



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV PROCESNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF PROCESS ENGINEERING

EFEKTIVNÍ NAKLÁDÁNÍ S PLASTOVÝM ODPADEM

EFFECTIVE MANAGEMENT OF PLASTIC WASTE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Kateřina Kostková

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jiří Gregor, Ph.D.

BRNO 2022

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav procesního inženýrství
Studentka:	Bc. Kateřina Kostková
Studijní program:	Procesní inženýrství
Studijní obor:	bez specializace
Vedoucí práce:	Ing. Jiří Gregor, Ph.D.
Akademický rok:	2021/22

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Efektivní nakládání s plastovým odpadem

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

S rozvojem společnosti a zrychlujícím životním stylem je velmi populární používat různé druhy plastových obalů. Tyto obaly často bývají komplikovaně dále využívány (jak po ekonomické, tak i environmentální stránce) a běžnou praxí je, že se ztrácí jako nevyužitý materiál v energetických koncovkách či přímo na skládkách. Z důvodu nastavených vysokých recyklačních i separačních cílů je velmi zajímavé se detailně podívat na vybrané typy obalů, které lze nalézt ve žluté nádobě a blíže je analyzovat.

Cílem diplomové práce bude jednak rešeršní činnost se zaměřením na legislativní a zpracovatelská stránku věci, tak se aktivně účastnit rozborů odpadů, které nastaví v předkládané práci průměrné složení plastového odpadu. Cílem je popsat a rozeznat jednotlivé obalové materiály, které budou vhodné pro další zpracování (třídění a recyklace). Nedílnou součástí diplomové práce bude vhodná příprava vstupní suroviny do extrudéru a provádění extruzních zkoušek.

Diplomová práce bude kombinovat teoretické a praktické poznatky se zaměřením na různé skupiny plastového odpadu.

Cíle diplomové práce:

Základní rešerše legislativy související s plasty

Odhad průměrného složení a poznatků z volně dostupných i terénních prací

Rešerše technologií a příprava materiálu pro extruzní zkoušky

Cenová politika plastů v Evropě

Seznam doporučené literatury:

BEŇO, Z. Recyklace: efektivní způsoby zpracování odpadů. Brno: Vysoké učení technické, Fakulta strojního inženýrství, Ústav procesního a ekologického inženýrství, 2011. ISBN 978-80-214-4240-5.

GREGOR, J. Pokročilé modely logistiky v oblasti odpadového hospodářství. Disertační práce. Brno, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2019. Dostupné na [www: http://hdl.handle.net/11012/139107](http://hdl.handle.net/11012/139107)

Zákon č. 541/2020 Sb. o odpadech.

Zákon č. 545/2020 Sb. o obalech.

Ministerstvo životního prostředí ČR: Plán odpadového hospodářství ČR pro období 2015 – 2024. Prosinec 2014. Dostupné na [www: http://www.mzp.cz/cz/plan_odpadoveho_hospodarstvi_cr](http://www.mzp.cz/cz/plan_odpadoveho_hospodarstvi_cr)

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2021/22

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Petr Stehlík, CSc., dr. h. c.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jiří Hlinka, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Hlavní náplní předkládané diplomové práce je realizace terénních rozborů separovaného plastového odpadu a prozkoumání problematiky extruzních zkoušek. Praktickým poznatkům předchází rešerše odpadového hospodářství v ČR a seznámení se s problematikou polymerních materiálů. V rámci rešerše je řešena problematika nakládání s plastovým odpadem a příprava polymerních materiálů pro extruzní zkoušky. Teoretické poznatky jsou následně uplatněny při praktické realizaci extruzních zkoušek v laboratořích.

KLÍČOVÁ SLOVA

Separovaný plastový odpad, složení odpadů, analýza, polymery, extruze, třídění

ABSTRACT

The main content of the submitted diploma thesis is the implementation of analysis of separated plastic waste and examination of the issue of extrusion tests. The practical knowledge is preceded by a search of waste management in the Czech Republic and get acquainted with the issue of polymer materials. The research is about plastic waste management and preparation of polymeric materials for extrusion tests. Theoretical knowledge is then applied in the practical implementation of extrusion tests.

KEY WORDS

Separated Plastic Waste, Waste Composition, Analysis, Polymers, Extrusion, Sorting

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KOSTKOVÁ, Kateřina. *Efektivní nakládání s plastovým odpadem*. Brno, 2022. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/144013>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav procesního inženýrství. Vedoucí práce Jiří Gregor.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma *Efektivní nakládání s plastovým odpadem* vypracovala samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu použité literatury.

V Brně dne 20. května 2020

.....

Bc. Kateřina Kostková

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto Ing. Jiřímu Gregorovi Ph.D. za cenné připomínky a rady, které mi poskytl při vypracování závěrečné práce. Poděkování také patří mé rodině a všem blízkým za veškerou pomoc a trpělivost po celou dobu mého studia.

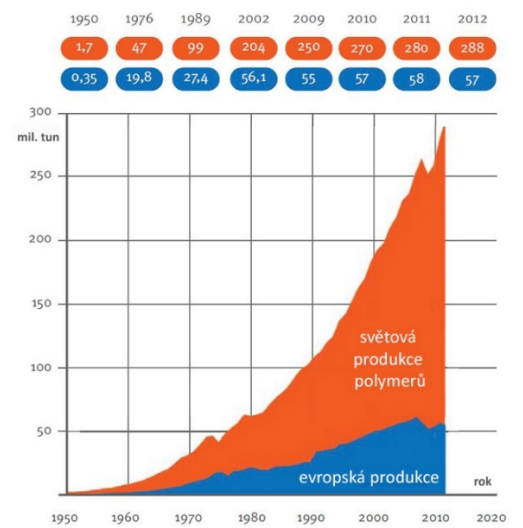
Obsah

1	Úvod	1
2	Cíl a motivace	3
3	Odpadové hospodářství v ČR	4
3.1	Zákon č. 545/2020 Sb. o obalech	4
3.2	Zákon č. 541/2020 Sb. o odpadech	4
3.3	Složení odpadu v ČR	6
3.4	Zpracovatelský řetězec SKO v ČR	9
3.5	Zpracovatelský řetězec plastového odpadu v ČR	10
4	Polymery	13
4.1	Příprava (syntéza) syntetických polymerů	13
4.1.1	Polymerace	13
4.1.2	Polykondenzace	14
4.1.3	Polyadice	15
4.2	Vliv struktury polymerů na jejich vlastnosti	15
4.2.1	Tvar makromolekul	15
4.2.2	Velikost makromolekul	16
4.2.3	Mezimolekulární síly	16
4.3	Rozdělení a charakteristika polymerů	17
4.3.1	Plasty	17
4.3.2	Elastomery	17
5	Technologie přípravy plastů	19
5.1	Drcení	19
5.2	Technologie granulace	20
5.3	Technologie recyklace	21
5.4	Doprava materiálu	22
5.5	Sušení	23
6	Technologie na zpracování plastů	24
6.1	Technologie vstřikování	24
6.2	Technologie vytlačování	25
6.3	Válcování	26
6.4	Lisování	27

6.5	Vyfukování.....	27
6.6	Rotační natavování.....	28
7	Rozbory odpadů v praxi se zaměřením na plasty.....	29
7.1	Přípravné činnosti.....	29
7.2	Zařízení a pomůcky	29
7.3	Sledované frakce.....	31
7.4	Postup rozboru vzorku.....	32
7.5	Výsledky rozboru	33
7.5.1	Porovnání SKO a SEP-PLA.....	36
7.5.2	Rozlišitelnost výrobků/obalů vůči materiálu	37
7.6	Cenová politika plastů v rámci Evropy.....	46
8	Extruzní zkoušky	48
8.1	Přehled analyzovaných plastů.....	48
8.2	Příprava materiálu	49
8.3	Průběh extruze	52
8.4	Vícenásobná extruze.....	54
9	Závěr	57
10	Seznam použité literatury	58
10.1	Zdroje informací	58
10.2	Zdroje obrázků	59

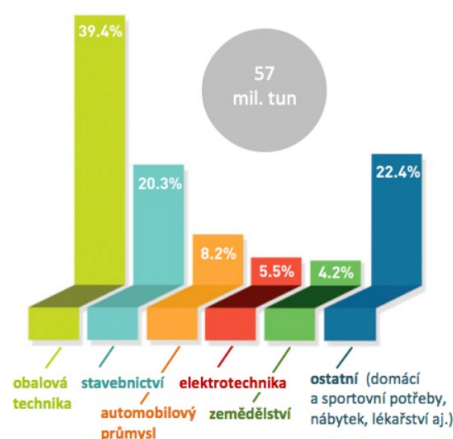
1 Úvod

S vývojem lidské společnosti je úzce spjat také vývoj požadavků na výrobky a zařízení využívané v různých sférách života. Stále větší nároky jsou kladeny na nízkou hmotnost, odolnost a spolehlivost výrobku. V současné době se stále více setkáváme s tzv. **spotřebním zbožím**. Pod pojmem spotřební zboží se rozumí výrobek o nízké životnosti (rychle se spotřebuje či opotřebuje), který se pravidelně znova nakupuje. Jako ideální materiál pro výrobu nejrůznějšího spotřebního zboží se ukázal **plast**. Plasty ve velké míře nahradily tradiční materiály (např. sklo, dřevo). Hlavními výhodami plastů oproti jiným materiálům jsou jejich izolační a bariérové vlastnosti. Jsou odolné vůči korozi, vodě, chemickým vlivům či biologickým činitelům. Jak lze vidět na prvním obrázku, polymerní materiály a technologie jejich zpracování v posledních desetiletích zažívají obrovský rozvoj. [1]



Obr.1 Vývoj produkce polymerů od r. 1950 [10]

Mezi specifické vlastnosti plastů patří dobrá tvarovatelnost, snadná zpracovatelnost, barvitelnost, pružnost, pevnost v tahu, tvrdost, tvarová paměť apod. Proto se uplatňují takřka ve všech odvětvích průmyslu, viz obr. 2. [1]



Obr.2 Evropská spotřeba polymerů [20]

S obrovským rozmachem plastových výrobků však souvisí i stále narůstající množství plastového odpadu. Volně pohozený odpad z plastu se rozkládá až tisíce let. Je proto klíčové najít vhodné řešení, jak se s plastovým odpadem vypořádat, aby nedocházelo k jeho neustálému hromadění, a tak k znečišťování životního prostředí.

2 Cíl a motivace

Ve své bakalářské práci jsem se zabývala typy obalů a jejich zastoupením v komunálních odpadech. V návaznosti na téma odpadů je předkládaná diplomová práce zaměřena na plastový odpad vyskytující se ve směsném komunálním odpadu (dále jen „SKO“) a separovaný plastový odpad (dále jen „SEP-PLA“).

Hlavní cíle předkládané diplomové práce jsou stanoveny následovně:

- Základní rešerše legislativy související s plasty.
- Odhad průměrného složení a poznatků z volně dostupných zdrojů i praktických terénních prací.
- Rešerše technologií a příprava materiálu pro extruzní zkoušky.
- Cenová politika plastů v Evropě.

Předkládaná práce bude rozdělena do třech pomyslných částí:

- Část 1: rešerše.
- Část 2: terénní rozbor SEP-PLA.
- Část 3: extruzní zkoušky.

V první části rešerše bude řešeno odpadové hospodářství v ČR. Důraz bude kladen na shrnutí nejpodstatnějších informací týkajících se plastů v rámci legislativy (zejména zákon č. 545/2020 Sb. o obalech a zákon č. 541/2020 Sb. o odpadech). Bude proveden odhad průměrného složení odpadů na základě veřejně dostupných dat. Stručně budou popsány metodiky používané pro rozbor odpadů v ČR. Část práce bude zaměřena na nakládání s plastovým odpadem a jeho zpracovatelský řetězec. Následně bude provedena rešerše polymerů se zaměřením na technologie jejich zpracování a přípravu materiálu pro extruzní zkoušky. Informace pro rešeršní část práce budou získány na základě volně dostupných odborných publikací a relevantních zdrojů zabývajících se danou problematikou.

Druhá část práce bude zaměřena na realizaci terénních rozborů odpadů se zaměřením na plasty. Pro účely rozborů bude využita certifikovaná metodika TIRSMZP719. Bude zkoumáno průměrné materiálové zastoupení plastového odpadu v SEP-PLA. Pozornost bude zaměřena na popsání a rozeznání jednotlivých obalových materiálů, které jsou vhodné pro další zpracování (třídění a recyklace). Výsledky získané z rozborů budou následně využity pro porovnání s převzatými daty získanými při rozbořích SKO ve stejné obci. Bude posuzováno poměrné zastoupení jednotlivých druhů plastových materiálů v SEP-PLA a SKO. Závěr této části bude zaměřen na shrnutí informací týkajících se cenové politiky plastů v Evropě.

V poslední části práce budou popsány činnosti přípravy materiálu pro extruzi a samotný průběh extruzních zkoušek. Extruzní zkoušky budou probíhat ve spolupráci s výzkumným centrem CEITEC pod vedením doc. RNDr. Jiřího Tocháčka, CSc. Budou testovány různé druhy polymerů: HDPE, LDPE, PP, PET. Cílem bude ověřit potenciální recyklovatelnost plastů v laboratorních podmínkách.

3 Odpadové hospodářství v ČR

Odpadové hospodářství je souhrn činností zaměřených na předcházení vzniku odpadu, na nakládání s odpadem, na následnou péči o místo, kde je odpad trvale uložen, zprostředkování nakládání s odpady a kontrolu těchto činností. [4]

V České republice (dále jen „ČR“) se odpadovým hospodářstvím zabývá velké množství legislativních dokumentů. Mezi klíčové, v kontextu mé práce, patří dva zákony:

- **Zákon č. 545/2020 Sb. o obalech.**
- **Zákon č. 541/2020 Sb. o odpadech.**

3.1 Zákon č. 545/2020 Sb. o obalech

Zákon o obalech se zaměřuje na odpad z obalů. V zákoně jsou stanoveny podmínky, které musí osoba uvádějící obaly na trh nebo do oběhu splnit. Zaměříme-li se na nakládání s odpadem, musí být zajištěno, aby obal nebo obalový prostředek po použití, pro které byl určen, byl dále opakovaně použitelný nebo využitelný procesem recyklace, energetického využití nebo biologického rozkladu. [2]

Při výrobě obalů je třeba zohlednit dopady na životní prostředí zejména jeho opětovná použitelnost či recyklovatelnost. Dle míry dopadu se pak určuje výše peněžního příspěvku autorizovanou obalovou společností. V ČR je jediná společnost, která zajišťuje zpětný odběr a využití odpadů z obalů, **Autorizovaná obalová společnost EKO-KOM, a.s.** Systém společnosti je založen na spolupráci podniků, měst a obcí. Dohlíží na to, aby odpady z použitých obalů byly spotřebitelem vytríděny, svezeny sběrnou technikou, dotříděny a efektivně využity jako druhotná surovina. [2] [3]

V příloze zákona jsou uvedeny cíle týkající se požadovaného rozsahu recyklace obalového odpadu. Nyní dochází k navýšení úrovně recyklace na 50 % hmotnosti plastových prodejních obalů, od roku 2030 by mělo dojít k zvýšení na 55 % hmotnosti. Míra recyklace A prodejních obalů se stanoví jako podíl množství využitého obalového odpadu získaného zpětným odběrem m_{zpo} a množství prodejních obalů, které osoba uvedla na trh nebo do oběhu m_u . [2]

$$A = \frac{m_{zpo}}{m_u} \cdot 100 \% \quad (1)$$

3.2 Zákon č. 541/2020 Sb. o odpadech

Zákon stanoví přesné znění klíčových pojmů týkajících se odpadového hospodářství. Pro správné porozumění dalšímu textu, jsou v následující části uvedeny a blíže popsány nejdůležitější pojmy: [4]

Odpad je každá movitá věc, které se osoba zbavuje, má úmysl nebo povinnost se jí zbavit.

Komunální odpad je směsný a tříděný odpad z domácností, zejména papír a lepenka, sklo, kovy, plasty, biologický odpad, textil, obaly, odpadní elektrická a elektronická zařízení, odpadní baterie a akumulátory, objemný odpad (matrace a nábytek). Komunálním odpadem je také odpad z jiných zdrojů, pokud je co do povahy a složení podobný odpadu z domácností.

Směsný komunální odpad je směsná část komunálního odpadu z domácností, která zůstává po vytrídění využitelných a nebezpečných složek. V praxi je to odpad, který je vyhazován do nádob na směsný (zbytkový) odpad – černé popelnice.

Nakládáním s odpadem se rozumí soustředování, skládkování, sběr, úprava, využití, odstranění, či obchodování s odpadem nebo přeprava odpadu.

Předcházením vzniku odpadu se rozumí opatření přijatá předtím, než se movitá věc stane odpadem.

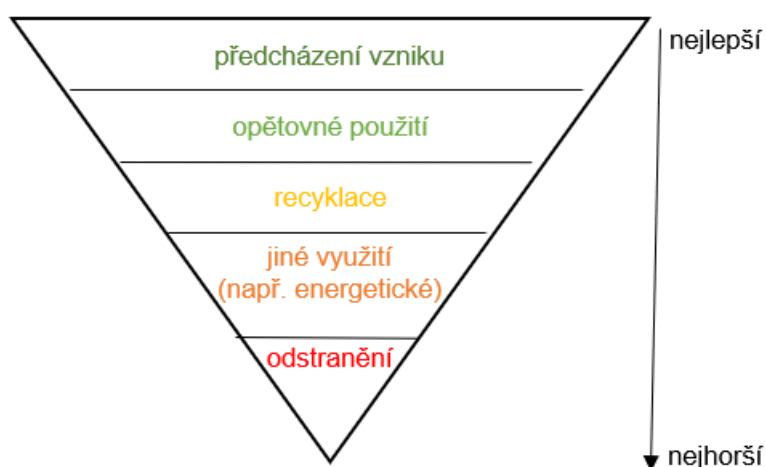
Opětovným použitím se rozumí postupy, kterými jsou výrobky nebo jejich části, které nejsou odpadem, znovu použity, ke stejnému účelu, ke kterému byly původně určeny.

Recyklace odpadu je způsob využití odpadu, jímž je odpad znovu zpracován na výrobky, materiály nebo látky, ať pro původní nebo jiné účely.

Příprava k opětovnému použití je způsob využití odpadů zahrnující kontrolu, čištění nebo opravu, která zaručí, že je výrobky nebo jejich části možné bez dalšího zpracování opětovně používat.

Odstranění odpadu je činnost, která není využitím odpadů, a to i v případě, že tato činnost má jako druhotný důsledek znovuzískání látek nebo energie.

