WP1.D Ekodesign a spotřebitelské chování

Souhrnná výzkumná zpráva

Bariéry recyklace vybraných materiálů pro balení výrobků každodenní spotřeby (SS02030008-V40)

T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

Konečný uživatel výsledků: **Ministerstvo životního prostředí**

Vršovická 1442/65

Praha 10, 100 10

Název projektu:	Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost CEVOOH
Číslo projektu:	CEVOOH SS02030008
Řešitel projektu:	Česká informační agentura životního prostředí (CENIA) Moskevská 1523/63, Praha 10, 101 00
Vypracoval:	Vysoké učení technické v Brně Fakulta strojního inženýrství, Ústav procesního inženýrství Technická 2896/2, 616 69 Brno
Doba řešení:	2021 až 2026

Cíl projektu: Cílem projektu je vybudování dlouhodobě pracující, odborné, interdisciplinární, výzkumné základny tvořené klíčovými výzkumnými organizacemi disponujícími expertízou a odbornou kapacitou pro provádění výzkumu v oblasti odpadového a oběhového hospodářství v širších souvislostech. Centrum bude poskytovat Ministerstvu životního prostředí, dalším resortům, odborným platformám a dalším subjektům výsledky výzkumu, rozšiřování vědeckých poznatků a expertní podporu při tvorbě politik, strategií a regulací. Centrum tvořené konsorciem osmi výzkumných organizací a univerzit je zaměřeno na provádění výzkumu v tematických oblastech souvisejících s přechodem České republiky z lineárního na cirkulární hospodářský model. Tento přechod vyžaduje výzkum v nových, dosud neřešených oblastech, jakými jsou například materiálové toky surovin, inovativní technologie zaměřené na minimalizaci použití primárních surovin ve výrobě, maximální materiálovou využitelnost a

T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

využívání odpadů, vedlejších produktů a meziproduktů, ekodesign produktů, sledování a vyhodnocování nejen environmentálních, ale také sociálně-ekonomických procesů. Hlavními tematickými oblastmi, na které se Centrum v rámci své činnosti zaměří, jsou odpadové a oběhové hospodářství, monitoring a rozvoj nových monitorovacích nástrojů sledování přechodu k oběhovému hospodářství, včetně vývoje nových indikátorů, analýza životní cyklu výrobků, ekodesign, problematika kontaminace prostředí z hlediska technologií, nově se vyskytujících polutantů, využití nových metod a přístupů k identifikaci a odstranění znečištění, např. prostřednictvím dálkového průzkumu země. Neopominutelným tématem je také oblast environmentální bezpečnosti, prevence závažných havárií a tím související témata kybernetické bezpečnosti a společenské přijatelnosti environmentálně a technologicky podmíněných. Činnost Centra propojuje přírodovědné, technické a humanitní obory v jedné interdisciplinární platformě s cílem posunout ČR blíže k oběhovému hospodářství.

T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

Informace o autorském týmu:

Hlavní řešitel projektu: **Mgr. Miroslav Havránek**

Garant výsledku: **doc. Ing. Jan Weinzettel, Ph.D.**

Autorský kolektiv:

- VUT: **Ing. Jiří Gregor, Ph.D; Ing. Jiří Kropáč, Ph.D; doc. Ing. Martin Pavlas, Ph.D.**
- CEITEC: **doc. RNDr. Jiří Tocháček, CSc.**
- UCHP: **Ing. Anastasia Shtukaturova, Ing. Michal Šyc, Ph.D.**

Ústav procesního inženýrství, Fakulta strojního inženýrství

Vysoké učení technické v Brně, Technická 2896/2, Brno

www.upi.fme.vutbr.cz

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

Garant MŽP: **Ing. Vlastimil Kotrč**

Další informace o výstupu:

Výstup byl vytvořen v rámci řešení projektu CEVOOH – Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost, jehož řešitelem byla Česká informační agentura životního prostředí (CENIA).

TA ČR

Projekt je podpořen Technologickou agenturou České republiky (TA ČR) v rámci 2. veřejné soutěže Programu na podporu aplikovaného výzkumu, experimentálního vývoje a inovací v oblasti životního prostředí – Prostředí pro život. STA02019SS020

Obsah

Seznam obrázků 8
Seznam tabulek 10
Seznam zkratek 11
Úvod 12
1. Obal, jednorázový plast – na co se vlastně zaměřujeme? 17
2. Pojem Recyklace 21
2.1. Recyklace v rámci české odpadové legislativy 21
2.2. Recyklace v rámci odpadové legislativy EU 22
2.3. Recyklace v rámci světové odpadové legislativy 22
2.4. Recyklace z pohledu výrobců a výzkumu 23
3. Návrh a definice pojmů se zaměřením na obaly 27
4. Analýza spotřebního koše jako východisko pro obaly 30
5. Základní principy a technické možnosti recyklace plastů 38
5.1. Typy plastů a jejich vlastnosti: 38
5.2. Typy reakcí vedoucích ke vzniku polymerů 40
5.3. Stárnutí polymerů 41
5.4. Životnost plastu 43
5.4.1. Životnost technická 43
5.4.2. Životnost užitková 43
5.4.3. Životnost ekologická 43
5.5. Recyklace a používané způsoby likvidace plastového odpadu 44
5.5.1. Recyklace přímá – mechanická 44
5.5.2. Recyklace chemická 45
5.5.3. Energetické využití (waste-to-energy, efektivní spalování) 45
5.5.4. Skládkování 46
5.6. Recyklovatelnost polymerů 47

T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

5.6.1. Recyklační piktogramy jako východisko pro efektivní recyklaci 50
5.6.2. Nevhodné použití recyklačních symbolů 51
5.7. Alternativní pohled na likvidaci plastů 56
5.8. Degradovatelné plasty (degradables) 57
5.8.1. Prodegradace vlivem vlivů prostředí 57
5.8.2. Oxo-degradovatelné plasty 57
5.8.3. Bio-plasty 58
6. Řetězec zpracování PLASTŮ 60
6.1. Popis zpracovatelského řetězce 60
6.2. Cena primární suroviny a druhotné suroviny na trhu 61
6.3. Popis situace v ČR 68
6.4. Kvalita druhotné suroviny 72
7. PET láhev jako klíčový obal v oblasti recyklovatelnosti 74
7.1. Identifikace složení komponent potravinové PET láhve 74
7.2. PET láhev (tělo láhve) – extruzní zkoušky 80
7.3. HDPE – extruzní zkoušky 88
8. Zobecnění bariér 97
8.1. Rizika z pohledu vstupního materiálu: 97
8.1.1. Složení polymerů 97
8.1.2. Oxidační narušení 98
8.1.3. Kontaminace potravinami 98
8.1.4. Kontaminace papírem a vnějšími nečistotami 98
8.1.5. Nehomogenita recyklátu 99
8.1.6. Rizika nepředvídatelná 99
8.2. Rizika z pohledu technologie zpracování 99
8.2.1. Výběr materiálů – manuální vs. strojová separace 100
8.2.2. Mechanická příprava vstupního materiálu 100

T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

8.2.3. Čištění a filtrace 100
8.2.4. Teplota extruze 101
8.2.5. Zpomalení pokračující degradace 101
8.2.6. Zápach a ostatní organoleptické vlastnosti 101
8.2.7. Spolupráce laboratoř-výroba 102
9. Doporučení pro provádění terénních prací 103
9.1. Klíčové poznatky z rozborů se zaměřením na plastové a jednorázové obaly 106
9.2. Porovnání sledovaných frakcí ve SKO a SEP-PLA 112
9.3. Rozlišitelnost výrobků/obalů vůči materiálu v rámci terénních pracích 113
10. Závěrečná definice pojmů 123
Závěr 124

T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

Seznam obrázků

Obr. 1: Ukázka použití plastu v průmyslu a jeho následné zpracování, Zdroj: Ekokom 14
Obr. 2: Produkce plastových obalů v Evropské Unii 15
Obr. 3: Ukázka míry recyklace odpadních plastových obalů 16
Obr. 4: Materiálová náhrada plastových brček do varianty papíru, bambusu, kovu nebo skla 19
Obr. 5: Materiálová náhrada plastových talířů do formy papíru nebo cukrové třtiny 19
Obr. 6: Materiálová náhrada plastových příborů do dřevěné varianty 19
Obr. 7: Materiálová náhrada PS obalů za obaly papírové, kompostovatelné nebo z cukrové třtiny 20
Obr. 8: Materiálová náhrada polystyrenových kelímků do formy kompostovatelných, papírových, případně plastových, které nejsou zakázány 20
Obr. 9: Struktura spotřebního koše dle jednotlivých sledovaných kategorií, zdroj: ČSU 30
Obr. 10: Kategorie Potraviny a nealkoholické nápoje dělení do podkategorií 31
Obr. 11: Kategorie alkoholické nápoje a tabáky dělení do podkategorií 32
Obr. 12: Podkategorie pekárenské výrobky, obiloviny a její dělení 32
Obr. 13: Podkategorie maso a její dělení 33
Obr. 14: Podkategorie ryby a mořské plody a její dělení 33
Obr. 15: Podkategorie mléko, sýry a vejce a její dělení 34
Obr. 16: Podkategorie oleje a tuky a její dělení 35
Obr. 17: Podkategorie ovoce a její dělení 35
Obr. 18: Podkategorie zelenina a její dělení 36
Obr. 19: Podkategorie cukr, marmeláda, med, čokoláda a cukrovinky a její dělení 36
Obr. 20: Podkategorie potravinářské výrobky jinde neuvedené a její dělení 37
Obr. 21: Přehled vnějších vlivů působících na polymer 42
Obr. 22: Základní recyklační symboly pro nejpoužívanější polymery 47
Obr. 23: Rozdílné přístupy k posuzování recyklovatelnosti jednotlivých typů 49
Obr. 24: Zavádějící použití recyklačních symbolů na plastových taškách 52
Obr. 25: Ukázky reklam společností, které plastové nákupní tašky v recyklu nepřipouštějí (2x USA, Austrálie) 54
Obr. 26: Jiný příklad zavádějící informace možnosti recyklace obalové fólie 55
Obr. 27: Chemické struktury biologicky odbouratelných polymerů PLA a PHB 59
Obr. 28: Cenový vývoj polymeru – HDPE – foliovaný typ 64
Obr. 29: Cenový vývoj polymeru – HDPE – vstřikovací typ 65

T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

Obr. 30: Cenový vývoj polymeru – PET – vyfukování 66
Obr. 31: Cenový vývoj polymeru – PP – různé 67
Obr. 32: Cenový vývoj polymeru – LDPE – foliovaný typ 68
Obr. 33: Předmět analýzy – potravinová PET láhev, identifikace sledovaných oblastí 74
Obr. 34: Uzávěr – zdrojová DSC data vzorku (1. a 2. tání, včetně obou krystalizací) 76
Obr. 35: Hrdlo láhve a závit – zdrojová DSC data vzorku (1. a 2. tání, včetně obou krystalizací) 77
Obr. 36: Tělo láhve – zdrojová DSC data vzorku (1. a 2. tání, včetně obou krystalizací) 78
Obr. 37: Viněta – zdrojová DSC data vzorku (1. a 2. tání, včetně obou krystalizací) 79
Obr. 38: Flotace polymerů s různou hustotou ve vodě při 23°C. Zleva: HDPE-mix, víčka, PET-modrý, PET-zelený, PET-transparentní 82
Obr. 39: Ukázka kontaminujících nečistot – zbytky papírových vinět, manuálně vybrané z drti transparentního PET při čištění flotací. 82
Obr. 40: Zpracovatelská stabilita odpadního PET hodnocená násobnou extruzí na jednošneku HAAKE 86
Obr. 41: Drť z mlýna (vlevo sledovaný finální produkt, vpravo nadsítné částice pro extruzi nepoužité) 88
Obr. 42: a) vnitřní uspořádání mlecího zařízení, b) celkový pohled na drtič s kvalifikovanou obsluhou 89
Obr. 43: HDPE-mix po první extruzi – granule nasekané z napěněné struny 91
Obr. 44: HDPE-mix – zpracovatelská stabilita 19 mm jednošnek extruder při 240 °C / 100 rpm MFI-hmotnostní index, MVI-objemový index toku taveniny (MFI stanoven pro hodnotu hustoty taveniny 0.76 g/cm^3) 93
Obr. 45: Směs vzorkového podrceného plastu – viněty 95
Obr. 46: (a) výchozí směs plastů (b) granulát získaný extruzí 96
Obr. 47: Průměrné zastoupení frakcí ve vzorku – SEP-PLA (kg; % hm.) 107
Obr. 48: Ukázky analyzované frakce – fólie 108
Obr. 49: Ukázka analyzované frakce – tvrdé plasty 109
Obr. 50: Ukázka analyzované frakce – příměs 109
Obr. 51: Ukázka analyzované frakce – PET lahve 110
Obr. 52: Ukázka analyzované frakce – Polystyren 110
Obr. 53: Ukázka analyzované frakce – Neobalový plast 111
Obr. 54: Ukázka analyzované frakce – Kompozitní a nápojové kartony 111

T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

Obr. 55: Průměrné zastoupení frakcí ve vzorku – SEP-PLA (kg; % hm.) vlevo a SKO (g; % hm.) vpravo ... 112
Obr. 56: Obaly z tvrdého plastu – ovoce a zelenina ... 115
Obr. 57: Znečištěný obal na hrozny ... 115
Obr. 58: Obaly z tvrdého plastu – mléčné výrobky ... 117
Obr. 59: Obaly z tvrdého plastu – masné výrobky ... 118
Obr. 60: Obaly z tvrdého plastu – drogistické výrobky z PET ... 120
Obr. 61: Obaly z tvrdého plastu – drogistické výrobky ... 121
Obr. 62: Jednodruhová (nahoře) vs. kompozitní (dole) obalová fólie ... 122

Seznam tabulek

Tab. 1: Mísitelnost polymerních materiálů ... 39
Tab. 2: Ukázka recyklačních piktogramů zaměřená na kompozitní materiály ... 50
Tab. 3: Ukázka cenového vývoje vybraných polymerů 5/2022 (průměrná cena, měsíční a roční změna) ... 61
Tab. 4: Ukázka podílu obalové složky v separované složce SEP-složky ... 70
Tab. 5: Ukázka podílu obalové složky ve SKO ... 70
Tab. 6: Ukázka výkupních cen z DTL v období 2020-2021 ... 70
Tab. 7: Ukázka výkupních cen z DTL na konci roku 2021 ... 71
Tab. 8: Ukázka procentuálního zastoupení tříditelných frakci na DTL - roční bilance (2020) .72
Tab. 9:Index toku granulátu PET-transparentní po jednotlivých extruzích měřený při 270 °C / 2.16 kg ... 83
Tab. 10: Index toku granulátu PET-zelený po jednotlivých extruzích měřený při 270 °C / 2.16 kg ... 83
Tab. 11:Index toku granulátu PET-modrý po extruzích měřený při 270 °C / 2.16 kg ... 85
Tab. 12: Index toku granulátu HDPE-mix/I měřené při 190°C / 2.16 kg ... 91
Tab. 13: Index toku granulátu HDPE-mix po jednotlivých extruzích měřený při 190°C / 5 kg 92
Tab. 14: Data z analýzy separovaného plastového odpadu ... 106
Tab. 15: Analýza tvrdých plastových obalů – ovoce a zelenina ... 113
Tab. 16: Analýza tvrdých plastových obalů – mléčné výrobky ... 115
Tab. 17: Analýza tvrdých plastových obalů – masné výrobky ... 117
Tab. 18: Analýza tvrdých plastových obalů – drogistické výrobky ... 119

T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

Seznam zkratek

Zkratka	Význam
BRKO	Biologicky rozložitelný komunální odpad
BRO	Biologicky rozložitelný odpad
ČR	Česká republika
DSC	diferenční kompenzační kalorimetrie
EU	Evropská unie
Kat. č.	Katalogové číslo
KO	Komunální odpad
MFI	Material Flow Index (index toku materiálu)
MŽP	Ministerstvo životního prostředí
NIR	Near Infra-Red spectoscopy (tj. infračervená detekce)
NO	Nebezpečný odpad
OO	Objemný odpad
ORP	Obec s rozšířenou působností
SEPpap	Separovaný papír
SEPpla	Separovaný plast
SEPskl	Separované sklo
SKO	Směsný komunální odpad
TAP	Tuhé alternativní palivo
VIS	Visible Infra-Red spectoscopy (tj. infračervená detekce)

T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

Úvod

Předkládaná závěrečná zpráva se **zabývá efektivním nakládáním s obaly a jednorázovými plasty**. Vzhledem k typickému materiálovému zastoupení obalů pro balení výrobků každodenní spotřeby a vzhledem k současným postupům při nakládání s komunální odpadech je nejvyšší potenciál pro navýšení efektivní recyklace vybraných materiálů očekáván právě u plastů.

Plasty jsou aktuálně součásti našeho každodenního života. Setkáváme se s nimi, když jdeme nakoupit (balení výrobků), v práci (značná část pracovního a technického vybavení), ve sportu (sportovní náčiní a vybavení), při odpočinku (fast-food, káva to-go) a další. Již jsme si určitým způsobem navykli na tento druh materiálu, který je na jednu stranu vynikající, ale na druhou stranu má celou řadu překážek a může se stát i potenciálně nebezpečným pro životní prostředí.

