dvě sběrné nádoby, které slouží pro zachycování plastu. [XIAO et al., 1999]



Obr. 6 Triboelektrická metoda [DODBIBA, FUJITA, 2004]

3.8.3 Flotace

Flotační separační systém je založen na rozdílné „smáčivosti“ jednotlivých složek. Jednotka je naplněna vodou a pomocí přívodu vzduchu, který je umístěn ve spodní části jednotky, je přiváděn vzduch, který provzdušňuje separační jednotku, a to vede ke snižování hustoty prostředí. Vzduchové bubliny se zachytávají na hydrofobní povrch jednotlivých plastů a vytlačují je nahoru směrem k hladině. Plasty s hydrofilním povrchem zůstávají u dna separační jednotky. [ZÁVADA 2015]



Obr. 7 Flotační metoda [BARTOVSKA, ŠÍŠKOVA, 2005]

3.8.4 Optická separace

Metoda optické separace spočívá v rozdílnosti barev a průhlednosti jednotlivých plastů. Plastové obaly jsou přiváděny po pneumatickém pásu, nad kterým je umístěný scanner. Ten pomocí vyslaných paprsků zjistí druh plastu a následně pomocí vzdušné trysky vymrští odpad na potřebný dopravní pás. [MÜLLER, 2008]

3.8.5 Rentgenová separace

Třídění odpadního plastu může být založené i na zpracování rentgenových snímků. Materiál je přiváděn pomocí pásového dopravníku pod rentgenovou jednotku. Pomocí rentgenových snímků jsou plasty následně tříděny vzdušnou tryskou. Princip je téměř totožný jako u optické separace. [MÜLLER, 2008]

3.9 Drcení plastového odpadu

Drcení je nedílnou součástí zpracování plastového odpadu, může se vyskytovat už před či po fázi separace. Fáze drcení se provádí na nožových a hřídelových drtičích odpadu. Drtiče pracují na principu krájení, řezání a lisování. Jejich konstrukční parametry musí být schopné zvládnout odpor špatně drtitelných materiálů, a to především plastů. Aby výsledná frakce odpovídala požadované velikosti, je mnohdy zapotřebí proces drcení několikrát zopakovat. Samotné drcení můžeme rozdělit do několika fází. [SEDLÁŘ, 1987]

3.9.1 Hrubé drcení plastového odpadu

Ještě předtím, než odpadní plast projde drtící linkou, kde je rozdrčen na malé fragmenty, může projít hrubou drtící linkou, neboli být „před drcen“. Tento proces zajišťují dvou nebo více hřídelové drtiče. Na každé hřídeli jsou upevněny ocelové segmenty, které se otáčejí proti sobě a drtí odpad. Ocelové segmenty mohou mít různou velikost a strukturu, zaleží na požadované velikosti výstupní drtě. Drtiče jsou schopny zmenšit objem odpadu 3-10 krát. [SEDLÁŘ, 1987]



Obr. 8 Dvouhřídelový drtič odpadu [<http://www.terier.cz/>]

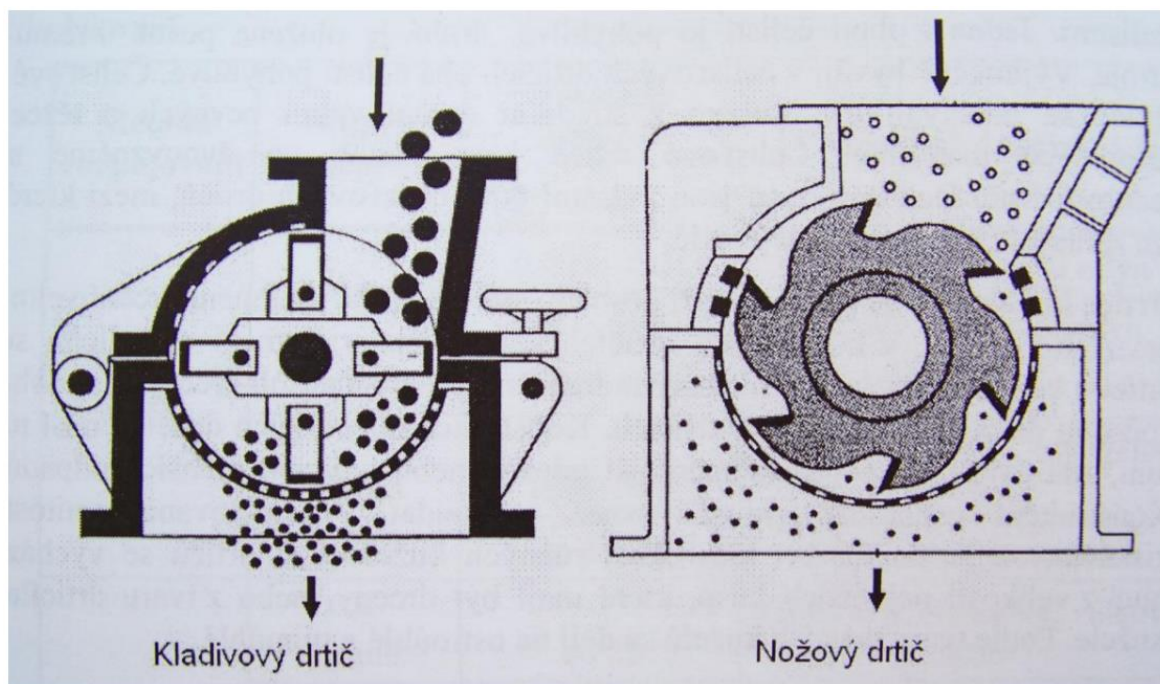
3.9.2 Drcení plastového odpadu za použití kryogenní technologie

Kryogenní technologie spočívá v podchlazování plastového odpadu a tím pádem k jeho jednodušší degradaci. Při tomto procesu se používá kapalný dusík, který může být přímo vstříkován do drtící jednotky, nebo ochlazuje plasty ještě předtím, než vstoupí do prostoru drtících jednotek. Ochlazování přímo u drtiče je vhodné pro křehké plasty, které nepotřebují nízkou teplotu pro rozdrčení. Kapalný dusík je používán jen

v malé míře a slouží především pro odvádění tepla vzniklého v drtící jednotce. [SEDLÁŘ, 1987]

3.9.3 Drcení plastového odpadu bez kryogenní technologie

Při tomto způsobu drcení není využíván kapalný dusík pro ochlazení, ale princip je jinak stejný. Odpad je přiveden do drtícího prostoru, kde se nejčastěji nachází kladivový nebo nožový drtič. Kladivový drtič se skládá z rotující hřídele, na které jsou kloubovitě upevněná kladiva, která při rotaci drtí plastový odpad. Rozdrcený odpad ve spodní části drtiče propadá sítím v požadované velikosti výstupní jednotky. Nožový drtič funguje na stejný způsob jako kladivový, jen s rozdílem ostrých čepelí, které jsou připevněny k rotující hřídeli místo svěšených kladiv. Nože přivedený odpad spíše nasekávají a vzniklý rozřezaný plast taktéž propadá sítím s předem určenou velikostí otvorů. [MÜLLER, 2008]



Obr. 9 Schéma kladivového a nožového drtiče [MÜLLER, 2008]

3.10 Makromolekulární látky

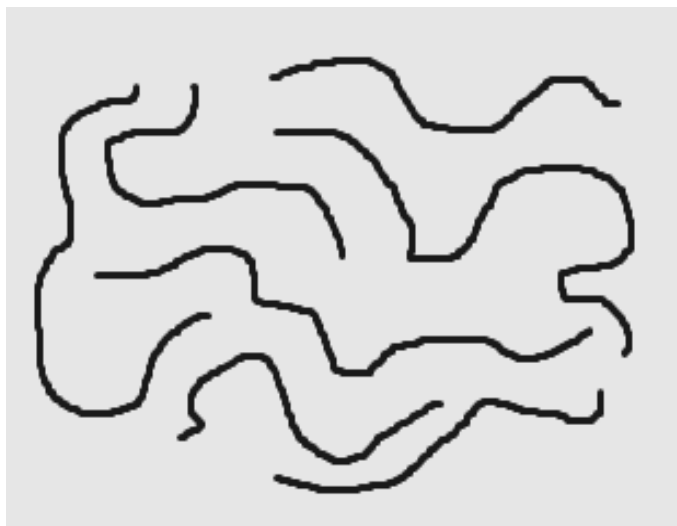
Makromolekulární látky jsou látky z dlouhých molekul, které obsahují opakující se jednotku monomeru. Spojený řetězec těchto monomerů je makromolekulární sloučenina, která se může taktéž nazývat polymer. U každého polymeru je označován tzv. polymerační stupeň, který udává počet monomerů v řetězci.

Dle struktury polymeru jej dále rozdělujeme na homopolymery a kopolymery. Homopolymery jsou polymery, jejichž vnitřní struktura je postavena pouze ze stejné monomerní jednotky. Kopolymery jsou naopak tvořeny z aspoň dvou odlišných monomerních jednotek.

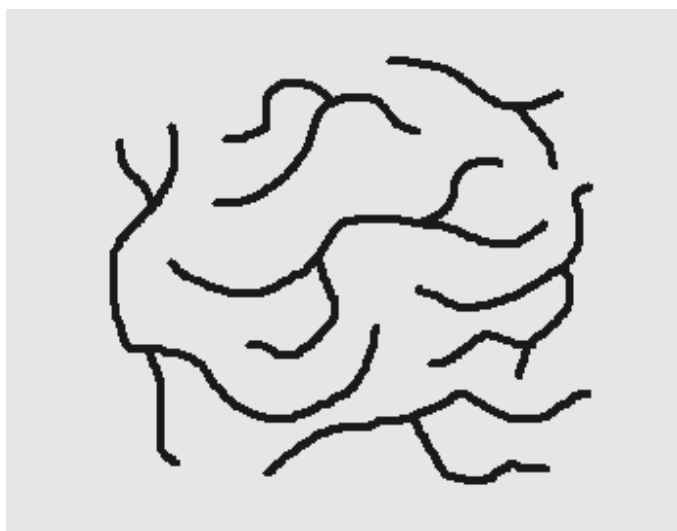
Makromolekuly dále rozdělujeme podle tvaru na lineární, rozvětvené a síťované. Lineární makromolekuly mají jeden hlavní nerozvětvený řetězec, zatímco u rozvětvené makromolekuly vychází z hlavního řetězce kratší boční řetězce. Síťované jsou kompletně spojenou mozaikou, ve které jsou hlavní řetězce pomocí kratších řetězců spojeny s dalšími řetězci, jedná se o nejpevnější možnou strukturu makromolekulárních látek. [MEISSNER, ZILVAR, 1987]