Dle zákona o odpadech je odpadové hospodářství založeno na hierarchii nakládání s odpady. Hlavní prioritou hierarchie je předcházení vzniku odpadu, nelze-li tak učinit, pak v následujícím pořadí jeho příprava k opětovnému použití, recyklace, jiné využití, včetně energetického využití, a není-li možné ani to, poslední variantou je jeho odstranění. [4]



Obr.3 Hierarchie nakládání s odpady

Zákon mimo jiné zahrnuje **Plán odpadového hospodářství ČR** (dále jen „POH“). Jeho závazná část stanoví cíle a opatření pro předcházení vzniku odpadu a cíle a zásady odpadového hospodářství, opatření k jejich dosažení včetně preferovaných způsobů nakládání s odpady a soustavu indikátorů k hodnocení plnění cílů plánu. [4] Plán upřednostňuje způsoby nakládání s odpady podle hierarchie odpadového hospodářství. Hlavním cílem je jednoznačný přechod k oběhovému hospodářství. [5]

Je pravděpodobné, že v nejbližších letech do plánu odpadového hospodářství ČR přibudou cíle, které stanoví směrnice Evropského parlamentu a rady (EU) 2019/904. V odvětví nakládání s plasty se zaměřili především na využití plastového recyklátu. **Od roku 2025 plastové nápojové obaly musí obsahovat minimálně 25 % recyklátu a v roce 2030 nejméně 30 % recyklátu.** [6]

Zákon o odpadech také stanoví podmínky pro **vzorkování a zkoušky odpadu**. Vzorkováním odpadu je myšleno odebírání vzorků odpadů odborně způsobilou osobou pro účely laboratorních zkoušek a analýz. Účelem je zjištění přijatelnosti odpadu do zpracovatelských zařízení, hodnocení nebezpečných vlastností odpadu a další zkoušky pro doložení potřebné kvality odpadu pro další nakládání s ním nebo pro zjištění jeho vlastností nebo vlastností vedlejšího produktu. [4]

3.3 Složení odpadu v ČR

Znalost materiálového složení odpadů je zásadní informací pro vývoj odpadového hospodářství. V České republice se rozbory směsného komunálního odpadu produkovaného domácnostmi dlouhodobě zabývá společnost **EKO-KOM, a.s.** Metodika společnosti je koncipována jako výsledek využívající či kombinující zkušenosti českých i zahraničních metodik, resp. pracovních postupů – zejména výstupy z řešení výzkumného projektu SP/2f1/132/08 „Výzkum vlastností komunálních odpadů a optimalizace jejich využívání“, Benešová, L. a kol., Univerzita Karlova v Praze, 2010. Analýzy skladby jsou prováděny každý rok na území celé ČR. Rozbory pro EKO-KOM realizuje společnost GREEN Solution s.r.o. Každý rok uskuteční přibližně 550 rozborů. Na složení SKO má vliv velké množství parametrů např. velikost sídla a skladba obyvatel což je zohledněno ve výběru lokality. Rozbory se na stejných lokalitách provádí již od roku 2008, což zajišťuje možnost sledování trendu produkce a skladby SKO. [9]

Rozbory se provádí manuálním roztříděním reprezentativního vzorku odpadu do definovaných materiálových skupin: **papír/lepenka, plasty, sklo, kovy, textil, minerální odpad, nebezpečný odpad, elektroodpad, bioodpad, spalitelný odpad**. Odpad se třídí na síť s velikostí oka 40x40 mm. Všechny odpad menších rozměrů (popeloviny, drobné plasty, papír, tráva atd.), který propadne oky síta, tvoří tzv. **podsítnou frakci**. Odpad, který zůstane na síti a není možné jej zařadit do některé z materiálových skupin, tvoří tzv. netříditelný spalitelný odpad. Většinou se jedná o hygienický odpad (pleny, papírové utěrky, hygienické vložky, zubní kartáčky atd.), útržky textilu, obuv, gumové výrobky apod. [9]

Od roku 2014 pro EKO-KOM zajišťuje rozbory komunálních odpadů z obcí ČR společnost **GREEN Solution s.r.o.** Rozbory provádí, podle již zmíněné metodiky

společnosti EKO-KOM. Na rozdíl od EKO-KOMU na svých webových stránkách uvádí konkrétnější informace o velikosti analyzovaného vzorku. Množství odebraného základního vzorku odpovídá naplnění svozového automobilu (4–8 tun podle typu automobilu a obytné zástavby). Hmotnost odebraného dílčího vzorku pro stanovení skladby činí cca 200 kg/analýzu. Odběr dílčího vzorku po vysypání hlavního vzorku z automobilu se provádí metodou tzv. kvartace. Metoda kvartace spočívá v rozdělení hlavního vzorku na čtyři stejné hromady. Dvě protilehlé hromady se odstraní a zbylé se navzájem promíchají a znova rozdělí na čtyři stejné hromady. Postup se opakuje, dokud není získán reprezentativní vzorek o požadované hmotnosti. [13]

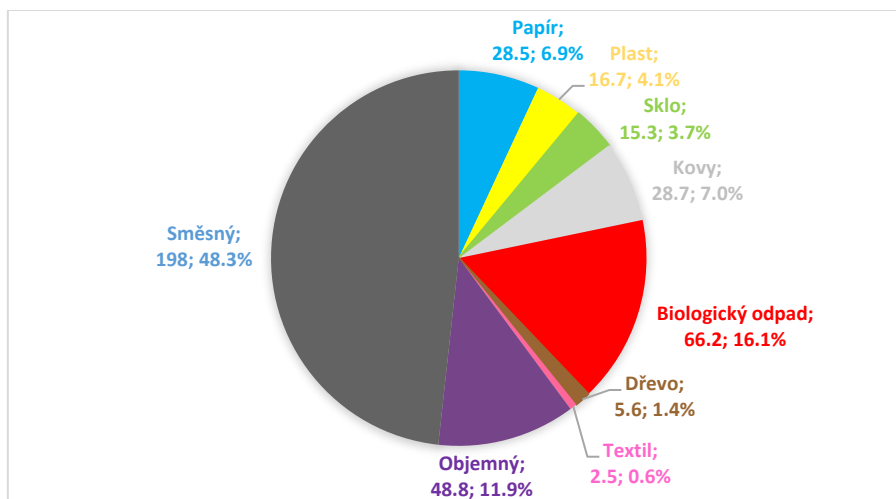
Služby v oblasti analýzy SKO také nabízí společnost **Odpadová poradenská s.r.o.** Metodika rozborů vychází ze stejného výzkumného projektu jak u předešlých společností. Postup rozborů je však zjednodušen tak, aby je bylo možné provádět v jednotlivých městech za přijatelných nákladů. Počet rozborů je snížen ze 12 měsíčních na 4 sezónní, lokality vzorkování jsou omezeny na dva hlavní typy (sídlištní a rodinná) a hlavní vzorek má velikost 2–4 tuny SKO (jedno svozové vozidlo). Z hlavního vzorku je metodou kvartace vytvořen reprezentativní vzorek o hmotnosti cca 200 kg, který se dále analyzuje. [11]

Potenciálem prognózování produkce odpadů v ČR a nastavením vhodných postupů pro stanovení složení směsného komunálního odpadu z obcí a komunálního odpadu se v rámci řešení projektu **TIRSMZP719 Prognózování produkce odpadů a stanovení složení komunálního odpadu** zabýval kolektiv řešitelů z Ústavu procesního inženýrství, Fakulty strojního inženýrství, Vysokého učení technického v Brně. Byla vytvořena certifikovaná metodika¹ jejímž účelem je stanovení postupů, které umožňují srovnatelnost a opakovatelnost výsledků terénních průzkumů zaměřených na stanovení složení SKO. V metodice jsou blíže popsány přípravné činnosti (stanovení cíle vzorkování, velikosti vzorku, počtu vzorků, výběr a odběr vzorků), samotný postup rozboru vzorku a následná dokumentace a interpretace výsledků rozboru. [12]

Údaje o složení odpadu v České republice zajišťuje **Ministerstvo životního prostředí** (dále jen „MŽP“). Pro MŽP a vypracování POH je primárním datovým zdrojem o odpadovém hospodářství souhrnná databáze **Informačního systému odpadového hospodářství** (dále jen „ISOH“), která shromažďuje primární údaje o produkci odpadů a způsobech nakládání s odpady. [5]

V roce 2020 celková produkce odpadů podle dat MŽP činila 38 503 tis. tun. Významnou skupinou jsou **komunální odpady** (dále jen „KO“). V roce 2020 tvořily 14,9 % z celkové produkce, což dělá 5,7 mil. tun odpadů. [7] V následujícím grafu je znázorněno materiálové složení KO vyprodukovaného v roce 2020.

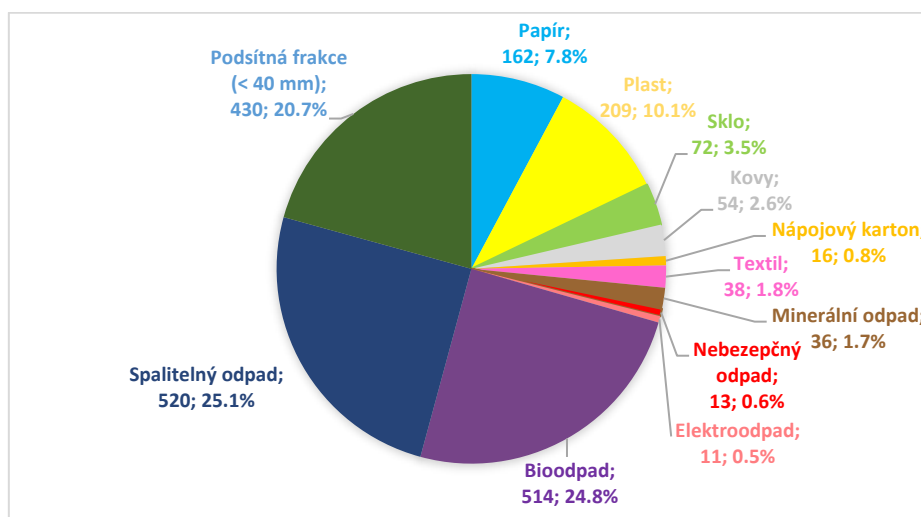
¹ Dostupné z www.mzp.cz/cz/komunalni_odpady



Obr.4 Skladba KO z obcí a od občanů ČR v roce 2020 (kg/obyvatele; % hm.) [8]

Z grafu je patrné, že téměř polovinu tvoří **směsný komunální odpad**. Pro budoucí prognózy je tedy nezbytné znát složení právě této podskupiny.

Analýzou SKO se v roce 2020 zabývala společnost EKO-KOM. V roce 2020 na základě metodiky společnosti byla analyzována skladba 128 vzorků SKO pocházející z 15 různých lokalit. V každé lokalitě byl analyzován reprezentativní vzorek jak z venkovské, tak sídlištní zástavby. Jednalo-li se o větší město, byla provedena analýza vzorku i z centra či vilové zástavby. Rozbory byly zaměřeny na domovní SKO tedy odpad, pocházející z domácností. V následujícím grafu je znázorněna výsledná skladba SKO z obcí. [9]



Obr.5 Skladba SKO z obcí ČR v roce 2020 (tis. t; % hm.) [9]

Data z grafu ukazují, že i v SKO se nachází stále část odpadu, která by mohla být vytříditelná a potenciálně dále recyklovatelná/využitelná.

Pro ochranu životního prostředí a šetření primárních zdrojů je třeba minimalizovat produkci všech druhů odpadů především SKO. V ideálním případě by se do SKO neměla dostat žádná složka odpadu, kterou by bylo možné potenciálně

dále zpracovat. Zásadní význam má osvěta, jednoduchost a přehlednost systému se zaměřením na sběrnou síť odpadu.

3.4 Zpracovatelský řetězec SKO v ČR

V České republice je systém nakládání s SKO stanoven zákonem o odpadech a vyhláškou č. 273/2021 Sb. o podrobnostech nakládání s odpady.

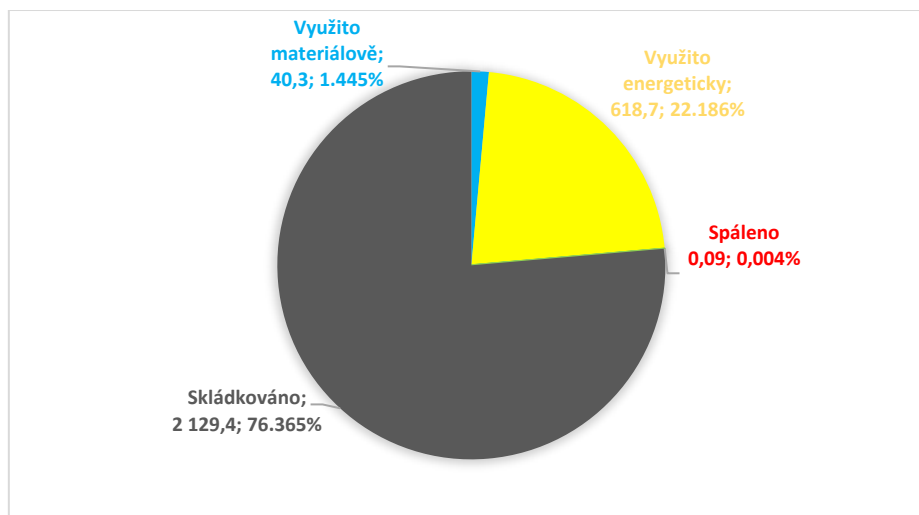
Na počátku zpracovatelského řetězce je **sběr odpadu**. Systém sběru odpadu se posuzuje podle vzdálenosti místa sběru (odvozový, sběrné místo, donáškový), typu zásobníku (nádoba, pytel) a podle organizace sběru (mobilní, stacionární). Pro sběr SKO se u obytných částí obcí využívají převážně nadzemní plastové nebo kovové nádoby černé barvy s horním výsypem o velikosti od 80 l až po 1 100 l. V parcích či centrech města se můžeme setkat s menšími kovovými nádobami na SKO často upravenými tak, aby co nejméně narušovaly vzhled okolního prostředí. [13]



Obr.6 Typy sběrných nádob na SKO [3o][4o][5o]

Dalším krokem je **svoz odpadu**. Odpady se z kontejnerů sváží do zpracovatelských zařízení prostřednictvím tzv. **svozových vozů** (KUKA vozů). Existuje několik typů svozových automobilů, které jsou uzpůsobeny pro dané řešení sběrného zásobníku a konkrétní druh odpadu. Pro svoz SKO se nejčastěji používá vozidlo s lisovací nástavbou. Nástavba je vybavena **lineárním** nebo **šnekovým** (rotačním) **lisem**. V prvním případě je v zadní části vozu namontována deska, která stlačuje odpad směrem k čelu zásobníku. Druhý způsob spočívá v rotačním lisování. Uvnitř nástavby se otáčí buben naplněný odpadem, který je vestavěnou spirálou přitlačován k čelní stěně bubnu. Nástavba se šnekovým lisem je oproti variantě s lineárním lisem pro SKO provozně i ekonomicky výhodnější. Má lepší rozložení hmotnosti, odpad lze maximálně stlačit, čímž se ho do vozu vejde více, odpad lze do nástavby přisypávat neustále a pro vyprazdňování stačí změnit směr otáčení bubnu. [14]

Z kontejnerů se SKO sváží na skládku, do spaloven nebo do zařízení pro materiálové či energetické využití odpadů (ZEVO). Následující graf ukazuje procentuální zastoupení jednotlivých způsobů nakládání s SKO v roce 2020. [15]



Obr.7 Nakládání s SKO v roce 2020 (tis. t; % hm.)

Z grafu je zřejmé, že **skládkování** je nejčastějším způsobem, jak s SKO naložit. Zákon o odpadech charakterizuje skládku jako zařízení určené pro odstranění odpadů pomocí jejich řízeného povrchového nebo podpovrchového ukládání. Dle zákona odděleně soustředěné komunální odpady vhodné k opětovnému použití nebo recyklaci, zejména papír, plasty, sklo, kovy, textil a biologický odpad, nesmí být předány k odstranění, s výjimkou odpadu vzniklého při jejich zpracování. Výhřevnost v sušině odpadu určeného ke skládkování musí být nižší než 6,5 MJ/kg a musí splňovat kritéria stanovená vyhláškou ministerstva, podle kterých je odstranění nejlepší možnou variantou z hlediska životního prostředí v souladu s hierarchií odpadového hospodářství. Odpad určený k odstranění smí být skládkován nejvýše po dobu 1 roku. Jde-li o odpad určený k využití, je možné jej skládkovat 3 roky. Skládky se provozují ve třech fázích, které na sebe musí bezprostředně navazovat. V první fázi provozu skládky se odpad odstraňuje jeho řízeným uložením na úrovni nebo pod úrovní terénu. V druhé fázi se provádí její uzavírání a rekultivace. Ve třetí fázi se provádí následná péče o skládku, aniž by docházelo k nakládání s odpady, po dobu nejméně 30 let. Do budoucna je však třeba tento typ odstraňování odpadu co nejvíce omezit. [4]

Druhým nejvíce využívaným způsobem likvidace SKO v roce 2020 bylo **energetické využití**. Je to způsob využití odpadu jako paliva za účelem využití jeho energetického obsahu. Dle odpadového zákona se za energetické využití považuje pouze situace, kdy použitý odpad nepotřebuje po vlastním zapálení podpůrné palivo anebo když je odpad použit jako palivo nebo přídatné palivo v zařízeních na výrobu energie nebo materiálů. [4]

Dalším způsobem, jak využít odpad je jeho **materiálové využití**. Ze zákona je charakterizováno jako jakýkoliv způsob využití odpadů zahrnující přípravu k opětovnému použití, recyklaci a zasypaní. [4]

3.5 Zpracovatelský řetězec plastového odpadu v ČR

Zpracovatelský řetězec plastového odpadu se v mnohém liší od postupu zpracování SKO, avšak samotný **sběr odpadu** je velmi podobný. Plastový odpad se

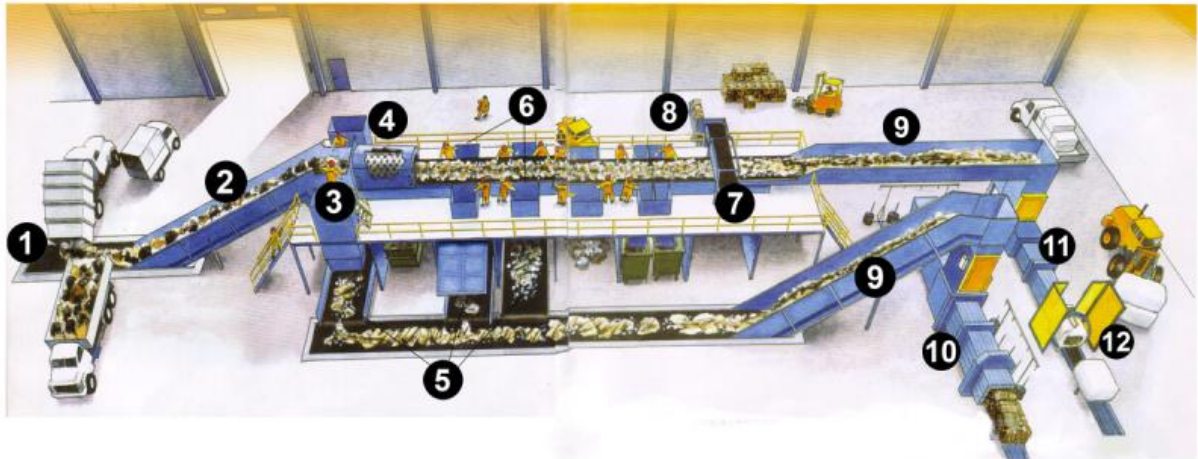
může stejně jako SKO sbírat do plastových, kovových, malých či velkých nadzemních kontejnerů označených žlutou barvou. Na rozdíl od SKO se však čím dál častěji objevuje možnost podzemních zásobníků se spodním výsypem o velikosti 1 500 l až po 5 000 l. Svě uplatnění nachází především v historických centrech měst, kam se běžné sběrné vozy nedostanou ať už kvůli velikosti nebo jejich vysoké hmotnosti. Pro obsluhu tohoto typu zásobníku se používají auta s hydraulickou rukou, které dokáží kontejner zvednout s pomocí dvou háků nebo speciálního adaptéru nádobu otevřít a obsah vysypat na korbu svozového vozidla. [13][16]



Obr.8 Podzemní zásobník na separovaný odpad [60]

Dalším ze způsobů sběru plastového odpadu je pytlový sběr. Pytle mohou být používány opakovaně nebo častěji však jednorázově. Pytlový sběr odpadů se využívá především v menších obcích. Svoz pytlů je řešen buď systémem dům od domu nebo odnosem na určené místo v zadaném termínu (např. sběrná místa, dvory). [13]

Odpad z plastů je velmi různorodý (PET různých barev, PP, PS, HDPE, LDPE apod.), proto je odpad ze žlutých kontejnerů svážen na **dotřídňovací linky**. Třídění odpadu se nejčastěji provádí manuálním tříděním. Odpad je roztříděn na materiálově využitelný a neroztříděný zbytek (výmět). Mezi materiálově využitelný odpad patří PET, fólie, tvrdé obaly (obaly od šampónů, kosmetiky apod.), nápojové kartony (tetrapack) a směs čistých plastů. Výmět obsahuje nečistoty z jiných materiálů nebo velmi znečištěný využitelný plastový odpad. Materiálově využitelný odpad je upraven na potřebnou čistotu, roztříděn do jednotlivých skupin podle požadavků zákazníka a následně slisován. Výstupem je obchodovatelná druhotná surovina s kladnou cenou na trhu, která je přepravena do koncového recyklačního zařízení. [13][17]



- | | | | |
|-----------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------------|
| 1) přijímací dopravník | 4) bubnové síto | 7) magnetický separátor | 10) balička netříděného odpadu |
| 2) plnicí dopravník | 5) zásobníkový dopravník | 8) kovový lis | 11) balička tříděného odpadu |
| 3) předtřídovací stanoviště | 6) třídící stanoviště | 9) plnicí dopravník | 12) balička fólie |

Obr.9 Schéma dotřídovací linky [7o]

Mezi koncová recyklační zařízení patří především zařízení na vytváření plastového recyklátu nebo regranulátu. Více na toto téma je zaměřena kapitola 5 a 6 této práce.