Doba, ve které žijeme, je dle Evropské strategie pro plasty v oběhovém hospodářství[1] právem označována jako doba plastová, podle materiálů určujících formu přítomnosti jak technicky, tak společensky:

- Plasty se podepsaly na vývoji prakticky všech technologií a aktivit lidského života.
- Bez existence polymerních materiálů by současná úroveň našeho života byla zcela nemyslitelná.
- Výrobě plastů a vylepšování jejich vlastností bylo až dosud věnováno velké úsilí, na druhé straně plastový odpad zdaleka tak intenzívně řešen nebyl.
- Důsledek – zamoření plastovým odpadem je pozorováno takřka na celé planetě.
- Teprve v poslední dekádě se likvidace plastů dostává do popředí mediálního zájmu.

Vzhledem k tomu, že plastový odpad je na základě své životnosti poměrně stabilní, je i chtěné, aby právě tento materiál měl potenciál pro recyklaci. Plast je poměrně obtížně rozložitelný materiál, pro ukázku lze uvést rozklad igelitové tašky, který trvá více jak 25 let, PET láhev 100 let a polystyrén několik desítek tisíc let. Nabídka obalových plastů je poměrně široká jak z pohledu možné kombinace materiálů (nejen těch plastových), tak velkého množství aditivace

1 Evropská komise - Evropská strategie pro plasty v oběhovém hospodářství. Štrasburk, 16. 1. 2018. Dostupné z https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:2df5d1d2-fac7-11e7-b8f5-01aa75ed71a1.0014.02/DOC_1&format=PDF

T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

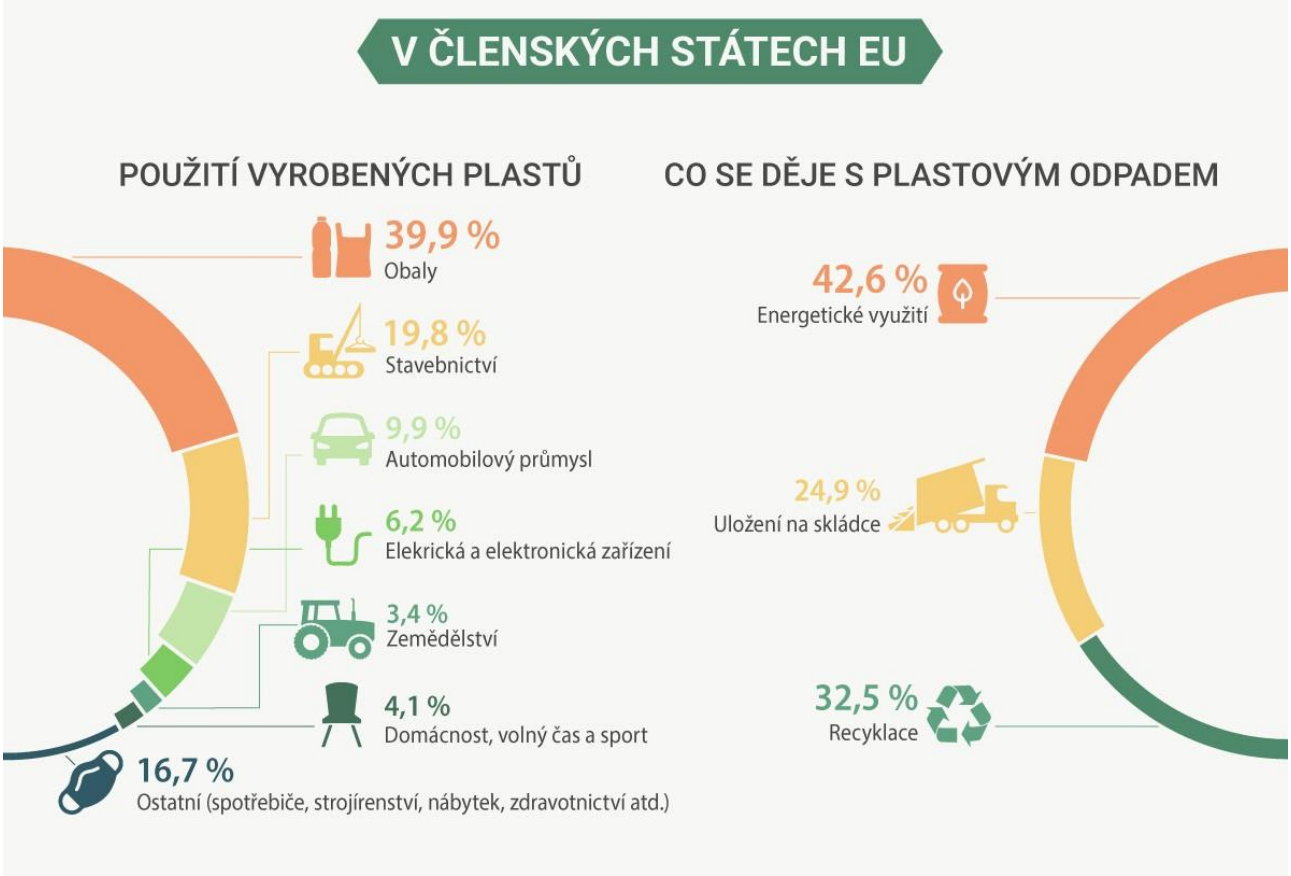
(stabilizace plastu, konkrétní požadavky na potravinové obaly), která je klíčová pro marketingové účely.

Dle zpráv OSN se každý rok dostane na osm milionů tun plastu do řek, moří a oceánů. Od roku 1950 se do oceánu v důsledku lidské činnosti dostalo na 150 milionů tun plastu, který se zde, s ohledem na délku rozkladu, neustále nachází a jeho množství stále roste. Dle některých odhadů by v případě pokračování tímto tempem mohlo být v roce 2050 v oceánech více plastů než ryb. Nedílnou součástí jsou i mikročástice plastů (do 5 mm), které jsou již přítomny v tělech mořské fauny.

Za zmínku stojí evropská strategie pro plasty v oběhovém hospodářství, která nastavuje mezi své cíle, že všechny plastové obaly budou do roku 2030 recyklovatelné.

Pokud bychom srovnali použití vyrobených plastů, zjistíme, že největší zastoupení patří obalům (až 40 %) – další možnosti použití plastů je zobrazeno na Obr. 1. V případě nakládání s plasty je nejběžnější způsob energetické využití, které zastupuje téměř 43 %. Samotná recyklace je vyhodnocena na hodnotu 33 %.

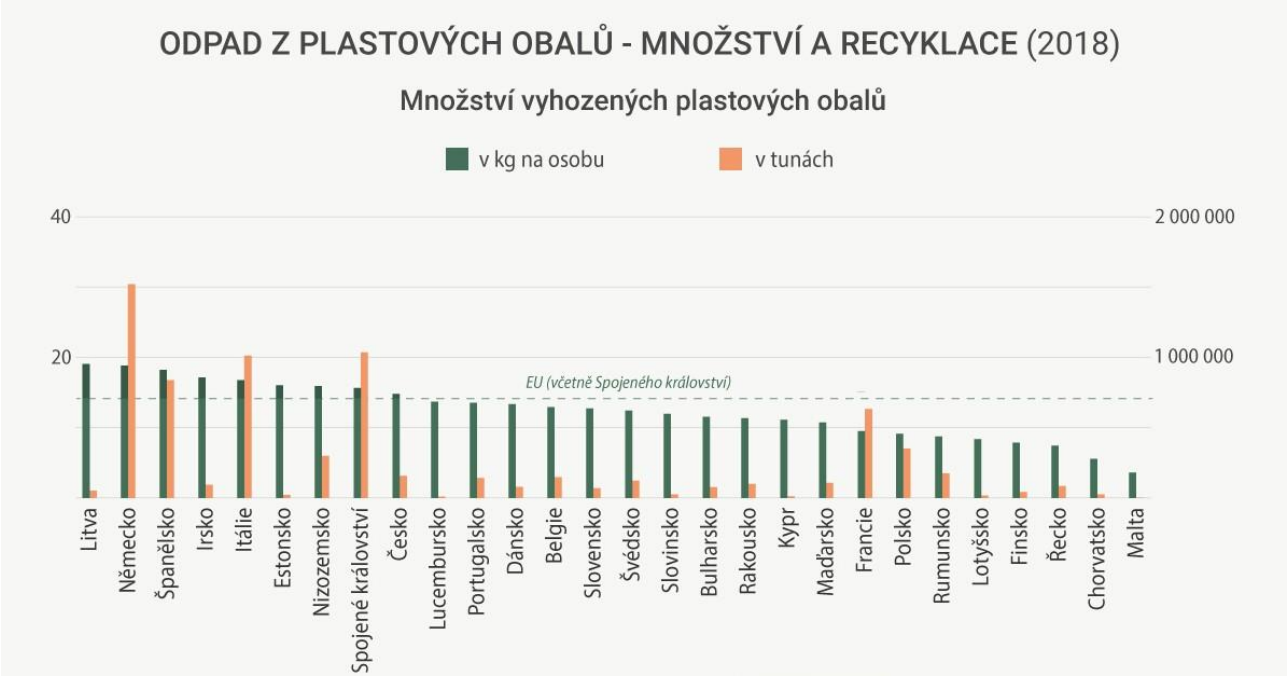
T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.



Obr. 1: Ukázka použití plastu v průmyslu a jeho následné zpracování, Zdroj: Ekokom

Množství vyhozených obalů v rámci EU v roce 2018 je zobrazeno na Obr. 2 níže.

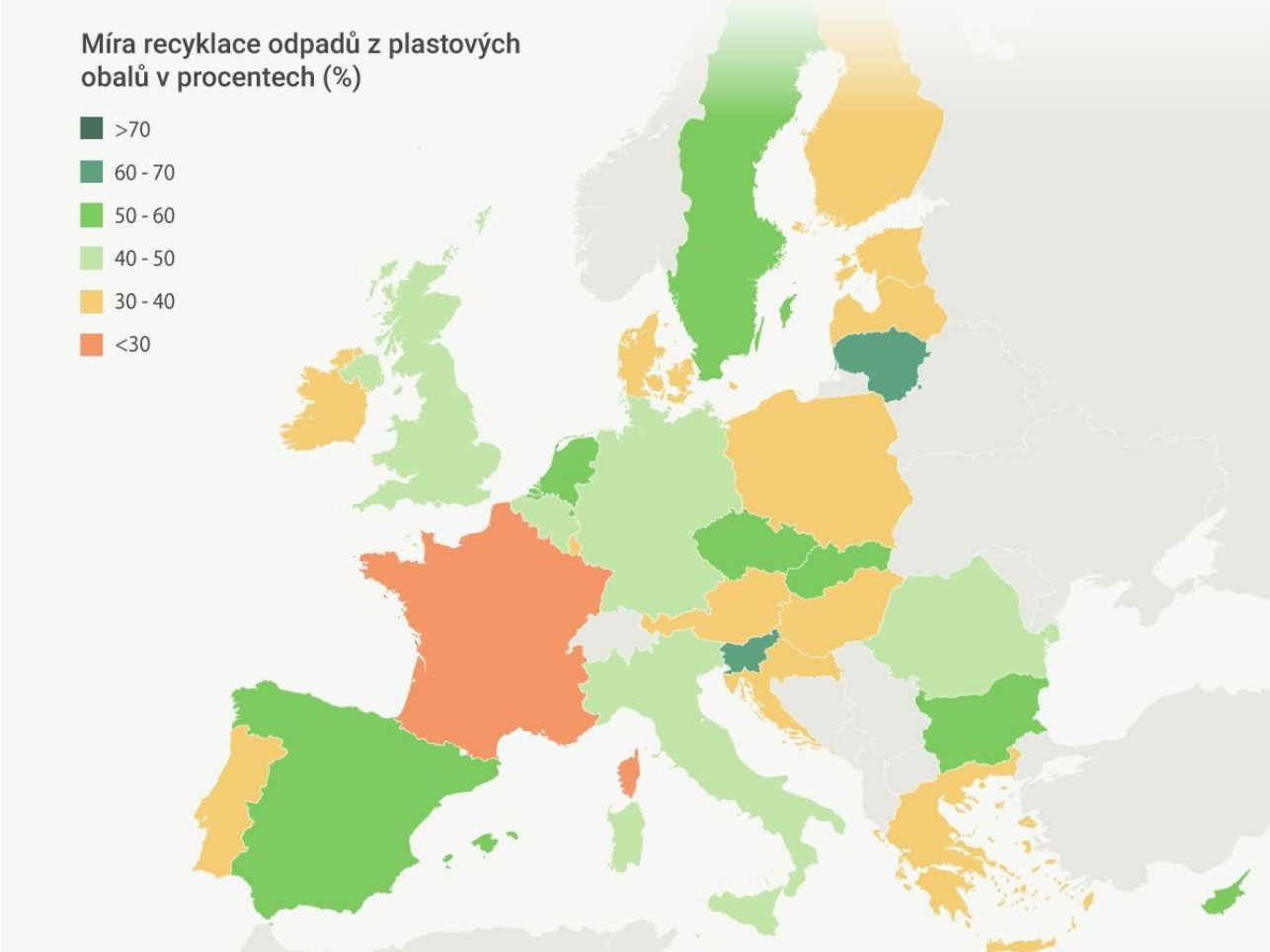
T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.



Obr. 2: Produkce plastových obalů v Evropské Unii

Na Obr. 3 je zobrazena míra recyklace odpadů z plastových obalů v rámci Evropy. Za pozornost stojí i vysoká čísla vykázaná v rámci ČR. V tomto celoevropském srovnání je nutné zohlednit stejný přístup k hodnocení, tj. zda daný stát má zavedený zálohový systém, jaký je systémy sběru a dopad na účinnost separace a následnou míru recyklace. Každopádně je vidět vysoká variabilita míry recyklace.

T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.



Obr. 3: Ukázka míry recyklace odpadních plastových obalů

T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

1. Obal, jednorázový plast – na co se vlastně zaměřujeme?

Cílem tohoto dokumentu je popsat základní východiska pro definici obalů, seznámit se s legislativními dokumenty a detailně se podívat na typické zastoupení obalů v komunálních odpadech s hlavním předpokladem efektivní recyklace.

Kromě výše uvedeného bude důraz kladen taktéž na popis obalů a schopnost identifikace obalů na základě materiálu a současně identifikace pro následné efektivní nakládání. Nedílnou součástí budou i extruzní zkoušky vybraných materiálů.

V návrhu projektu byly použitě dva klíčové pojmy – **obaly z výrobků každodenní spotřeby se zaměřením na plasty** a **jednorázové plasty**.

V prvním kroku bude nutno tyto pojmy vhodně definovat pro potřeby předkládané zprávy:

- Obaly z výrobků každodenní spotřeby se zaměřením na plasty: v tomto ohledu se vychází prioritně ze spotřebního koše domácností[2]. Byla provedena detailní analýza celého spotřebního koše (data za rok 2020), který zahrnuje spektrum výrobků. K výrobkům byly přiřazeny typické obaly a následně identifikovány potenciální obaly, které jsou stěžejní pro další analýzu. Oblasti (segmenty trhu), které byly prioritní, jsou zejména potraviny, drogérie, případně výrobky každodenní spotřeby. Výrobky, které jsou ekonomicky dražší a domácnosti je pořizují s velmi nízkou frekvencí, jako např. bílé spotřební zboží, případně elektronika, již není prioritní oblastí tohoto posouzení.
    - **Definice:** *Jedná se o obaly výrobků, které jsou součástí každodenní spotřeby, tvoří hlavní část nákupního seznamu typické české domácnosti, tyto obaly se nacházejí v komunálním odpadu a tvoří její podstatnou část*.
- Evropský parlament[3] schválil zákaz jednorázových plastů od roku 2021 na základě směrnice evropského parlamentu a rady (EU) 2019/904 ze dne 5. června 2019 o omezení dopadu některých plastových výrobků na životní prostředí dle směrnice 4. Konkrétně se jedná o 13 vybraných výrobků:

[2] Dostupné z www.czso.cz/csu/czso/spotrebni_kos_archiv

[3] Dostupné z www.europarl.europa.eu/news/cs/press-room/20190321IPR32111/parlament-schvalil-zakaz-jednorazovych-plastu-od-roku-2021

[4] Dostupné z www.eur-lex.europa.eu/legal-content/cs/TXT/?uri=CELEX:32019L0904

T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

  - plastové příbory (vidličky, nože, lžíce, jídelní hůlky).
  - plastové talíře.
  - plastová brčka.
  - plastová nápojová míchátka.
  - plastové vatové tyčinky.
  - plastové tyčky k balónkům.
  - nádoby na potraviny z expandovaného polystyrenu.
  - nádoby na nápoje z expandovaného polystyrenu.
  - kelímky z expandovaného polystyrenu.
  - všechny výrobky z oxo-rozložitelných plastů.
- Výše uvedené výrobky z jednorázového plastu můžeme nalézt zejména na festivalech, v gastroprůmyslu a na večerních či zábavních podnicích. Dle předběžného návrhu vlády je stanoveno, že doprodej zásob jednorázových plastů bude možný jen do 30. 6. 2022 (za předpokladu, že vláda nebude mít k zákonu zásadní připomínky). Z tohoto vyplývá, že bude velkou překážkou zejména pro restauratéry, kteří tento druh balení hojně využívali zejména v době pandemie COVID19.
  - **Definice:** *Jednorázovým plastem se rozumí takový výrobek, který je určený k dočasnému uchovávání, konzumaci jídlo a pití, případně k okamžitému vyčištění jiného výrobku. Výrobky z jednorázových plastů nemají již další potenciální využití ve zpracovatelském řetězci.*

Již nyní existuje ukázka potenciální náhrad výše uvedeného seznamu jednorázových výrobků (viz Obr. 4 až Obr. 8). Pro ukázku např. Francie zakázala balit do plastových obalů ovoce i zeleninu, předpoklad, že takový zákaz bude zaveden i v ČR není momentálně aktuální.