Lineární	Rozvětvené	Síťované
<ul style="list-style-type: none">- Vyšší hustota materiálu- Vyšší pevnost- Vyšší modul pružnosti- Nižší tažnost- Vyšší teplotní odolnost- Dobrá tekutost taveniny- Snadná krystalizace	<ul style="list-style-type: none">- Nižší hustota materiálu- Nižší pevnost- Nižší modul pružnosti- Vyšší tažnost- Nižší teplotní odolnost- Nižší tekutost taveniny- Nižší schopnost krystalizace	Vlastnosti závisí na hustotě sítě, s vyšší hustotou sítě se materiál vyznačuje zpravidla: <ul style="list-style-type: none">- Vysokou pevností- Vysokým modulem pružnosti- Vysokou teplotní odolností- Velmi nízkou tažností

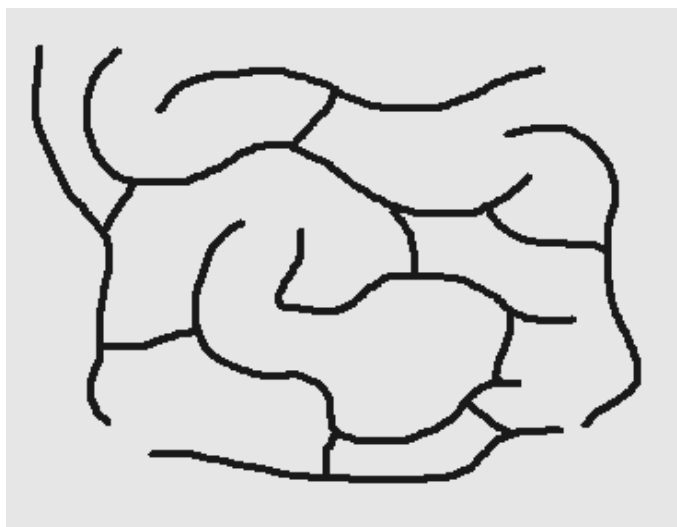
Tab. 1 Vlastnosti makromolekulárních řetězců [PUBLI, 2015]



Obr. 10 Lineární seskupení makromolekul. Upraveno dle [PUBLI, 2015]



Obr. 11 Rozvětvené seskupení makromolekul. Upraveno dle [PUBLI, 2015]



Obr. 12 Síťované seskupení makromolekul. Upraveno dle [PUBLI, 2015]

3.11 Historie Polymerů

Polymery provází lidstvo již několik staletí, a to díky mořeplavci Kryštofu Kolumbovi, který ve 14. století přivezl kaučuk do tehdejší Evropy. Jedná se o přírodní polymer (elastomer), který je schopen deformace a následné transformace do původního stavu. Získává se z tropického stromu (kaučukovník brazilský) nařezáváním vnější kůry, ze které následně vytéká přírodní kaučuk. Využití však našel až v 17. století jako guma na gumování. Jako pneumatika byl kaučuk využíván až na konci 18. století, a to pouze pro jízdní kola, pro automobily se začala uplatňovat na počátku 19. století.

Umělé (nepřírodní) plasty mají počátek až v polovině 19. století, kdy byl objeven nitrát celulózy. Jedná se o vysoce hořlavou látku, která byla využívána z počátku jako výbušnina, následně jako materiál na výrobu kulečnickových koulí. Téměř 50 let poté byl objeven plně syntetický polymer, jedná se o pryskyřici vytvořenou z fenolu a formaldehydu. Tento plast se vyznačuje vysokou tepelnou odolností, pevností a výbornými izolačními vlastnostmi, jeho uplatnění vůbec poprvé použila významná automobilová firma Rolls-Royce na výrobu rukojeti řadicí páky.

Vývoj polymerů pokračoval přes počátky minulého století až do období druhé světové války, kdy byl v roce 1938 vyroben polyethylen a polyamid. Ty byly masově využívány v období války pro výrobu padáku (polyamidová vlákna) a pro izolaci podmořských kabelů (polyethylen). Tři roky poté byl objeven PET (Polyethylentereftalát), který se dnes používá na výrobu plastových lahví. Výroba pokračovala a v padesátých letech minulého století byl objeven vysokohustotní polyethylen (PE-HD), polykarbonát (PC) a polypropylen (PP), který se dnes používá především na výrobu umělých vláken a je jedním z nejvíce vyráběných plastů vůbec.

Vývoj a výroba pokračovali do současnosti, dnes jsou plastové výrobky nedílnou součástí našich životů a využívají se v praktický každém odvětví. Polymery nahradily a nahrazují klasické suroviny, jako jsou kovy, sklo nebo dřevo. Je tomu tak především pro vlastnosti polymerních výrobků, které mají totiž výborné elektroizolační vlastnosti, pevnost, lehkost a především trvanlivost. Není tedy divu, že se průmysl zaměřil v minulých letech právě na výrobu plastů, které jsou ekonomicky výhodnější. S rapidní

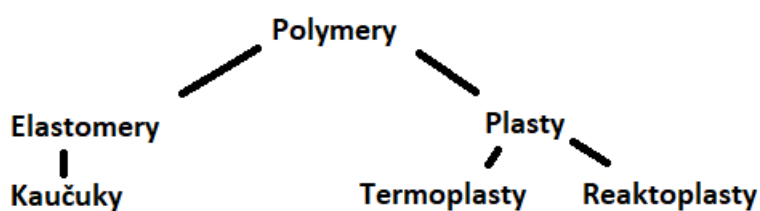
spotřebou, ale rapidně vzrostl i plastový odpad, který se rozkládá desítky i stovky let a představuje pro přírodu velký problém. [BĚHÁLEK, 2015]

3.12 Polymery

Polymery jsou chemické látky neobvyklých vlastností, přírodního nebo syntetického původu. Základní charakteristikou pro polymery je nadměrná velikost jejich molekul, tzv. makromolekul, v jejichž řetězci se mnohokrát opakuje základní jednotka mer.

Obsahem molekul jsou většinou atomy uhlíku, kyslíku, vodíku, dusíku a jiných prvků. Forma finálního výrobku je vždy prakticky v pevném stavu, ale v určitém stádiu zpracování se za použití teploty mění v stav kapalný. Za již zmíněného použití tepla a tlaku se může budoucímu výrobku udělit nejrůznější tvar, podle předpokládaného použití.

Polymery představují jakousi stavebnici, která umožňuje neobyčejnou proměnlivost struktur a vlastností. Dělíme je na dvě základní skupiny, Elastomery (neboli Kaučuky) a Plasty. Plasty se dále rozdělují na Termoplasty a Reaktoplasty. [DUCHÁČEK, 2006]



Obr. 13 Rozdělení polymerů. Upraveno dle [PUBLI, 2015]

3.13 Elastomery

Elastomery vynikají vysokou pružností a nízkou tuhostí, můžeme je tedy lehce deformovat bez rizika jejich porušení, deformace je tedy vratná. Typickými představiteli

jsou kaučuky a termoplastické elastomery, které jsou popsány v následujícím odstavci. [CHOTĚBORSKÝ, 2011]

3.13.1 Kaučuky

Jedná se o polymery, které mají v makromolekulárním řetězci reaktivní místa (dvojně vazby), umožňující chemickou reakci, nazývanou vulkanizace. Tato reakce probíhá při teplotě 150 - 200 °C za přítomnosti vulkanizačního činidla (např. síry), které spolu s kaučukem a jinými přísadami tvoří kaučukovou směs. Při vulkanizační reakci se původní kaučuk mění na pryž, jejíž unikátní schopností je vysoká elastická deformace, která však není přímo úměrná vytvořenému napětí. Touto elasticky deformační vlastností se pryže odlišují od ostatních materiálů, mají další skvělé vlastnosti, jako jsou chemická odolnost, elektroizolační funkce, nepropustnost plynů a vody, odolnost vůči opotřebení a další. [CHOTĚBORSKÝ, 2011]

3.13.2 Termoplastické Elastomery

Termoplastické elastomery (TPE) jsou velmi podobné pryžím. Je to kombinace termoplastů a elastomerů, jejichž struktura je tvořena měkčími a tvrdšími segmenty. Měkčí segmenty jsou z elastomerů, zatímco tvrdší z termoplastů. Mají zesíťovanou strukturu a pomocí vysoké teploty se dostávají do tekutého stavu a zpracovávají se tedy podobně jako termoplasty. TPE nemají tak dobré elastické vlastnosti jako již zmíněná pryž, ale jsou schopny se lépe recyklovat a může se s nimi pracovat na strojích určených pro termoplastické polymery. [BĚHÁLEK, 2015]

3.14 Plasty

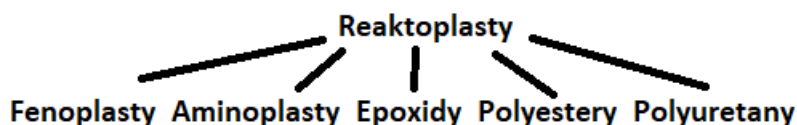
Druhou základní skupinou polymerů jsou plasty, u nichž na rozdíl od elastomerů dochází při působení vnější síly k převážně nevratné deformaci. Jedná se o většinou tvrdý či křehký materiál a podle jeho reakce při zahřívání je dále rozdělen na reaktoplast a termoplast.

[CHOTĚBORSKÝ 2011, BEHALEK 2015]

3.14.1 Reaktoplasty

Reaktoplasty jsou chemické materiály, které jsou tavitelné a tvarovatelné jen po určité době zahřátí. Během následujícího zahřívání dochází ke změně, při které se původní molekuly sesítují a od tohoto okamžiku se stávají netavitelné a nerozpustné. Reakce způsobí vznik zesíťované struktury. Proces se nazývá vytvrzování a je již nevratný. Nový vytvrzený materiál již nelze znovu tvarovat. Produkt ještě v nevytvrzeném stavu se nazývá pryskyřice. Finální výrobky se vyznačují extrémně vysokou tvrdostí, tuhostí a tepelnou odolností.

Reaktoplast je amorfní polymer, čili nemá pravidelnou strukturu, nýbrž náhodnou. Příkladem hotového výrobku je pro představu záchodové prkénko nebo bowlingová koule. Reaktoplasty se dále rozdělují na Fenoplasty, Aminoplasty, Epoxidy, Polyestery a Polyuretany. [CHOTĚBORSKÝ, 2011]



Obr. 14 Rozdělení reaktoplastů. Upraveno dle [PUBLI, 2015]

3.14.2 Termoplasty

Termoplasty jsou chemické materiály, které při zahřívání měknou a přechází do plastického (tvarovatelného) stavu. Do taveniny přechází zahříváním nad teplotu tání. Zpětným ochlazením se tavenina opět vrací do tuhého stavu. Během tohoto procesu zahřívání neprobíhá žádná chemická reakce a nemění se ani chemická struktura produktu. Změny, kterými materiál prochází, mají pouze fyzikální charakter. Proces měknutí a tuhnutí je vratný. A proto jej lze teoreticky opakovat do nekonečna.