4 Polymery

Předmětem předkládané diplomové práce je zpracování odpadního plastu, což s sebou obnáší i recyklaci. V prvním kroku je nutno se seznámit se základními parametry polymerů se zaměřením na mechanickou recyklaci.

Polymery jsou z chemického hlediska především organické látky, přírodního nebo syntetického původu. Typickými představiteli organických látek jsou dřevo, rostliny, ropa, zemní plyn apod. Polymery jsou od ostatních látek odlišné tím, že mají velké molekuly tzv. **makromolekuly** v nichž se mnohokrát opakuje základní konstituční jednotka „mer“ (mer = díl). Díky tomu polymery mají neobyčejně proměnlivou strukturu a rozličné vlastnosti.

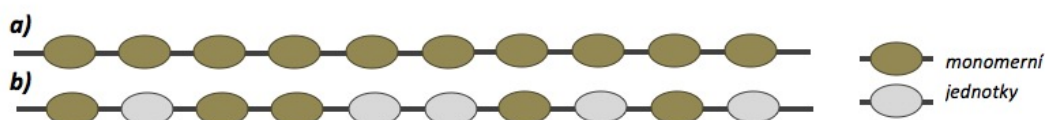
Mezi významné přednosti polymerů patří jejich nízká hustota, resp. hmotnost výrobku, odolnost proti povětrnosti, korozi a chemická odolnost. Jsou to také dobré tepelné a elektrické izolanty. Výhodou je jejich snadná zpracovatelnost a tím i vynaložení nižší energie při zpracování.

Nevýhodou polymerů je hořlavost, která je předurčena chemickým složením makromolekul. Jsou málo odolné nízkým teplotám a UV záření, vytváří elektrostatický náboj a mají vysokou teplotní roztažnost. [1]

4.1 Příprava (syntéza) syntetických polymerů

Princip syntézy je v „řetězení“ nízkomolekulárních látek (monomerů) třemi různými chemickými postupy, tzv. **polyreakcemi**: *polymerací*, *polykondenzací* nebo *polyadicí*. Jsou to chemické reakce, které se mnohokrát opakují, čímž nízkomolekulární sloučenina monomer přechází ve vysokomolekulární látku polymer. Aby došlo k polyreakci, musí mít monomer v molekule alespoň dvě funkční skupiny, které mají schopnost vytvářet se sousedními skupinami chemické vazby. [1]

Makromolekuly polymeru mohou vznikat z jednoho druhu monomerů, výsledný produkt nazýváme **homopolymer**. Polyreakce se však mohou účastnit dva či více druhů monomerů, v takovém případě hovoříme o **kopolymeru**. Kopolymerace umožňuje upravovat fyzikální vlastnosti polymeru, například kopolymer polypropylenu (tvořený monomery ethenu a propenu) bude mít lepší rázovou houževnatost za bodu mrazu než polypropylen a současně lepší pevnostní charakteristiky než jinak houževnatý polyethylen. Mezi kopolymery patří např. ABS, SAN, EPDM apod. [1]



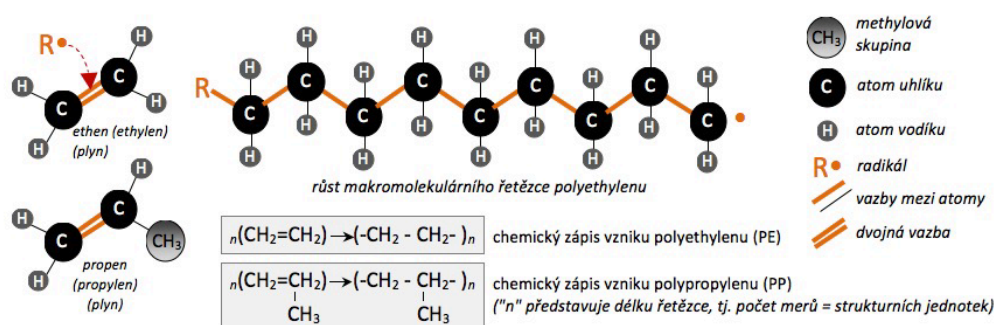
Obr.10 Schéma řetězce makromolekuly homopolymeru (a), kopolymeru (b) [80]

4.1.1 Polymerace

Při polymeraci dochází k reakci malých molekul monomeru. Z monomeru se rozevřením dvojné vazby stane monomerní jednotka, která se propojí do velké

řetězovité molekuly polymeru. Tvorbě makromolekulárního řetězce se účastní celá molekula monomeru a nevzniká tak vedlejší produkt. Takto utvořené polymery se nejčastěji nazývají podle monomeru přidáním předpony *poly-*, např. polyethylen, polypropylen, polystyren, polyvinylchlorid apod. [1]

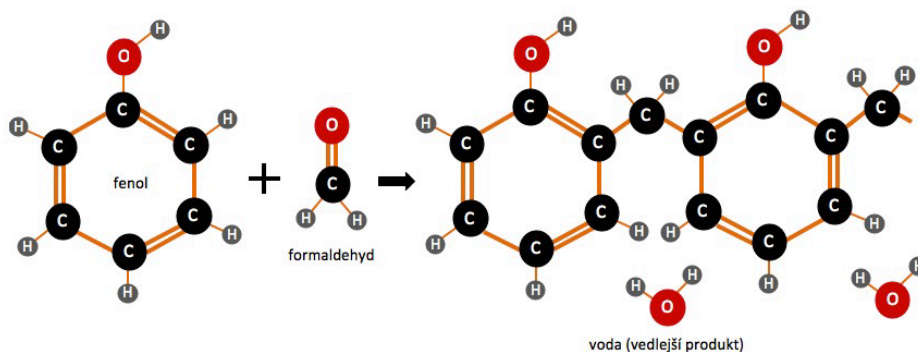
Aby došlo k zahájení polymerace musí nejprve dojít k **iniciaci**. Je to děj, při kterém dojde k rozštěpení násobné vazby v molekule monomeru účinkem reaktivních radikálů nebo iontů, které jsou produktem rozpadu reaktivní látky, tzv. iniciátoru (katalyzátoru) za působení např. tepelné energie, UV záření apod. Iniciátorem mohou být např. peroxidy. Vzniklý radikál reaguje s molekulou monomeru a rozštěpí její násobnou vazbu, čímž vznikne nový objemnější radikál a ten opět reaguje s další molekulou monomeru. Tímto způsobem dochází k růstu řetězce, přičemž na konci rostoucí makromolekuly se stále objevuje volný elektron. Tomuto ději říkáme **propagace**. K ukončení růstu řetězce makromolekuly dojde například spojením dvou radikálů = **terminace**. [1]



Obr.11 Schéma radikálové polymerace polyethylenu (PE) [9o]

4.1.2 Polykondenzace

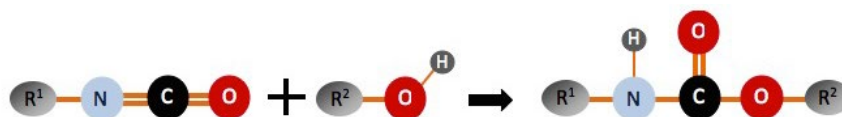
Při této stupňovité reakci rovněž dochází ke spojení molekul monomerů do dlouhých řetězců. Na rozdíl od polymerace však dochází při každém připojení další monomerní jednotky k odštěpení vedlejšího produktu, např. jedné molekuly vody nebo chlorovodíku či amoniaku (čpavek). Výsledný polymer je tedy svým chemickým složením rozdílný od výchozích sloučenin. Rychlost polykondenzace je oproti polymeraci, která může trvat zlomky sekund, podstatně menší. Je však možné ji v libovolném stádiu přerušit a opět v ní pokračovat například až při zpracování materiálu na finální výrobek. Polymery vzniklé tímto způsobem se obvykle nazývají podle typických chemických skupin, např. polyformaldehydy, polyamidy, polyesteru apod. [1]



Obr.12 Schéma přípravy fenol-formaldehydu (PF) polykondenzací [10o]

4.1.3 Polyadice

Je to stupňovitá reakce, při které dochází k reakci dvou odlišných druhů monomerů obsahujících v molekule reaktivní atomové skupiny. Nedochozí ke vzniku štěpného produktu, ale vodíkový atom se přemísťuje z jedné reaktivní skupiny na jinou, čímž probíhá slučování (adice). Při polyadici vznikají např. polyuretany a epoxidové pryskyřice. [1]



Obr.13 Schéma přípravy polyuretanu (PUR) polyadicí [11o]

4.2 Vliv struktury polymerů na jejich vlastnosti

Všechny základní vlastnosti (mechanické, tepelné, chemické, hořlavost, aj.) polymeru jsou dány chemickou strukturou makromolekul z kterých se skládá.

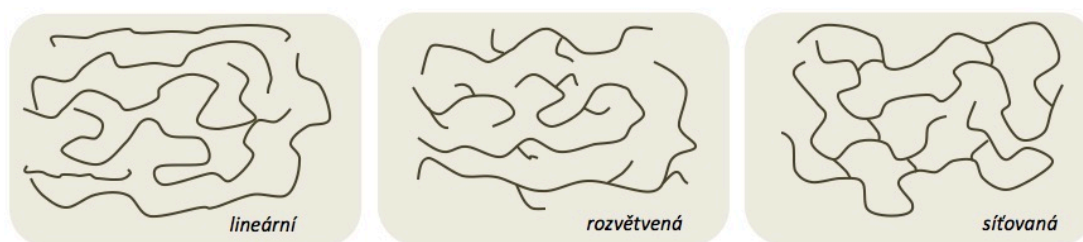
4.2.1 Tvar makromolekul

Makromolekuly se mohou nacházet ve třech podobách – lineární, rozvětvené, síťové.

Lineární makromolekuly vznikají spojením monomerních jednotek s dvěma funkčními skupinami.

Rozvětvené makromolekuly se vytváří v případě vícefunkčních monomerů. Na jejich základní řetězec jsou vázány krátké boční substituenty, které zapříčiňují jejich horší pohyblivost. V důsledku rozvětvení jsou makromolekuly vzájemně od sebe oddáleny, což je příčinou poklesu sil mezi makromolekulami a tím dochází k zhoršení řady vlastností polymeru, např. mechanické pevnosti, tvrdosti, či modulu pružnosti.

Dojde-li ke spojení sousedních řetězců lineárních makromolekul chemickými vazbami, vznikne **síťovaná** makromolekula. Taková makromolekula má z důvodu zesítnění menší pohyblivost jako celek, čímž ztrácí rozpustnost, tavitelnost a zhoršuje se jejich houževnatost. Vlastnosti sesíťovaných makromolekul závisí na hustotě jejich sítě. Čím vyšší hustotu síť má, tím jsou tyto polymery více tvrdé, teplotně odolnější a mají vyšší modul pružnosti. [1]



Obr.14 Tvar makromolekul polymeru [12o]

Následující tabulka ukazuje, jak se mění vlastnosti polymerů v závislosti na tvaru jejich makromolekul.

Tab.1 Vlastnosti polymerů v závislosti na tvaru makromolekul [1]

	LINEÁRNÍ	ROZVĚTVENÉ	SESÍŤOVANÉ
hustota materiálu	vyšší	nižší	vyšší
pevnost	vyšší	nižší	vyšší
modul pružnosti	vyšší	nižší	vyšší
tažnost	nižší	vyšší	nižší
teplotní odolnost	vyšší	nižší	vyšší
tekutost taveniny	dobrá	nižší	-
schopnost krystalizace	snadná	nižší	-

4.2.2 Velikost makromolekul

Velikost molekul se v chemii vyjadřuje molární hmotností (relativní molekulovou hmotností), podle které rozdělujeme chemické sloučeniny na nízkomolekulární a makromolekulární (molární hmotnost vyšší než 10 000 g/mol). Často se velikost makromolekul také vyjadřuje pomocí polymeračního stupně, která udává počet strukturních jednotek tvořících makromolekulu. Mezi molární hmotností polymeru M a polymeračním stupněm n platí jednoduchý vztah, kde M_0 vyjadřuje molární hmotnost strukturní jednotky.

$$M = M_0 \cdot n \quad (2)$$

Velikost makromolekul je jedním ze základních faktorů, které ovlivňují fyzikálně mechanické vlastnosti polymeru. Čím vyšší je molární hmotnost polymeru (makromolekula je delší), tím se zvyšuje jeho pevnost, modul pružnosti, teplota tání, a naopak se snižuje tažnost. Polymery se vyznačují různou délkou makromolekul, jsou označovány jako polydisperzní. [1]

4.2.3 Mezimolekulární síly

Atomy a molekuly mohou držet pohromadě různými silami. O velikosti sil mezi makromolekulami rozhoduje jejich chemické složení, resp. **polarita**. Polární makromolekula (např. polyvinylchlorid PVC) obsahuje nesymetrické rozložení nábojů (+) a (-) a má tedy trvalý elektrický dipól. Nepochární makromolekula (např. polyethylen PE) má náboje rozloženy symetricky, nemá trvalý elektrický dipól. Mezi makromolekulami mohou vzniknout síly dipólové, indukované nebo disperzní.

Dipólové síly jsou velmi silné, přitažlivé a působí mezi makromolekulami s trvalým elektrickým dipólem. Tyto polymery se označují jako polární.

Indukované síly působí mezi makromolekulami s trvalým dipólem a bez trvalého dipólu. Makromolekula bez trvalého dipólu se pod vlivem dipólu sousední makromolekuly polarizuje a získává indukovaný dipólový moment. Tyto polymery označujeme jako polarizované. Mají slabší síly a zpravidla menší pevnost.

Disperzní síly působí mezi makromolekulami bez trvalého dipólu. Pohybem elektronů kolem atomových jader dochází k neustálé změně vzájemné polohy jader a elektronů v atomech molekuly. Důsledkem je časově proměnný dipólový moment. Tyto slabé síly jsou typické pro nepolární polymery.

Dojde-li k přitahování atomu vodíku a atomu s volným elektronovým párem v sousedních makromolekulách vznikne tzv. **vodíkový můstek**. Tato vazba je nejpevnější mezimolekulární vazbou a je typická pro silně polární polymery, např. pro polyamidy. [1]

4.3 Rozdělení a charakteristika polymerů

Polymery lze rozdělit podle mnoha kritérií: původu, složení, molekulární struktury, polarity, chemické příbuznosti apod. Základní dělení se však provádí do dvou skupin, na plasty a elastomery.

4.3.1 Plasty

Plasty jsou polymery charakteristické svou tvrdostí a zároveň křehkostí. Jsou-li namáhány vnějším působením, deformují se převážně trvale. Podle chování při zahřívání se dále dělí na termoplasty a reaktoplasty.

Termoplasty jsou materiály, které lze jejich zahřátím tvářet. Změny, kterými materiál prochází během zahřívání jsou pouze fyzikální a proces měknutí a tuhnutí je vratný. Typickými představiteli jsou polyethylen (PE), polypropylen (PP), polystyren (PS), polyvinylchlorid (PVC), polymethylen-methakrylát (PMMA).

Reaktoplasty jsou na rozdíl od termoplastů tvarovatelné po zahřátí jen určitou dobu. Dalším zahříváním dochází k chemickým změnám a plast se stává trvale netavitelným a nerozpustným, tzv. vytvrzování. Reaktoplasty, které nejsou vytvrzené se běžně označují jako pryskyřice, např. epoxidová pryskyřice (EP), polyesterová pryskyřice (UP) apod. Výrobky z vytvrzených reaktoplastů jsou charakteristické chemickou a tepelnou odolností, tvrdostí a tuhostí. [1]

4.3.2 Elastomery

Elastomery jsou na rozdíl od plastů vysoce pružné (elastické) a za běžných podmínek je lze deformovat bez porušení. Typickým zástupcem elastomerů jsou **kaučuky**. Jejich vulkanizováním (řídkým zesítněním, nejčastěji sírou) se vyrábí vysoce pružný materiál, odolný vůči trvalé deformaci, tzv. **pryže**. Dalším příkladem elastomerů jsou termoplastické elastomery.

Termoplastické elastomery jsou svými vlastnostmi velmi podobné pryžím. Jejich struktura je tvořena měkkými (elastomery) a tvrdými (termoplasty) segmenty. Na rozdíl od pryží při zvyšování teploty přechází do tekutého stavu a lze je zpracovávat podobným způsobem jako termoplasty.

Další možnost dělení polymerů vychází z jejich postavení na trhu – komoditní, inženýrské a high-tech polymery.

Komoditní polymery jsou ty, které mají široké využití. Jsou nejlevnější, a tak představují největší objem výroby i spotřeby. Do této skupiny se řadí zejména polyethylen (PE), polypropylen (PP), polystyren (PS) a polyvinylchlorid (PVC).

Druhou velkou třídou jsou **inženýrské polymery** využívané pro konstrukční aplikace. Plasty zde zařazené nabízejí mnohem lepší užitné vlastnosti a často vyšší teplotní odolnost. Vzhledem k modifikaci vlastností polypropylenu (PP) jej lze řadit i do této kategorie.