T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

Obr. 4: Materiálová náhrada plastových brček do varianty papíru, bambusu, kovu nebo skla

Obr. 5: Materiálová náhrada plastových talířů do formy papíru nebo cukrové třtiny

Obr. 6: Materiálová náhrada plastových příborů do dřevěné varianty

T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

Obr. 7: Materiálová náhrada PS obalů za obaly papírové, kompostovatelné nebo z cukrové třtiny

Obr. 8: Materiálová náhrada polystyrenových kelímků do formy kompostovatelných, papírových, případně plastových, které nejsou zakázány

T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

2. Pojem Recyklace

Na úvod této zprávy je nutné vhodně nadefinovat pojem „**Recyklace**“, aby tento termín byl správně pochopen a mohl být i vhodně používán. Pro správnou definici pojmu byla provedena detailní rešerše jak legislativní, tak publikační.

2.1. Recyklace v rámci české odpadové legislativy

Z pohledu **zákona č. 541/2020 Sb. o odpadech**, přímo pojem recyklovatelnost neexistuje, ale v §11 tohoto zákona je uvedeno následující:

- ***l)* recyklací odpadu** *je způsob využití odpadu, jímž je odpad znovu zpracován na výrobky, materiály nebo látky, ať pro původní nebo pro jiné účely; recyklace odpadu zahrnuje přepracování organických materiálů, ale nezahrnuje energetické využití a přepracování na materiály, které mají být použity jako palivo nebo jako zásypový materiál.*

Z pohledu **zákona č. 477/2001 Sb. o obalech** (již neplatný), přímo pojem recyklovatelnost také neexistuje, ale v §2 tohoto zákona je uveden následující pojem, který zní stejně i v aktuální novele zákona **č. 545/2020 Sb. o obalech**:

- ***g)* opakovaně použitelným obalem** *se rozumí obal, který byl navržen, vyroben a uveden na trh tak, aby mohl být v průběhu svého životního cyklu vícekrát využit nebo mohl projít několika cykly tím, že bude několikrát znovu naplněn nebo opakovaně použit ke stejnému účelu, ke kterému byl původně určen (článek 1, § 2 písmeno g).*
- novela zákona o obalech **neuvádí žádné nové pojmy** včetně recyklovatelnosti obalů, jediným novým termínem je **ekomodulace**, což je *zohlednění dopadu obalu na životní prostředí, zejména jeho opětovné použitelnosti, recyklovatelnosti, obsahu nebezpečných látek a plnění požadavků stanovených jinými právními předpisy.*

Změna odpadové legislativy přinesla řadu otázek i v souvislosti s pojmem *recyklace*. Původně za recyklaci byl považován vstup do technologie, která z vytříděných odpadů vyrobí druhotnou surovinu. Nyní se recyklace zaměřuje na výstup z dotřiďovacích linek, resp. na výrobek/surovinu, od které se ještě odečtou ztráty v procesu recyklace. Změnou je i to, že dříve bylo možné započítat do recyklace výrobu alternativních paliv. V současné době výroba alternativních paliv je formou využití odpadů, nikoliv recyklací.

T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

2.2. Recyklace v rámci odpadové legislativy EU

V balíčku o oběhovém hospodářství (Circular economy action plan - Publications Office of the EU[5]) není uvedeno nic konkrétního v souvislosti s recyklací a recyklovatelností, jen následující:

- *„Druhotné suroviny čelí v konkurenci s primárními surovinami mnoha výzvám, a to z důvodů, které nesouvisí jen s jejich bezpečností, ale i jejich vlastnostmi, dostupností a náklady na ně. Několik opatření uvedená v tomto plánu, zejména zavedení požadavků na recyklovaný obsah ve výrobcích, přispějí k předcházení nesouladu mezi nabídkou druhotných surovin a poptávkou po nich a zajistí bezproblémové rozšíření odvětví recyklace v EU".*

Evropská směrnice 94/62/EC[6] uvádí tři následující tvrzení:

- *„Obaly musí být navrženy, vyrobeny a uvedeny na trh takovým způsobem, aby umožňovaly jejich opětovné použití nebo využití, včetně recyklace, a aby se minimalizoval jejich dopad na životní prostředí při likvidaci obalového odpadu nebo zbytků z nakládání s odpady z obalů".*
- *„Obaly musí být vyrobeny tak, aby byla minimalizována přítomnost škodlivých a jiných nebezpečných látek a materiálů jako složek obalového materiálu nebo kterékoli ze složek obalu, pokud jde o jejich přítomnost v emisích, popele nebo výluhu, když jsou obaly nebo zbytky z provozů nebo odpady z obalů jsou spalovány nebo skládkovány*".
- *„Obaly musí být vyrobeny tak, aby umožňovaly recyklaci určitého procentního podílu hmotnosti použitých materiálů, a to v souladu s platnými normami. Stanovení tohoto procenta se může lišit v závislosti na typu materiálu, z něhož je obal složen*".

2.3. Recyklace v rámci světové odpadové legislativy

Ve Spojených státech, je recyklovatelnost definována dle Federální obchodní komise pro používání environmentálních marketingových tvrzení, známé jako „Green Guides" (Kodex federálních předpisů, hlava 16 část 260 a oddílu 5 zákona FTC, 15 USC 45). Green Guides uvádí[7]: *„Produkt nebo obal by neměl být uváděn na trh jako **recyklovatelný**, pokud jej nelze shromáždit,*

[5] Dostupné z www.op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/45cc30f6-cd57-11ea-adf7-01aa75ed71a1/language-en/format-PDF/source-170854112
[6] Dostupné z www.eur-lex.europa.eu/legal-content/en/TXT/?uri=celex:31994L0062
[7] How2Recycle, The How2Recycle Guide to Recyclability. Dostupné z https://how2recycle.info/guide

T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

vytřídit nebo jinak oddělit z celkového proudu odpadu prostřednictvím zavedeného recyklačního systému pro opětovné použití.“

AMERIPEN (The American Institute for Packaging and the Environment) zdůrazňuje myšlenku, že **recyklace/recyklovatelnost** je *systém propojených akcí, kde všechny prvky systému musí spolupracovat (myšleno sběr, třídění, recyklace, veškeré prvky musí mít propojení)*[8]. V dokumentu je uvedena přehledná tabulka, jak různé země definují recyklaci/recyklovatelnost na legislativní úrovni.

Kanadská směrnice definuje pojem **recyklovatelnost** následovně[7]: *[Recyklovatelný je pojem, který je] „charakteristický pro produkt, obal nebo související komponentu, které lze odklonit z proudu odpadu prostřednictvím dostupných procesů a programů a které lze sbírat, zpracovávat a vracet k použití ve formě surovin nebo produktů. Nestačí potvrdit, že existují komunální nebo průmyslové systémy sběru, kde se produkt prodává, aby bylo možné tvrdit, že je „recyklovatelný“ - musí existovat také zařízení pro zpracování shromážděných materiálů a jejich opětovné použití jako vstup do jiného produktu, který lze uvést na trh a použít.“*

2.4. Recyklace z pohledu výrobců a výzkumu

Zástupci společností Plastic Recycling Europe a Association of Plastic Recyclers zformulovali **recyklovatelnost** (a to pro plastové výrobky a obaly) následovně (konkrétně – popsali čtyři hlavní podmínky, aby se výrobek dálo označit jako recyklovatelný)[9]:

1. *Výrobek musí být vyroben z plastu, který je sbírán za účelem recyklace, má tržní hodnotu nebo je podporován legislativně nařízeným programem,*
2. *Výrobky by měly být roztříděny ve speciálně k tomu určených místech,*
3. *Výrobek lze zpracovat a znovu využit / recyklovat pomocí komerčně dostupných recyklačních procesů,*

[8] AMERIPEN, Packaging Materials Management Definitions: A Review of Varying Global Standards Guidance Document. Dostupné z https://cdn.ymaws.com/www.ameripen.org/resource/resmgr/pdfs/AMERIPEN-Report-RecyclingDef.pdf

[9] Global Definition of Plastics Recyclability from International Recycling Associations | Waste Management World. Dostupné z https://waste-management-world.com/a/global-definition-of-plastics-recyclability-from-international-recycling-associations

T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

4. *Recyklovaný plast se stává surovinou, která se používá při výrobě nových produktů*

European Policies Research Centre definuje **recyklovatelnost** papíru následovně[10]: *„Individuální vhodnost použitého papírového obalu pro jeho reálné přepracování na nový papír a lepenku, přičemž „reálné" znamená, že oddělený sběr (tam, kde je to relevantní, a s následným tříděním) podle tříd jakosti podle EN 643 a konečná recyklace se dají realizovat v průmyslovém měřítku.*

V článku *Plastic recycling in a circular economy: determining environmental performance through an LCA matrix model approach*[11] byla **recyklovatelnost** plastů rozdělena do 4 kategorií:

- ***Primární recyklace*** *nebo closed-loop recyklace. Obal nebo výrobek může být zrecyklován za vzniku stejného výrobku o stejné kvalitě (vysoká kvalita recyklátu).*
- ***Sekundární recyklace*** *nebo open-loop recyklace. Obal nebo výrobek je recyklovatelný, ale vzniklý recyklát má horší kvalitu na rozdíl od původního materiálu, proto vzniklý recyklát může být aplikován pro výrobu výrobků nižší kvality.*
- ***Terciární recyklace*** *zahrnuje plasty vhodné pro industriální využití nebo plasty vhodné k monomérové recyklaci.*
- ***Kvartérní recyklace*** *zahrnuje spalování plastů za vzniku energie.*

Iniciativa RecyClass[12] vznikla na základě společného zájmu výrobců, obchodníků, zpracovatelů primárních surovin a závodů sloužících k recyklaci plastových obalů, aby zpracovala a sjednotila principy pro co nejefektivnější recyklaci, zejména plastů. Iniciativa RecyClass se řídí principy společností Plastic Recycling Europe a Association of Plastic Recyclers, o kterých bylo zmíněno výše. Definuje dva hlavní principy **recyklovatelnosti**:

1. **Design-for-Recycling Assessment**: plastový obal již byl navržen jako recyklovatelný. Pro Design-for-Recycling existuje pomůcka, která posuzuje plastové obaly dle stupně recyklovatelnosti od A do F (obecně stupnice funguje na základě dvou hlavních principů – jsou-li nějaké překážky pro recyklaci a jestli se jedná o closed-loop systém).

---

[10] CEPI, Obaly s obsahem papíru – Pokyny k posouzení recyklovatelnosti. Dostupné z https://www.svetbaleni.cz/wp-content/uploads/2020/02/Final-doporučení-pro-recyklovatelnost-výrobků-z-papíru-a-lepenky.pdf

[11] A.E. Schwarz, T.N. Ligthart, D. Godoi Bizarro, P. De Wild, B. Vreugdenhil, T. van Harmelen, Plastic recycling in a circular economy; determining environmental performance through an LCA matrix model approach. Waste Management 121. 2021. Dostupné z https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.12.020

[12] Dostupné z https://recyclass.eu/recyclability/definition/

T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

a. **Obal je snadno recyklovatelný** a vzniklý recyklát má kvalitu původního výrobku (closed-loop systém).
b. **Obal může způsobit jen drobné komplikace během recyklace**, které ale mohou minoritně ovlivnit kvalitu vzniklého recyklátu. Ale většinou z recyklátu může vzniknout výrobek původní kvality (potenciální closed-loop systém).
c. **Obal má některé překážky pro recyklaci**, které ovlivňují kvalitu vzniklého recyklátu nebo vedou k materiálovým ztrátám. Jedná se o kaskádový open-loop systém, který pak přechází v closed-loop systém (třeba dojde k materiálovým ztrátám, ale ze zbylého recyklátu vznikne kvalitní granulát, který má kvalitu původního výrobku).
d. **Obal má významné překážky pro recyklaci**, které podstatně ovlivňují kvalitu vzniklého recyklátu nebo zahrnují velké materiálové ztráty, a proto jde o down-cycling.
e. **Obal má závazné překážky pro recyklaci**, které ohrožují kvalitu recyklátu nebo vedou k významným materiálovým ztrátám. Takový obal není recyklovatelný a jedině může být využít energeticky.
f. Obal není recyklovatelný.

2. **Recyclability Rate Assessmet:** obal byl navržen jako recyklovatelný v souladu s RecyClass Design for Recycling Guidelines, což je kvantitativní hodnocení recyklovatelnosti obalů. Hodnocení probíhá na základě výpočtu poměru mezi hmotností recyklovatelného plastu vzniklého z obalu a celkové hmotnosti obalu (v %) (**výpočetní rovnice**: (čistá hmotnost zcela nového balení minus hmotnost prázdného čistého obalu)/čistá hmotnost obsahu *100).

Iniciativa How2Recycle[7] vysvětluje, že se obal dá považovat za recyklovatelný, pokud prošel následujícími kroky: **sběr obalu** neboli primární třídění - **dotřiďování** neboli sekundární třídění – **zpracování** – **znovupoužití** za vzniku původního výrobku nebo vznik nového výrobku. Skutečně recyklovatelný obal musí projít přes všechny uvedené kroky. Často nastává následující situace: obal byl udělán z materiálu vhodného pro recyklaci, ale není recyklovatelný, a to kvůli tomu, že např. pro materiál není odbyt, zpracovatel atd. Recyklovatelnost je rovnováha mezi materiály vhodnými k recyklaci a zpracovatelskou infrastrukturou.

Třeba belgický projekt Expra[13], který vznikl v roce 2013, je platformou zastupující zájmy všech jejích členských organizací pro recyklaci a recyklaci obalů. Platforma je schopná udělat

[13] Dostupné z https://www.packaging4recycling.eu/about.php

T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

„***packaging recyclability road map***“, která se drží následujících důležitých kontrolních bodů recyklovatelnosti: **design, značení, sběr a recyklace**.

- **Design** je prvním kritickým bodem k hodnocení recyklovatelnosti obalů, což znamená, že obal musí být již ze začátku navržen k recyklaci (závisí na souboru kritických faktorů, často spojených s vnitrostátními trhy spotřeby).
- **Značení** je druhým kritickým kontrolním bodem a jde o zjištění, jestli jsou nějaké povinné nebo dobrovolné požadavky na označování, jejichž cílem je usnadnit spotřebitelům plnění jejich odpovědnosti vůči třídění a předávání obalového materiálu do sběrné sítě.
- **Sběr** je třetím kritickým kontrolním bodem, který hodnotí, jestli existují vhodné systémy sběru, které výrobek předají k recyklaci.
- **Recyklace** je posledním kritickým bodem, který hodnotí, jestli jsou vhodné závody, které výrobek přijmou k recyklaci a skutečně ho zrecyklují.

Francouzský projekt Cotrep, který se zabývá recyklací plastů, vyvinul checklist otázek, které pomohou zjistit, jestli je výrobek recyklovatelný či není (obrázek je víceméně podobný stupnici RecyClass)[14].

V článku *Production of Packaging from Recycled Materials: Challenges Realted to Hazardous Substances*[15] pojem recyklace je definován následovně: „*Recyklace obalů je vrácení zdroje jako druhotné suroviny zpět do ekonomického cyklu pro výrobu nových obalů nebo jiných produktů*“.

[14] Dostupné z https://www.cotrep.fr/content/uploads/sites/3/2019/02/cotrep-guidelines-recyclability.pdf
[15] Ieva Kazulytė, Jolita Kruopienė. Production of Packaging from Recycled Materials: Challenges Realted to Hazardous Substances. Journal of Environmental Research 74, 2018. Dostupné z http://dx.doi.org/10.5755/j01.erem.74.4.22148

T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

3. Návrh a definice pojmů se zaměřením na obaly

Níže uvedené pojmy ohledně udržitelnosti a recyklace jsou vymezeny tak, aby byly srozumitelné také pro širší odbornou veřejnosti (cílová skupina – semináře, workshopy). **Odlišujeme pojem udržitelný a recyklovatelný obal**, protože hierarchie nakládání s odpady rozlišuje pojem znovuvyužití (re-use) a recyklace (recycling). Znovuvyužití je dnes upřednostňovanou formou před recyklací. Z pohledu počtu cyklů, který může obal absolvovat lze obaly dělit na:

- **Obal pro opakované využití** – může plnit svoji funkci opakovaně, aniž by musel podstoupit recyklační proces, pro obnovení funkce je prováděna pouze kontrola, čištění, případně desinfekce. Počet cyklů může být různý. Část obalů nemusí splňovat kritéria pro opakované použití a je teda z cyklu vyřazena.
- **Jednorázové** – do této skupiny spadají všechny obaly, které jsou po splnění své funkce recyklovány, energeticky využívány nebo jiným způsobem odstraněny. Do této skupiny spadají také obaly, u kterých je recyklační proces veden tak, že výstupem je obal se stejnou funkcí a kvalitou (např. bottle to bottle). Tento proces je považován za složitější než procesy v případě obalů pro opakované využití. Nepatří sem zakázané jednorázové obaly.

Proto navrhujeme používat pojem „**Udržitelný obal**“ v širším kontextu, který zahrnuje také jeho efektivní opětovné využití (např. skleněné láhve, vratné zálohované obaly, které se několikrát vrací zpátky do oběhu a jsou schopny opakovaně plnit svůj účel).

Udržitelný obal je takový obal, který byl navržen, vyroben a uveden na trh způsobem, který umožňuje jeho opětovné použití nebo recyklaci na materiál stejné kvality. Udržitelný obal musí být možné shromáždit, vytřídit nebo jinak oddělit z celkového proudu odpadu a vede k materiálu, který má tržní hodnotu nebo je podporován legislativně nařízeným programem. Současně má obal minimální vliv na životní prostředí a zdraví v celém svém životním cyklu.