Termoplast může být amorfní (náhodná struktura) i semikrystalický (pravidelná struktura) a rozdělují se do několika podskupin, viz obr. 03. Typickými zástupci termoplastů jsou polyetylen (PE), polystyren (PS), polypropylen (PP), polyethylentereftalát (PET) apod. [BĚHÁLEK, 2015]

Termoplasty



Polyolefiny
Fluoroplasty
Vinylové plasty
Styrenkové plasty
Akrylátové plasty
Polyestery
Polykarbonáty
Acetátové plasty
Polyamidy

Obr. 15 Rozdělení termoplastů, Upraveno dle [PUBLI, 2015]

3.15 Základní polymery využívané v chemické výrobě

Tato část práce je zaměřena na základní a nejčastěji používané polymery v chemické výrobě. Samotných polymerů je velké množství, proto je jich zde popsáno jen pár a zbytek zmíněn.

3.15.1 Polyethylen (PE)

Polyethylen patří do největší skupiny syntetických polymerů polyolefinů. Jedná se o semikrystalický termoplast, jehož vlastnosti jsou závislé na molekulární struktuře, konkrétně na: délce molekul, tvaru, uspořádání v řetězci a stupni krystalinity, viz tabulka. Struktura molekul je ovlivněna způsobem výroby. Základními dvěma typy polyethylenu (podle tvaru molekul) je lineární vysokohustotní polyethylen (PE-HD), který se především používá na výrobu víček od plastových lahví a rozvětvený nízkohustotní polyethylen (PE-LD), ten se nejčastěji využívá na výrobu průhledných plastových fólií.

Polyethylen	Zkratka	Stupeň krystalinity [%]	Hustota [g/m ³]	Teplota tání [°C]	Modul pružnosti [Mpa]	Mez pevnosti [Mpa]
Vysokohustotní	PE-HD	65 - 90	0,940 – 0,960	130 - 135	700 - 1400	18 - 35
Nízkohustotní	PE-LD	50 - 70	0,914 – 0,928	105 - 115	200 - 500	8 - 23

Tab. 2 Vlastnosti polyethylenu. Upraveno dle [PUBLI, 2015]

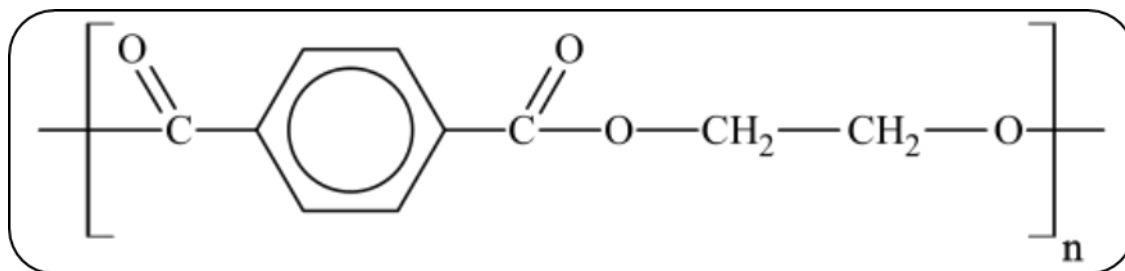
Polyethylen je nepolární plast, který má výborné elektroizolační vlastnosti a vzhledem k jeho již zmíněné nepolárnosti odolává polárním rozpouštědlům (za běžných podmínek), vodě, kyselinám, zásadám a solím. PE má hustotu menší než voda. Má nejnižší pevnostní charakteristiky ze všech standardních termoplastů. [BĚHÁLEK, 2015]

3.15.2 Polypropylen (PP)

Polypropylen má dost podobné chemicko-fyzikální vlastnosti jako polyethylen a patří taktéž do skupiny polyolefinů. Jedná se o semikrystalický termoplast, který je známí svou vysokou odolností především vůči olejům a organickým rozpouštědlům. Jeho teplota tání se pohybuje okolo 165 °C a měkne přibližně při 145 °C. Díky vysoké odolnosti a vyšší teplotě tání je PP používán tam, kde PE již nestačí. Polypropylen se především používá v textilním a potravinářském průmyslu, nebo pro lékařské a laboratorní účely. Využívá se například u výroby lan, která jsou specifická svou pevností a lehkostí (dokáží plavat na hladině). [JANOVEC, 2013]

3.15.3 Polyethylentereftalát (PET)

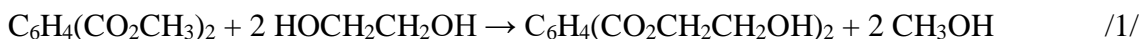
PET patří do skupiny Polyesterů. Jedná se o špatně krystalizující termoplast a může být v podobě amorfní i semikrystalické. Používají se dva výrobní procesy, dimethyltereftalátový proces a výroba z kyseliny tereftalové.



Obr. 16 Vzorec PETU. Upraveno dle [ŠUTA, 2008]

Při prvním procesu dimethyltereflát reaguje s nadbytkem ethylenglykolu za bazické katalýzy, při teplotě 150 - 200 °C. Pomocí destilace je odstraňován methanol (CH₃OH), což usměrňuje reakční rovnováhu požadovaným směrem. Na závěr je odstraňován nadbytek ethylenglykolu pomocí vakuované destilace při vysoké teplotě přibližně 280 °C.

Odstraňování methanolu



Odstraňování ethylenglykolu



Při druhém procesu je prováděna esterifikace ethylenglykolu a kyseliny tereftalové za tlaku 2,8 – 5,5 baru a teploty 230 – 260 °C. Vzniklá voda je pomocí destilace odstraňována, což vede k potřebnému posunu reakční rovnováhy ve prospěch PETU.

Esterifikace ethylenglykolu a kyseliny tereftalové



PET je určen především pro výrobu vláken a v menším rozsahu pro výrobu folií. Vlákna se spotřebovávají pro textilní výrobu. Také se používají jako výztuže jiných polymerů (např. do pneumatik a dopravních pásů). Nejznámějším výrobkem jsou však plastové nápojové lahve. Produkty z PETU mají dobré kluzké vlastnosti a díky vysoké teplotě tání (260 °C) se dá trvale používat do 100 °C. [ŠUTA, 2008]

3.15.4 Polyvinylchlorid (PVC)

Polyvinylchlorid je nejvýznamnějším představitelem vinylových polymerů a patří mezi nejvíce vyráběné syntetické plasty na světě. Jedná se o amorfnní termoplast s polárními atomy chloru, díky kterým se stává lehce navlhavý a není proto vhodný pro elektroizolační technologii. Vyrábí se polymerací vinylchloridu (VCM), což je těkavý plyn s teplotou tání $-13,9\text{ }^{\circ}\text{C}$. Od většiny ostatních syntetických plastů se liší právě obsahem chloru. Teplota tání se pohybuje od $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $260\text{ }^{\circ}\text{C}$, záleží na změkčení polymeru a právě teplota je nesmírně důležitým faktorem při zpracovávání PVC. Musí být zpracováván do $180\text{ }^{\circ}\text{C}$, neboť při $190\text{ }^{\circ}\text{C}$ se začíná uvolňovat jedovatý chlorovodík.

Polyvinylchlorid vyniká dobrou tepelnou a chemickou odolností a je výjimečný pro svou schopnost vzniku želatinové hmoty po přidání příslušných změkčovadel. Měkčený typ (PVC-P) má menší hustotu a teplotu zesklnění (teplota, při které se kaučukový/gumový stav polymeru mění ve sklovitý/tvrký, jedná se o opak teploty tání), používá se především na výrobu hydroizolační fólie, hraček (nafukovací balón), chirurgických rukavic a gumáků. Neměkčený typ (PVV-U) má naopak větší hustotu a teplotu zesklnění, ta se pohybuje okolo $85\text{ }^{\circ}\text{C}$. Je využíván zejména ve výrobě kanalizačních rour a okenních rámců. Dále je známý zesítený typ (PVC-UX) a chlorovaný (PVC-C). [JANOVEC 2013, BĚHÁLEK 2015]

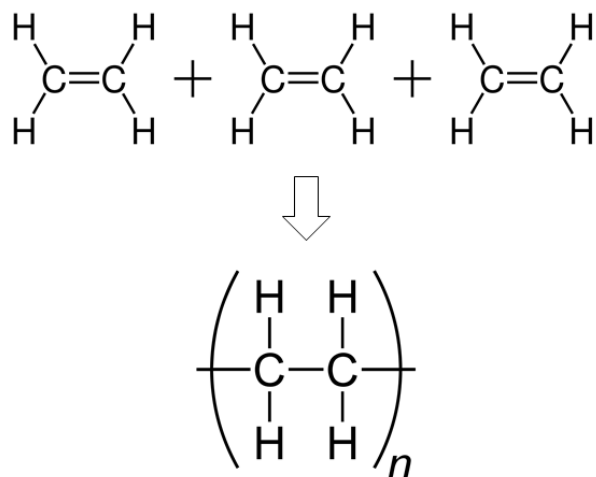
3.16 Způsob výroby polymerních látek

Polymery vznikají reakcí monomerů, které na sebe navzájem navážou a utvoří řetězec. Tyto chemické reakce rozdělujeme na tři základní, a to na polymeraci, polyadici a polykondenzaci.

3.16.1 Polymerace

Při polymeraci dochází ke slučování monomerů a utváření dlouhého řetězce polymerů. Monomery rozdělují své dvojné vazby a pomocí nich se spojují s dalšími monomery, jedná se o čistou reakci bez vzniku jakýchkoliv vedlejších produktů.