High-tech polymery (speciální polymery) nabízejí jedinečné vlastnosti a jsou určeny pro špičkové aplikace. [1]

5 Technologie přípravy plastů

Aby bylo možné dosáhnout požadovaných konečných vlastností výrobku, je třeba plast na vlastní technologický zpracovatelský proces správně připravit. V přípravné fázi procesu jsou ovlivňovány jak konečné vlastnosti plastů (mechanické, chemické, elektrické, tepelné apod.) tak i způsob jejich dávkování a dopravy do zařízení na zpracování. Mezi přípravné technologie patří např. drcení, granulace, tabletování, recyklace, sušení či doprava materiálu. [17]

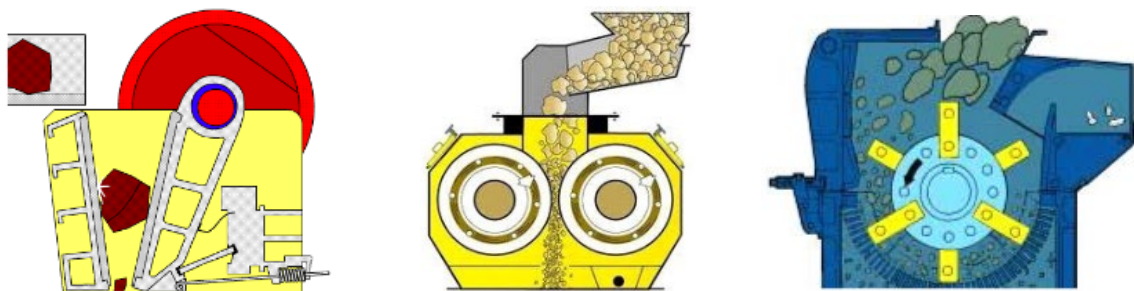
5.1 Drcení

Drcení je metoda, při které je materiál rozdělen na menší části. Rozlišuje se hrubé drcení (předdrcení) do průměru částic 100 mm a střední a drobné drcení od 1 po 100 mm. K drcení plastového odpadu se využívá různých typů drtičů: čelist'ové, stříhové nebo kladívkové.

Čelist'ový drtič se používá především pro hrubé předdrcení materiálu. Drtič je opatřen dvěma deskami (čelistmi), pevnou a pohyblivou. Materiál je rozměňován periodickým tlačáním pohyblivé čelisti k pevné. Maximální velikost částic je určena vzdáleností mezi pevnou čelistí a dolní částí pohyblivé čelisti drtiče. Částice jsou velké cirká 20 % původní velikosti. Výhodou těchto drtičů je velký výkon (až 2000 t.hod⁻¹) a jednoduchá obsluha. Nevýhodou jsou silné otřesy, hluk a částečně přetržitý provoz.

Válcový (stříhový) drtič je vhodný pro drcení středně tvrdého až křehkého materiálu. Tím, že doba průchodu materiálu zařízením je velmi krátká, je drtič vhodný i pro materiály citlivé na teplo. Drtič je vybaven dvěma protiběžnými válci o rozdílných otáčkách. Materiál vstupuje horní částí do pracovní komory, kde je za působení tlaku mezi dvěma válci stříhán (roztírán). Velikost částic po drcení je dána šířkou štěrbiny mezi pracovními válci, průměrem, otáčkami a řešením povrchu válců (hladký, rýhovaný). Válcové drtiče dosahují výkonů pohybujících se v rozmezí desítek až stovek tun za hodinu v závislosti na tvrdosti drceného materiálu.

Kladivový drtič je určen pro drcení středně tvrdého, houževnatého materiálu. V pracovní komoře drtiče je umístěno rotující kladivo. Materiál je volně sypán na rychle rotující kladivo a za pomoci nárazů o kladivo, stěny pracovní komory a nárazy částic mezi sebou je rozměňován. Velikost částic rozdrceného materiálu je dána rychlostí rotace rotoru kladiva. Čím se kladivo otáčí rychleji, tím je materiál drcen na jemnější částice. Ve spodní části pracovní komory je instalováno síto nebo rošt, které zajišťuje hrubé předtřídní drceného materiálu. [18]



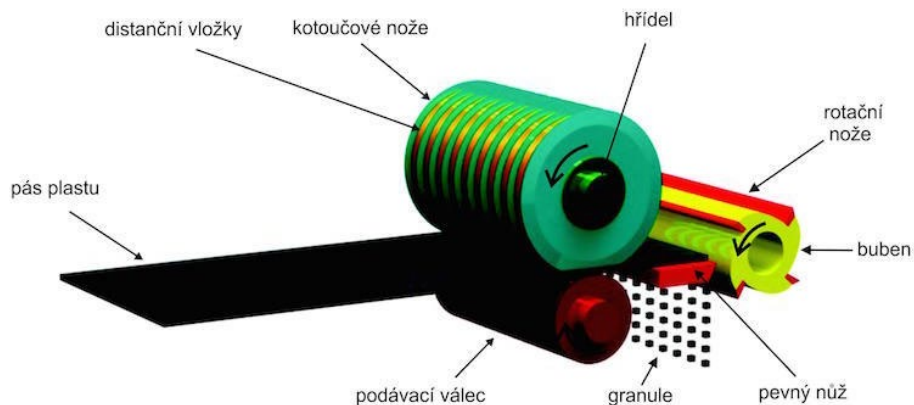
Obr. 15 Zleva čelist'ový drtič, válcový(stříhový) drtič, kladivový drtič [13o]

5.2 Technologie granulace

Pro samotný proces zpracování je třeba plast zformovat do požadovaného tvaru, např. na granule, pasty, premixy, kapaliny, rozemleté plasty (recykláty).

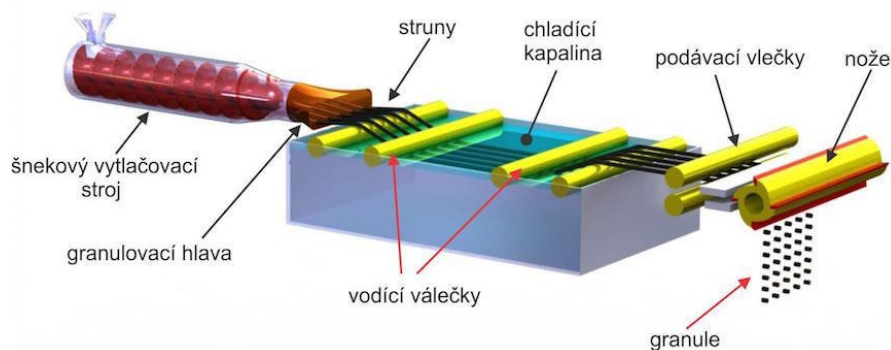
Pro svou dobrou sypanou hmotnost, mísitelnost s jinými materiály a snadné dávkování jsou granule jedním z nejpoužívanějších tvarů pro technologické procesy. Mohou mít tvar krychle, čoček, válečků atd. Technologie granulace plastů se provádí za studena i za tepla buď z pásu nebo ze strun. Výběr vhodné technologie závisí především na tekutosti a tvrdosti zpracovávané taveniny a na ekonomii celého procesu.

Princip technologie **granulace z pásu** je založen na rozřezání vstupního polotovaru ve formě desky na proužky, které jsou následně rozsekány na granule. Technologie není vhodná pro tvrdé materiály. Využívá se především pro polyamidy (PA). [17]



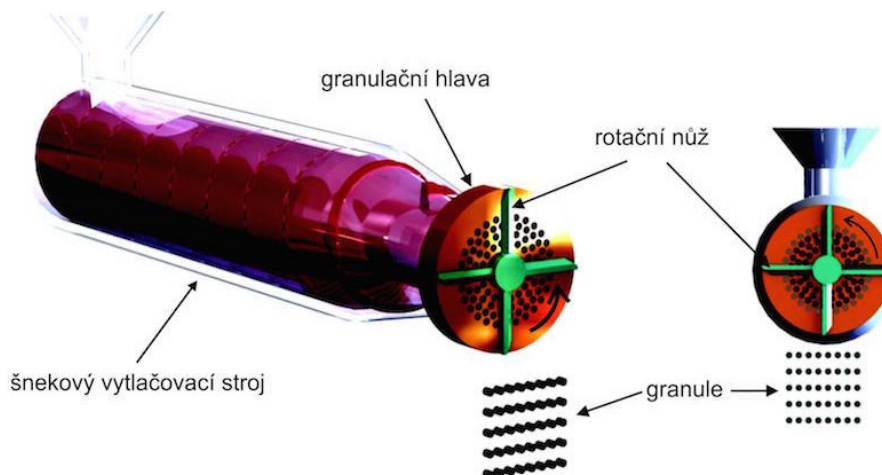
Obr.16 Pásová granulace [14o]

Technologie **granulace ze strun** spočívá ve vytlačování taveniny plastu přes granulační hlavu s jedním nebo více kruhových otvorů. Při **granulaci za studena** je následně vytlačená struna ochlazována v kapalině (nejčastěji voda) a poté sekána na granule. Takto získané granule je třeba v důsledku nasákavosti vysušit. Nevýhodnou granulace za studena je možnost slepení, trhání či lámání struny. [17]



Obr.17 Granulace ze strun za studena [15o]

Při **granulaci za tepla** je vytlačená struna ihned odřezávána za současného účinku vody, anebo s následným chlazením vodní mlhou. Technologie je nevhodná pro příliš tekuté taveniny (s nízkou viskozitou). [17]



Obr.18 Granulace ze strun za tepla [16o]

Technologie granulace ze strun se používá pro většinu termoplastů. Granulace za studena např. pro akrylonitrilbutadienstyreny (ABS) a za tepla pro polypropyleny (PP). [17]

5.3 Technologie recyklace

Odpad, který vzniká během zpracování plastů a kompozitů (výrobky nevhodné kvality, tvaru, rozměru, vlastností), může být dále využit jako vstupní materiál pro technologii zpracování plastů a kompozitů. Proto lze technologii recyklace řadit mezi přípravné technologie. Dle vzniku a vlastností se odpad dělí na technologický a užitný.

Odpad vzniklý při výrobě (vadné výrobky, odstříky, vtokové systémy apod.) se nazývá **technologický odpad**. Tím, že technologický odpad má obdobné vlastnosti, jako má originální polymer, lze jej vrátet zpět do výroby. Je to výhodné jak z ekologického, tak i z ekonomického hlediska.

Plastové díly, které již byly využívány (tříděný odpad ze spotřebního zboží a jiných aplikací) se řadí mezi **užitný odpad**. Jsou to díly, u kterých jsou značné změny vlastností plastů (proces stárnutí) vlivem času, teploty, znečištěním, povrchovými úpravami apod. Lze ho tedy obtížněji recyklovat než odpad technologický. [17]

Plastový odpad využívaný k recyklaci může být pro další zpracování ve formě recyklátu nebo regranulátu, který se dále přidává do výrobního procesu samostatně nebo jako procentuální podíl ke směsi s originálním materiálem. Lze tak ovlivňovat konečné vlastnosti plastových dílů.

Recyklát se skládá z nadrceného či rozemletého plastového odpadu. Velikost částic je možné měnit na základě použité velikosti ok sít. Nevýhodou je, že okem síta propadnou i menší částice čímž dochází k nerovnoměrným velikostem částic

vstupujících do procesu. Výhodou recyklátu je, že nedochází k tepelnému a smykovému namáhání. [17]



Obr.19 Recyklát – flaky [17o]

Regranulát je nadrcený nebo rozemletý plastový odpad, který byl následně granulován a případně během procesu granulace upravený přísadami (stabilizátory, plniva, maziva, barviva apod.) pro zlepšení užitných a zpracovatelských vlastností. Výhodou regranulátu je totožná velikost vstupních částic. Nevýhodou je však vystavení polymeru dalšímu teplotnímu namáhání, čímž může dojít k jeho degradaci. [17]



Obr.20 Regranulát [18o]

5.4 Doprava materiálu

Plast se do výrobních závodů pro další zpracování dodává buď v pytlích nebo v cisternách. V malých provozech se pro skladování plastů většinou používají pytle, u velkých podniků se v důsledku velké spotřeby používají venkovní sila. Sila jsou vhodná pro všechny typy a druhy plastů. Proti vniknutí cizích předmětů jsou na vstupu sil umístěna síta.

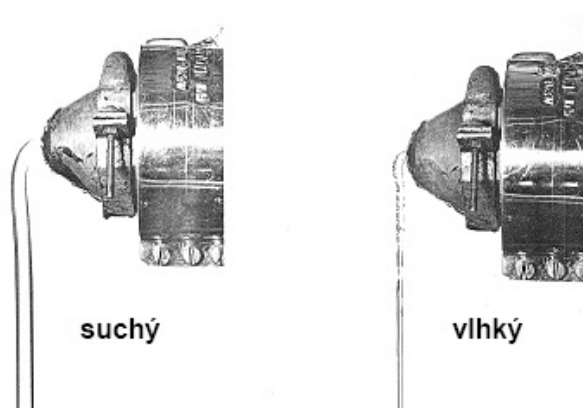
Volba dopravního zařízení závisí na typu a množství materiálu, dopravní vzdálenosti a dalších požadavcích na úpravu granulátu (sušení, barvení apod.). Z

centrálních skladů je polymer pneumaticky (podtlakově, přetlakově) dodáván přímo ke strojům nebo do sušáren. K pneumatické dopravě se používají tlakové či vakuové systémy, nebo jejich kombinace. Mezi základní prvky dopravního systému patří potrubí, systém rozvodu materiálu, generátor podtlaku, bezpečnostní filtry, odlučovače a řídicí jednotky.

Granulát je následně do násypky přístroje dávkován objemově (kapalné přísady) nebo hmotnostně. [17]

5.5 Sušení

Sušení je technologický proces, který slouží ke snížení obsahu absorbované vlhkosti. Přebytečná vlhkost ve formě vodních par se při odstřiku taveniny plastu projevuje bublinkami a struna má menší průměr. Vlhkost se projevuje i na zhoršení kvality povrchu výrobku, např. šmouhy, bublinky, nebo může dojít k chemické reakci, která zapříčiní pokles mechanických vlastností plastu.



Obr.21 Vliv vlhkosti v tavenině plastu při odstřiku [19o]

Sušení granulátu probíhá v samostatných sušících zařízeních (teplota od 70 do 120 °C, nízký parciální tlak vodních par), nebo v plastikačních jednotkách strojů, které jsou vybaveny odplyněním (teplota 190 až 350 °C, vysoký parciální tlak vodních par). U sušení plastů je nutné dbát na doporučené teploty a dobu sušení. Při nedodržení podmínek by mohlo dojít k tzv. termooxidačnímu stárnutí polymeru, které se projevuje změnou barvy, ztrátou lesku či změnou vlastnosti plastu. [17]

Tab.2 Rozdělení plastů dle obsahu vlhkosti [17]

SKUPINA PLASTŮ	PŘÍKLADY PLASTŮ	OBSAH VLHKOSTI
nenavlhavé	PE, PP, PS	méně než 0,1 %
málo navlhavé	ABS, PC	0,1 až 0,5 %
středně navlhavé	PMMA, PVC, POM, PA11	0,5 až 2 %
silně navlhavé	PA6, PA66, PUR	více než 2 %

6 Technologie na zpracování plastů

V současné době existuje mnoho způsobů, jak lze plasty a kompozity zpracovat. Výběr technologického a výrobního postupu je závislý od mnoha faktorů, např. zpracovatelských vlastnostech plastu, tvaru a funkci výrobku či na ekonomických aspektech celého procesu. Technologie zpracování je důležitou částí celého procesu výroby, neboť značně ovlivňuje kvalitu i cenu výrobku a produktivitu výroby. Podle konečného výrobku lze technologie zpracování plastů a kompozitů rozdělit do následujících skupin, které mohou být aplikovány samostatně nebo mohou být navzájem provázané.

Tvářecí technologie mají za cíl přeměnu tvaru výchozího polymerního materiálu (granulátu, pasty, prášku apod.) na tvar konečného výrobku nebo polotovaru. Tváření se provádí za působení teploty nebo tlaku či obou vlivů současně, aniž by došlo k nepříznivému ovlivnění užitných a konečných vlastností produktu. Patří sem například technologie lisování, vytlačování, vstřikování, laminování apod.

V případě **tvarovacích technologií** je výchozím prvkem polotovar. Při tvarování se může i nemusí využívat vlivu teploty a tlaku. Patří sem vyfukování, ohýbání, obrábění, spojování atd.

Doplňkové technologie slouží k úpravě vlastností polymeru před zahájením procesu zpracování (míchání, sušení, granulace, recyklace atd.) nebo pro vylepšení konečných výrobků (natírání, lakování, potiskování atd.).

U každé výše zmíněné technologie zpracování plastů a kompozitů lze popsat tři vzájemně navazující kroky: příprava a úprava, proces zpracování a dokončovací operace. [17]

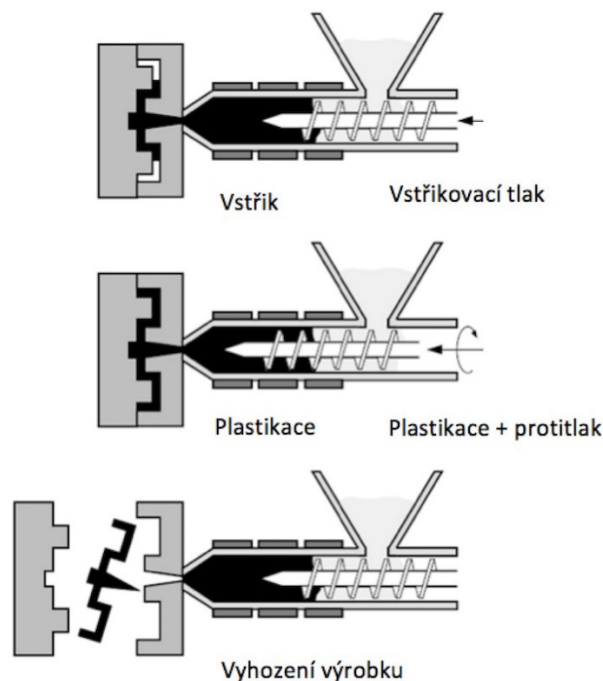
6.1 Technologie vstřikování

Pro svou variabilitu je zpracování reaktoplastů i termoplastů metodou vstřikování jednou z nejpoužívanějších. Vstřikováním je možné vyrábět součásti i výrobky velmi členitých tvarů a velikostí pro spotřební průmysl, domácnost či automobilový průmysl.

Základem této technologie je vstřikovací forma, která má podobný tvar finálnímu výrobku, a vstřikovací lis (nejčastěji šnekový). Vstřikovací formy se konstruují jednonásobné (vhodné pro přesné výlisky), nebo vícenásobné.