Podskupinou udržitelných obalů jsou obaly, které nejsou opětovně použitelné, ale jsou recyklovatelné do materiálu stejné kvality. Ze získaného materiálu může být vyroben stejný obal. Příkladem je v případě PET Bottle to Bottle“. Recyklace musí být proveditelná komerčně dostupnými technologiemi a vede k výrobku/surovině o stejné kvalitě (vysoká kvalita recyklátu). Současně dochází pouze k minimálním materiálovým ztrátám. Nejedná se o open loop ani downgrading.

T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

V případě, že je obal tvořen více druhy materiálů, musí být návrh obalu proveden tak, aby jeho jednotlivé materiálové části byly v rámci recyklačního procesu oddělitelné komerčně dostupnými procesy. Alternativně může po použití snadno oddělit a jednotlivé části roztřídit přímo uživatel. Ve všech případech udržitelného obalu musí spotřebitel dostat nebo mít možnost snadno získat srozumitelnou informaci, jak postupovat.

Dále se bude používat pojem „**recyklovatelný obal**“ pro případy, kdy jsou splněny podmínky pro recyklovatelnost v rámci systémů cloosed loop:

- Obal má minimální vliv na životní prostředí a zdraví v celém svém životním cyklu.
- Lze jej shromáždit a vytřídit z proudu ostatních odpadů a připravit surovinu v požadované kvalitě pro jeho následné využití jako druhotné suroviny nahrazující surovinu primární.
- Výše uvedený bod je možné provést pomocí komerčně dostupných technologií. Dostupnost technologií je posuzována v kontextu EU. Přestože z pohledu surovinové soběstačnosti ČR, podpoře podnikání v oblasti recyklačního průmyslu a snaze produkovat výstupy s vyšší přidanou hodnotou, by byl logický krok posuzovat v kontextu ČR. Dle provedených analýz se jeví dopad transportu na udržitelnost vyjádřenou kritérii ochrany životního prostředí jako zanedbatelná vzhledem k dalším částem celého řetězce. Doprava ale zásadně ovlivňuje cenu.
- Náklady na řetězec zahrnujícího předchozí body – musí být dostatečně nízké, aby na trhu bylo uplatnitelné.

Některé obaly pro opakované využití a určité skupiny jednorázových obalů mohou být shromažďovány v rámci systému zálohování. Z pohledu uživatele nemusí být zřejmá hranice mezi zálohovaným obalem pro opakované použití a jednorázovým, který je následně přepracován do stejného obalu, např. systém zálohovaných skleněných nápojových obalů vs systém bottle to bottle. Společné mají, že obal musí podstoupit několik operací. Takové obaly lze pak souhrnně nazvat **vratné** (zálohované). **Obal pro opakované použití může být udržitelný, ale také neudržitelný**. Cílem je navrhovat obaly pro opakované využití jako udržitelné, tzn., že musí mít minimální vliv na životní prostředí a zdraví. Měl by být vyroben z materiálů, které umožňují recyklaci do materiálu stejné kvality. Tato podmínka zajistí, že k udržitelnosti přispívá i vyřazený podíl (ztráta). V případě jednorázových obalů podmínka udržitelnosti vyžaduje možnost recyklace na materiál stejné kvality (closed loop).

Neudržitelný obal je takový obal, který není recyklovatelný a nelze jej dále využít. Efektivním krokem pro jeho odstranění může být buďto energetické využití nebo skládkování.

T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

Omezeně recyklovatelný obal je obal, jehož podstatnou část nelze využít k produkci výrobku/suroviny o stejné kvalitě a využívá se pro jiné účely nebo je využíván energeticky.

Z pohledu recyklace, lze přistoupit k dalšímu dělení, a to z pohledu dodržení kvality, související s celou řadou aktivit a procesů:

- **Closed-loop recyklace** – vede na výrobky materiály se stejnou kvalitou – z pohledu dlouhodobé udržitelnosti a naplnění myšlenky cirkulární ekonomiky preferováno.
- **Open-loop recyklace** – vede k postupnému snižování kvality, je důležitá z pohledu plnění cílů odpadového hospodářství, směrnic ES a zákona o odpadech. Nesplňuje podmínku udržitelného nakládání.

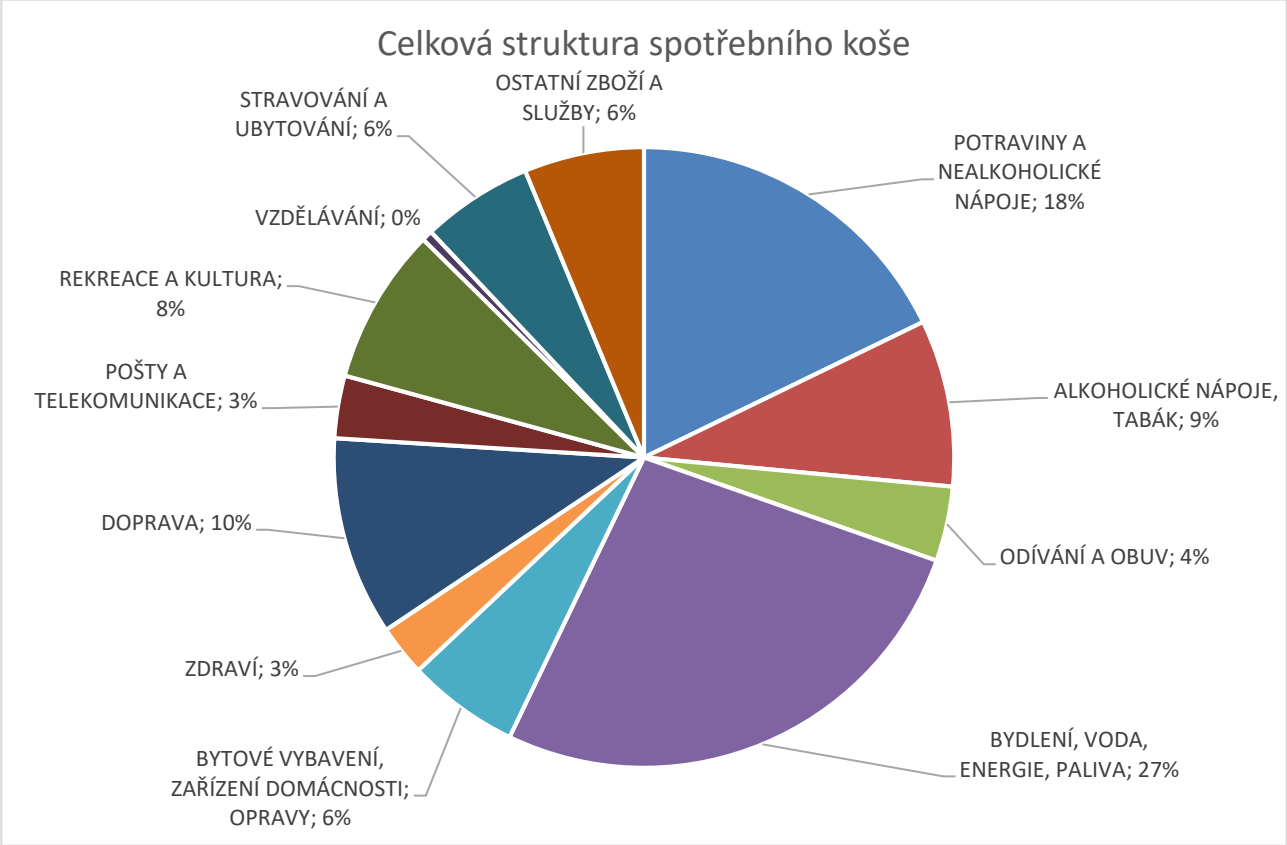
Obaly lze dále rozdělit z pohledu funkce obalu

- **Primární** (spotřebitelské/prodejní) – obal, do kterého je výrobek zabalen, nazýván také spotřebitelský obal.
- **Sekundární** (skupinové) – slouží jako prodejní jednotka, případně jako skladovací jednotka do skaldů či regálů.
- **Terciální** – slouží k přepravě prodejních, obchodních či výrobních jednotek.

T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

4. Analýza spotřebního koše jako východisko pro obaly

Spotřební koš definovaný ČSU[2] je soubor vybraných výrobků a služeb, který má reprezentovat rozsah a strukturu výdajů na statky a služby, jež jsou typické pro domácnosti. Základní dělení spotřebního koše je zobrazeno na Obr. 9.



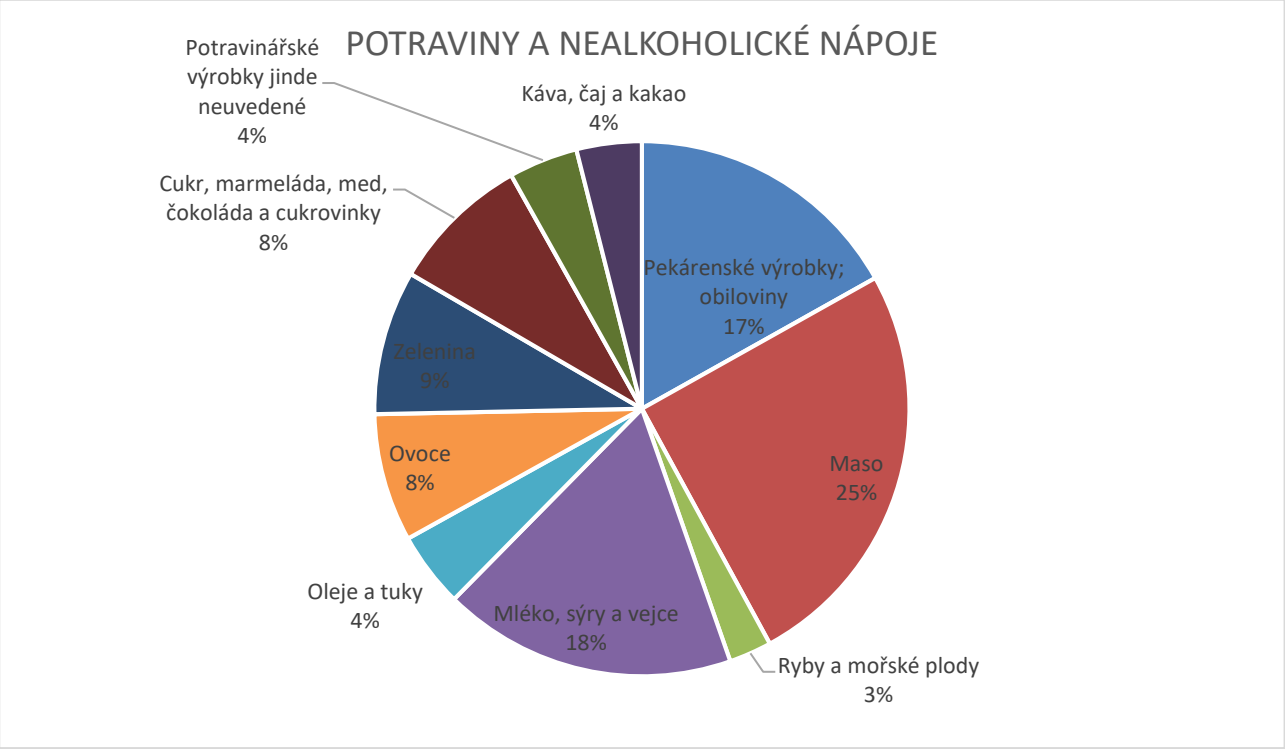
Obr. 9: Struktura spotřebního koše dle jednotlivých sledovaných kategorií, zdroj: ČSU

Budeme se zaměřovat zejména na kategorie **potraviny a nealkoholické nápoje** (Obr. 10) a **alkoholické nápoje a tabák** (Obr. 11). Ostatní kategorie spotřebního koše nejsou pro předkládanou zprávu stěžejní.

Obr. 12 až Obr. 20 ukazují detailně dělení podkategorií potravin a nealkoholických nápojů, konkrétně podkategorie: pekárenské výrobky a obiloviny, maso, ryby a mořské plody, mléko +

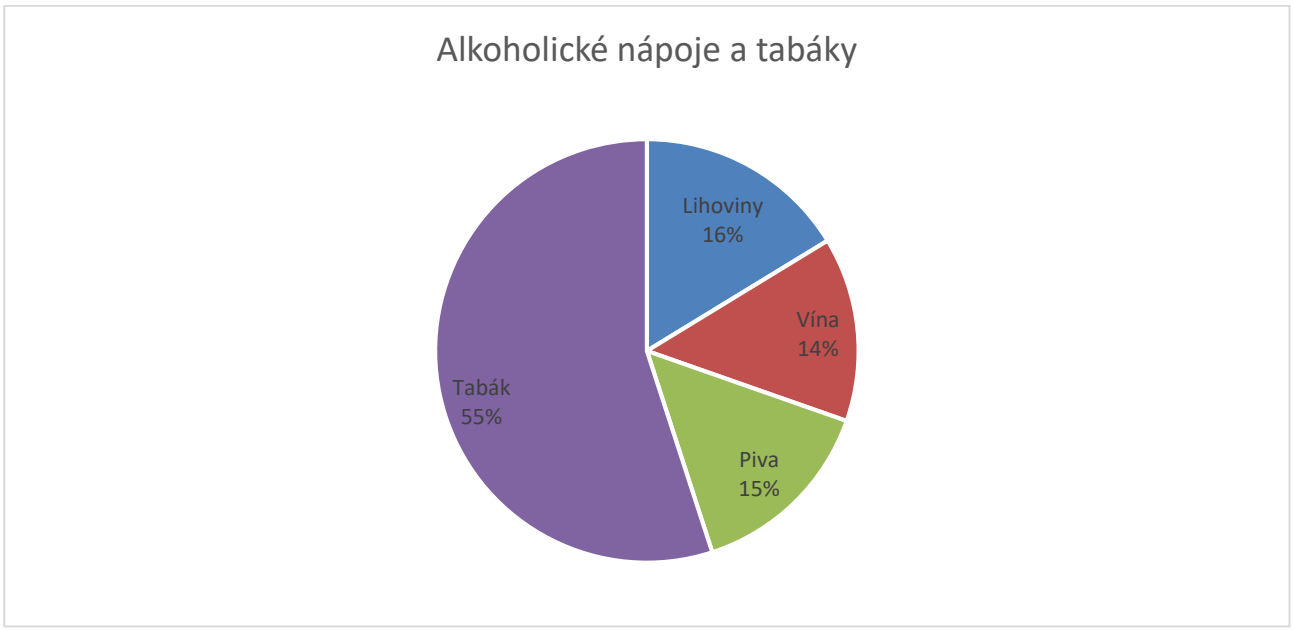
T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

sýry + vejce, oleje a tuky, ovoce, zelenina, cukr + marmeláda + med + čokoláda + cukrovinky, a další jinde neuvedené potravinářské výrobky.