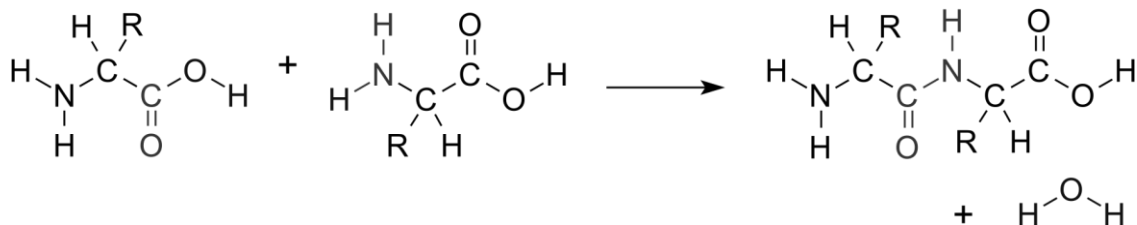
Pomocí polymerace vzniká např. polypropylen, polyethylen a polystyren. [BĚHÁLEK, 2015]



Obr. 17 Vznik polyethylenu polymerací. Upraveno dle [BŘIZDALA, 2012]

3.16.2 Polykondenzace

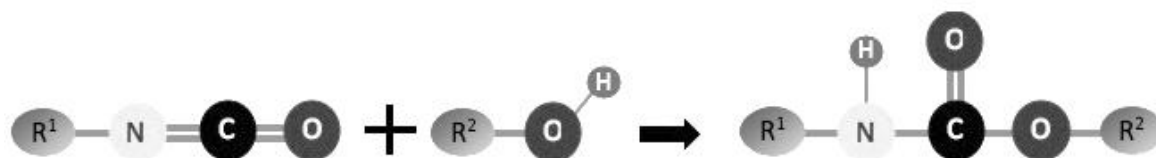
Při této reakci dochází rovněž ke spojování jednotlivých monomerů a tím pádem ke vzniku polymerního řetězce. S tím rozdílem, že při každém dalším připojení monomerní jednotky vzniká odštěpením vedlejší produkt. Výsledný polymer má tedy rozdílné chemické složení. Může docházet k odštěpování např. vody, amoniaku či chlorovodíku. Díky polykondenzaci vznikají například polyamidy, polyesteru a polyformaldehydy. [BĚHÁLEK, 2015]



Obr. 18 Polykondenzace dvou aminokyselin. Upraveno dle [BŘIZDALA, 2012]

3.16.3 Polyadice

Tato reakce spočívá ve spojování dvou odlišných monomerů, které obsahují reaktivní atomové skupiny. Nevzniká zde žádný vedlejší produkt jako u předešlé reakce, ale vedlejší reaktivní atomy se přesouvají z původní molekuly na druhou a dochází tak ke slučování. Pomocí polyadice vznikají například epoxidové pryskyřice nebo polyuretany. [BĚHÁLEK, 2015]



Obr. 19 Polyadice polyuretanu [PUBLI, 2015]

4 Výchozí podmínky v podniku

4.1 Představení podniku

Pro možnost pozorování výrobního procesu vznikla spolupráce se společností Silon s.r.o., která zprostředkovala náhled a popis výrobní linky umělého vlákna.

Společnost Silon vyrábí a nabízí plastové směsi na bázi polyolefinů a polyesterová vlákna. Výrobky mají široké využití, a to především ve stavebnictví, zdravotnictví, automobilovém průmyslu, hygienickém sektoru a v dalších průmyslových odvětvích. Podnik se nachází ve městě Planá nad Lužnicí, které je nedaleko okresního města Tábor.



Obr. 20 Administrativní budova společnosti Silon s.r.o. [Silon s.r.o.]

4.1.1 Historie podniku

Společnost Silon zahájila své působení v roce 1950. Název společnosti vyplývá z úplně prvního výrobku, který sloužil pro výrobu dámských nylonových punčoch. Zakladatelem podniku byl významný český vědec, profesor Otto Wichterle.

Nejvýznamnějším rokem pro společnost byl rok 1994. Podnik zaměřil své obchodní aktivity na výrobu PET vláken. Byla zavedena technologie jednostupňového zvlákňování, což byl milník ve výrobě umělých vláken.

V novém tisíciletí se společnost především rozšiřovala na území České republiky, ale také v zahraničí. Dnes Silon zásobuje své partnery po celém světě. [Silon.s.r.o.]

4.1.2 Výzkumné centrum podniku

Výzkumné centrum společnosti Silon je významné svým komplexním přístupem ve vztahu k vývoji procesu míchání a složení jednotlivých receptur. Sleduje a kombinuje výrobní procesy zákazníka, technickou specifikaci, cenovou efektivitu i nejnovější druhy a možnosti surovin.

Centrum obsahuje laboratoře, kde se provádí kompletní analýza vstupních a výstupních surovin. Zjišťují se základní fyzikálně-mechanické vlastnosti a chemické vlastnosti produktů. [Silon.s.r.o.]

4.2 Výrobní proces umělého vlákna

Základní vstupní jednotkou jsou již rozdrcené plastové lahve s průměrnou velikostí 1 cm x 1 cm. Těmto rozdrceným kouskům lahví se říká „flakesy“. Společnost je získává od různých dodavatelů z celého světa. Flakesy nesmí obsahovat žádná víčka, která jsou dělána z polypropylenu. Dále se ve směsi nemohou vyskytovat etikety, zbytky lepidel, nadměrná vlhkost a ani jiné další kontaminace. Vše by mohlo velice negativně ovlivnit viskozitu (hustotu) taveniny a především kvalitu celé výroby.



Obr. 21 Rozdrcený PET (flakesy) [Zdroj: Vlastní foto]

Do výrobního procesu však nevstupují pouze flakesy, ale i další přísady.

Matovací barvivo neboli Oxid titaničitý (TiO_2), ten dokáže ovlivnit barevný odstín a z lesklého nám přemění vlákno na matné. Proces barvení je zaváděn povrchovým nátěrem.

Masterbatch je barvivo, které taktéž ovlivňuje barevný odstín vlákna, nebarví se však povrchově, ale hloubkově. Pomocí zahřetení se aplikuje přímo do taveniny při průchodu extruderem (výrobní linka).

Další přísadou je aglomerát, což je již zpracovaný odpad, který vznikl při procesu výroby. Může být přímo vlastní, který firma sama vyprodukuje, nebo odpad z jiných společností. Musí však mít požadované složení.



Obr. 22 Vzorek aglomerátu [Zdroj: Vlastní foto]

Flakesy se hromadí ve velkých násypkách, z nichž jsou foukány do infračervené sušičky, která odloučí veškerou vlhkost a většinu prachu. Vstupní teplota v sušičce je přibližně 100 °C, následuje 125 °C a poslední výstupní teplota je okolo 145 °C. Vysušený materiál musí projít přes odlučovač kovů. Vysušené flakesy se poté smíchají s ostatními vstupními surovinami v první části extruderu, což jsou dva rotující válce posunující materiál skrz osm topných zón.

V první topné zóně na vstupu je 90 °C a zbytek zón již má teplotu 285 °C. Zde se z materiálu stává tekutý polymer, který dále proudí přes hrubý a jemný filtr, kde se zachytává většina mechanických nečistot. Síta v těchto filtrech se mění podle zanesení a jsou ukazatelem kvality vstupního materiálu a obsahu nežádoucích nečistot v něm.

Polymer dále pokračuje vyhříváním potrubím do trysek. Jedna tryska má 26 712 otvorů. Jednotlivé otvory se nazývají kapiláry a z každé vytéká jedno vlákno. Na linkách ve společnosti Silon vyrábí vlákno od velikosti 3,3 dtex do 10 dtex (textilní jednotka pro jemnost příze). Zahřáté vlákno je těsně pod tryskou ještě stále v kapalném

stavu. Na trysku je napojena chladicí roura tzv. píšťala, ze které proudí chladný vzduch kolem 21 °C. Ten ochladí polymer natolik, že se z něj stává pevný stav (vlákno bez vlastností). Výrobní pás obsahuje 12 funkčních trysek.

Vlákno dále pokračuje do části, kde je preparováno. Zde se na něj nanáší aviváž, při čemž dochází k lubrikaci vlákna. To zabraňuje přetrhávání, nabalování vlákna na sebe a také statickému náboji. Vlákno je již od trysek vedeno ve čtyřech pruzích, z čehož vyplývá, že tři trysky tvoří jeden pruh. Preparované vlákno je dále vedeno přes první Galetovou jednotku (což je sedm za sebou jdoucích válců), díky které se vlákno natahuje.

Poté vlákno pokračuje do další preparační části skrz horkovodní kanál, kde je na vlákno opět aplikována aviváž, která má 80 °C. Preparovaná vlákna pokračují do druhé Galetovy jednotky, která má na rozdíl od první několikanásobně vyšší rychlost, což vede k procesu dloužení, díky kterému se vlákno až 4x více natáhne. Z druhé jednotky se pokračuje skrze parní kanál. V tomto kanálu se vlákno opět ohřívá a pokračuje do třetí a poslední Galetovy jednotky. Zde jako u předešlých jednotek dochází k procesu dloužení, ne však k tak radikálnímu jako u druhé jednotky. Vlákno se zde prodlouží přibližně 1,2x. Od trysek až po třetí Galetovu jednotku vlákno získává své požadované vlastnosti, kterými jsou jemnost, pevnost a tažnost. Při těchto procesech může vznikat vlákno nežádoucích mechanických vlastností, to je odstraňováno a dále přepracováváno na již zmíněný aglomerát.



Obr. 23 Nežádoucí vlákno sloužící pro výrobu aglomerátu [Zdroj: Vlastní foto]

Po posledním dlužení ve třetí Galetově jednotce se čtyři pruhy jdoucí od trysek spojí v jeden pruh. Ten dále pokračuje do pýchovačky. Pýchovačka se skládá ze dvou proti sobě točících se válců, které tlačí vlákno do uzavřené komory. Tam se vlákno pýchuje a vytváří se na něm obloučky.