Proces vstřikování začíná upevněním vstřikovací formy na vstřikovací stroj. Forma se nechá vytemperovat na provozní teplotu a mezitím se v plastikační jednotce připraví dostatečné množství taveniny. Dále je třeba formu uzavřít. To se provádí přisunutím pohyblivé části formy k nepohyblivé a následným stlačením uzavírací silou. K takto připravené formě se přisune na vtokovou vložku tryska plastikační jednotky a tavenina se axiálním pohybem šneku vstřikuje do dutiny formy. Tavenina dutinu zaplní a zaujme její tvar. Pro zmírnění tvorby povrchových vad a rozměrových změn se do nezchladlých míst výrobku doplňuje tekutý materiál, tzv. fáze dotlaku. Po skončení dotlaku nastává tzv. plastikace. Je to proces, při kterém se tavenina plastu připravuje na další vstřikovací cyklus. Pohybem šneku se granulovaný plast taví a přesouvá od násypky

vstřikovacího stroje směrem k trysce. Poté dochází k ochlazování plastu ve formě, dokud plast nezatuhne ve finální výrobek. Nakonec se forma podél dělicí roviny otevře a výrobek z ní vypadne nebo je vysunut. [17][20]



Obr.22 Technologie vstřikování [20o][19o]

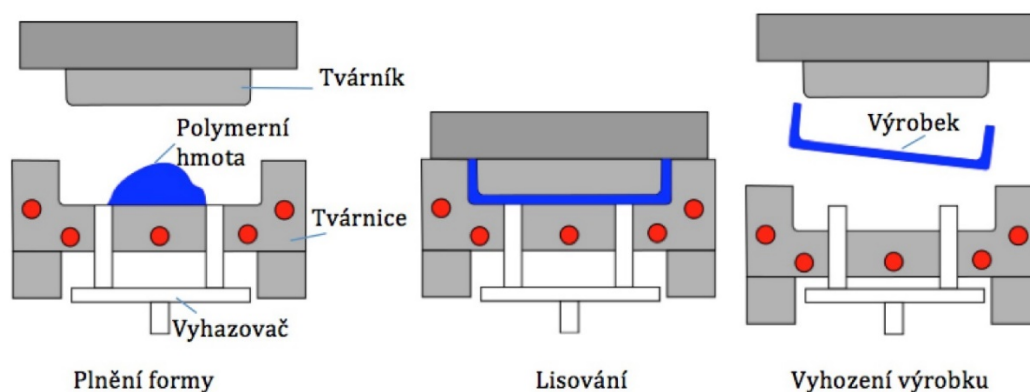
6.2 Technologie vytlačování

Technologie vytlačování neboli extruze má široké využití v oblasti výroby polotovarů. Vytlačováním se vyrábí polotovary různých typů, např. desky, profily, trubky, duté i plné tyče, okenní profily či dráty.

Proces vytlačování se uskutečňuje na tzv. extrudérech. Extrudér je rozdělen do tří částí: plnicí (vstupní) část, plastikační (kompresní) zóna a vytlačovací (výstupní) zóna. Na začátku první zóny se nachází násypka. Do násypky se přivádí zpracovávaný granulát. Plastikační zóna je sestavena z plastikační komory ve které se nachází otáčející se šnek. Šnek dopravuje surovinu od násypky k vytlačovací hlavě, která je umístěna na konci vytlačovací části. Při průchodu válcem je materiál promícháván, homogenizován a temperován na požadovanou teplotu. Válec je rozdělen minimálně do tří segmentů, kde je teplota samostatně regulována. Za vytlačovací hlavou je polotovar povrchově ochlazován, např. vodní mlhou, a v kalibračním zařízení upravován na přesné povrchové rozměry. Následně se ochlazuje ve vodní lázni a upravuje dle dalších požadavků (řezání na transportní délky, navíjení do kotoučů, balení). [19]

6.4 Lisování

Lisování je technologie, která se využívá pro výrobu desek z reaktoplastů i termoplastů. Technologie lisování spočívá ve vložení materiálu ve formě granulí, prášku nebo drti do vyhřívané formy, která má negativní tvar výrobku, a následném vyvolání tlaku horním dílem formy a jejím uzavření. Při uzavírání dochází k plastifikaci hmoty a tím k vyplnění celé tvarové dutiny. V případě reaktoplastů poté dojde k ohřátí na teplotu tvrzení a u termoplastů na teplotu blízkou oblasti měknutí. Po zalisování a následném chlazení do tuhého stavu se tvar hmoty zafixuje a forma se otevře. Výsledný výrobek se vysune a vyjme z lisu. [19]

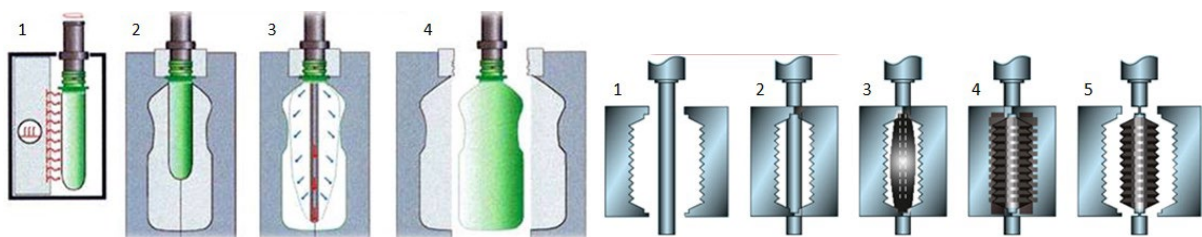


Obr.25 Technologie lisování [23o]

Vlastnosti výsledného produktu lze ovlivnit materiálovým složením jednotlivých vrstev. Ke zpevnění se využívají např. skelná vata či uhlíková vlákna. Výhodou lisování je možnost recyklace vytríděných PET lahví nebo tetrapak obalů. Desky z čistého materiálu se vyhotovují méně často. [19]

6.5 Vyfukování

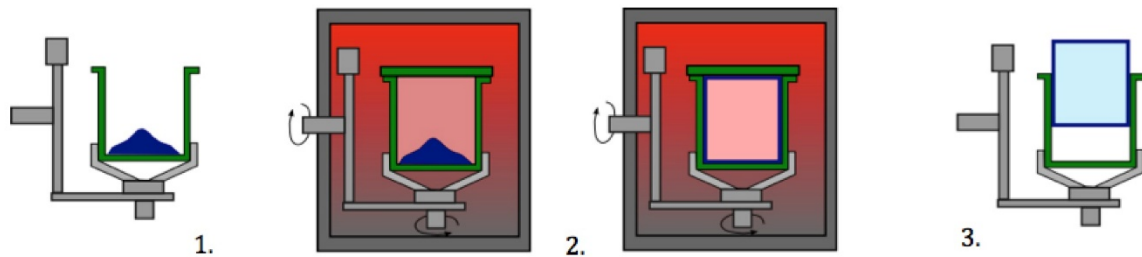
Technologií vyfukování se vyrábí dutá tělesa, např. lahve, barely, sudy, kanystry, nádrže. Principem vyfukování je tvarování polotovarů (preforem) ve formě za pomoci tlaku a vzduchu. Podle typu výroby preformy se dělí vyfukování na vstřikovací a vytlačovací. Při **vstřikovacím vyfukování** se preforma ohřeje a za pomoci stlačeného vzduchu se rozfoukne ve formě. Při **vytlačovacím vyfukování** se používá polotovar ve formě trubky, tzv. parison. Ze svisle polohované hlavy extruderu se vytlačuje polotovar, který je následně při dosažení dostatečné délky odříznut od vytlačovaného profilu. Poté je tvarován stlačeným vzduchem, ochlazován, a nakonec odebrán z vyfukovací formy. [20]



Obr.26 Technologie vyfukování (vlevo vstřikovací, vpravo vytlačovací) [24o][25o]

6.6 Rotační natavování

Rotační natavování neboli rotomolding je technologie, kterou lze vyrábět dutá tělesa. Princip technologie spočívá ve vložení suroviny ve formě prášku, granulí či kapaliny do formy, která se v peci zahřívá a zároveň otáčí okolo dvou os tak, aby se zkapalněný plast usadil na stěnách formy. Poté je forma ochlazená, otevřena a hotový díl vyjmut. Výhodou této technologie je možnost vytvoření dílů velkých rozměrů a složitých tvarů. Finální výrobky mohou být však velmi rozměrově nepřesné. [19]



Obr.27 Technologie rotačního natavování [26o]

7 Rozbory odpadů v praxi se zaměřením na plasty

Jedním z cílů předkládané diplomové práce bylo praktické provedení terénních rozborů se zaměřením na separovaný plastový odpad. Následující část práce je zaměřena na činnosti předcházející rozborům, samotnou realizaci rozborů a následné vyhodnocení výsledků. Pro účely rozborů byla využita certifikovaná metodika z projektu TIRSMZP719.

Vybrané pojmy používané v textu a jejich význam pro potřeby rozborů: [12]

Frakce odpadu – množina věcí shodných nebo srovnatelných materiálových nebo velikostních charakteristik přítomných v odpadu, které lze na základě stanovených znaků rozlišit.

Reprezentativní vzorek – obsah nádoby určené k soustředování odpadu o obsahu 1 100 l (cca 1 m³).

7.1 Přípravné činnosti

V rámci přípravných činností bylo třeba stanovit cíle vzorkování, určit velikost a počet vzorků a zajistit vhodný výběr a odběr vzorku. [12]

Prezentované výsledky v této práci byly zaměřeny na rozbory realizované v obci, která má necelé 2 000 obyvatel. Primárním cílem rozborů bylo určit hmotnostní procento zastoupení jednotlivých frakcí vyskytujících se v separovaném plastovém odpadu dle navrženého třídícího modulu z projektu TIRMSZP719. Bylo nutné, aby odebrané vzorky pokrývaly produkci odpadu nejméně za dobu jednoho týdne. K analýze byly připraveny dva reprezentativní vzorky.

7.2 Zařízení a pomůcky

Pro správný průběh rozboru, zaznamenání výsledků a bezpečnost vzorkařského týmu bylo třeba zajistit potřebné pomůcky: [12]

Osobní ochranné pracovní prostředky (OOPP) – pomůcky zajištění bezpečnosti vzorkovacího týmu při provádění analýz a manipulaci s odpadem. Doporučeny jsou zejména pracovní rukavice odolné tekutinám a proříznutí ostrým předmětem, vhodné pracovní oblečení, jednorázový pracovní overal, pracovní obuv, respirátor se stupněm ochrany FFP2, ochranné brýle, desinfekce.

V rámci praktického ověření jsou důležité zejména následující OOPP:

- pracovní rukavice, pracovní oblečení a obuv, respirátor FFP2, ochranné brýle a desinfekce.



Obr.28 Osobní ochranné pracovní prostředky při rozboru odpadu [27o]

Vzorkovnice – stavební vědra, kbelíky, maltníky pro soustředování roztríděných frakcí odpadu. Pro realizaci rozborů SEP-PLA jsou doporučeny vzorkovnice o objemu 20 l a maltníky o objemu 80-100 l. Výhodou těchto vzorkovnic je váha, objem a odolnost.



Obr.29 Vzorkovnice [28o][29o]

Síto – vhodná jsou stolní síta tvořena svařovanými ocelovými pruty o velikosti ok 40x40 mm. Jedná se o vytvořená síta dle standardně dostupných výrobků. Síto slouží v tomto okamžiku jako pracovní stůl, aby vzorkaři pracovali ve vzpřímené poloze.



Obr.30 Síto [30o][31o]

Podstavec pro stolní síto – jako podstavec byly využity běžně dostupné kovové podstavce na řezání, do kterých bylo na míru vyrobeno síto.



Obr.31 Podstavec pod síto [32o]

Váha – jakékoliv vážící zařízení s přesností v řádu 0,01 kg (10 g). Cíleno je na technologické váhy s velkou vážící plochou. To platí zejména pro SKO. V případě SEP-PLA lze využít jakoukoli technologickou váhu, která má rozměr vážící desky alespoň 25x25 cm pro možné umístění vzorkovnic. Přesnost je závislá na stanovených cílech zkoušení/vzorkování.



Obr.32 Váha [33o]

7.3 Sledované frakce

Sledovaným údajem byla hmotnost frakcí dle třídícího modulu z projektu TIRMSZP719 a se zaměřením na plasty, kompozitní a nápojový karton a případné příměsi obsažené ve vzorcích. Charakteristickým znakem k rozlišení jednotlivých frakcí byla materiálová podstata každé věci, případně původní určení věci, než se stala odpadem.

Třídění vzorku bylo provedeno podle III. úrovně tabulky 3.

Tab.3 Sledované frakce SEP-PLA

I. úroveň	II. úroveň	III. úroveň
Plasty	obalový	fólie
		tvrdé plasty
		PET čirý
		PET barevný
		PS
	neobalový	

Kompozitní a nápojové kartony	tetrapacky	
	ostatní	
Příměs		

Plast obalový – všechny věci z plastu, které jsou nebo mohou být potenciálně obalem.

- **Fólie** – všechny druhy fólií i ty, které nejsou uváděny na trh nebo do oběhu jako obaly (primární účel). Odnosné tašky, pytle na odpadky, fólie tvořící misky od cukrářských a uzenářských výrobků a jejich krytí spojené s miskami tavným spojem, obaly od brambůrků a jiných potravin, jsou-li průhledné nebo při pohledu z vnitřní a vnější strany stejné (bez viditelného povlakování lesklým kovem např. hliníkem). Většinou se jedná o materiál LDPE.
- **Tvrdé plasty** – obaly od drogistického zboží, kosmetických a pracích přípravků. Kelímky, dózy, kontejnery na potraviny, obaly od jogurtů, plastové zátky a víčka, úložné krabice z plastů. Většinou se jedná o materiál HDPE.
- **PET (polyethylentereftalát) čirý** – čiré obaly od nápojů a jiných kapalin, bez zřetelné přítomnosti náplně.
- **PET (polyethylentereftalát) barevný** – barevné obaly od nápojů a jiných kapalin, bez zřetelné přítomnosti náplně.
- **PS (polystyren)** – všechny druhy polystyrenových obalů. Ochranné tvarovky elektroniky, jednorázové obaly od jídla, nápojové termo kelímky.

Plast neobalový – typicky plastové výrobky na jedno použití nebo poškozené na opakované použití (např. hračky, přístroje, plastové tácky, odměrky apod.).

Kompozitní a nápojové kartony – obaly z neoddělitelných vrstev z různých materiálů.

- **Nápojové kartony (tetrapacky)** – např. krabice od mléka, ovocných šťáv a jiných nápojů.
- **Ostatní** – všechny ostatní vícesložkové obaly. Kapsle od kávovarů, pytlíky od pečiva s průhlednou fólií, obaly od brambůrků a jiných potravin s rozdílným vnitřním a vnějším vzhledem (s viditelnou vnitřní kovovou vrstvou).

Příměs – vše ostatní, co do kontejneru na SEP-PLA nepatří. Útržky papíru, textil, sklo, bioodpad, elektronika atd. [12]

7.4 Postup rozboru vzorku

Třídění odpadu probíhalo na dřevěném síti. Nejdříve se zvažila jedna prázdná vzorkovnice od každého druhu (ověření hmotnosti jednotlivých vzorkovnic). Poté se okolo síti rozstavily vzorkovnice, do kterých byly jednotlivé frakce tříděny podle stanovených kategorií dané úrovně. K delším stranám síti se postavili dva vzorkaři a každý si určil, jakou frakci bude třídít do vzorkovnice ve svém okolí. Odpad byl po částech vysypáván na pracovní plochu síti, kde docházelo k manuálnímu třídění. Po

roztřídění na jednotlivé frakce byly vzorkovnice zváženy, vyfotografovány a hmotnost zapsána do terénního záznamového listu.

Následně vytříděné tvrdé obalové plasty byly popsány podrobněji: typ obalu, značka, gramáž/objem, hmotnost, recyklační ID a jednotlivé kusy detailně vyfotografovány.

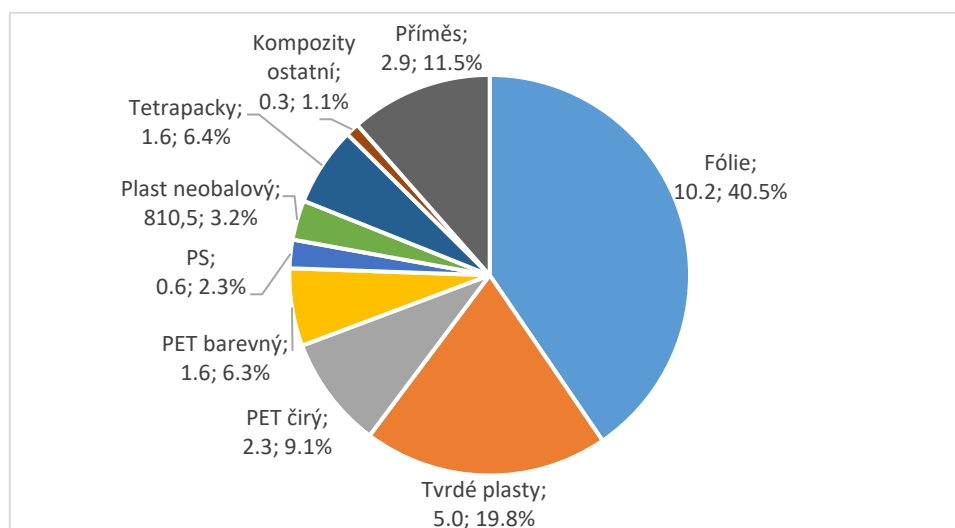
7.5 Výsledky rozboru

V tabulce 4 je shrnuto hmotností zastoupení sledovaných frakcí v daných vzorcích, celková hmotnost jednotlivých frakcí v rámci celého rozboru a průměrná hmotnost každé frakce v jednom vzorku.

Tab.4 Data z analýzy separovaného plastového odpadu

I. úroveň	II. úroveň	III. úroveň	Vzorek 1 Váha [g]	Vzorek 2 Váha [g]	Celková hmotnost [kg]	Průměrná hmotnost [kg]
Plasty	obalový	fólie	6 145	14 320	20,5	10,2
		tvrdé plasty	6 087	3 909	10,0	5,0
		PET čirý	671	3 908	4,6	2,3
		PET barevný	1 900	1 270	3,2	1,6
		PS	1 075	87	1,2	0,6
	neobalový		1 375	246	1,6	0,8
Kompozitní a nápojové kartony	tetrapack		1 771	1 449	3,2	1,6
	ostatní		396	153	0,5	0,3
Příměs			4 573	1 237	5,8	2,9
Celkem			23 993	26 579	50,6	25,3

Následující graf ukazuje průměrné hmotnostní zastoupení sledovaných frakcí v analyzovaných vzorcích.



Obr.33 Průměrné zastoupení frakcí ve vzorku – SEP-PLA (kg; % hm.)

Z grafu je patrné, že v analyzovaných vzorcích se nejčastěji vyskytovaly obalové fólie. Převážně šlo o sáčky a fólie od potravin. Rozbory probíhaly na jaře, což se projevilo i

na složení této frakce. Velkou část analyzované frakce tvořily pytle od substrátů na květiny, mulčovací kůry a zahradní fólie.



Obr.34 Ukázka analyzované frakce – fólie

Druhým nejčastěji zastoupeným typem plastového odpadu byly tvrdé plasty. Převládaly vaničky od ovoce a masa, blistry od masných a mléčných výrobků či kelímky od jogurtů. Značný podíl tvořily obaly od drogistických produktů, např. tekuté prací prostředky, šampóny, mýdla nebo krémy.



Obr.35 Ukázka analyzované frakce – tvrdé plasty

Necelých 12 % z celkové hmotnosti obou vzorků tvořily příměsi materiálů, které do tříděného plastu nepatří. Jednalo se o hliníkové plechovky, směs papíru, textilu a odpadu ze zahrady (hlína, větve apod.).



Obr.36 Ukázka analyzované frakce – příměš

PET lahve se z větší části vyskytovaly v čirém provedení. Barevné PET lahve převládaly v zelené nebo modré barvě. Výjimečně se objevily i v červené, žluté nebo oranžové barvě.



Obr.37 Ukázka analyzované frakce – PET lahve

Obalový polystyren byl zastoupen hlavně v podobě ochranných tvarovek na elektroniku.



Obr.38 Ukázka analyzované frakce – Polystyren

Neobalový plast se vyskytoval ve formě rohožek, trubek, košíků a ramínek na oblečení.



Obr.39 Ukázka analyzované frakce – Neobalový plast

Kompozitní obaly byly zastoupeny hlavně sáčky od potravin s vnitřní hliníkovou fólií a blistry od léků. Nápojové kartony (tetrapack) byly převážně od mléka a ovocných nápojů.