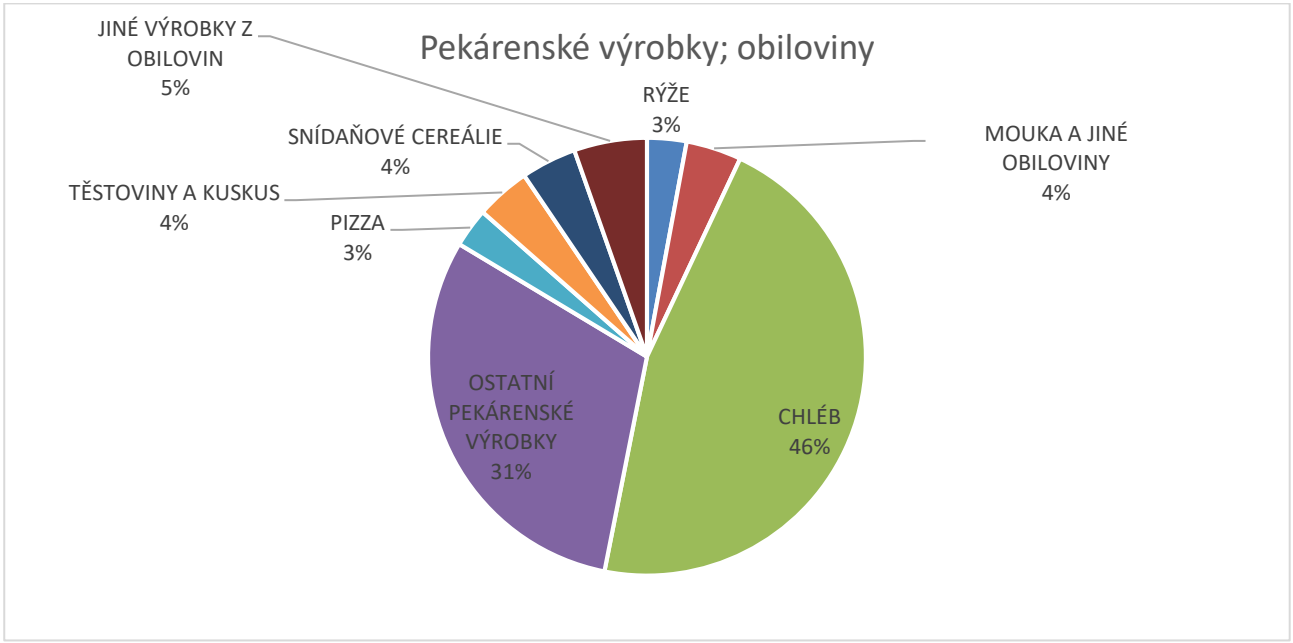


Obr. 10: Kategorie Potraviny a nealkoholické nápoje dělení do podkategorií

T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

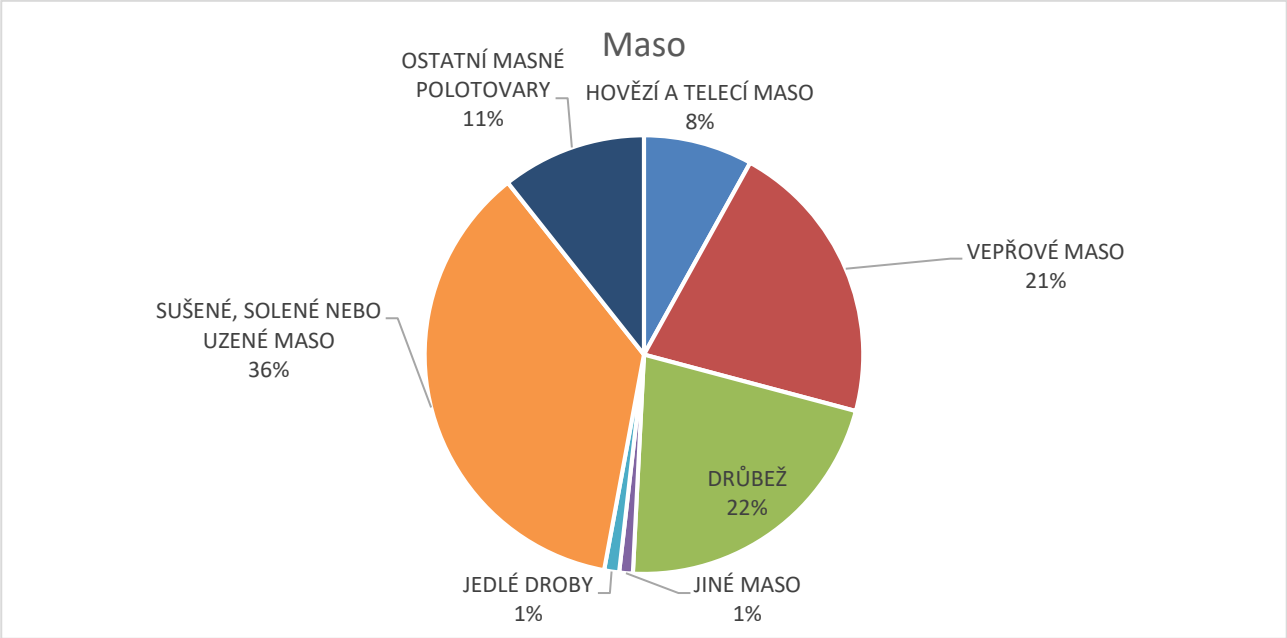


Obr. 11: Kategorie alkoholické nápoje a tabáky dělení do podkategorií

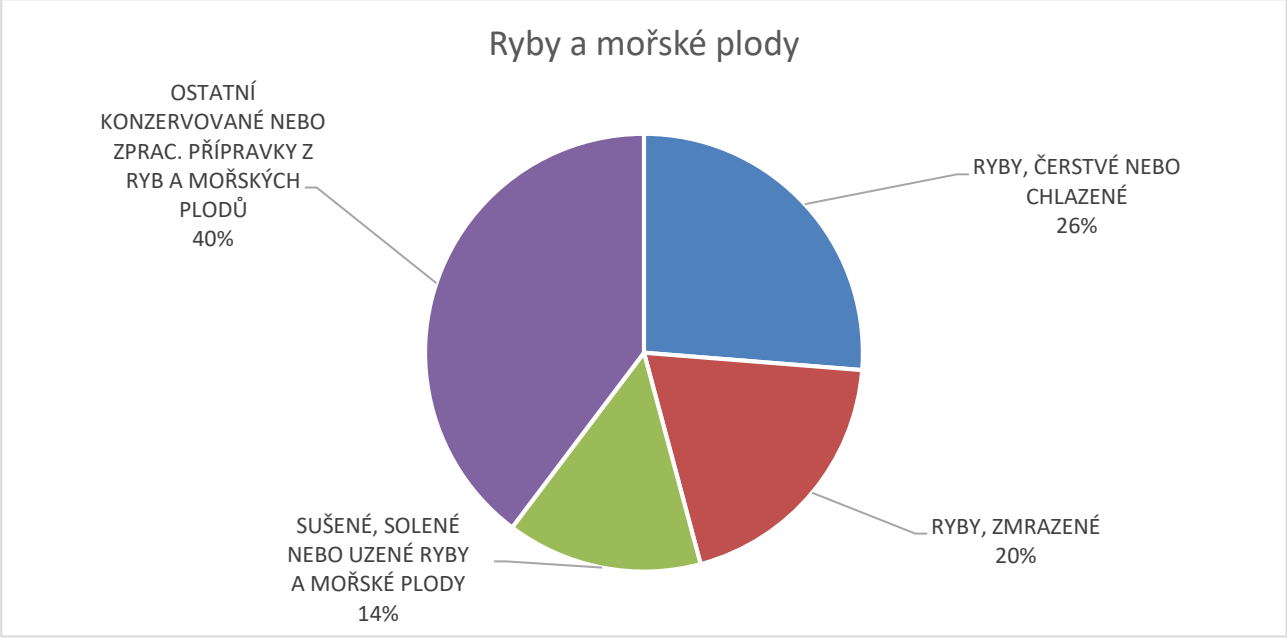


Obr. 12: Podkategorie pekárenské výrobky, obiloviny a její dělení

T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

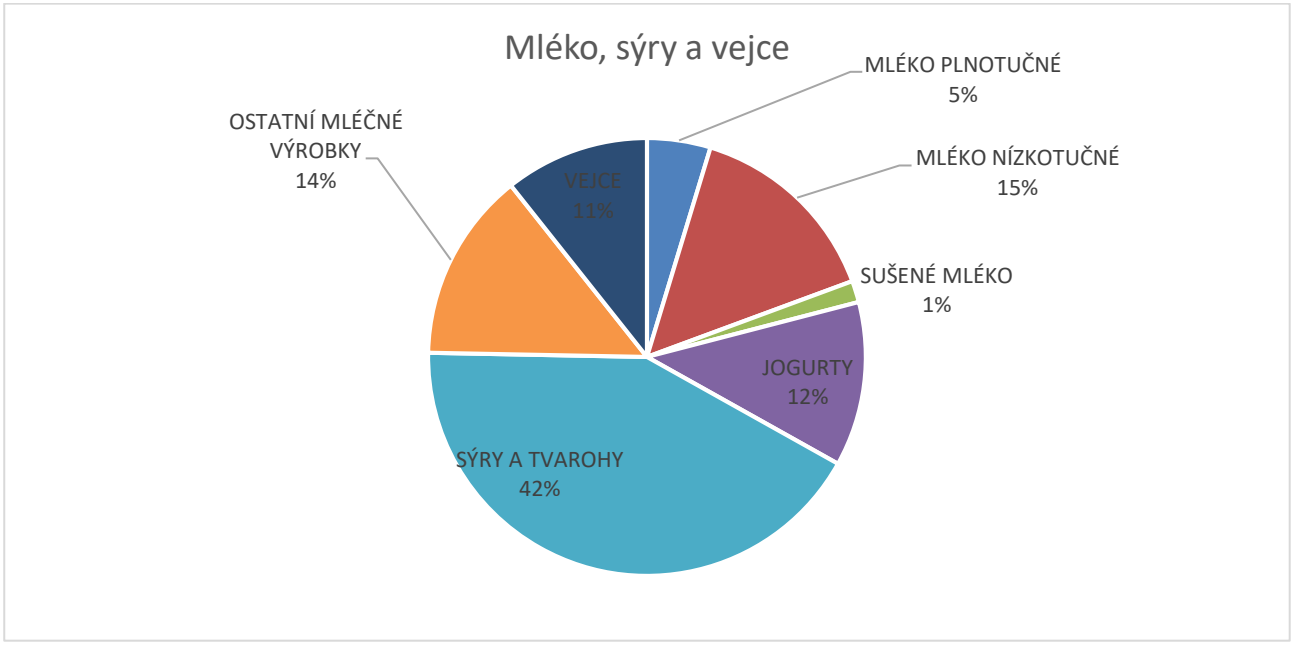


Obr. 13: Podkategorie maso a její dělení

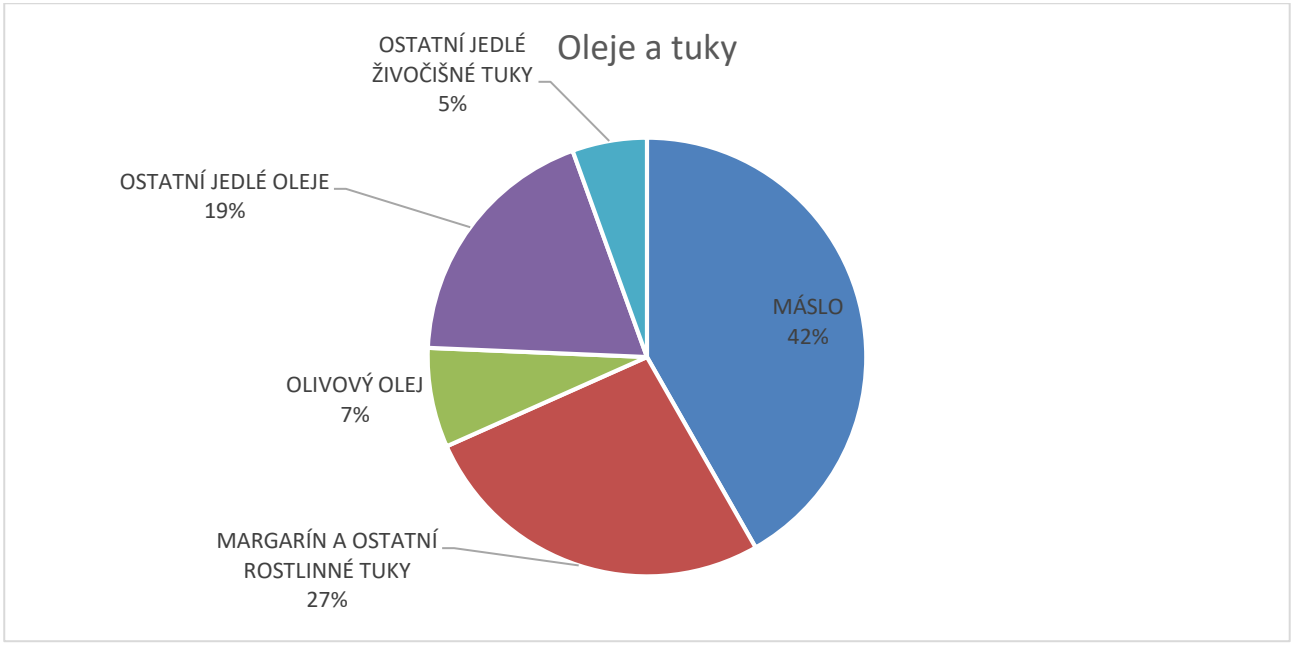


Obr. 14: Podkategorie ryby a mořské plody a její dělení

T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

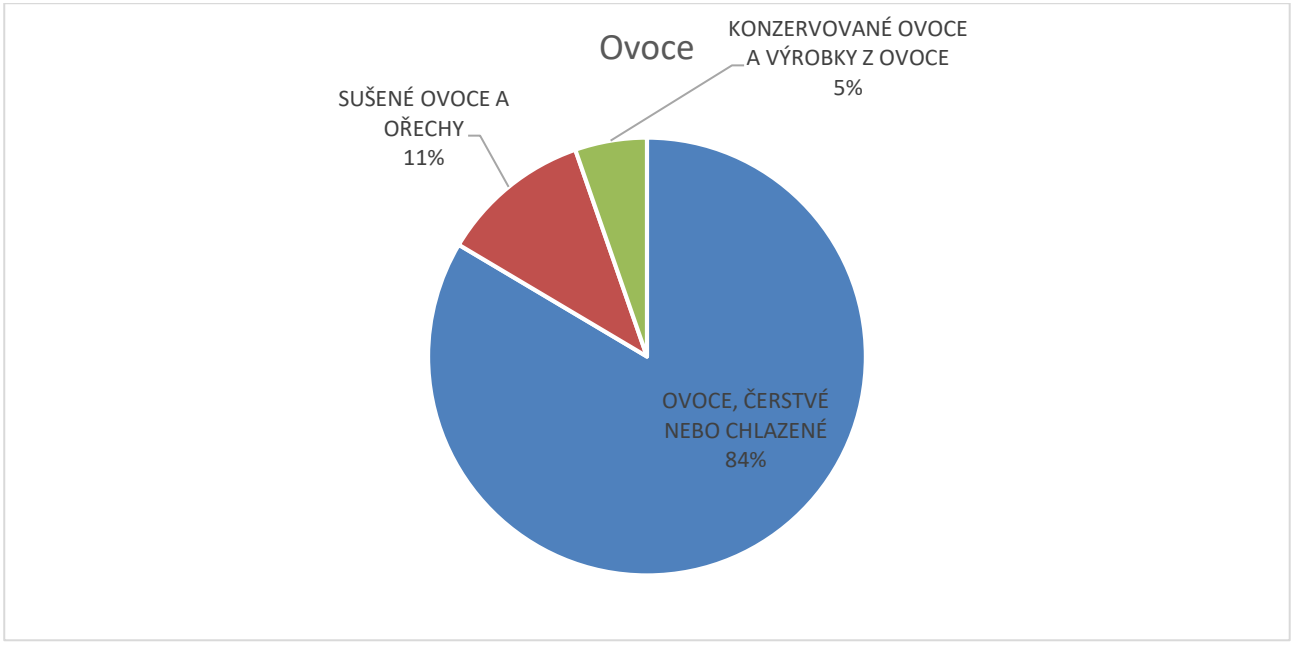


Obr. 15: Podkategorie mléko, sýry a vejce a její dělení



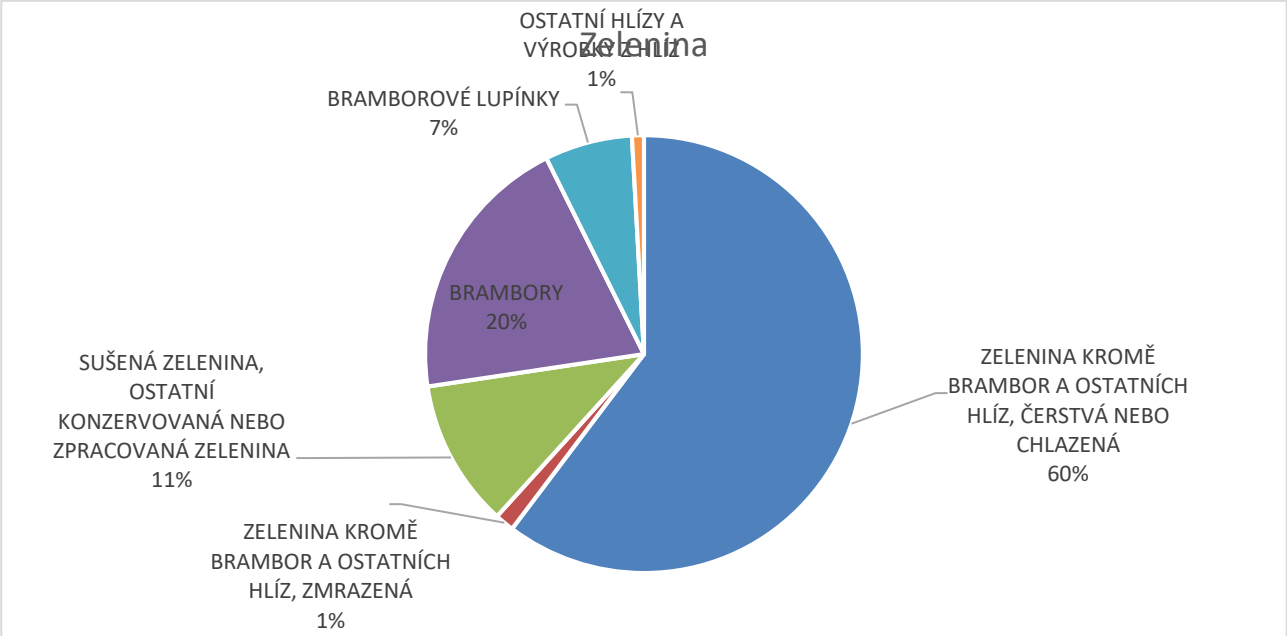
T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