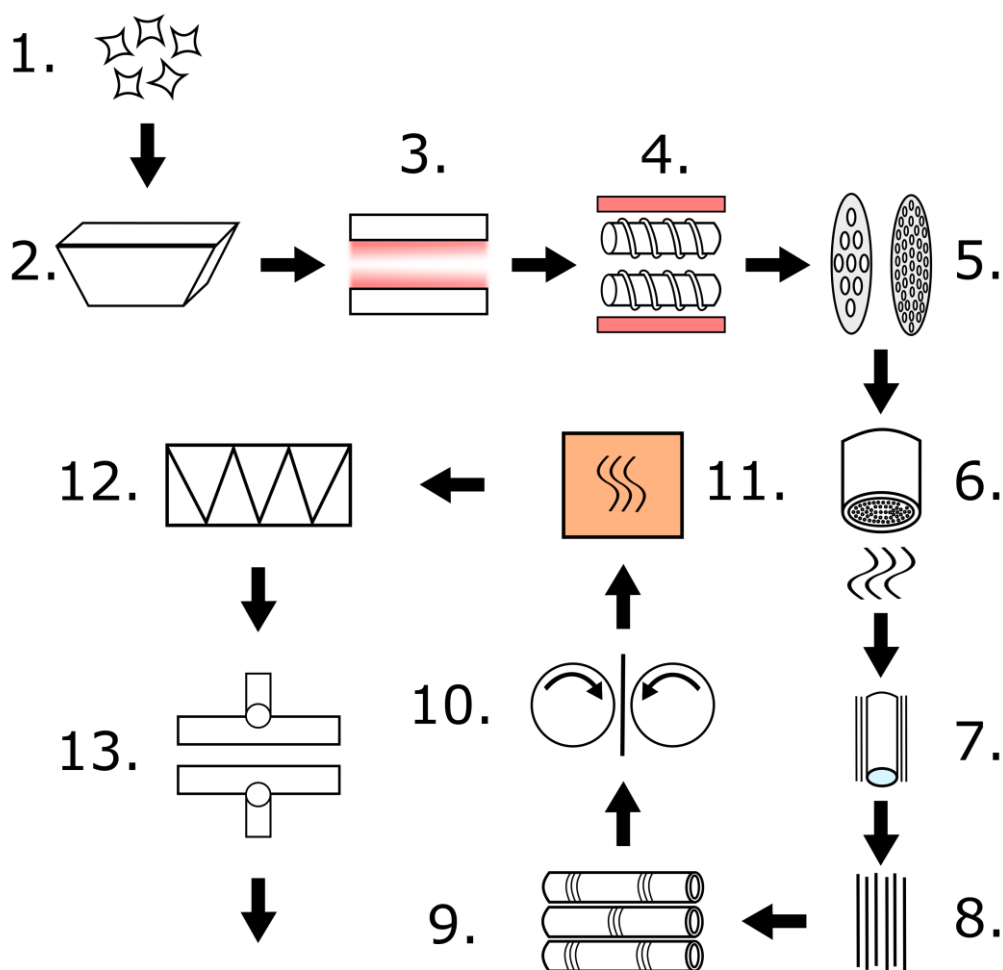
Z pýchovačky vlákno proudí do dvouzónové sušárny, kde se dostatečně vysuší. V první zóně se suší při 150 °C a v druhé při 155 °C. Vysušené vlákno jde odtud do řezačky, která ho nařeže na požadovaný rozměr. Ten je většinou okolo 40 mm až 60 mm.

Nařezané vlákno jde z řezačky pomocí pseudopravy do lisu, kde se slisuje do balíku. Balík je přibližně 300 kg těžký a veliký zhruba 1 m³.



Obr. 24 Výrobní linka [Silon s.r.o.]

Takto zpracované černé vlákno má význam především pro automobilové odvětví. Používá se například v koberečcích, kabinových obkladech, jako výplň autosedaček nebo do bezpečnostních pásů. Hygienické bílé vlákno má využití například v dětských plenách jako absorpční vložka rozvádějící moč nebo pro jednorázové oblečení v nemocnicích.



Obr. 25 Zjednodušené schéma výrobní linky

Na obrázku č. 25 je znázorněno zjednodušené schéma výrobní linky umělého vlákna. Číslo 1. je vstupní rozdrčený PET (flakes), 2. násypka kde se flakes shromažďují, 3. infračervená sušička, 4. první část výrobní linky složená z posuvných válců a osm topných zón, 5. hrubý a jemný filtr, 6. tryska (vyhřáté vlákno proudí tryskou v kapalném stavu), 7. chladicí roura (ta vlákno ochlazuje), 8. ochlazené pevné vlákno, 9. Galetovo jednotka (zde se vlákno natahuje), 10. pěchovačka (zde se vlákno pěchuje a vznikají obloučky), 11. sušárna (sušení vlákna), 12. řezačka, 13. lis (lisování balíků).



Obr. 26 Výstupní černé vlákno [Zdroj: Vlastní foto]



Obr. 27 Výstupní bílé vlákno [Silon s.r.o.]

5 Metodika měření

Tato část práce je zaměřena na měření vstupních a výstupních jednotek. Pro získání požadovaných vlastností a kvalit finálních produktů je nesmírně důležité tato měření provádět. Všechna níže zmíněná měření byla uskutečněna za pomoci společnosti Silon s.r.o..

5.1 Měření fyzikálně-chemických parametrů vstupních surovin

Měření vstupních surovin se týká rozdrčeného PETU (flakes) a provádí se ještě předtím, než vstoupí plast do procesu výroby. Společnost Silon odebírá již předem rozdrčený PET od mnoha dodavatelů. V následujících odstavcích jsou sepsány jednotlivé parametry (co se měří) a tabulka s měřením určitých vzorků, které byly naměřeny za pomoci společnosti Silon s.r.o.

Každá z obou tabulek (tab. 3, tab. 4) obsahuje měření tří vzorků flakes z jedné násypky. Veškeré měření se provádí v chemické nebo fyzikálně mechanické laboratoři, které se nachází přímo ve společnosti Silon s.r.o.

- 1) Barva: Používá se buď mix barev na výrobu černého vlákna, nebo pouze bezbarvé průhledné flakes na výrobu bílého vlákna.
- 2) Jakost: Značí kvalitu přivezené směsi, jednotlivé stupně kvality se udávají od A (nejlepší) přes B, C apod.
- 3) PVC: Měření spočívá k zjištění zastoupení polyvinylchloridu ve směsi. Udává se v jednotkách ppm (Parts per milion) neboli výraz pro jednu miliontinu. Zkouška neprobíhá pomocí kapaliny, ale pomocí tepla. PET i PVC se společně umístí do 200°C sušárny, zatímco recyklát PETU zůstane stejný, částičky PVC zčernají.
- 4) Jiné polymery: Měří se míra obsahu jiných polymerů, jako jsou například polypropylen a polyethylen. Udávají se v jednotkách ppm (Parts per milion) neboli výraz pro jednu miliontinu. Zastoupení jiných polymerů se určuje flotační metou za pomoci kapaliny a rozdílné specifické hmotnosti jednotlivých plastů. Plasty se

rozlišují v tom, jestli plavou nebo zůstávají u dna, jako kapalina se používá voda, ethanolový roztok a roztok chloridu sodného.

- 5) Nečistoty: Zjišťuje se míra znečištění přivezené směsi, přičemž se především sleduje obsah dřeva, kovů, papíru, hliníku a gumy. Udávají se v jednotkách ppm (Parts per milion) neboli výraz pro jednu miliontinu. Kontrola probíhá s pomocí filtračního papíru (50x50cm), na který se nanese 250 g recyklátu a zkoumá se zastoupení jednotlivých nečistot.
- 6) Vlhkost: Zjišťování obsahu vody (plynný stav) ve směsi, zjištěný obsah se udává v %. Nejprve se důkladně zváží vzorek recyklátu a poté se v Petriho misce vloží do sušárny o teplotě přibližně 105 °C. Po hodině sušení se miska vyndá a nechá vychladnout, poté se směr znovu naváží a zjistí se hmotnost odpařené vody.
- 7) Obsah prachu: Měření množství prachu ve vzorku, zjištěný obsah se udává v %.
- 8) Sypká hmotnost: Ze vzorku se vypočítá přibližná hmotnost v kg na m³. Pro zjednodušený odhad se do 1000 ml kádinky nasype 250 g recyklátu, pokud je objem recyklátu menší než 1000 ml, tak sypká hmotnost vyhovuje.
- 9) Obsah neprůhledného PETU: Zjišťování procentuálního zastoupení neprůhledného PETU ve směsi, zjištěný obsah se udává v %. Použije se 250 g naváženého PETU a rovnoměrně se rozprostře na povrchu filtračního papíru (50x50cm), kde se pak vyhledávají neprůhledné (barevné) flakes. Tento proces probíhá především u tvorby bílého vlákna, kde je za potřeby čistá a průhledná drť.
- 10) Obsah hnědých flakes: Zjišťování procentuálního zastoupení hnědých flakes ve směsi, zjištěný obsah se udává v %. Zde je proces stejný jako u obsahu neprůhledného PETU, s tím rozdílem, že se vyhledává a odstraňuje pouze hnědý PET.

Násypka A			
	Vzorek 1)	Vzorek 2)	Vzorek 3)
Barva	mix	mix	mix
Jakost	A	A	A
PVC [ppm]	40	70	55
Jiné polymery (PP,PE) [ppm]	100	105	95
Nečistoty (hliník, dřevo, guma, papír) [ppm]	0	0	0
Vlhkost [%]	1,0	1,0	10
Obsah prachu [%]	0,034	0,020	0,0013
Sypká hmotnost [kg/m ³]	289	261	259
Obsah neprůhledného Petu [%]	0,03	0,02	0,03
Obsah hnědých flakes [%]	10	10	10

Tab. 3 Měření tří vzorků Flakes z Násypky A (Vše od stejného dodavatele). Upraveno dle [Silon s.r.o.]

Násypka B			
	Vzorek 4)	Vzorek 5)	Vzorek 6)
Barva	mix	mix	mix
Jakost	A	A	A
PVC [ppm]	0	0	0
Jiné polymery (PP,PE) [ppm]	0	0	0
Nečistoty (hliník, dřevo, guma, papír) [ppm]	0	0	0
Vlhkost [%]	1,0	1,0	1,1
Obsah prachu [%]	0,116	0,123	0,007
Sypká hmotnost [kg/m ³]	267	272	240
Obsah neprůhledného Petu [%]	0,47	0,49	0,33
Obsah hnědých flakes [%]	12	13	5

Tab. 4 Měření tří vzorků flakes z Násypky B (Vzorek 4 a 5 od stejného dodavatele, vzorek 6 od jiného). Upraveno dle [Silon s.r.o.]

5.1.1 Statistické zhodnocení měřených hodnot vstupních surovin

Následující tabulka č. 5 obsahuje souhrn statistických měření jednotlivých vlastností, převzatých z tabulek č. 4 a č. 3, a to konkrétně zjištěný průměr, rozptyl a směrodatnou odchylku jednotlivých vlastností. Zmíněné parametry jsou popsány v následujícím odstavci.

- 1) Aritmetický průměr: Jedná se o statistickou veličinu zjišťující typickou (průměrnou) hodnotu vystihující soubor mnoha hodnot.