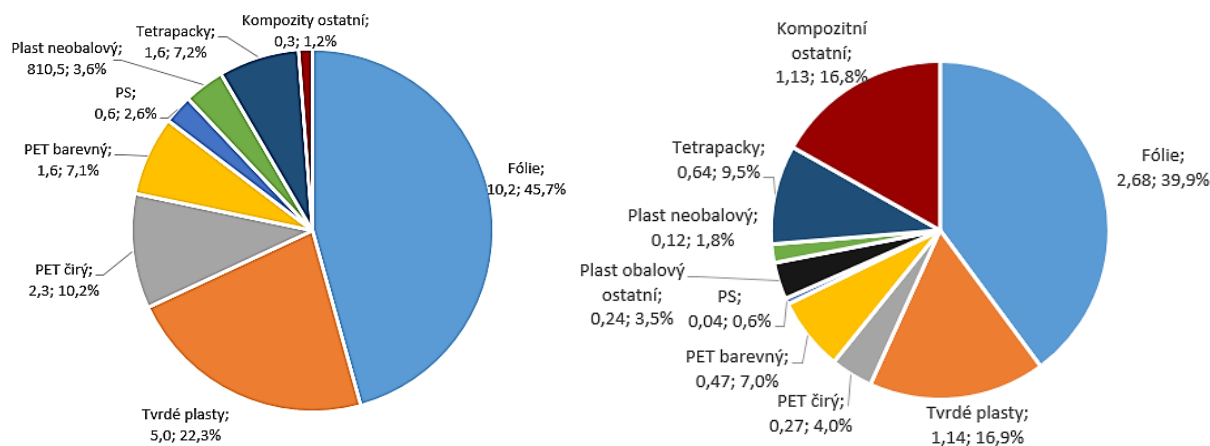
Obr.40 Ukázka analyzované frakce – Kompozitní a nápojové kartony

7.5.1 Porovnání SKO a SEP-PLA

Následující část práce je zaměřena na porovnání výsledků z analýzy SEP-PLA a SKO. Pro porovnání průměrného zastoupení plastového odpadu byly využity výsledky analýzy z rozborů SEP-PLA popsanych v této předkládané práci a výsledky analýzy SKO z projektu TIRSMZP719 realizovaných ve stejné obci.

Lze předpokládat, že v SEP-PLA bude větší výskyt PET (čirého i barevného) a v SKO by se mělo vyskytovat více kompozitních obalů ostatních. Ostatní druhy plastového odpadu by mohly být zastoupeny ve stejném poměru v SEP-PLA i SKO.

Následující grafy ukazují průměrné hmotnostní zastoupení sledovaných frakcí (bez příměsí) v analyzovaných vzorcích SEP-PLA (vlevo) a SKO (vpravo).



Obr. 41 Průměrné zastoupení frakcí ve vzorku – SEP-PLA (kg; % hm.) vlevo a SKO (g; % hm.) vpravo

Z grafů je zřejmé, že v obou případech jsou nejvíce zastoupeným plastovým odpadem fólie. Jak bylo předpokládáno největší rozdíl je v zastoupení kompozitních obalů ostatních (např. blistry od léků, fólie od potravin s vnitřním hliníkovým potahem apod.), které jsou ve větším množství obsaženy v SKO. Předpoklad týkající se PET se také naplnil, nicméně byl očekáván větší rozdíl (menší zastoupení PET v SKO). V SKO se na rozdíl od SEP-PLA vyskytly i plasty obalové ostatní mezi které patří plastové obaly, které nelze přiřadit k některé z ostatních skupin, např. vázací pásy z PP.

Z výsledků lze usoudit, že předpoklady byly naplněny a v SKO se nachází jednotlivé druhy plastového odpadu v podobném poměru jako v SEP-PLA akorát v menším hmotnostním zastoupení.

7.5.2 Rozlišitelnost výrobků/obalů vůči materiálu

Přesné stanovení druhu polymeru není jednoduchý proces, zejména vzhledem k různým typům polymerních směsí a aditiv. V druhé části rozborů probíhala podrobnější analýza frakce tvrdých plastů vzorku odpadu. Pozornost byla zaměřena především na bližší popis jednotlivých obalů. Cílem bylo zjistit, jak moc je složité od sebe rozlišit jednotlivé druhy plastů z nichž jsou obaly vyrobeny. Pro upřesnění je třeba zmínit, že za jednodruhový plastový obal lze považovat pouze obal obsahující plast alespoň z 95 % celkové hmotnosti obalu. [2]

Ne každý obal bylo možné podrobně popsat. Mnoho obalů bylo již bez etikety, nebylo tedy možné odlišit k čemu daný obal sloužil či od jakého výrobce přesně pocházel. Pro následující analýzu byly tedy vybrány pouze obaly, u kterých bylo možné jednoznačně určit následující kategorie: typ obalu či značka, gramáž původního obsahu a piktogram (zda se na obalu vyskytuje, pokud ano, o jaký druh plastu se jedná – 1 PET, 2 HDPE, 3 PVC, 4 LDPE, 5 PP, 6 PS, 7 ostatní plasty, C kompozit).

Následující tabulka shrnuje detailnější popis tvrdých plastů se zaměřením na obaly od ovoce a zeleniny.

Tab.5 Analýza tvrdých plastových obalů – ovoce a zelenina

Typ obalu	Gramáž/objem	Jednotka	Hmotnost [g]	Recyklační ID	
Ovoce a zelenina	borůvky	300	g	10	R-PET
		250	g	7	R-PET
		125	g	18	R-PET
		125	g	7	R-PET
	hrozny	500	g	20	R-PET
		500	g	20	R-PET
		500	g	19	R-PET
		500	g	21	PET
		500	g	18	R-PET
		500	g	18	R-PET
		500	g	21	R-PET
	jahody	500	g	10	PP
		500	g	19	R-PET
		500	g	15	neuveдено
	hlíva	300	g	20	R-PET
	rajčata	250	g	7	R-PET
maliny	125	g	8	R-PET	

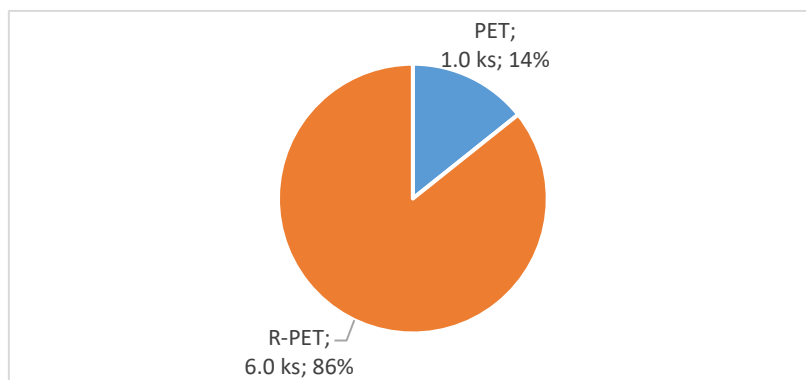
Z výsledků je zřejmé, že vaničky na ovoce a zeleninu bývají nejčastěji z PET nebo z recyklovaného PET (R-PET). V jednom případě byl obal z PP. Z následujících fotografií je patrné, že odlišit od sebe PET a recyklovaný PET na pohled nelze. Rozlišení je možné až při bližším ohledání na základě piktogramu. Se zaměřením na vaničky na ovoce a zeleninu polypropylen se zdá být na rozdíl od PET méně čirý.





Obr.42 Obaly z tvrdého plastu – ovoce a zelenina

Následující graf zobrazuje zastoupení jednotlivých druhů polymerů se zaměřením na obaly určené na hrozny.



Obr.43 Graf materiálového zastoupení – obaly na hrozny

Z grafu lze usoudit, že se při výrobě vaniček na hrozny více využívá recyklovaného PET, což je pozitivní správou pro budoucí vývoj odpadového hospodářství.

Z tabulky 5 lze vidět, že jsou patrné i rozdíly v hmotnosti obalů, i když jsou ze stejného materiálu a totožné velikosti. Hmotnost obalu na hrozny z R-PET dosahuje hodnot v rozmezí od 18 do 21 g. Příčinou takového rozdílu je zjevné znečištění obalu, viz. Obr. 37.



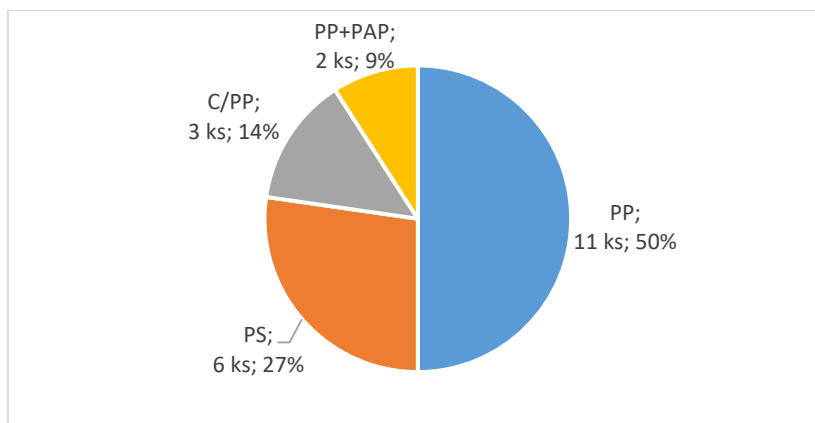
Obr.44 Znečištěný obal na hrozny

V tabulce 6 jsou zaznamenány údaje o tvrdých plastových obalech určených na mléčné výrobky (jogurt, kefir, smetana, tvaroh).

Tab.6 Analýza tvrdých plastových obalů – mléčné výrobky

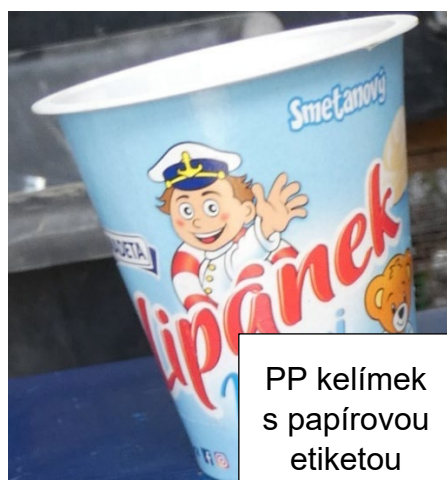
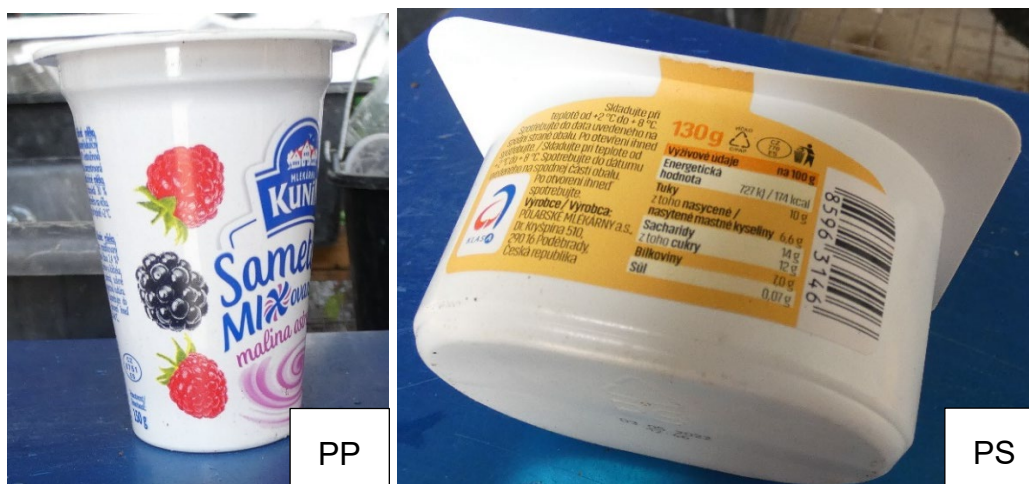
Typ obalu	Značka	Gramáž/objem	Jednotka	Hmotnost [g]	Recyklační ID
Jogurt	Kunín	150	g	7	PP
		150	g	7	PP
		150	g	7	PP
		200	g	8	PP
		200	g	8	PP
	Activia	120	g	4	PS
	Lipánek	130	g	9	PP+PAP
	Tvaroháček	130	g	6	PS
		130	g	6	PS
		130	g	6	PS
	Olma (Florian)	150	g	9	PP
		140	g	12	PP+PAP
	Ranko	140	g	7	PS
		140	g	7	PS
		150	g	8	PP
	Jogobella	150	g	7	C/PP
		150	g	6	C/PP
		150	g	6	C/PP
Krajanka	150	g	5	PP	
Holandia	500	g	18	PP	
	500	g	18	PP	
	500	g	17	PP	
Kefír	Pilos	250	g	10	PP
		250	g	10	PP
		150	g	8	PP
Smetana	Olma	200	ml	8	PP
Tvaroh	Natures Promise	250	g	8	PP
		250	g	8	PP
		250	g	8	PP
		250	g	8	PP

Následující graf zobrazuje zastoupení jednotlivých druhů polymerů se zaměřením na obaly od jogurtů.



Obr.45 Graf materiálového zastoupení – obaly od jogurtů

Je patrné že tvrdé plastové obaly od mléčných výrobků bývají nejčastěji baleny do kelímků z polypropylenu. Méně zastoupeny jsou pak obaly z polystyrenu. Na první pohled je rozeznat nelze. Při bližším prozkoumání polystyrenový obal má více pórovitou strukturu. Kelímek z PP je na povrchu hladší. Piktogram často kromě druhu plastového obalu obsahuje i informaci o materiálu víčka (nejčastěji hliníková) a etikety (papírové či plastové).



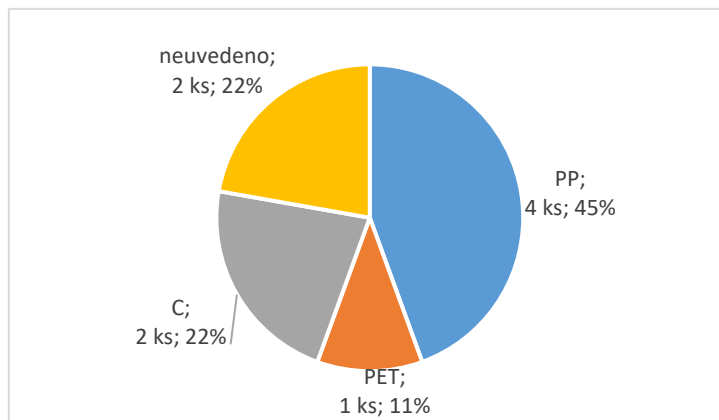
Obr.46 Obaly z tvrdého plastu – mléčné výrobky

Rozdíly v hmotnosti u kelímků nejsou tak velké, pohybují se v rozmezí ± 1 g. Rozdíl může být způsoben zbytkem původního obsahu v kelímku. Další možnou příčinou může být i etiketa. Zda z kelímku byla sundána či nikoliv.

Další kategorií z oblasti potravin jsou tvrdé plasty určené na masné výrobky, podrobnější popis je v následující tabulce.

Tab.7 Analýza tvrdých plastových obalů – masné výrobky

Typ obalu	Gramáž/objem	Jednotka	Hmotnost [g]	Recyklační ID
Maso	750	g	27	PP
	500	g	22	PET
	500	g	23	PP
	500	g	50	PP
Klobásy	500	g	15	PP
Salámy	100	g	8	neuveďeno
	100	g	10	C
	100	g	11	C



Obr.47 Graf materiálového zastoupení – obaly od masných výrobků

Maso nejčastěji bývá v plastových vaničkách. Klobásy a salámy v blistrech. V analyzovaném vzorku byly vaničky z PET a PP. Oba druhy polymeru jsou na pohled totožné. Blistry na salámy byly označeny jako kompozitní nebo jako plasty ostatní. Důvodem je zřejmě využití rozdílných druhů plastů na vrchní krycí fólii a zbytek blistru, nebo přilepená papírová etiketa.





Obr.48 Obaly z tvrdého plastu – masné výrobky

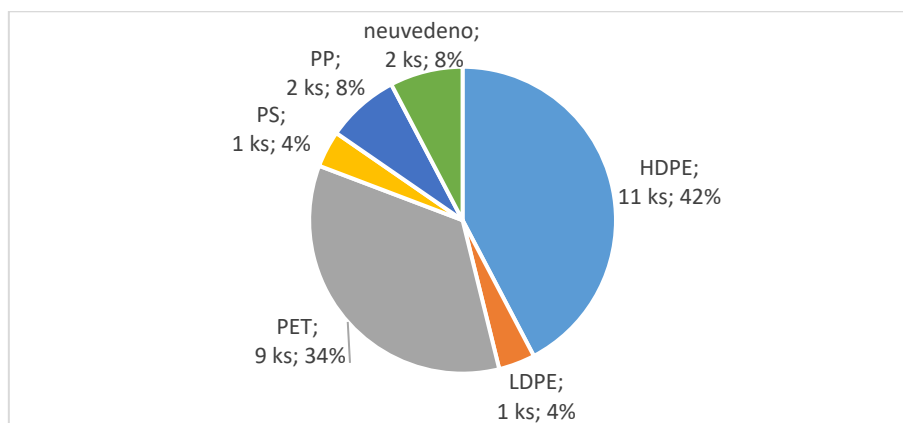
Velké zastoupení v analyzovaném vzorku měly tvrdé plasty využívané jako obaly drogistických výrobků.

Tab.8 Analýza tvrdých plastových obalů – drogistické výrobky

Typ obalu	Značka	Gramáž/objem	Jednotka	Hmotnost [g]	Recyklační ID
Prací prostředek	Der Waschkonig	4,9	l	192	HDPE
	Woolite	2	l	93	HDPE
	Woolite	3,6	l	183	HDPE
	Well Done	1	l	54	PET
Čistící prášek	CIF	500	ml	39	HDPE
Sprchový gel	Balea	300	ml	29	HDPE
	Mitia	400	ml	36	HDPE
	Fa	400	ml	43	PP
Jar	Dr. House	500	ml	46	HDPE
	Somat	750	ml	43	PET
	Jar	430	ml	32	PET
	Jar	900	ml	85	PET
Mýdlo	Balea	500	ml	30	PP + viněta PVC
Make-up	Revolution	100	ml	20	PET
Šampon	Carpathia	350	ml	31	PET
	Dove	250	ml	25	HDPE
	Head and Shoulders	540	ml	59	HDPE
Přípravek na toaletu	Domestos	750	ml	61	HDPE
Sprej na vlasy	Balea	150	ml	28	PET
Sprej na obličej	Ziaja	90	ml	24	PET

Tělové mléko	Balea	200	ml	42	neuveдено
	Balea	200	ml	48	neuveдено
	Onclé	200	ml	67	HDPE
	Nivea	200	ml	49	LDPE
	-	100	ml	41	PS
Ústní voda	Listerin	1	l	73	PET

Následující graf zobrazuje zastoupení jednotlivých druhů polymerů se zaměřením na obaly pro drogistické zboží.



Obr.49 Graf materiálového zastoupení – obaly od drogistického zboží

Je zřejmé, že v této kategorii mají největší zastoupení obaly z HDPE, druhé nejčastější jsou obaly z PET a nejméně jsou zastoupeny obaly z LDPE, PS a PP. Na následující fotografii jde vidět, že obaly vyrobené z PET mohou mít různou podobu, od čiré až po tmavou neprůhlednou.