Obr. 16: Podkategorie oleje a tuky a její dělení

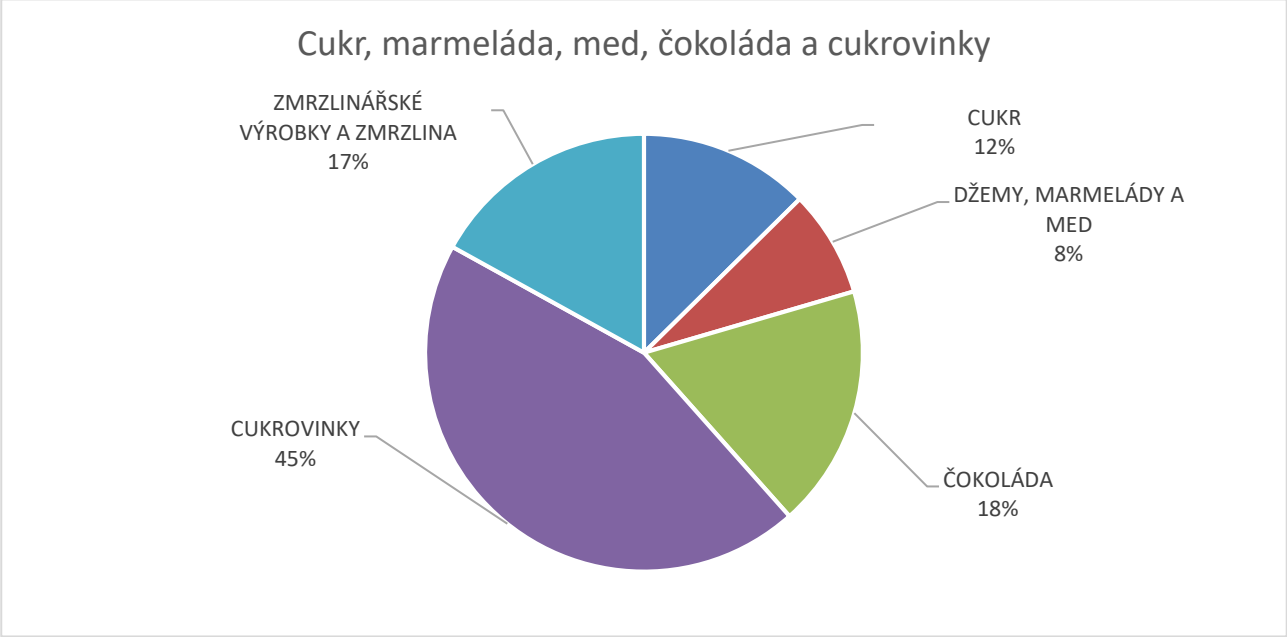


Obr. 17: Podkategorie ovoce a její dělení

T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

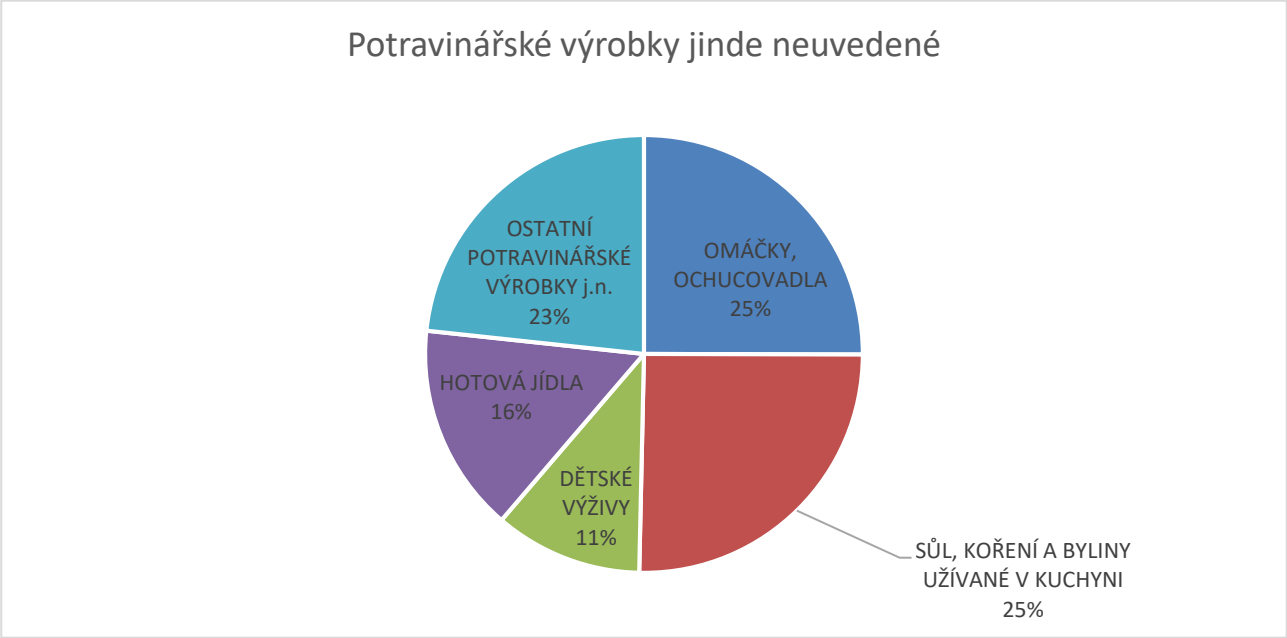


Obr. 18: Podkategorie zelenina a její dělení



Obr. 19: Podkategorie cukr, marmeláda, med, čokoláda a cukrovinky a její dělení

T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.



Obr. 20: Podkategorie potravinářské výrobky jinde neuvedené a její dělení

Závěr z analýzy spotřebního koše je takový, že na základě teoretického a praktický přístupu jsou obaly z velké části tvořeny z potravin. Analýza spotřebního koše ukazuje v této souvislosti typy a druhy obalů uváděných na trh – skupiny obalů, používané a možné materiály, možnost náhrady jiným obalem. Další potřebné kroky jsou patrné dále v předkládané zprávě.

T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

5. Základní principy a technické možnosti recyklace plastů

5.1. Typy plastů a jejich vlastnosti:

Syntetické polymery se řadí mezi nejúspěšnější vynálezy lidstva, které posunuly civilizační pokrok významnou měrou kupředu. Během let se z nich staly materiály, bez nichž by se některá odvětví lidské činnosti už prakticky neobešla, např. elektronika nebo lékařství. Od roku 1907, kdy byl belgickým chemikem Leo Baekelandem připravený první syntetický polymer – kondenzát fenolu a formaldehydu nesoucí komerční název Bakelit – uplynulo již více jak sto let. Během této doby přišlo na svět velké množství dalších polymerů, které dnes již s naprostou samozřejmostí používáme. Největší rozmach však začal až po roce 1963, kdy Giulio Natta a Karl Ziegler získali Nobelovu cenu za přelomový objev způsobu nízkotlaké polymerace olefinů, který otevřel dveře dokořán celosvětové masové produkci plastů.

Plasty se liší od klasických materiálů následovně:

- Pružností.
- Snadnou tvarovatelností.
- Nízkou cenou.
- Nízkou hmotností.
- Odolností korozi.
- Ostatními mechanickými vlastnosti – pevnost, tažnost, tuhost, schopnost relaxace.
- Bariérovými vlastnostmi.
- Barvitelností.
- Organoleptickými vlastnostmi.
- Modifikovatelností.
- Recyklovatelností.

Míra každé z vlastností polymerů může být velmi různá a závisí nejen na povaze a složení řetězců polymeru samotného, ale i na jejich nadmolekulárním uspořádání a na přísadách (aditivech), které jsou do polymeru přidávány (stabilizátory, pigmenty, plniva, nukleanty apod.). Zde je pak nutno rozlišovat dva názvoslovné pojmy:

- Polymer = původní soubor makromolekul daného složení.
- Plast = polymer vybavený příslušnými aditivy.

T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

Pro zjednodušení komunikace dostal každý typ polymeru podle své chemické struktury své nezaměnitelné označení, které je v běžném životě všeobecně využíváno.

Základní vlastnosti makromolekuárních řetězců polymeru jsou dány jeho chemickou strukturou. Vzhledem k tomu, že základní jednotky polymerů mohou tvořit funkční skupiny různých složení, lze v hrubém přiblížení rozlišit polymery polární a nepolární.

- Polymery polární – obsahují skupiny s nerovnoměrně rozloženými vazebnými elektrony mezi některými atomy, např. polyestery, polyamidy, polykarbonáty.
- Polymery nepolární – obsahují v řetězci pouze C-H vazby, tj. uhlovodíky typu PE, PP.

Polarita polymeru, větvení a jejich vliv na schopnost krystalovat a formovat při chladnutí svoji nadmolekulární strukturu je hlavním důvodem, proč jsou polymery navzájem jen omezeně mísitelné (podobné fyzikální charakteristiky). Mísitelnost polymerů ilustruje Tab. 1. Platí zde pravidlo, že čím jsou si polymery podobnější, tím mají větší šanci se mísit.

Tab. 1: Mísitelnost polymerních materiálů

T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

	ABS	ABS +BFR	HIPS	HIPS +BFR	PET	PC	PMMA	PC/ABS	POM	PE	PP	PA	PPE	SAN	PVC	PC/ABS +PFR	HIPS/PPE	HIPS/PPE +PFR	PBT
ABS																			
ABS+BFR																			
HIPS																			
HIPS+BFR																			
PET																			
PC																			
PMMA																			
PC/ABS																			
POM																			
PE																			
PP																			
PA																			
PPE																			
SAN																			
PVC																			
PC/ABS+PFR																			
HIPS/PPE								up to 15 %								up to 15 %			
HIPS/PPE +PFR								up to 15 %								up to 15 %			
PBT																			

	Good mixing with retention of physical properties (assume > 80%)
	Reasonable mixing but with lower physical properties
	Compatible in small quantities (0.1–0.2 %)
	Bad mixing and/or bad physical properties (assume < 80%)

Je to právě omezená vzájemná mísitelnost jednotlivých typů polymerů, se kterou je nutno počítat jako s možným komplikujícím faktorem při směsné recyklaci odpadních plastů.

5.2. Typy reakcí vedoucích ke vzniku polymerů

Přestože polymery v přírodě běžně existují (bílkoviny, rohovina, celulóza apod.), syntetické polymery, o nichž je v této práci řeč jsou výhradně produktem aktivit člověka a běžně se v přírodě nevyskytují. Jsou to makromolekulární sloučeniny vytvořené mnohonásobným opakováním základní stavební jednotky, které ve vysokém počtu zapojení přináší nové, jinou cestou nedosažitelné vlastnosti. Aby mohl být plast polyreakcí vytvořen, musí mít jeho základní

T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

stavební jednotka – monomer – k dispozici minimálně dvě reakční místa, na nichž bude probíhat zapojení do řetězce. Nejčastějšími principiálními reakcemi vedoucími k tvorbě polymeru jsou:

- **Polyadice** – reakční místa vytvořena adicí na nenasycenou vazbu monomeru.
- **Polykondenzace** – vytvoření vazeb mezi funkčními skupinami za současného uvolnění nízkomolekulárního vedlejšího produktu (kondenzátu).
- **ROMP reakce** – polymerace metathezí za otevření kruhu.

Jiné typy polymerací jsou pak většinou modifikacemi těchto tří základních. Podmínky polymerace mohou být velmi různé, jsou však vždy přesně definovány teplotou, tlakem, přítomnosti iniciátorů nebo katalyzátorů, aby vedly přesně k požadovanému cíli. Protože syntéza polymerů není předmětem této práce, jsou syntetické reakce zmíněny jen informativně, aby dokreslily oblast problematiky polymerů.

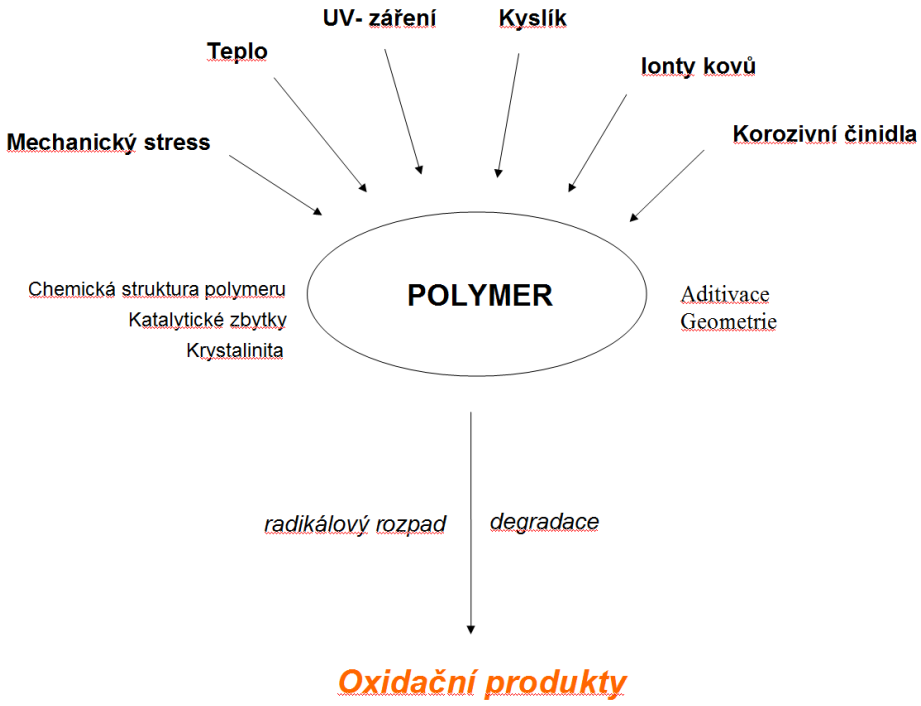
5.3. Stárnutí polymerů

Syntetické polymery byly vytvořeny uměle, běžně se v přírodě nevyskytují. I když se to ve světle globálních ekologických problémů s nimi tak nejeví, jsou to látky relativně citlivé na vlivy okolního prostředí a časem mění své vlastnosti. Citlivost k těmto změnám se různí podle typu polymeru, morfologie, geometrie výrobku a účinnosti jeho stabilizačního systému. Doba života polymeru se pak může se za normální teploty pohybovat od několika měsíců až po stovky let. V souvislosti s vlivy okolního prostředí jsou definovány následující pojmy s hierarchií v tomto pořadí:

- **Koroze**: nejobecnější charakteristika změn v polymeru vyvolaným prostředím
- **Stárnutí**: vliv okolního prostředí i vnitřních poměrů matrice. Dochází-li pouze ke změnám fyzikálním v uspořádání makromolekul, může být vratné
- **Degradace**: chemický proces na úrovni makromolekul resultující v zásadních změnách fyzikálně-chemických charakteristik polymeru. Degradace je nevratná!

Způsoby, jakými se polymery přirozenou cestou rozkládají, jsou velmi rozmanité, což ukazuje Obr. 21. Záleží na výchozí struktuře polymeru a na podmínkách za jakých degradace probíhá.

T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.



Obr. 21: Přehled vnějších vlivů působících na polymer

Vnější vlivy uvedené na Obr. 21 jsou iniciační, po nich následuje série primárních a sekundárních reakcí, na jejichž základě pak dochází ke štěpení makromolekul a změnám v molekulových hmotnostech. Nejčastějšími hlavními degradačními reakcemi u běžně používaných polymerů jsou:

1) Štěpení C-C, C-H nebo C-O vazby následované reakcí s kyslíkem (polyolefiny)
2) Hydrolýza funkčních skupin (např. ethery, estery, amidy)
3) Přesmyk na hlavním řetězci (estery aromatických kyselin, např. PET)
4) Eliminace (uvolnění boční funkční skupiny za vzniku dvojné vazby (např. PVC)
5) Adice na nenasycenou vazbu (kaučuky, ozonolýza).

Při degradaci dochází k chemickým změnám na úrovni řetězců makromolekul. Dosáhnou-li určité míry, začnou se projevovat navenek ve změnách vlastností výrobku. K degradaci dochází nejen při expozici aplikačnímu prostředí, ale také při zpracování. Nejkritičtějším zpracovatelským krokem je extruze, kdy polymer musí přečkat krátkodobou expozici vysokým teplotám a jeho tavenina je namáhaná mechanicky šnekem extruderu. Tomuto kroku se při recyklaci vyhnout nelze a je proto nezbytné s jeho vlivem počítat.

T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

5.4. Životnost plastu

Jakkoliv to tak na první pohled vypadá, charakterizovat dobu života plastu není vůbec jednoduché. Je nutno si nejprve položit otázku – co je životnost plastu? Jak ji definovat? Každý má o ní jiné představy. Jinak konec života plastu vidí výzkumník, jinak obchodník, uživatel nebo ekolog. Na základě takovýchto pohledů lze rozlišit tři základní typy životností:

5.4.1. Životnost technická

Definovaná na základě přesně měřitelných technických parametrů (např. konvencí stanovený pokles některé z mechanických vlastností na 50 % původní hodnoty; nárůst karbonylového indexu na předem určenou hodnotu; nárůst celkové barevné odchylky dE na hodnotu 1; pokles lesku povrchu polymeru na 80 % apod.)

Při poklesu pod takto definované kritické hodnoty je polymer považován za degradovaný a neschopný spolehlivě plnit danou aplikaci, přestože stále existuje a je ještě v relativně dobré kondici.

5.4.2. Životnost užitková

Definována dobou, během které je plast schopen plnit nějakou pro mne důležitou funkci, měřitelné parametry nehrají roli. Jinými slovy a nejčastěji – používám plast, dokud se nerozpadne.

Druhou kategorií užitkové životnosti jsou plastové obaly. Jakmile plastový materiál splní svoji funkci, stává se odpadem. Bez ohledu na jeho stav. Často je to materiál degradačně zcela nenarušený.

5.4.3. Životnost ekologická

Tento způsob definuje náhled na konec života plastu nejpřísněji. Plast končící svoji ekologickou životnost by se měl vrátit zpět do přírody, aniž by ji jakýmkoliv způsobem ohrožoval. Jednou z teorií je, že by se měl rozpadnout na částice velikostí srovnatelné s částicemi půdy. Vzhledem k tomu, že plasty samy o sobě toxické nejsou, má tato teorie svoji hodnotu, avšak při bližším zkoumání i ona ekologické riziko přináší.

Ideálním koncem života plastu by proto měl být rozklad na původní složky nebo jim blízké, z nichž byl polymer vyroben.

Vzhledem k historicky relativně krátké době masové globální výroby plastů, která do dneška představuje cca 70 let, stále ještě nemáme dostatek důkazů, nakolik se plast rozloží přirozenou

T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

cestou. Např. zcela zahrabán v zemi, kde nepůsobí přirozené deteriogeny jako např. teplo nebo UV záření. Dosažení ekologického konce života polymeru je tedy výhradně v rukou lidí a jejich technologií.