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} \quad /4/$$

- 2) Rozptyl: Udává průměrnou hodnotu druhé mocniny odchylek, získané pomocí aritmetického průměru souboru hodnot.

$$\text{Var}(X) = \frac{1}{N} + ((x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + \dots + (x_N - \bar{x})^2) \quad /5/$$

- 3) Směrodatná odchylka: Představuje druhou odmocninu z vypočteného rozptylu.

$$\sigma = \sqrt{\text{Var}(X)} \quad /6/$$

Průměrné specificační meze				
Vlastnosti	Jednotka	Průměr	Rozptyl [σ^2]	Směrodatná odchylka [σ]
PVC	ppm	27,5	831,52	28,83
Jiné polymery	ppm	50	2508,33	50,08
Nečistoty	ppm	0	0	0
Vlhkost	%	1,0167	0,0014	0,037
Obsah prachu	%	0,0502	0,0025	0,05
Sypká hmotnost	kg/m ³	264,7	217,6	14,75
Neprůhledný PET	%	0,2283	0,0432	0,208
Hnědé flakes	%	10	6,33	2,517

Tab. 5 Statistické měření hodnot vstupních surovin

Pomocí statistického měření byl zjištěn průměr, rozptyl a směrodatná odchylka jednotlivých měřených vlastností, které jsou uvedeny v tabulce č. 3 a 4. U zjišťování obsahu PVC bylo u násypky B zjištěno nulové zastoupení tohoto polymeru, na rozdíl od druhé násypky A, kde bylo zjištěno drobné zastoupení ve směsi. Průměr dat z obou násypky udává hodnotu 27,5 ppm PVC. U zastoupení jiných polymerů (PE,PP) byla taktéž v násypce B zjištěna nulová hodnota. Průměr ze všech šesti měření tedy činí 50ppm u zastoupení jiných polymerů ve směsi. V obou násypkách a všech šesti měření nebylo nalezeno zastoupení jakékoliv nečistoty (dřevo, papír, hliník), proto jsou statistické hodnoty nulové. Při zjišťování vlhkosti byly výsledky u pěti měření stejná, pouze u jednoho s rozdílem 0,1 %. Proto je zjištěný průměr takřka roven 1 a směrodatná

odchylka nejnižší ze všech měřených vlastností. Obsah prachu byl zjištěn v každém měření a jeho průměrná hodnota je pouhých 0,0502 %. U sypké hmotnosti už byly zjištěné hodnoty více rozdílné a výsledný průměr celkové sypké hmotnosti tedy činí 264,7 kg.m⁻³. Při zjišťování zastoupení neprůhledného PETU, byla zjištěna průměrná hodnota 0,2283 %. Dost malé procento oproti zjištěnému stavu obsahu hnědých flakes ve směsi, průměr ze šesti měření zjistil 10 % obsah hnědého PETU v obou násypkách.

5.2 Měření výstupních jednotek

Měření výstupních jednotek se týká vyrobeného vlákna, které je získáno na konci výrobního procesu. Týká se to bílého i černého vlákna a musí se zjistit jejich fyzikální vlastnosti, zda odpovídají požadavkům firmy a zákazníkům.

Pro posouzení kvality produktu má firma Silon stanovené cílové specifikace produktu a jejich minimální a maximální odchylku od cílené vlastnosti. Veškeré měřené vlastnosti a jejich číselné požadavky jsou vysvětleny a uvedeny v dalších odstavcích a tabulce č. 6.

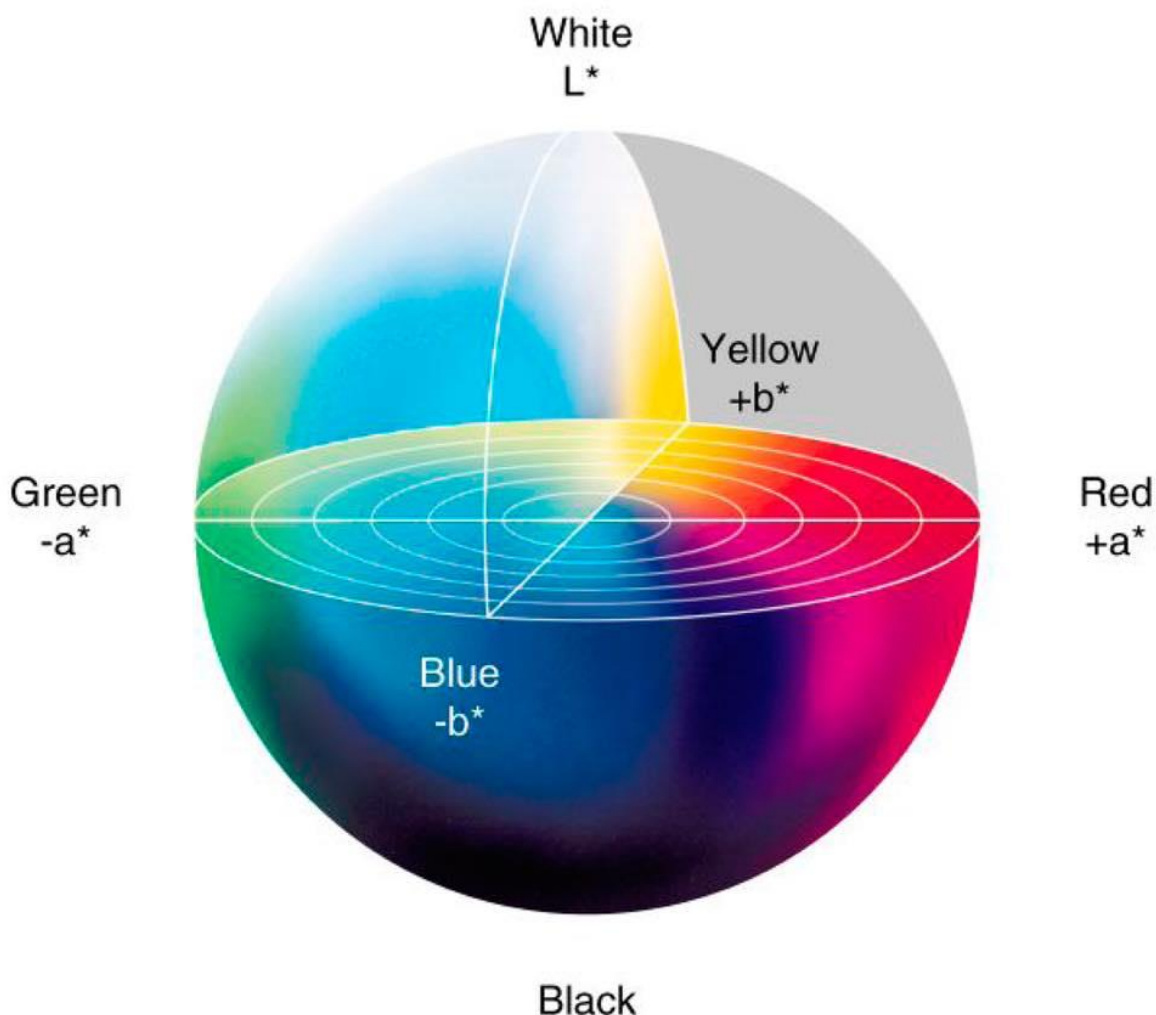
V tabulce č. 6 nalezneme výpis jednotlivých vlastností společně s jednotkami a rozdělené specifikační, regulační a cílové meze. Veškerá měření jsou prováděna v chemických, fyzikálně mechanických a textilních laboratořích přímo ve společnosti Silon s.r.o..

- 1) Tažnost: Jedná se o statickou zkoušku, kdy je materiál silou natahován pomocí mechanického stroje až do přetrhnutí. Zaznamenává se celkové prodloužení, tržná síla a prodloužení při přetrhu. Výsledek o kolik je schopen se materiál natáhnout, se zaznamenává v %. Ve společnosti se odebere 20 vzorků vlákna, která jsou umístěna do příslušného přístroje (vždy postupně po jednom), který zjistí nejprve jemnost poté tažnost a relativní pevnost. Vzorky se poté zprůměrují a zjistí se průměrná tažnost, jemnost a pevnost.
- 2) Relativní pevnost: Zjišťuje se na trhacích strojích, které vlákno trhá a zjišťuje jeho pevnost. Výsledná pevnost se udává v poměru k jemnosti vlákna. Ve společnosti

Silon se pevnost měří společně s tažností a jemností na speciálním přístroji v laboratoři.

- 3) Délková hmotnost (jemnost): Jedná se o poměr hmotnosti a délky vlákna, udává se v dtex (textilní jednotka pro jemnost vlákna). Ve společnosti Silon se jemnost měří společně s tažností a pevností na speciálním přístroji v laboratoři.
- 4) Počet obloučků: Zkoumá se počet obloučků na vlákně, zde konkrétně na 2,5 cm dlouhém kusu vlákna. Vzorek vlákna se upne a následně pomocí zraku je zjišťován počet obloučků na naměřeném vzorku vlákna.
- 5) Smrštitelnost: Pro zjištění smrštitelnosti se odřízne 70 cm dlouhý vzorek finálního vlákna, zavěsí se na pevný háček a na obou koncích se udělají uzlíky, na spodní části dva a mezi ty se zavěsí 100 kg závaží. Před zavěšením závaží se vlákno pečlivě odměří. Na napnuté vlákno se v délce 50 cm udělá značka pomocí nitě. Vzorek se následně přemístí do sušárny, kde se 30 minut při teplotě 160 °C suší. Po sušení se vzorek nechá vychladit a opět se přeměří. Vzniklý rozdíl nám udává procentuální smrštitelnost.
- 6) Délka stříhu: Určuje rozměr, při kterém se vlákno nastříhává a může se také kontrolovat pouze vizuálně.
- 7) Mykání: Slouží ke zbavování nečistot a především krátkých vláken obsažených ve výstupní jednotce. V tabulce je procentuálně určeno kolik krátkých vláken zůstane ve stříži po mykání. Proces kontroly probíhá v laboratořích na laboratorní mykačce, kde se namyká vzorek vlákna a následně pečlivě zkontroluje. Poškozená vlákna se pomocí pinzety vyberou, naváží a zjistí se jejich procentuální zastoupení.
- 8) Nános preparace: Zbylý nános preparačních (čisticích) látek na vlákně, udává se v %. Proces měření probíhá v chemických laboratořích pomocí metanolu a vodní lázně. Nejprve se odebere vzorek vlákna a zváží se, vzorek se umístí do varné baňky a zalije metanolem. Dále se souprava umístí na vodní lázeň, kde se extrahuje přibližně dvě hodiny, následně se vlákno vyjme a zbylá část se znovu umístí do vodní lázně, kde se metanol vydestiluje do sucha. Roztok pokračuje do sušárny, kde se odpaří zbylí metanol. Po vychladnutí se do extraktu přidá demineralizovaná voda a společně s ní se extrakt vyjme a nanese na hranol refraktometru, ten zjistí Index lomu a zjistí se procentuální odchylka od již předem změřené demineralizované vody.

- 9) Obsah TiO₂: Zjišťování obsahu oxidu titaničitého ve výsledném produktu, udáváno v %. Oxid titaničitý slouží jako barvivo (pigment) pro bílé vlákno. Při drobném zastoupení barvivo nevádí ani v barevné směsi při výrobě černého vlákna. Ve společnosti Silon probíhá zjišťování zastoupení oxidu titaničitého v chemických laboratořích na speciálních přístrojích.
- 10) Barevné odchylky (L,a,b): Měření barevné odchylky se provádí pomocí spektrofotometru a zaznamenává se v CIELab systému. Jedná se o barevný prostor kde je každá barva definována barevným modelem, který je založený na třech hlavních osách L (světlost), a (červenost/zelenost), b (žlutost/modrost). Zmíněné osy jsou zobrazeny na následujícím modelu.