Obr.50 Obaly z tvrdého plastu – drogistické výrobky z PET

V porovnání s ostatními obaly z jiného druhu polymeru lze usoudit, že jeli obal čirý a ve tvaru lahve, bude se pravděpodobně jednat o obal vyrobený z PET. Obal z PP a

HDPE nelze na pohled od sebe odlišit. Obal vyrobený z LDPE je však oproti obalům z ostatních druhů polymerů měkčí a dá se snadno stlačit.



Obr.51 Obaly z tvrdého plastu – drogistické výrobky

Rozlišitelnost různých druhů polymerů ve frakci tvrdých plastových obalů není jednoduchá. Jednotlivé druhy polymeru jsou si natolik podobné, že rozlišit je na první pohled (vizuálně) je prakticky nemožné. Plasty, které by mohly teoreticky být recyklovatelné, pak končí jako materiálově nevyužitelný odpad.

Další problém tvořila frakce fólií. Při rozborech bylo komplikované na první pohled od sebe rozlišit neprůhledné jednodruhové a kompozitní obalové fólie od potravin jako jsou tatranky či brambůrky. Nejlepším odlišovacím znakem se stala vnitřní strana obalu. Je-li vnitřní strana stříbrná (potáhnuta vrstvou hliníku) jedná se o kompozit, v opačném případě jde o jednodruhovou fólii.

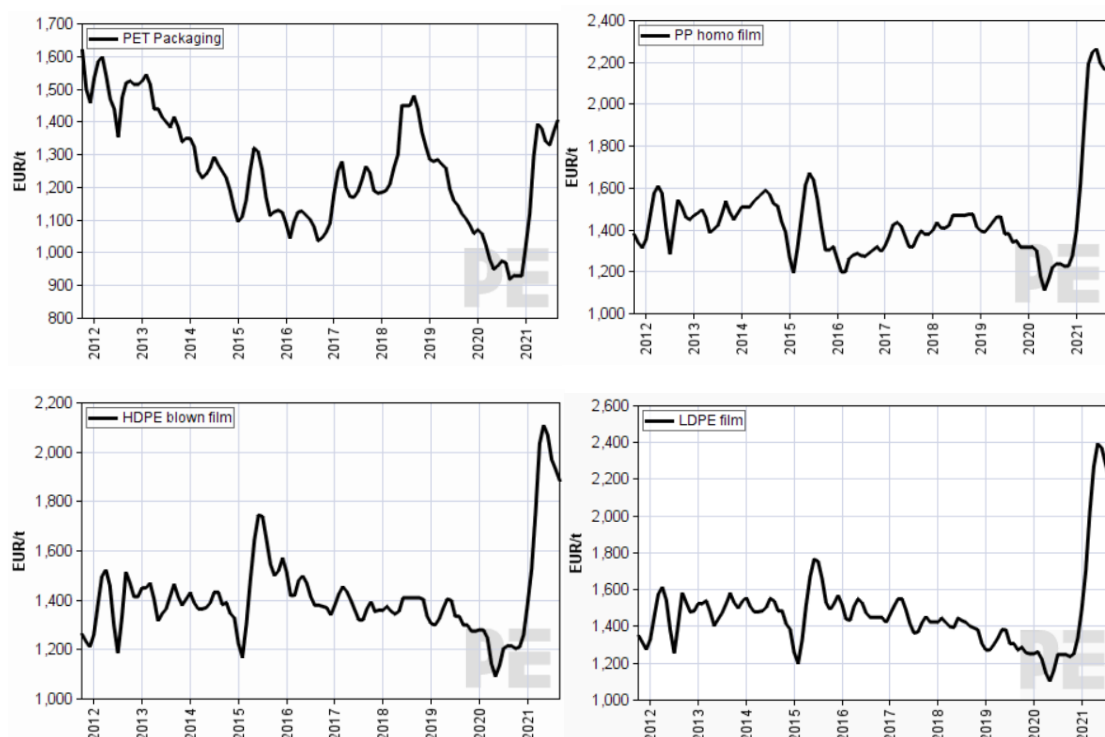


Obr.52 Jednodruhová (nahore) vs. kompozitní (dole) obalová fólie

7.6 Cenová politika plastů v rámci Evropy

Aby byl zajištěn tok peněz (investic a úspor) po celé Evropské Unii (dále jen „EU“), aby z nich měli prospěch spotřebitelé, investoři a společnosti bez ohledu na to, kde se nacházejí, EU vytváří evropský jednotný trh. Evropský jednotný trh zahrnuje 27 členských států EU a členy Evropského sdružení volného obchodu (Island, Lichtenštejnsko a Norsko). Několik dalších zemí má k evropskému trhu částečný přístup např. Švýcarsko, Ukrajina a Gruzie. [21]

Následující grafy ukazují vývoj tržní ceny jednotlivých druhů polymerů (PET, PP, HDPE, LDPE) za posledních deset let. Údaje o vývoji tržních cen plastů jsou převzaty z webové stránky Plastics Information Europe².



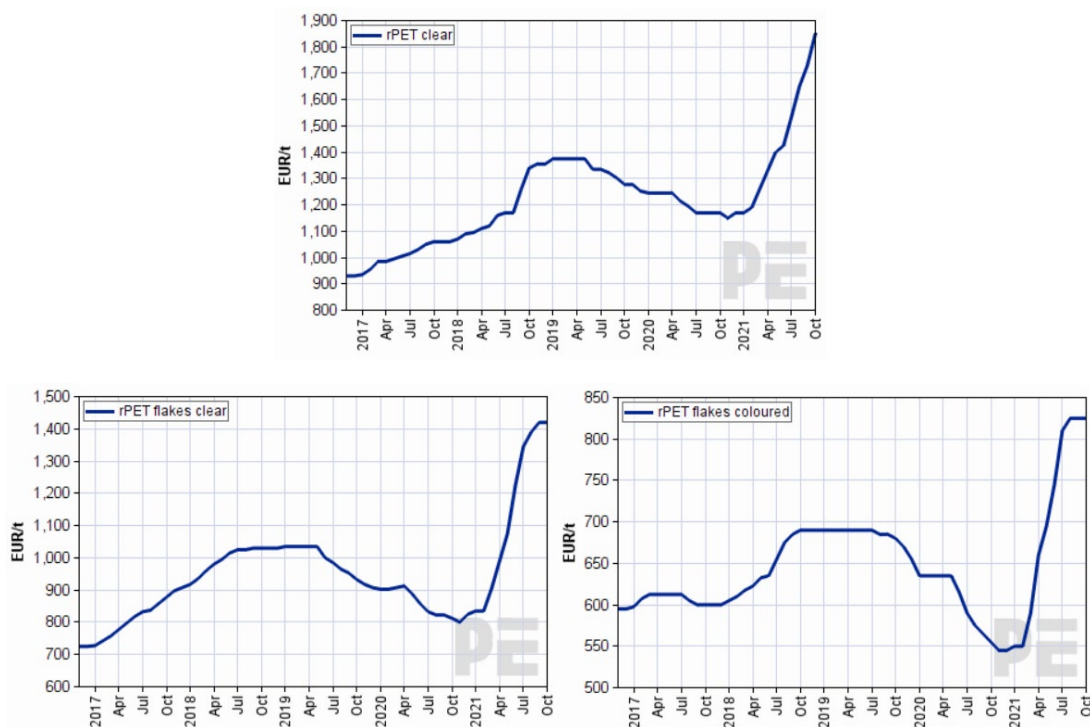
Obr.53 Grafy vývoje tržní ceny plastů v EU – PET, PP, HDPE, LDPE

Tržní ceny plastů jsou velmi kolísavé. Ceny materiálů na výrobu plastů od ledna 2021 po celé Evropě radikálně vzrostly. Podle Evropské asociace zpracovatelů plastů (EuPC) bylo příčin hned několik. V důsledku COVID-19 klesla výroba v chemickém průmyslu, byla výrazně omezena doprava materiálu zapříčiněna nedostatkem tankerů a kontejnerů a po hurikánech v USA klesl export PE do Evropy. Mimo to byl zaznamenán velký nárůst poptávky po plastových materiálech zapříčiněný vzrůstem výroby roušek, masek a obalových prostředků pro zdravotnický materiál. [22]

V říjnu 2021 mělo nejvyšší cenu za tunu PP a LDPE. Cena se pohybovala okolo 2 200 EUR/t. HDPE na tom bylo s cenou podobně, pohybovala se okolo 1 900 EUR/t. Nejnižší cenu měl obalový PET, cca 1 400 EUR/t.

² Dostupné z www.pieweb.plasteurope.com

V rámci recyklovaných plastů má vliv na cenu jejich barva a způsob zpracování. V následujícím grafu je vývoj cen pro R-PET čirý, R-PET flaky čiré a R-PET flaky barevné.



Obr.54 Grafy vývoje tržní ceny plastů v EU – R-PET čirý, R-PET flaky čiré a R-PET flaky barevné

Nejvyšší tržní cenu v říjnu 2021 měl R-PET čirý, cca 1 850 EUR/t. Rozdíl mezi cenami čirých a barevných flaků R-PET je veliký. Čiré flaky z R-PET měly cenu okolo 1 400 EUR/t, barevné flaky měly cenu téměř o polovinu nižší, cca 825 EUR/t.

8 Extruzní zkoušky

Extruzní zkoušky probíhaly ve spolupráci s výzkumným centrem CEITEC pod vedením doc. RNDr. Jiřího Tocháčka, CSc. Cílem bylo ověřit potenciální recyklovatelnost plastů v laboratorních podmínkách. Byly testovány různé druhy polymerů: HDPE, LDPE, PP, PET. V následující části práce jsou popsány analyzované druhy plastů, jak probíhala příprava materiálu pro vstup do laboratorních extruderů a samotný průběh extruzních zkoušek.

8.1 Přehled analyzovaných plastů

Vlastnosti polymerů jsou jako jiné materiály závislé na teplotě. Mohou se nacházet v tuhém nebo kapalném stavu. Extruzními zkouškami byly analyzovány polymery (PET, PP, HDPE, LDPE) u kterých k nejrychlejším změnám stavu dochází v oblasti teplot, kterou charakterizuje tzv. **teplota tání** (T_m). V této teplotní oblasti dochází k rozpadu krystalické struktury polymeru, která přechází z tuhého stavu do kapalného. Nad teplotou T_m se nachází teplotní oblast vhodná pro zpracování polymerního materiálu metodou např. vstřikování, vytlačování apod. Následující tabulka ukazuje typické hodnoty teplot tání u analyzovaných polymerů. [1]

Tab.9 Typické hodnoty teplot tání a hustoty analyzovaných polymerů [1]

Název polymeru	Zkratka	T_m [°C]	Hustota [g/cm ³]
Polyethylentereftalát	PET	250 ÷ 260	1,270 ÷ 1,370
Polypropylen	PP	160 ÷ 170	0,905 ÷ 0,920
Polyethylen vysokohustotní	HDPE	130 ÷ 135	0,940 ÷ 0,960
Polyethylen nízkohustotní	LDPE	105 ÷ 115	0,914 ÷ 0,928

Polyethylentereftalát (PET) patří z chemického hlediska mezi lineární polyestery. Typickými vlastnostmi jsou vysoká pevnost, čírost, lesk. Je navlhavý a za vyšších teplot může podléhat hydrolyze. Má vyšší hustotu než voda, proto ve vodě klesá ke dnu.

Polyethylen (PE) je semikrystalický termoplast, jehož vlastnosti jsou značně závislé na molekulové struktuře: tvaru makromolekul, jejich délce, prostorovém uspořádání merů v řetězci a stupni krystalinity. Molekulová struktura polyethylenu je ovlivněna způsobem jeho výroby. Dvěma základními typy jsou lineární, **vysokohustotní polyethylen (HDPE)** a rozvětvený, **nízkohustotní polyethylen (LDPE)**. Polyethylen je nepolární, a tedy nenavlhavý plast. Za běžných podmínek odolává polárním rozpouštědlům, vodě, kyselinám, zásadám a solím. Polyethylen má hustotu menší jak voda, proto se ve vodě vznáší na hladině.

Polypropylen (PP) je semikrystalický termoplast jehož vlastnosti se značně blíží HDPE. Jedná se o nepolární plast a obdobně jako polyethylen odolává polárním rozpouštědlům, kyselinám, zásadám a solím. Má nejmenší hustotu ze všech nelehčených plastů, proto ve vodě stejně jako PE plave na hladině. [1]

Na následující fotografii jsou jednotlivé druhy analyzovaných plastů ponořené ve vodě. HDPE a víčka stouply k hladině, PET klesl ke dnu. Ve vzorcích jsou patrné příměsi a značné zakalení.



Obr.55 Analyzované plasty ponořené do vody

8.2 Příprava materiálu

Nejdříve bylo nutné vstupní materiál získat, jednalo se zejména o druhotnou surovinu (výstup z dotřídovací linky) nebo odpadní plasty z domácností. Tento vstupní materiál bylo nutné podrtit a vytvořit směs flaků, které následně vstupovala do extruzní násypky. K drcení byl využit kladivový drtič a byla testována různá velikost flaků. Velikost byla určována za pomoci různých sít s velikostí ok 20 mm, 10 mm, 8 mm, 6 mm, 4 mm a 2 mm. Jako optimální velikost flaků pro další laboratorní zpracování (vstup do extruzní násypky) se ukázala velikost 4 mm.



Obr.56 Flaky – HDPE obal



Obr.57 Flaky – zelený PET

V další fázi proběhlo testování extruze se zaměřením na čistotu flaků. Vzhledem k prvotním extruzním zkouškám bylo zjištěno, že vstupní materiál (PET transparentní) je pro struny nevhodný, bylo nutné tento materiál v několika krocích vyprat a následně vysušit.

Na níže uvedeném obrázku je rozdíl mezi nepraným a praným vstupním materiálem z čirého PET. Je vidět, že struna z nepraných flaků je velmi nekvalitní (nesourodá) a pro další zpracování (zaměřeno na regranulaci) nepoužitelná. Ze struny nebude možno vytvořit homogenní regranulát. V druhém případě, když vstupní flake byl praný byla struna o poznání vizuálně hezčí. Pouze se objevovala drobná místa, která měla tendenci nabobtnávat. Důvod byl způsobený drobnými příměsí papíru, který se v extruzní jednotce dostal do plastové směsi. Každopádně barevnost struny byla poměrně kvalitní.



Obr.58 Čirý PET, nepraný (vlevo), praný (vpravo)

Na následujícím obrázku je vyfotografován regranulát z HDPE, který před vstupem do extruderu nebyl sušen. I když HDPE je nenavlhavý druh plastu, z fotografie je znát, že granule z neusušeného polymeru obsahují poměrně hodně bublinek. Kromě potenciálu vlhkosti se jedná i o aditivaci materiálu HDPE, což způsobuje bublinky.



Obr.59 Granule HDPE, bez sušení

Je patrné, že kromě nutného proprání je nutné materiál po praní velmi dobře vysušit. V následující tabulce jsou zaznamenány hodnoty teplot a doba sušení pro analyzované druhy plastů.

Tab.10 Teplota a doba sušení polymerů [23]

Druh polymeru	Teplota sušení [°C]	Doba sušení [h]
PET	120–140	5–27
PE	50–70	0,5–1
PP	80	0,5–1

Velkou komplikaci tvořily příměsi. Jednalo se hlavně o kousky papírových etiket, viz. Obr.60, které se objevovali v důsledku podrcení. Snaha bylo příměsi manuálně vybrat, nicméně velká část jich prošla do extruderu a struna, která z extruderu vystupovala byla v místě výskytu příměsi nekvalitní a docházelo k jejímu přetrhávání. Současně přetrhávání mohlo být způsobeno i zvýšenou aditivací, zejména v případě materiálu HDPE.



Obr.60 Příměsi

8.3 Průběh extruze

Extruze probíhala na šnekovém laboratorním extrudéru typu Thermo Scientific HAAKE Rheomex CTW 100 OS. Vytvořené plastové flaky byly sypány do násypky a poté za pomoci otáček šneku (100 otáček/min) procházely komorou extrudéru, kde byly při teplotě 240 °C taveny.



Obr.61 Šnekový extrudér

Na konci extrudéru byla tavenina protlačována přes matrici, kde docházelo k tvorbě tzv. **struny**. Struna byla ochlazována ve vodní lázni a dále sekána na regranulát.



Obr.62 Vodní lázeň

První komplikace (zejména při testování různé velikosti flaků) nastala již při vsypávání plastových flaků do násypky extrudéru. Při plném i částečném dávkování se flaky v násypce často zasekávaly a docházelo k tzv. **klenbování**. Flaky bylo nutné pomocí plastových tyčinek nebo dřevěných kolíků protlačit a tím odstranit klenbu. Tento postup se však ukázal jako neefektivní a poměrně náročný. Klenbování bylo odstraněno velikosti vstupní frakce, kdy jako optimální se projevila 4 mm.

Další komplikace nastala při vytváření výstupní struny. Jak už bylo zmíněno, vstupní materiál musí být vysušen jinak dochází k poměrně velkému napěňování a nelze tak vytvořit celistvou strunu. Na následujících fotografiích je zobrazen rozdíl mezi tvorbou struny u nevysušeného a vysušeného vstupního materiálu.



Obr.63 Struna – nesušený (vlevo) a sušený (vpravo) vstupní materiál z PET

Rozdíl je patrný i mezi výslednými strunami jednotlivých druhů polymerů. Struna z PET je hodně tenká, snadno se tak trhá a má stejnou barvu jako vstupní materiál, zatímco struna z HDPE je o poznání širší a má šedou barvu, která je způsobena zejména mixem barev na vstupu.



Obr.64 Struna zelený PET (vlevo) a mix HDPE (vpravo)

Jak už bylo napsáno v přípravné fázi byla snaha ze vstupního materiálu odstranit co nejvíce příměsí. Na následujícím obrázku jsou vidět struny z čirého PET, do kterých se příměsí dostaly. Je patrné, že struna má hrbolatý povrch a uvnitř se nachází bublinky a nečistoty (zbytky papírových etiket).



Obr.65 Struna z čirého PET s příměsí

Po ochlazení ve vodní lázni struna byla sekána na regranulát za pomoci stříhového mlýnu. Níže jsou fotografie regranulátu ze zeleného PET a HDPE.



Obr.66 Regranulát – zelený PET (vlevo) a HDPE (vpravo)

8.4 Vícenásobná extruze

Regranulát vzniklý první extruzí lze znovu nechat projít celým procesem od sušení, extruzí až po sekání struny na regranulát. Klíčové je dodržet správný postup vysušení, protože po extruzi je struna ochlazována ve vodní lázni a vždy na sebe naváže určité množství vody. Předpokládalo se, že regranulát by mohl mít lepší průchodnost násypkou, avšak nebylo tomu tak a znovu se vyskytl problém s klenbováním. Ten byl odstraněn prosypáním regranulátu přes síto, aby byla zajištěna jednotná velikost vstupujících částic.



Obr.67 Regranulát – čirý PET

Struna vzniklá druhou extruzí byla vizuálně pevnější, resp. sourodější než první. Na rozdíl od struny z první extruze je méně zanesena příměsí a bublinkami a má celkově hladší povrch.



Obr.68 Porovnání struny vzniklé první (vlevo) a druhou (vpravo) extruzí – čirý PET

Na následujícím obrázku je porovnání regranulátu z první a druhé extruze. Regranulát z druhé extruze je tmavší a více lesklý. Otázkou je, zdali dalším průchodem vysokou teplotou neztratil na kvalitě.