5.5. Recyklace a používané způsoby likvidace plastového odpadu

Likvidace plastového odpadu historicky řešená byla, ale zdaleka ne s takovým úsilím a hmotnou podporou, jaké byly nasměrovány do jejich vývoje a výroby. Liknavost a nezájem v tomto ohledu tak způsobily, že se svět dnes dostal do situace, kdy jej plastový odpad začal již přímo ohrožovat.

5.5.1. Recyklace přímá – mechanická

Předpokládá opětovné zpracování plastů získaných jako odpad. Lze ji principiálně rozdělit na dvě skupiny:

Recyklace plastového odpadu technického (výrobního), vznikajícího při výrobě plastových výrobků. Tento materiál je vysoce kvalitní a čistý, lze jej tak použít přímo, pouze po rozsekání nebo pomletí na vhodnou provozně akceptovatelnou a dávkovatelnou fyzikální formu. Využívá ji většina zpracovatelů plastů, zvyšují si tím ekonomiku produkce. Ekologické důvody jsou v tomto případě druhotné.

Recyklace plastu komunálního (spotřebního). Tento způsob řeší primárně ekologii, ekonomiku až sekundárně. Předpokládá svoz, třídění, sekání, čištění a následně pak granulaci. Výhodou tohoto způsobu je, že alespoň částečně snižuje obsah odpadních plastů, které by se jinak mohly dostat na skládku nebo do volné přírody. Hlavním nedostatkem je jeho celková ekonomická nevýhodnost, která musí zohledňovat kroky nezbytné k tomu, aby se polymer z odpadu dostal až do zpracovatelského stroje. Problém ekonomiky recyklace odpadu může zčásti řešit legislativa, která má možnost tento postup nařídit. Jiným způsobem schopným nevýhodnou ekonomiku zlepšit je orientace na jediný vybraný produkt, který je snadno separovatelný a dává předpoklady minimálního znečištění. Takovýmto polymerem jsou nápojové PET láhve. Jsou z přesně definovaného materiálu, jsou snadno separovatelné a velmi dobře čistitelné od původního produktu. V takovém případě je recyklace výhodná a poskytuje velmi čistý druhotný produkt.

T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

S ostatním plasty to zdaleka tak jednoduché není. Geometrie jejich výrobků není tak úzce svázána s jediným typem polymeru jako u lahví PET a identifikace jejich složení musí být spojena s další sofistikovanou technologií, která tak dělá přímou recyklaci těchto produktů ještě méně ekonomickou.

5.5.2. Recyklace chemická

Tento způsob recyklace plastů se jeví jako nejprogresivnější a z hlediska ekologie do budoucnosti jediný správný. Předpokládá rozložení plastů za zvýšených teplot a tlaků v přítomnosti katalyzátorů na elementární stavební jednotky polymeru nebo na produkty štěpení jim se blížící (řízená pyrolýza). Tímto způsobem, nejenže je vyřešena samotná fyzická likvidace polymeru, ale řízeným termickým rozkladem materiálu je tak vymazán vliv jeho historie, vyřešena hygiena a konečné produkty štěpení se stávají výchozími látkami pro další organické syntézy, včetně nových polymerů.

Přestože tyto technologie již dlouho existují, jsou poměrně málo rozšířené a stále nejsou na takové úrovni, aby mohly dělat protiváhu výrobě. Jednou z cest, jak tento způsob začít v širším měřítku využívat je legislativa, která by tuto technologii nařizovala a zpočátku i podporovala. Aby však chemická recyklace bez problémů fungovala, musí se stát ekonomickou a musí generovat alespoň minimální zisk. Ten pak bude dostatečnou motivační silou k tomu, aby se technologie stala soběstačnou.

V tento moment se pak stane plastový odpad žádanou surovinou a bude možno jej vykupovat. Tento fakt způsobí, že až se plastový odpad stane žádaným artiklem, stane se předmětem zájmu i běžných lidí. A to především v těch nejchudších zemích, kde by jeho sběr mohli přijmout jako doplňkový zdroj prostředků.

Zaplavení planety plastovým odpadem však musí řešit především ti, co jej způsobili – výrobci plastů. Oni by měli financovat vývoj chemických recyklačních technologií a k tomu by je měla nasměrovat mimo jiné i legislativa. Podobně jako je tomu dnes u prodejců elektroniky, kteří jsou povinni zpětně odebírat elektronické přístroje, které již dosloužily.

5.5.3. Energetické využití (waste-to-energy, efektivní spalování)

Odborný způsob likvidace plastů touto metodou patří zatím k nejúčinnějším. Přestože z plastů představujících materiály s vysokou přidanou hodnotou regeneruje pouze energii, plně a definitivně řeší jejich fyzickou likvidaci. Aby bylo spalování v souladu s ekologií, musí být prováděno profesionálně ve spalovnách, při vysokých teplotách a zplodiny musí být kvalifikovaně filtrovány a neutralizovány, například v rámci EU je provoz jednotek pro

T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

energetické využití vymezen přísnou legislativou (mj. dokumenty BREF[16], energetická účinnost "R1"). Důležité je i zajištění odbytu produkované energie a důraz na kogenerační výrobu elektřiny a tepla. Jedině pak lze mluvit o skutečně ekologické likvidaci. Neodborné spalování bez filtrace zplodin a využití energie se pak blíží svým významem neřízené skládce.

5.5.4. Skládkování

Depozice použitých plastů na skládku představuje nejhorší způsob likvidace plastového odpadu vůbec. Ať se jedná o skládku neřízenou nebo organizovanou, ani jeden z těchto případů fyzickou likvidaci plastu neřeší a stává tak základem závažného ekologického problému nejen do budoucna, ale už i hned, v současnosti. Vytvoření otevřené, byť organizované skládky se v principu příliš neliší od přímého vyhození plastu do volné přírody. Současně je nutné uvést, že na skládku nelze ukládat odpad, který není upravený a disponuje výhřevností v sušině více jak 6,5 MJ/kg.

[16] European IPPC Bureau: BAT reference documents, Waste Incineration. Dostupné z https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/waste-incineration-0

T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

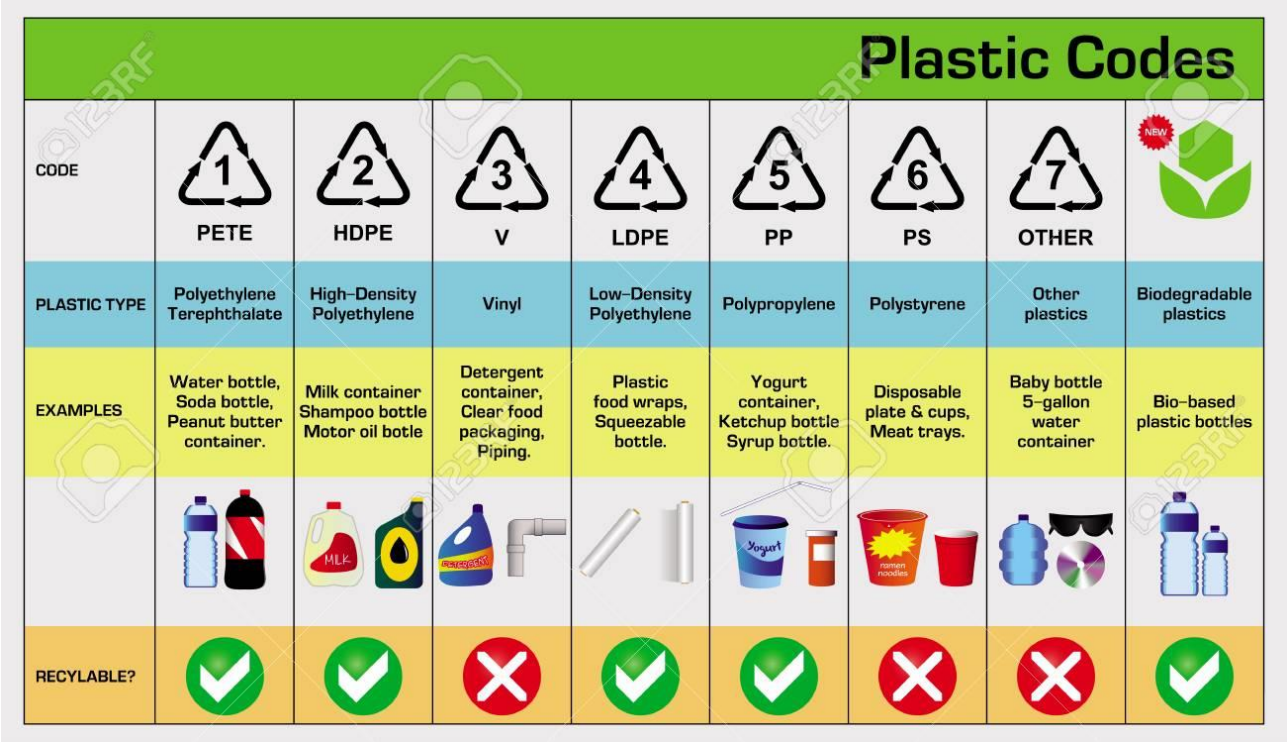
5.6. Recyklovatelnost polymerů

Pro potřeby recyklace, tj. třídění a sběru, byly zavedeny recyklační symboly, které ukazuje Obr. 22. Vzhledem k rozmanitosti složení plastového odpadu popisují jen šest nejdůležitějších typů plastů, sedmý symbol zahrnuje souhrn všech zbývajících (ostatní, resp. kompozitní obaly):

Obr. 22: Základní recyklační symboly pro nejpoužívanější polymery

I přes přiřazení recyklačního symbolu, ne všechny plasty z této nejdůležitější skupiny jsou zpracovatelné přímou recyklací. Přístup k recyklaci není vždy jednotný a může se lišit i z pohledu jednotlivých společností, které se recyklací zabývají, viz obr. 23.

T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.



Plastic Codes								
CODE	1 PETE	2 HDPE	3 V	4 LDPE	5 PP	6 PS	7 OTHER	NEW
PLASTIC TYPE	Polyethylene Terephthalate	High-Density Polyethylene	Vinyl	Low-Density Polyethylene	Polypropylene	Polystyrene	Other plastics	Biodegradable plastics
EXAMPLES	Water bottle, Soda bottle, Peanut butter container.	Milk container Shampoo bottle Motor oil botle	Detergent container, Clear food packaging, Piping.	Plastic food wraps, Squeezable bottle.	Yogurt container, Ketchup bottle Syrup bottle.	Disposable plate & cups, Meat trays.	Baby bottle 5-gallon water container	Bio-based plastic bottles
RECYLABLE?	✓	✓	✗	✓	✓	✗	✗	✓

T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

Obr. 23: Rozdílné přístupy k posuzování recyklovatelnosti jednotlivých typů

Recyklační symboly tedy pokrývají tyto typy plastových materiálů s různou recyklovatelností:

1. **PET** – odpadní z nápojových lahví přijímán bez výjimek, poskytuje velmi čistý materiál.
2. **HDPE** – plně recyklovatelný bez výjimek.
3. **Vinylové plasty (např. PVC)** – špatná procesní stabilita, možnost uvolnění HCl, často přítomnost změkčovadel, přímá recyklace nevhodná.
4. **LDPE** – plně recyklovatelný s výjimkou kontaminovaných, není důvod jej odmítat.
5. **PP** – plně recyklovatelný bez výjimek.
6. **PS** – styrenové plasty, nízká procesní stabilita, riziko uvolňování monomerního styrenu, neposkytl by použitelný recyklát, přímá recyklace nevhodná.
7. **Ostatní plasty** – do sedmé recyklační skupiny se zařazují všechny ostatní plasty nepatřící do skupin 1-6. Vzhledem k různorodosti složení a citlivosti k degradaci by recyklace neposkytla použitelný materiál (PA, PC, PES).

Do speciální kategorie lze zařadit termosety a polymerní kompozity. U nich se s recyklací příliš nepočítá. Termosety s danou 3D strukturou recyklovat nejdou vůbec, jediným řešením je

T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

spálení a alespoň částečná rekuperace energie. U termoplastových kompozitů sice existují způsoby, jak z nich získat zpět alespoň plnivo (částicové, vlákna, destičky), většinou se ale tyto materiály odstraňují energeticky nebo pomletím a následným přidáním jako plnivo do stavebních hmot.

5.6.1. Recyklační piktogramy jako východisko pro efektivní recyklaci

Problematikou značení obalů se zabývala norma ČSN 77 0052-2. Norma ČSN byla připravena na základě rozhodnutí Komise 97/129/ES. 30. 9. 2014 byla norma ČSN 77 0052-2 zrušena bez náhrady.

Zákon 477/2001 Sb. volně definuje povinnost značení obalů: "Pokud osoba, která uvádí na trh nebo do oběhu obal nebo balený výrobek, označí na tomto obalu nebo baleném výrobku materiál, ze kterého je obal vyroben, je povinna provést toto značení v souladu s právem Evropské unie 9c)." 9c) - Příloha č. I až VII rozhodnutí Komise 97/129/ES ze dne 28. ledna 1997, kterým se zavádí identifikační systém pro obalové materiály podle směrnice Evropského parlamentu a Rady 94/62/ES o obalech a obalových odpadech.

Výrobce nemá povinnost značit obaly. Pokud se rozhodne takto učinit, měl by postupovat podle rozhodnutí komise. Recyklační piktogramy není povinné uvádět na jednotlivých obalech. Na základě provedených terénních prací je potvrzeno, že recyklační piktogramy se na obalech ne vždy vyskytují (zaměřeno na plastové obaly). Problematiku přehledně zpracovává např. společnosti EKOKOM v dokumentu Značení obalů[17].

Za předpokladu, že se jedná o jednodruhový materiál a je tedy piktogram v režimu 1-6, lze vyhodnotit, že daný obal je skutečně převážně z jednoho druhu plastu. Složitější je to v případě kompozitních obalů, které mohou mít různá označení, viz Tab. 2.

Tab. 2: Ukázka recyklačních piktogramů zaměřená na kompozitní materiály

Materiál	Písmenný kód	Číselný kód
Papír a lepenka + různé kovy	C/*	# 80
Papír a lepenka + plast	C/*	# 81
Papír a lepenka + hliník	C/*	# 82

[17] EKOKOM a.s.: Značení obalů. Dostupné z https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjglK7o-r75AhWZD-wKHYfzCWsQFnoECA8QAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.ekokom.cz%2Fuploads%2Fattachments%2FKlienti%2Fznaceni_obalu_14-01a.pdf&usg=AOvVaw2naHNP-kJqiYu--4EhuzVx

T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

Papír a lepenka + ocelový pocínovaný plech	C/*	# 83
Papír a lepenka + plast + hliník	C/*	# 84
Papír a lepenka + plast + hliník + ocelový pocínovaný plech	C/*	# 85
Více materiálů	C/*	# 86 - # 89
Plast + hliník	C/*	# 90
Plast + ocelový pocínovaný plech	C/*	# 91
Plast + různé kovy	C/*	# 92
Další materiály	C/*	# 93, # 94
Sklo + plast	C/*	# 95
Sklo + hliník	C/*	# 96
Sklo + ocelový pocínovaný plech	C/*	# 97
Sklo + různé kovy	C/*	# 98
Ostatní materiály		# 99

Dle zákona č. 541/2020 sb. o odpadech se rozumí kompozitním obalem *„obal složený alespoň ze 2 vrstev různých materiálů, jež nelze ručně oddělit a tvoří jedinou nedílnou jednotku, tvořící vnitřní nádobu a vnější schránku, který je plněn, skladován, převážen a vyprazdňován jako takový“*

5.6.2. Nevhodné použití recyklačních symbolů

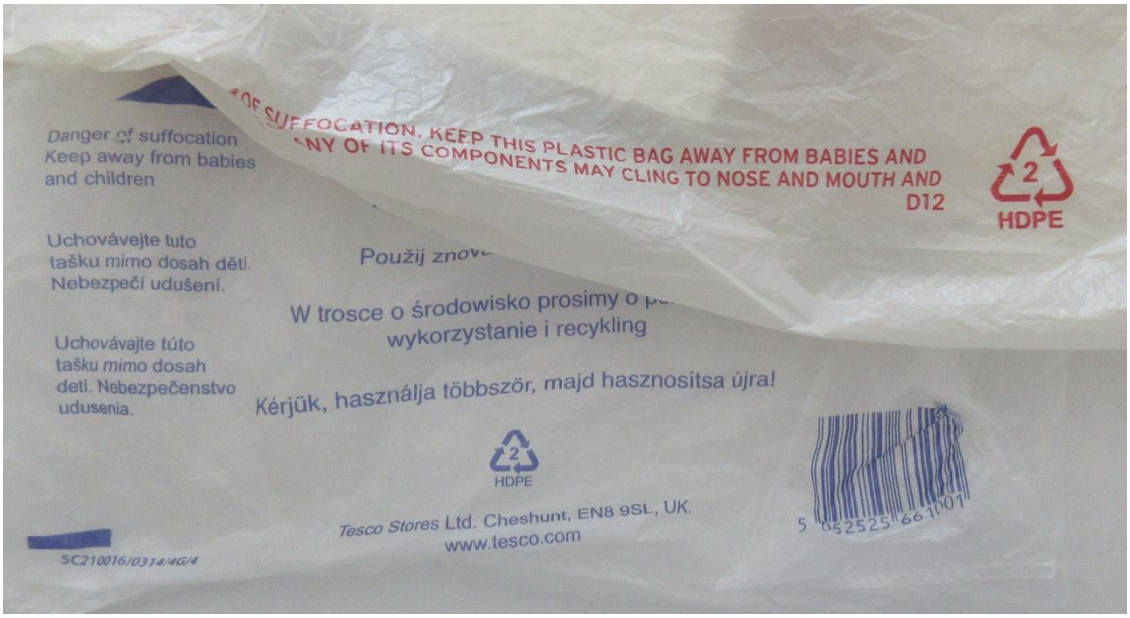
Každá dobrá a ušlechtilá věc může být zneužita pro jiné, nejčastěji ekonomické cíle. V současném světě slyšícím na slova “recyklace“ a “ekologie“ bývají tyto pojmy velmi elegantně a nepostižitelně využívány, aby zvýšily kredit některých výrobků a tím přímo i nepřímo zisk.