Obr. 28 Model barevného systému L*a*b [http://artigrafiche.maurolussignoli.it/]

Vlastnosti	Jednotka	Specifické meze (zákazník)				
		Min	Regulační meze (interní)			Max
			Min	Cíl	Max	
Tažnost	%	80.00	85.00	95.00	100.00	105.00
Relativní pevnost	cN/dtex	2.70	2.90	3.10	3.40	3.50
Délková hmotnost	dtex	6.10	6.30	6.70	7.10	7.30
Počet obloučků na 2,5 cm	/2,5 cm	7.00	7.40	8.00	9.80	10.00
Smrštitelnost při teplotě 160°C	%	0.40	0.40	1.00	2.50	3.00
Délka stříhu	mm	55.0	55.0	60.0	65.0	65.0
Délka stříhu vizuálně	Vizuálně	OK	OK	OK	OK	OK
Mykání	%	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10
Nános preparace	%	0.180	0.180	0.220	0.260	0.260
Obsah TIO2 (oxid titaničitý)	%	0.00	0.00	0.40	0.80	0.80
Barevné odchylky (L,a,b)						
Souřadnice L		15.80	15.80	16.30	16.80	16.80
Souřadnice a		-0.30	-0.30	-0.10	0.10	0.10
Souřadnice b		-0.90	-0.90	-0.60	-0.30	-0.30

Tab. 6 Regulační meze pro finální výrobek (vlákno). Upraveno dle [Silon s.r.o.].

5.2.1 Výsledné průměrné parametry

V této části jsou zaznamenány laboratorní výsledky, při měření finálního produktu (vlákna) a jejich statistické přeměření. Výroba je vždy rozdělena na jednotlivé šarže a každá musí být několikrát změřena a porovnána se specifikačním rozsahem společnosti a zákazníků.

V následující tabulce je provedeno 6 měření výstupního produktu. Popis jednotlivých vlastností a jejich měření je popsán v předchozí části.

Výsledné měření							
Vlastnosti	Jednotka	Šarže 01		Šarže 02		Šarže 03	
		Vzorek 1)	Vzorek 2)	Vzorek 3)	Vzorek4)	Vzorek 5)	Vzorek6)
Tažnost	%	88,41	98,49	98,70	103,20	95,60	99,46
Relativní pevnost	cN/dtex	3,23	3,03	3,01	2,85	3,07	3,09
Délková hmotnost	dtex	6,41	6,47	6,53	6,72	6,51	6,33
Počet obloučků na 2,5 cm	/2,5 cm	8,85	8,60	8,70	9,45	8,70	9,10
Smršitelnost při teplotě 160°C	%	1,47	1,00	1,40	1,00	1,33	1,73
Délka stříhu	mm	59,9	-	60,9	-	60,3	-
Délka stříhu vizuálně	Vizuálně	-	OK	-	OK	-	OK
Mykání	%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,003
Nános preparace	%	0,09	0,22	0,26	0,16	0,22	0,26
Obsah TiO ₂ (oxid titaničitý)	%	0,24	-	-	-	-	-
Souřadnice L		16,18	16,20	16,19	16,49	16,27	16,25
Souřadnice a		-0,12	-0,20	-0,13	-0,04	-0,12	-0,11
Souřadnice b		-0,60	-0,36	-0,48	-0,82	-0,51	-0,44

Tab. 7 Výsledné měření výstupního vlákna. Upraveno dle [Silon s.r.o.]

Při porovnání výsledků a mezí můžeme zjistit, že většina zjištěných parametrů splňuje požadované regule. K nesouladu došlo při zkoumání vzorku 1 a 4, v obou případech byl nános zaznamenán pod minimální hranicí požadované specifikace, zvýrazněno červenou barvou. Při zjištění nedostatečného nánosu je nucena obsluha výrobní linky upravit parametry na lince a po spuštění znovu provést měření. Zvýrazněna je i relativní pevnost a tažnost u vzorku s číslem 4 (bílou barvou), výsledek nesplňuje interní požadavky firmy, ale splňuje požadavky zákazníka, takže nebylo zapotřebí pozastavení výrobní linky a úpravy parametrů. Při měření délky stříhu stačilo jedno přesné měření a druhé bylo provedeno vizuálně. U zjišťování obsahu oxidu titaničitého provedla společnost Silon pouze jedno měření u první šarže.

5.2.2 Statistické zhodnocení výsledného měření

Následující tabulka č. 8 obsahuje souhrn statistických měření jednotlivých vlastností, převzatých z tabulky č. 7, a to konkrétně zjištěný průměr, rozptyl a směrodatnou odchylku jednotlivých vlastností. Zmíněné parametry jsou stejné jako u statistického zhodnocení měřených hodnot vstupních surovin, zároveň jsou tedy již popsány v kapitole 5.1.1.

Statistické měření				
Vlastnosti	Jednotka	Průměr	Rozptyl [σ^2]	Směrodatná odchylka [σ]
Tažnost	%	97,31	20,796	4,56
Relativní pevnost	cN/dtex	3,0467	0,0127	0,113
Délková hmotnost	dtex	6,495	0,0145	0,121
Počet obloučků na 2,5 cm	/2,5 cm	8,9	0,086	0,293
Smrštiteľnost při teplotě 160°C	%	1,3217	0,067	0,259
Délka stříhu	mm	60,3667	0,169	0,411
Délka stříhu vizuálně	Vizuálně	-	-	-
Mykání	%	0,0005	1,25	0,001
Nános preparace	%	0,2017	0,0036	0,06
Obsah TiO ₂ (oxid titaničitý)	%	0,24	0	0
Souřadnice L		16,263	0,0113	0,1060
Souřadnice a		-0,12	0,0022	0,047
Souřadnice b		-0,535	0,0215	0,146

Tab. 8 Statistické měření získaných hodnot z výsledného měření

Pomocí statistického měření byl zjištěn průměr, rozptyl a směrodatná odchylka jednotlivých měřených vlastností. Při zjištění průměru všech vlastností u 6 zmíněných měření v tabulce č. 7, můžeme porovnat přesnost výsledků se stanoveným cílem podniku, který je znázorněn v tabulce č. 6. Průměrná tažnost vlákna činí 97,31 %, což je hodnota vyšší o 2,31 % než je cíl, ale splňuje regulační meze společnosti. Zjištěná hodnota relativní pevnosti je 3,0467cN/dtex, která i přes vyšší hodnotu cíle splňuje regulační mez podniku. U délkové hmotnosti byl zjištěn průměr 6,495dtex, opět nižší hodnota než cíl podniku, ale s přehledem splňující regulační požadavky. Při počtu obloučků do 2,5 cm zjištěný průměr 8,9 taktéž splňuje požadované meze. Zjištěná smrštitelnost přesáhla cíl o 0,3217 %, avšak výsledek opět splňuje firmou vymezené regule. Délka stříhu téměř splnila cíl a svou průměrnou hodnotou 60,3667mm vyhovuje požadavkům. Průměr mykání splnil požadavky společnosti s velkým přehledem. Nános preparace má stanovený cíl na 0,220 %, průměrná hodnota 0,2017 % však splňuje regulační meze. Při měření obsahu oxidu titaničitého proběhlo ze šesti měření pouze jednou, proto je jeho zjištěný průměr stejný jako v tabulce č. 7 a zároveň tak vyhovuje požadavkům společnosti.

U měření barevných odchylek závisí na splnění mezí, pro zachování požadované barvy výstupního vlákna. Při měření první souřadnice L byl zjištěný průměr takřka shodný se stanoveným cílem, liší se pouze 0,037 barevné jednotky a splňuje požadavky podniku. Následný průměr souřadnice (a) splnil regulační meze a souřadnice (b) taktéž, obě souřadnice podobně jako L s velkou rezervou.

6 Závěr a diskuze

V mé bakalářské práci jsem se zabýval tématem využití recyklovaných plastů v chemické výrobě. Obsah práce je rozdělen do několika základních kapitol. V první části jsem stručně popsal legislativu odpadového hospodářství, následovala část popisující odpad a nakládání s ním. V této části jsem popsal druhy nakládání s odpady a rozvedl recyklační postupy se zaměřením na separaci a drcení odpadního plastu. Další část se zabývala chemickou charakteristikou plastů, jejich historií, rozdělením a jednotlivými druhy polymerů. Dále v práci zmiňuji podnik, který se zabývá využíváním recyklovaných plastů, pro výrobu umělého vlákna. V další kapitole je tento výrobní proces umělého vlákna popsán. V poslední kapitole jsem uvedl měření, která jsou nezbytně důležitá pro realizaci výrobku, vstupních a výstupních jednotek procesu výroby umělého vlákna.

Při sepisování mé práce jsem se seznámil s problematikou odpadu a jeho dopadu na životní prostředí. Je nesmírně důležité značně omezit spotřebu odpadů a snažit se již vzniklé odpady znovu využívat, a to primárně se stejným účelem, za kterým byly vytvořeny. Pokud nebude možné odpad znovu takto využít, poté jej zkusit využít jinak. Jako například odpad vniklý z PET lahví, využít pro výrobu umělého vlákna. A právě odpadní plast je zřejmě největším strašákem současnosti. Masa vznikajících a již odhozených plastů stále narůstá a už v téhle chvíli je kritická. Naprosto se ztotožňuji s výrokem: „Z plastu se s postupem času stal dobrý sluha, ale zlý pán.“ [SEDLÁCKOVÁ A, 2019]. Plast slouží lidstvu už pár desetiletí a pro jeho vynikající izolační vlastnosti, jsme si jej velice oblíbili. Problematikou plastového odpadu se již dříve zabývala i [SEDLÁCKOVÁ A, 2019], která se ve své práci zaměřila taktéž na charakteristiku plastu, jeho zpracování a především na řešení problematiky spojenou s plastovým odpadem. Je nesmírně důležité poohlédnout se zpět za vznikem polymerních materiálů, [RUMLOVÁ. 2009] taktéž jako já popisuje ve své práci historii a rozdělení jednotlivých polymerů. Její práce na rozdíl od mé je dále zaměřena na pyrolýzu odpadních plastů. Popis jednotlivých druhů plastů a jejich rozdělení jsou taktéž velmi hezky popsány u obou prací [SEDLÁCKOVÁ A, 2019, RUMLOVÁ. 2009].