Obr.69 Porovnání regranulátu po první (vlevo) a druhé (vpravo) extruzi – čirý PET

Extruzní zkoušky ukázaly, že odpadní plastový materiál lze recyklovat, je však potřeba ho správně na extruzi připravit. Materiál musí mít vhodnou velikost částic pro vstup do laboratorního extruderu a být zbaven příměsí, které mohou degradovat výslednou strunu po extruzi. Jako nejzásadnější krok přípravy se ukázalo potřebné praní a sušení z důvodu znečištění materiálu. Pro laboratorní experiment byla využita druhotná surovina z dotřídovací linky a odpadní plasty přímo ze žluté nádoby. Je-li materiál vlhký, nelze extruzi správně provést a docílit kvalitní struny – nastává zejména tvorba bublinek, což zásadním způsobem ovlivňuje výslednou strunu, a tedy i regranulát.

V případě, že se dělají násobné extruze, je výsledná struna vizuálně pevnější. Kvalita materiálu však může být násobným průchodem vysokou teplotou negativně ovlivněna zejména se zaměřením na stabilizaci materiálu.

Od roku 2025 plastové nápojové obaly musí obsahovat minimálně 25 % recyklátu a v roce 2030 nejméně 30 % recyklátu. Extruze odpadního plastového materiálu by mohla být řešením pro naplnění stanovených požadavků. Regranulát získaný extruzí odpadního PET by mohl sloužit jako aditivum k novému materiálu při výrobě PET lahví. Samozřejmě je nutné zohlednit i potřebnou kvalitu materiálu, legislativní aspekty pro využití regranulátu v potravinových obalech a samozřejmě chemické parametry výsledného regranulátu, které jsou klíčové pro jakékoli další použití. Chemické analýzy nebyly předmětem diplomové práce.

9 Závěr

Předkládaná diplomová práce se zabývá nakládáním s plastovým odpadem a jeho efektivním využitím formou recyklace. Hlavními cíli práce byla realizace terénních rozborů SEP-PLA a prozkoumání problematiky extruzních zkoušek prováděných v laboratoři. Praktickým poznatkům předcházela rešerše odpadového hospodářství v ČR a seznámení se s klíčovou problematikou polymerních materiálů.

První část rešerše byla zaměřena na odpadové hospodářství v ČR a vybrané legislativní dokumenty související s plasty a se zaměřením této práce. Hlavními zkoumanými legislativními dokumenty byly zákon č. 545/2020 Sb. o obalech a zákon č. 541/2020 Sb. o odpadech. Rešerše zákonů byla zaměřena na nakládání s plastovým odpadem a zjištění cílů a plánů odpadového hospodářství ČR v následujících letech. Nedílnou součástí rešerše bylo seznámení se s používanými metodikami rozborů a složením odpadů v rámci ČR.

V druhé části rešerše byla provedena detailní analýza polymerních materiálů a technologií přípravy pro extruzní zkoušky. Teoretické poznatky byly následně implementovány do praktické realizace.

Jedna z praktických částí práce byla zaměřena na realizaci terénních rozborů se zaměřením na plastový odpad. Pro účely rozborů byla využita certifikovaná metodika z projektu TIRSMZP79. V práci jsou popsány stěžejní úkony, které rozborům předcházely. Byly specifikovány pomůcky potřebné pro správný průběh rozborů a zajištění bezpečnosti vzorkařského týmu. Následně byly určeny analyzované frakce a přiblížen samotný průběh rozboru vzorku. Poté byly vyhodnoceny výsledky rozborů se zaměřením na jednotlivé frakce s cílem popsat a rozeznat jednotlivé obalové materiály, které jsou vhodné pro další zpracování se zaměřením na třídění a recyklaci. Pak následovalo porovnání materiálového zastoupení plastového odpadu v SEP-PLA a SKO. Nedílnou součástí bylo i zjištění informací ohledně cenové politiky plastů v rámci celé Evropy.

Druhá praktická část práce byla zaměřena na extruzní zkoušky s cílem ověřit možnost recyklace plastů v laboratorních podmínkách. Zkoušky probíhaly ve spolupráci s výzkumným centrem CEITEC pod vedením doc. RNDr. Jiřího Tocháčka, CSc. Nejdříve byla provedena analýza testovaných polymerů (HDPE, LDPE, PET a PP) zaměřena na jejich hustotu a teplotu tání. Poté následoval popis činností pro přípravu materiálu k extruzi (drcení, praní, sušení). Následně byl popsán průběh samotných extruzních zkoušek a jak byly řešeny komplikace, které v průběhu zkoušek nastaly, zejména degradace struny, která byla zapříčiněna vlhkostí vstupního materiálu a příměsemi (útržky papírových etiket).

Závěrem lze konstatovat, že recyklace plastového odpadu v laboratorních podmínkách a současně za určitých přípravných podmínek je možná. Hlavním předpokladem je zajistit jednodruhový materiál zejména z důvodu dodržení teploty tavení (možné provedení extruze), což při současných prodejních trendech je nelehký úkol. Druhou, ne méně podstatnou, podmínkou je, vhodná příprava materiálu pro potřeby laboratorního extrudéru a zajištění požadované čistoty (eliminace příměsí, vlhkosti, prašnosti).

10 Seznam použité literatury

10.1 Zdroje informací

- [1] BĚHÁLEK, Luboš. *Polymery* [online]. Střední odborné učiliště Svitavy: © Code Creator, 2016 [cit. 2021-6-24]. ISBN 978-80-88058-68-7. Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/Cover.html>
- [2] Zákon č. 545/2020 Sb. ze dne 1. prosince 2020, o obalech [online]. [cit. 2022-04-23]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2020-545>
- [3] Jak systém funguje. *EKO-KOM* [online]. [cit. 2022-04-23]. Dostupné z: <https://www.ekokom.cz/cz/klienti/jak-system-funguje/>
- [4] Zákon č. 541/2020 Sb. ze dne 1. prosince 2020, o odpadech [online]. [cit. 2022-03-14]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2020-541?text=541%2F2020>
- [5] POH schválený vládou ČR. *Ministerstvo životního prostředí* [online]. [cit. 2022-03-14]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/poh_cr_prislusne_dokumenty/\\$FILE/OODP-POH_CR_2015_2024_schvalena_verze_20150113.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/poh_cr_prislusne_dokumenty/$FILE/OODP-POH_CR_2015_2024_schvalena_verze_20150113.pdf)
- [6] Směrnice Evropského parlamentu a rady (EU) 2019/904 ze dne 5. června 2019 o omezení dopadu některých plastových výrobků na životní prostředí [online]. [cit. 2022-04-24]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/HTML/?uri=CELEX:32019L0904&from=PT>
- [7] Odpady, Produkce a nakládání v roce 2020. *Ministerstvo životního prostředí* [online]. [cit. 2022-03-14]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/odpady_podrubrika/\\$FILE/OODP-Produkce_a_nakladani_2020-20211029.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/odpady_podrubrika/$FILE/OODP-Produkce_a_nakladani_2020-20211029.pdf)
- [8] Odpady, Data o odpadovém hospodářství ČR – Data z obcí. *Ministerstvo životního prostředí* [online]. [cit. 2022-03-14]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/odpady_podrubrika/\\$FILE/OODP-Data_z_obci_za_2020-20220202.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/odpady_podrubrika/$FILE/OODP-Data_z_obci_za_2020-20220202.pdf)
- [9] Rozbory skladby směsného komunálního odpadu z obcí v roce 2020. *EKO-KOM* [online]. [cit. 2022-03-14]. Dostupné z: <https://www.ekokom.cz/rozbory-skladby-smesneho-komunalniho-odpadu-z-obci-v-roce-2020/>
- [10] Služby. *GREEN Solution s.r.o.* [online]. [cit. 2022-04-27]. Dostupné z: <https://www.gsolution.cz/>
- [11] Rozbory směsných komunálních odpadů. *Odpadová poradenská s.r.o.* [online]. [cit. 2022-04-27]. Dostupné z: <https://www.odpavaporadenska.cz/pro-obce/rozbory-sko/>
- [12] TIRSMZP-Prognózování produkce odpadů a stanovení složení komunálního odpadu. *Ministerstvo životního prostředí* [online]. [cit. 2022-04-27]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/metodika_stanoveni_sko_ko/\\$FILE/OODP-V4_Metodika_slozeni_final-20211101.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/metodika_stanoveni_sko_ko/$FILE/OODP-V4_Metodika_slozeni_final-20211101.pdf)

- [13] Materiálové využití odpadu 29. 5. 2020. *Ministerstvo životního prostředí* [online]. [cit. 2022-03-14]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/odpadove_obehove_hospodarstvi/\\$FILE/OODP-3_Materialove_vyuziti_odpadu-20200529.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/odpadove_obehove_hospodarstvi/$FILE/OODP-3_Materialove_vyuziti_odpadu-20200529.pdf)
- [14] Jak funguje popelářské auto? A kdy se může jezdit na stupačkách vzadu? *Automix* [online]. [cit. 2022-04-02]. Dostupné z: <https://automix.denik.cz/magazin/nejhorsiji-sou-neukazneni-ridici-my-popelari-o-tom-vime-sve-20190402.html>
- [15] Veřejné informace o produkci a nakládání s odpady. *ISOH* [online]. [cit. 2022-03-19]. Dostupné z: <https://isoh.mzp.cz/VISOH>
- [16] Jak na podzemní kontejnery I. *EKO-KOM* [online]. [cit. 2022-04-02]. Dostupné z: <https://www.ekokom.cz/jak-na-podzemni-kontejnery-i/>
- [17] LENFELD, Petr. *Technologie vstřikování* [online]. Střední odborné učiliště Svitavy: © Code Creator, 2016 [cit. 2021-6-24]. ISBN 978-80-88058-74-8. Dostupné z: <https://publi.cz/books/184/Cover.html>
- [18] Rozpojování. *Fakulta životního prostředí Ústí nad Labem* [online]. [cit. 2022-04-02]. Dostupné z: http://fzp.ujep.cz/ktv/uc_texty/pt3/5%20Rozpojovani.pdf
- [19] AUSPERGER, Aleš. *Technologie zpracování plastů* [online]. Střední odborné učiliště Svitavy: © Code Creator, 2016 [cit. 2021-6-24]. ISBN 978-80-88058-77-9. Dostupné z: <https://publi.cz/books/183/Cover.html>
- [20] SEIDL, Martin. *Stroje pro zpracování polymerních materiálů* [online]. Střední odborné učiliště Svitavy: © Code Creator, 2016 [cit. 2021-6-24]. ISBN 978-80-88058-71-7. Dostupné z: <https://publi.cz/books/181/Cover.html>
- [21] What is the capital markets union? *Evropská komise* [online]. [cit. 2022-05-13]. Dostupné z: https://ec.europa.eu/info/business-economy-euro/growth-and-investment/capital-markets-union/what-capital-markets-union_cs
- [22] Raw Material Shortages in Europe Impact Production of Plastic Products in Europe. *European plastics converters* [online]. [cit. 2022-05-12]. Dostupné z: <https://www.plasticsconverters.eu/post/raw-material-shortages-in-europe-impact-production-of-plastic-products-in-europe>
- [23] Přípravné operace a extruze. *Technická univerzita v Liberci* [online]. [cit. 2022-05-07]. Dostupné z: https://elearning.tul.cz/pluginfile.php/269956/mod_resource/content/1/P2.pdf?forcedownload=1

10.2 Zdroje obrázků

- [1o] Vývoj produkce polymerů od r. 1950. *Polymery* [online]. Střední odborné učiliště Svitavy: © Code Creator, 2016 [cit. 2021-6-24]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/images/pics/3.jpg>
- [2o] Evropská spotřeba polymerů. *Polymery* [online]. Střední odborné učiliště Svitavy: © Code Creator, 2016 [cit. 2021-6-24]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/images/pics/2.jpg>

- [3o] Kontejner na odpad 1100 l ploché víko černý. *Ambra* [online]. [cit. 2022-03-31]. Dostupné z: <https://katalog.ambra.cz/kontejner-na-odpad-1100l-ploche-viko-cerny-img-5040086100036-fd-3.png>
- [4o] Kontejner žárově zinkovaný kovový 1100 l. *Ceny přízemí* [online]. [cit. 2022-03-31]. Dostupné z: https://www.cenyprizemi.cz/files/prod_images/temp_big/zinkovy-kontejner.jpg
- [5o] Kovový venkovní odpadkový koš park style s dřevěným obložením, objem 65 l. *Firemní vybavení* [online]. [cit. 2022-03-31]. Dostupné z: https://cdn.myshoptet.com/usr/www.firemni-vybaveni.cz/user/shop/big/17122_kovovy-venkovni-odpadkovy-kos-park-style-s-drevenym-oblozenim--objem-65-l.jpg?616d9ced
- [6o] Kontejner odpad, papír, plasty, sklo. *Deník.cz* [online]. [cit. 2022-03-31]. Dostupné z: https://g.denik.cz/63/d9/5895532-ostrava-kontejner-odpad-papir-plasty-sklo_denik-630-16x9.jpg
- [7o] Schéma třídící linky. *Technologie vstříkování* [online]. Střední odborné učiliště Svitavy: © Code Creator, 2016 [cit. 2021-7-15]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/184/images/pics/2.8.jpg>
- [8o] Schéma řetězce makromolekuly homopolymeru a kopolymeru. *Polymery* [online]. Střední odborné učiliště Svitavy: © Code Creator, 2016 [cit. 2021-6-24]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/images/pics/12.jpg>
- [9o] Schéma molekul ethenu a propenu a schéma radikálové polymerace polyethylenu (PE). *Polymery* [online]. Střední odborné učiliště Svitavy: © Code Creator, 2016 [cit. 2021-6-27]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/images/pics/7.jpg>
- [10o] Schéma přípravy fenol-formaldehydu (PF) polykondenzací. *Polymery* [online]. Střední odborné učiliště Svitavy: © Code Creator, 2016 [cit. 2021-6-24]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/images/pics/10.jpg>
- [11o] Schéma přípravy polyuretanu (PUR) polyadicí. *Polymery* [online]. Střední odborné učiliště Svitavy: © Code Creator, 2016 [cit. 2021-6-24]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/images/pics/11.jpg>
- [12o] Molekulární struktura polymerů. *Polymery* [online]. Střední odborné učiliště Svitavy: © Code Creator, 2016 [cit. 2021-7-28]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/images/pics/14.jpg>
- [13o] Drtiče. In: *Fakulta životního prostředí Ústí nad Labem* [online]. [cit. 2022-04-02]. Dostupné z: http://fzp.ujep.cz/ktv/uc_texty/pt3/5%20Rozpojovani.pdf
- [14o] Pásová granulace. *Technologie vstříkování* [online]. Střední odborné učiliště Svitavy: © Code Creator, 2016 [cit. 2021-7-15]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/184/images/pics/2.2.jpg>
- [15o] Granulace ze strun za studena. *Technologie vstříkování* [online]. Střední odborné učiliště Svitavy: © Code Creator, 2016 [cit. 2021-7-15]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/184/images/pics/2.3.jpg>

- [16o] Granulace ze strun za tepla. *Technologie vstřikování* [online]. Střední odborné učiliště Svitavy: © Code Creator, 2016 [cit. 2021-7-15]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/184/images/pics/2.4.jpg>
- [17o] Recyklát. *Technologie vstřikování* [online]. Střední odborné učiliště Svitavy: © Code Creator, 2016 [cit. 2021-7-15]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/184/images/pics/2.7-1.jpg>
- [18o] Regranulát. *Technologie vstřikování* [online]. Střední odborné učiliště Svitavy: © Code Creator, 2016 [cit. 2021-7-15]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/184/images/pics/2.7-2.jpg>
- [19o] Vliv vlhkosti v tavenině plastu při odstříku. *Technologie vstřikování* [online]. Střední odborné učiliště Svitavy: © Code Creator, 2016 [cit. 2021-7-15]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/184/images/pics/2.19.jpg>
- [20o] Technologie vstřikování. *Technologie zpracování plastů* [online]. Střední odborné učiliště Svitavy: © Code Creator, 2016 [cit. 2021-7-20]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/183/images/pics/4.jpg>
- [21o] Technologie vytlačování – řez extrudéru. *Technologie zpracování plastů* [online]. Střední odborné učiliště Svitavy: © Code Creator, 2016 [cit. 2021-7-20]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/183/images/pics/6.jpg>
- [22o] Technologie válcování – kalandry. *Technologie zpracování plastů* [online]. Střední odborné učiliště Svitavy: © Code Creator, 2016 [cit. 2021-7-20]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/183/images/pics/54.jpg>
- [23o] Technologie lisování. *Technologie zpracování plastů* [online]. Střední odborné učiliště Svitavy: © Code Creator, 2016 [cit. 2021-7-21]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/183/images/pics/56.jpg>
- [24o] Technologie vyfukování vstřikovací. *Stroje pro zpracování polymerních materiálů* [online]. Střední odborné učiliště Svitavy: © Code Creator, 2016 [cit. 2021-7-24]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/181/images/pics/89.jpg>
- [25o] Technologie vyfukování vytlačovací. *Stroje pro zpracování polymerních materiálů* [online]. Střední odborné učiliště Svitavy: © Code Creator, 2016 [cit. 2021-7-24]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/181/images/pics/90.jpg>
- [26o] Technologie rotačního natavování. *Technologie zpracování plastů* [online]. Střední odborné učiliště Svitavy: © Code Creator, 2016 [cit. 2021-7-24]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/183/images/pics/65.jpg>
- [27o] Jednorázový overal Tyvek. *Wincomp spol. s.r.o.* [online]. [cit. 2022-4-30]. Dostupné z: https://winc.cz/image/produkt_obrazek_10362.jpg
- [28o] Maltovník obdélníkový PE 77x53,5x30,5 cm 90l. *Hornmach.* [online]. [cit. 2022-4-30]. Dostupné z: https://cdn.hornbach.cz/data/shop/D04/001/780/492/267/890/DV_8_027429_3_06_4c_SE_20220221195410.jpg
- [29o] Maltovník 45 L kulatý. *Triker, a. s.* [online]. [cit. 2022-4-30]. Dostupné z: https://triker.cz/pool/Maltovnik-45-l-kulaty-348_v.jpg
- [30o] Síto na štuk 500x500 mm, 4 mm. *Ložiska Haná s.r.o.* [online]. [cit. 2022-4-30]. Dostupné z:

https://cdn.myshoptet.com/usr/www.mojezelezarstvi.cz/user/shop/big/378347_sito-na-stuk-500x500mm--4mm-oko.jpg?613b2c1b

- [31o] Feron Gabionová síť – 200x100 cm, oko 10x5 cm. *Kovo Juhász, spol. s r.o.* [online]. [cit. 2022-4-30]. Dostupné z: <https://im9.cz/iR/importprodukt-orig/346/34661ff6d2f7db5aa6aa19de653a3aa6--mmf600x600.jpg>
- [32o] Kozy skládací Stanley Fatmax FMST1-75763, kovové podběry, 2 ks. *Supermarket EVA.cz* [online]. [cit. 2022-4-30]. Dostupné z: https://im.eva.cz/eva/files/8/5/8/4a8368e2eef42fe8eca79173afec92ad_400.jpg
- [33o] Přenosná váha můstková CAS PB 100/200 kg. *Gastrotechnika A1* [online]. [cit. 2022-4-30]. Dostupné z: <https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQFFPERW7DqPEGCPDwGiR8KSniJf48MoeclA&usqp=CAU>