Na rozdíl od zmíněných autorů je má práce dále zaměřena na využití recyklovaného plastu v chemické výrobě, a to konkrétně výroby umělého vlákna z odpadních PET

flašek (polyethylentereftalátu). Popisují jednotlivé kroky procesu, kterými si rozdrcený PET prochází, od prvotního sušení až po závěrečné lisování a balení již hotového výrobku. Následně jsou v mé práci uvedeny fyzikálně-chemické měření vstupních surovin (rozdrceného PETU), u kterých jsou ze dvou násypek a dohromady šesti vzorků pozorovány požadované parametry, jako je např. barva, vlhkost, sypká hmotnost, nebo obsah prachu. Tato měření jsou následně statisticky porovnána. V další části se poté věnuji měření vlastností výstupních surovin (vlákna). Pro zjištění správných hodnot má společnost Silon s.r.o. (se kterou probíhala spolupráce) vymezené regulační a specifikační hodnoty jednotlivých vlastností. Následně je provedeno šest měření vzorků vlákna a všechna jsou pomocí statistického měření zprůměrována a posouzena s mezními hodnotami zmíněného podniku. Sledování těchto parametrů je důležité pro finální kvalitu výstupního produktu a pro následné nakládání s ním. Zároveň díky pravidelné kontrole kvality surovin nedochází ke zbytečnému nakládání s těmito surovinami a vzniku nežádoucího odpadu, který by se musel zpracovávat jiným způsobem.

7 Seznam použitých zdrojů

- 1) Zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech a o změně některých dalších zákonů. 2001.
- 2) Zákon č. 477/2001 Sb., o obalech a o změně některých dalších zákonů. 2001.
- 3) Zákon č. 17/1992 Sb., o životním prostředí a o změně některých dalších zákonů. 1992.
- 4) Zákon č. 350/2011 Sb., o chemických látkách a o změně některých dalších zákonů. 2011.
- 5) Ministerstvo životního prostředí. *Mzp.cz* [online]. [cit. 2020-01-18].
- 6) DIRNER, Vojtech. *Ochrana životního prostředí: základy, plánování, technologie, ekonomika, právo a management*. Ostrava: VŠB-Technická univerzita, 1997, 333 s. ISBN 80-7078-490-3.
- 7) Ducháček Vratislav.: *Polymery - výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. 2. vyd. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Praha 2006. ISBN 80-7080-617-6.
- 8) Miroslav Šuta: *Chemické látky v životním prostředí a zdraví*, Ekologický institut Veronica, Brno 2008, ISBN 978-80-87308-00-4.
- 9) SEDLÁŘ, Oldřich, et al. *Pryže a plasty jako druhotné suroviny*. 1. vyd. Praha : SNTL, 1987. 179 s.
- 10) Xiao, C., Laurence, A., Biddle, M.B., 1999. Electrostatic separation and recovery of mixed plastics. In: Society of Plastics Engineers (SPE) Annual Recycling Conference (ARC), Dearborn, Michigan (US).
- 11) S.M. Al-SalemP. LettieriJ. Baeyens. Recycling and recovery routes of plastic solid waste (PSW): A review - ScienceDirect. *ScienceDirect.com | Science, health and*

medical journals, full text articles and books. Copyright © 2009 Elsevier Ltd.
Published by Elsevier Ltd. All rights reserved.

- 12) Závada J, Flotace – princip flotace, 708 33 Ostrava-Poruba, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Institut environmentálního inženýrství (546), 2015. Oddělení odpadového hospodářství a biotechnologií,
- 13) Reclaiming waste plastics , Eugene P. Baldyga, 1988.01.29 [online], HOOVER UNIVERSAL, INC., 825 VICTORS WAY, ANN ARBOR. [cit. 2020-02-12]. Dostupné z <https://patents.google.com/patent/US4033804A/en>
- 14) Jak-se-recykluje-plast, [online]. Dostupné z <https://www.trideniodpadu.cz/jak-se-recykluje-plast>, © 2007 - 2020 TRÍDĚNÍODPADU.CZ | CONCEPT42. [cit. 2020-02-10]
- 15) Woldemar d'Ambrières, Plastics recycling worldwide: current overview and desirable changes. *OpenEdition Journals* [online]. Copyright ©Veolia Picture Library, 2019, p 12-21
- 16) CHOTĚBORSKÝ, Rostislav. Nauka o materiálu. V Praze: Česká zemědělská univerzita, 2011. ISBN 978-80-213-2236-3.
- 17) JANOVEC, Jan. Technické materiály v primárním a preprimárním vzdělávání. V Ústí nad Labem: Univerzita J.E. Purkyně, 2013. ISBN 978-80-7414-596-4.
- 18) Dodbiba G, Fujita T, Progress in Separating Plastic Materials for Recycling, Physical Separation in Science and Engineering, 2004, Volume 13
- 19) MÜLLER, Miroslav. Zpracovny nekovového odpadu. V Praze: Česká zemědělská univerzita, Technická fakulta, katedra materiálu a strojírenské technologie, 2008. ISBN 978-80-213-1840-3.

- 20) BOEUT, Sophea. Plastic Recycling Technology [online]. 2014, 19 [cit. 2020-01-22]. Dostupné z: <https://www.slideshare.net/sophea79/plastic-recycling-technology>
- 21) Energetické využití odpadů [online], [cit. 2020-01-22]. Dostupné z <https://www.evokomorany.cz/energeticke-vyuzivani-odpadu/>
- 22) SEDLAČKOVÁ, Věra; SEDLÁČEK, Petr. Přípravně procesy. 1. vyd. Ostrava : Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava : Editacní středisko VŠB-TUO, 2004. 114 s. ISBN 80-248-0582-0
- 23) Bartovská L, Šišková M, [online], [cit. 2020-02-12] „Integrovaný systém elektronických studijních opor VŠCHT Praha“, 2005. Dostupné z http://147.33.74.135/knihy/uid_es-001/hesla/flotace.html
- 24) Meissner B, Zilvar V, Fyziky polymerů – Struktura a vlastnosti polymerních materiálů, SNTL, ALFA, Praha 1987, ISBN 04-634-87
- 25) Chochola K, Strojnictví a stroje, SNTL, Praha 1955, 1 vydání
- 26) Bander S, Polyester Handbook, Percy Lund, Humphries & Co Ltd, London and Bradford 1965
- 27) Břízdala J, Obecná chemie [online], 2012. Copyright © 2020, // Theme by Devsaran, [cit. 2020-02-14]. Dostupné z <http://e-chembook.eu/obecna-chemie>
- 28) Běhálek L, Polymery [online], © Code Creator, s.r.o.; distribuce publi.cz; 2015, ISBN 978-80-88058-68-7. [cit. 2019-11-12]. Dostupné z <https://publi.cz/books/180/Impresum.html>
- 29) O společnosti Silon s.r.o., [online], ©SILON 2019 | Designed by Marco BBN, [cit. 2020-01-20]. Dostupné z <https://silon.eu/firma-silon/>
- 30) RUMLOVÁ, Kristýna. Pyrolýzní jednotka pro odpadní plasty [online]. Ostrava, 2009 [cit. 2020-03-12]. Dostupné z: <https://theses.cz/id/c3clwa/>.

- 31) SEDLÁKOVÁ, Alexandra. Využití plastů po skončení jejich životnosti [online]. Ostrava, 2019 [cit. 2020-03-22]. Dostupné z: <<https://theses.cz/id/d01ifb/>>.

8 Seznam obrázků

- Obr. 1 Pyramidové schéma odpadového hospodářství [<https://www.jihlava.cz/>]
- Obr. 2 Skládka „SONO“ u obce Šířejovice (Severní Čechy) [<https://www.skladkasono.cz/>]
- Obr. 3 Spalovna odpadů Praha-Malešice [<http://www.odpadjeenergie.cz>]
- Obr. 4 Znak recyklace [<https://www.siegl.cz/>]
- Obr. 5 Schéma hydrocyklónu. Upraveno dle [SEDLAČKOVA, 2004]
- Obr. 6 Triboelektrická metoda [DODBIBA, FUJITA, 2004]
- Obr. 7 Flotační metoda [BARTOVSKA, ŠIŠKOVA, 2005]
- Obr. 8 Dvouhřídelový drtič odpadu [<http://www.terier.cz/>]
- Obr. 9 Schéma kladivového a nožového drtiče [MÜLLER, 2008]
- Obr. 10 Lineární seskupení makromolekul. Upraveno dle [PUBLI, 2015]
- Obr. 11 Rozvětvené seskupení makromolekul. Upraveno dle [PUBLI, 2015]
- Obr. 12 Síťované seskupení makromolekul. Upraveno dle [PUBLI, 2015]
- Obr. 13 Rozdělení polymerů. Upraveno dle [PUBLI, 2015]
- Obr. 14 Rozdělení reaktoplastů. Upraveno dle [PUBLI, 2015]
- Obr. 15 Rozdělení termoplastů. Upraveno dle [PUBLI, 2015]
- Obr. 16 Vzorec PETU. Upraveno dle [ŠUTA, 2008]
- Obr. 17 Vznik polyethylenu polymerací. Upraveno dle [BŘIZDALA, 2012]
- Obr. 18 Polykondenzace dvou aminokyselin. Upraveno dle [BŘIZDALA, 2012]
- Obr. 19 Polyadice polyuretanu [PUBLI, 2015]
- Obr. 20 Administrativní budova společnosti Silon s.r.o. [Silon s.r.o.]
- Obr. 21 Rozdrcený PET (flakesy) [Zdroj: Vlastní foto]
- Obr. 22 Vzorek aglomerátu [Zdroj: Vlastní foto]
- Obr. 23 Nežádoucí vlákno sloužící pro výrobu aglomerátu [Zdroj: Vlastní foto]
- Obr. 24 Výrobní linka [Silon s.r.o.]
- Obr. 25 Zjednodušené schéma výrobní linky [Zdroj: Vlastní]
- Obr. 26 Výstupní černé vlákno [Zdroj: Vlastní foto]
- Obr. 27 Výstupní bílé vlákno [Silon s.r.o.]
- Obr. 28 Model barevného systému L*a*b [<http://artigrafiche.maurolussignoli.it/>]

9 Seznam tabulek

Tab. 1 Vlastnosti makromolekulárních řetězců [PUBLI, 2015]

Tab. 2 Vlastnosti polyethylenu. Upraveno dle [PUBLI, 2015]

Tab. 3 Měření tří vzorků Flakes z Násypky A (Vše od stejného dodavatele). Upraveno dle [Silon s.r.o.]

Tab. 4 Měření tří vzorků flakes z Násypky B (Vzorek 4 a 5 od stejného dodavatele, vzorek 6 od jiného). Upraveno dle [Silon s.r.o.]

Tab. 5 Statistické měření hodnot vstupních surovin [Zdroj: Vlastní]

Tab. 6 Regulační meze pro finální výrobek (vlákno). Upraveno dle [Silon s.r.o.]

Tab. 7 Výsledné měření výstupního vlákna. Upraveno dle [Silon s.r.o.]

Tab. 8 Statistické měření získaných hodnot z výsledného měření [Zdroj: Vlastní]