Nejtypičtějším příkladem je použití recyklačního symbolu na plastových taškách v některých supermarketech. Může se o tom přesvědčit každý sám, když se podívá na vnější spodní okraj tašky nesoucí informaci o složení, případně výrobci. Mnohé z nich tam nesou také recyklační symbol někdy přímo s nápisem “Recyclable“. Použití recyklačních symbolů na tomto typu výrobků je neadekvátní a nelze jej označit jinak než jako “oční výtěr“.

A proč? Odnosné plastové tašky, přestože jsou nejčastěji vyrobeny z HDPE nebo LDPE polyethylenu (např. taška na Obr. 24), které skutečně recyklovatelné jsou, nikdo v žádném případě ve velkém recyklovat nebude. Důvodů je hned několik a všechny hovoří zcela jednoznačně. Prvním je skutečnost, že se do nich dávají odpadky komunálního odpadu, který následně končí ve spalovně. Druhým je skutečnost, že tašky jsou vyrobené z fólií jen několik mikrometrů tlustých a mají vysoký poměr plochy ke hmotě. Ten připouští značnou míru kontaminace a případně i degradace vzhledem k využitelné hmotě. Ale hlavně, jejich případný

T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

svoz by byl vysoce neefektivní vzhledem k velkému množství prázdného prostoru mezi jednotlivými vrstvami. Posledním a patrně nejdůležitějším důvodem zůstává sama ekonomika jejich recyklace. Hmotnost běžných nákupních tašek ze supermarketů se pohybuje v rozmezí 5 – 13 g. Pro získání jediné tuny materiálu by jich pak bylo zapotřebí v průměru 100 000 ks. Tato čísla mluví sama za sebe a ukazují, že jejich případný sběr by se v žádném případě nikomu nemohl vyplatit. Je to tak právě ekonomika, která účinně brání jejich udržitelné recyklaci. Použití recyklačního symbolu je proto v těchto případech nesmyslně nadbytečné. Na druhé straně jsou ale recyklační společnosti, které si tento fakt uvědomují a recyklaci plastových tašek již předem cíleně odmítají, viz ukázky na Obr. 25.



Obr. 24: Zavádějící použití recyklačních symbolů na plastových taškách

T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

Obr. 25: Ukázky reklam společností, které plastové nákupní tašky v recyklu nepřipouštějí (2x USA, Austrálie)

Jiným způsobem navození ekologické dokonalosti je uvádění recyklačních symbolů skupiny 7 (příklad na Obr. 26), do které spadají všechny ostatní plasty. Tato skupina odpadu je z důvodů své diversity a vlastností takto vyčleněných polymerů jen těžko přímo recyklovatelná a výrobce to bezesporu ví. Lze se domnívat, že jediným efektem přítomnosti recyklačního symbolu 7 je v tomto případě předejít možnosti jeho přimísení do dobře recyklovatelných skupin plastů 2, 4 a 5.

T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

Obr. 26: Jiný příklad zavádějící informace možnosti recyklace obalové fólie

T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

5.7. Alternativní pohled na likvidaci plastů

Jakkoliv je v současnosti recyklace společensky považována za nejúčelnější a nejušlechtilejší způsob nakládání s plastovým odpadem, objevují se i názory jiné. Jeden z nich zcela odvážně zveřejnil v říjnu 2019 výzkumný pracovník Massachusetts Institute of Technology (MIT) Andrew McAfee[18]. Jeho myšlenka je zcela v rozporu s obecně uznávaným názorem na likvidaci plastů a přímo napadá základní principy recyklace.

McAfee říká, že recyklace, tak jak je dnes prováděna je bezúčelná a planetě de facto neprospívá. 9 % všech sesbíraných a přetříděných plastů se podařilo recyklovat do podoby sekundárně využitelného materiálu a jen 16 % z nich se dočkalo svého přetvoření v nový výrobek. Protože o „plast zachráněný recyklací" vlastně nemá průmysl zájem. Je tak drahý (ve smyslu výdeje energie, přepravy, financí), že vyjde řádově levněji vyrobit originální nový plast. Ostatně, jak tvrdí McAfee, např. trh v EU má zatím zužitkování jen pro 6 % recyklovaných vlastních plastových odpadů.

McAfee dále uvádí, že zatímco v případě papíru, skla nebo kovů je recyklace skutečnou úsporou energie a trh nemá problém hravě spotřebovat 100 % sesbíraných materiálů, v případě plastů to tak není. Musíme vymýšlet a dotovat komplikovaná schémata, sběr a svoz, speciální dotřiďovací linky, a ještě speciálnější zpracovatelská zařízení, abychom plastovou recyklaci udrželi v oběhu. Byť pro výsledný zrecyklovaný produkt nemáme valného využití. *„Je to paradox: vynakládáme nemalé množství času a energie, abychom něčemu zabránili stát se odpadem, a pak přešlapujeme na místě a vymýšlíme, co z toho vlastně vyrobit a komu to prodat, protože o to nikdo nestojí.*" McAfee proto navrhuje vytvářet nové skládky, organizované, dobře monitorované a zajištěné proti únikům. Všechen plastový odpad do nich ukládat do doby, než se vyčerpají fosilní zdroje a budou k dispozici vyspělé technologie, které dokáží polymery užitečně a ekonomicky zpracovat. Pak bude možné plastové skládky těžit a přetvářet je na hodnotnou surovinu, tak jak se to děje dnes např. s ropou.

Tento názor je na první pohled pobuřující a kacířský, nicméně má svoji hodnotu a poskytuje trochu jiný pohled než ten oficiálně uznávaný. Nezávisle na něm lze obecně konstatovat, že i toto je to možný způsob, jak v současnosti eliminovat plastový odpad a výhledově jej učinit

18 Dostupné z https://ekolist.cz/cz/zelena-domacnost/rady-a-navody/mcafee-recyklace-plastu-nedava-smysl.pojdme-je-znovu-ukladat-na-skladky

T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

ekonomicky zajímavým. Otázkou však je, jak velká by plastová úložiště musela být, při dlouhodobém, neurčeném horizontu a neustále narůstajícímu objemu výroby plastů, který jen dnes činí cca 350 mil. tun plastů ročně.

5.8. Degradovatelné plasty (degradables)

Částečným řešením krize s plastovým odpadem, pro materiály a aplikace, které znemožňují efektivní recyklaci a v kontextu výše zavedené terminologie nebudou považovány za udržitelné, se zdají být speciální degradovatelné plasty, jejichž vývoji bylo věnováno už několik dekád. Cílem jejich vývoje je, aby se plast po skončení svého servisního života v relativně krátké době rozložil, fyzicky dezintegroval a dosáhl tak plné mísitelnosti s přírodním prostředím. Samozřejmě bez produkce toxických produktů. Dosud existující degradovatelné plasty lze pak roztřídit do skupin podle toho, jak bylo citlivosti k degradaci dosaženo, resp. podle jejího mechanismu:

5.8.1. Prodegradace vlivem vlivů prostředí

Tento typ využívá přirozených deteriogenů našeho přírodního prostředí, které v běžném životě polymer napadají a zkracují tak reálnou dobu jeho života. Degradační pochody vynucené běžným prostředím mohou někdy trvat velmi dlouho, jsou proto urychleny speciální aditivací – přídavkem prodegradačního systému.

Prodegradační systém může interagovat např. s UV zářením a podporovat rozklad hydroperoxidů – meziproduktů radikálového štěpení běžných uhlovodíkových polymerů. Pro správnou funkci tohoto typu prodegradantu je kontakt s okolním prostředím nezbytný.

5.8.2. Oxo-degradovatelné plasty

Princip urychlené degradace je podobný jako u předchozího typu degradovatelných polymerů a je rovněž docílen speciální aditivací. Liší se však mechanismem působení. Akcelerace degradace je dosaženo bez nutnosti kontaktu s okolím, prodegradační systém je aktivován zpracováním a polymer se časem rozpadne i když je skladován v suchu a při absenci jakéhokoliv typu záření, včetně viditelného. Přísady oxo-rozložitelných plastů, které je prostřednictvím oxidace rozkládají na mikroplasty, ovšem můžou způsobovat problémy při nakládání s obalovými odpady a ve výsledku poškozovat prostředí. Někdy jsou označovány jako bio-degradabilní, což může evokovat jejich šetrnost k životnímu prostředí.

T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

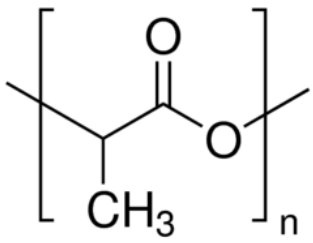
Aktuálně v létě 2020 byly výrobky z oxo-rozložitelných plastů zakázány v české legislativě přijetím návrhu zákona[19], kterým se mění některé zákony v souvislosti s přijetím zákona o omezení dopadu vybraných plastových výrobků na životní prostředí. Zákon je v souladu s evropskou směrnicí o jednorázových plastech (směrnice 2019/904 k omezení plastového odpadu v mořích a oceánech a podpoře cirkulární ekonomiky).

5.8.3. Bio-plasty

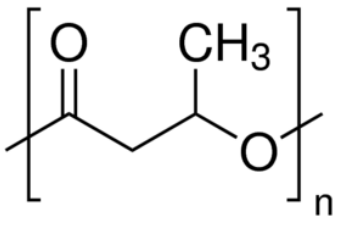
Degradovatelnost této skupiny plastů je dosažena vlastní strukturou polymeru. Kontakt s okolním prostředím degradaci napomáhá, nicméně není nezbytný. Hlavním mechanismem rozkladu bioplastů je jejich účinný rozklad mikro-organismy, které je využívají jako zdroj energie. Stravováním tak vracejí polymer do původní přírodní formy bez dalších bočních nežádoucích produktů. Tento typ degradovatelných polymerů je nejekologičtější a pro budoucnost nejperspektivnější.

Nevýhodou těchto biopolymerů je, že svými vlastnostmi zatím nedosahují vlastností běžných komoditních plastů, jako jsou např. polyolefiny (LDPE, HDPE, PP, ic-PP, r-PP) a dále pak jejich cena, která zatím stále ještě není konkurenceschopná. Tato fakta jsou důvodem, proč v blízké době tento typ polymerů nepředstavuje pro polyolefiny vážnější konkurenci. Že by se v tomto ohledu něco zásadně změnilo nelze očekávat, nicméně bioplasty si již teď vytvářejí svůj zcela specifický aplikační trh v oblasti jednorázově použitelných produktů, především v oblasti potravinářství.

Za dosud nejnadějnější biopolymery lze označit kyselinu polymléčnou (PLA) a polyhydroxyalkanoáty (PHA), jejich chemické struktury ukazuje Obr. 27.



PLA



PHB

[19] Dostupné z https://www.psp.cz/sqw/text/orig2.sqw?idd=184539

T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

Kyselina polymléčná Poly(3-hydroxybutyrát)

Obr. 27: Chemické struktury biologicky odbouratelných polymerů PLA a PHB

Při použití biopolymerů se automaticky počítá s jejich přirozenou likvidací. Pro ostatní polymery však představují riziko z pohledu recyklace. Biopolymery recyklovatelné nejsou, ani se u nich s recyklací nepočítá a jakákoliv jejich přítomnost v mechanickém recyklátu jiných polymerů představuje riziko jeho znehodnocení.

Přestože se do degradovatelných polymerů v minulosti vkládaly velké naděje a očekávala se velká konkurence dosud používaným plastům, zatím se tak nestalo. Ukázalo se, že i degradovatelné plasty mají své limity a přes veškeré snahy se nerozpadají ideálně. Týká se to především oxo-aditivovaných plastů, jejichž degradace se zastavuje na menších fragmentech, které pak jako mikroplasty i nadále kontaminují půdu. I když se jejich masové používání v supermarketech stalo před necelými deseti lety trendem, po několika letech je začaly jednotlivé země zakazovat[20]. Posledním slovo padlo v březnu 2019, kdy bylo v Evropě jejich používání rozhodnutím Evropské komise zakázáno definitivně[21].

[20] European Bioplastics: Over 150 organisations back call to ban oxo-degradable plastic packaging. Dostupné z https://www.european-bioplastics.org/over-150-organisations-back-call-to-ban-oxo-degradable-plastic-packaging/

[21] European Bioplastics: EU takes action against oxo-degradable plastics. Dostupné z https://www.european-bioplastics.org/eu-takes-action-against-oxo-degradable-plastics/

T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

6. Řetězec zpracování PLASTŮ

Tato kapitola bude popisovat typické systémy pro nakládání s plastovým komunálním odpadem v rámci české republiky. Kapitola se bude zaměřovat zejména na popis celkového zpracovatelského řetězce nakládání s plasty a taktéž cenovou politikou plastů na trhu. Závěrem budou představeny konkrétní příklady zpracování plastového odpadu.

6.1. Popis zpracovatelského řetězce

Typický zpracovatelský řetězec pro nakládání s plastovým komunálním odpadem je následující:

- Sběr a svoz odpadu za pomocí svozového vozidla (standardně KUKA vůz nebo jiné svozový automobil).
- Převoz odpadu na zpracovatelské zařízení (dotřiďovací linka) a samotné dotřídění dle technologie konkrétního zařízení.
- Lisování, skladování a následný odvoz vytříděných druhotných surovin do recyklačních zařízení (obchodovatelné frakce = kladná cena na trhu).
- Nakládání s výmětem z dotřiďovacích linek, který již nemá obchodní potenciál (z pohledu druhotné suroviny a nedošlo k jeho dotřídění) a je nutné tuto frakci odstranit (energetické využití, skládkování, potenciál pro palivo TAP).
- Zpracování druhotné suroviny na recyklační lince a současně zajistit požadovaný výstup (flake/regranulát).
- obchodovatelný flake i regranulát je následně skladován a obchodován do výrobních zařízení.

Výše uvedený popis zpracovatelského řetězce pro nakládání s plastovým odpadem je typický zejména pro Českou republiku. V případě že budeme srovnávat Českou republiku s evropskými státy může se celkový zpracovatelský řetězec lišit (částečně, ale i celkově). Zejména se jedná o aspekt, kdy určité členské státy evropské unie mají zavedený takzvaný zálohovaný systém (Deposit Return Systems – DRS). Hlavní motivací pro zavedení DRS je z toho důvodu, aby dokázali zpětně odebrat větší množství obalů s potenciálně vyšší kvalitou (menší dopad znečištění) konkrétní frakce (PET láhev, plechovka, skleněný obal a další).

Jako motivační krok je tohle velmi dobrý argument pro zavedení zálohového systému. Reálný dopad je takový že zálohované obaly jsou vyráběny ve vyšší kvalitě např. vyšší gramáž PET

T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

lahví, jedno-druhové obaly a další. Tenhle krok sebou přináší i potenciální znovu využití obalů přímo u občanů, takže se konkrétní obal do systému DRS nemusí vůbec vrátit.

6.2. Cena primární suroviny a druhotné suroviny na trhu

Cenová politika primární suroviny a druhotné suroviny je velmi složitá a časově proměnlivá záležitost. Významný dopad mělo omezení exportu plastového odpadu do Číny, kde je již požadavek pouze na kvalitní, čisté a velmi dobře vytříděné plastové obaly. Zvyšující se nároky na kvalitu druhotné suroviny lze očekávat i v dalších státech, které plastové odpady odebírají (např. Turecko, Malajsie). Tento následek sebou nese velké množství plastových odpadů, které zůstávají v evropských skladech a není možné je jednoduše obchodovat. Jako zajímavá možnost pro obchodování vzniklo takzvané virtuální tržiště, které je dostupné na následujícím odkazu www.cyrkl.com.

V rámci serveru (plasticportal.cz) je možné si provést analýzu vybraných druhů plastů (již ve formě regranulátu). Ukázka vývoje cen se zapracovaným měsíčním i ročním nárůstem oproti květnu 2022 je zobrazena v Tab. 3.

Tab. 3: Ukázka cenového vývoje vybraných polymerů 5/2022 (průměrná cena, měsíční a roční změna)

Typ polymeru	Průměrná cena	Měsíční změna	Roční změna
	Kč/t	Před měsícem	Před rokem
HDPE vstřikovací typ	44 659	▼ 10.5 %	▲ 8.23 %
HDPE vyfukovací typ	44 419	▼ 10.7 %	▲ 6.93 %
HDPE fóliový typ	43 698	▼ 10.6 %	▲ 5.49 %

T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

LDPE vstřikovací typ	46 099	13.3 %	7.29 %
LDPE fóliový typ	45 379	8.38 %	3.24 %
LLDPE standard	40 337	14.8 %	16.1 %
PP homo	44 899	10.7 %	0.95 %
PP blok	48 500	7.67 %	3.18 %
PP random	53 542	10.5 %	10 %
PET vyfukování lahví	43 698	9.84 %	62.9 %
PS HIPS	66 508	2.77 %	40.8 %
PS GPPS	63 627	3.57 %	41.4 %
PA 6 (natural)	92 198	4.02 %	32.8 %
PA 66 (natural)	120 530	4.02 %	14.3 %
ABS (natural)	79 713	6.73 %	0.33 %

T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

SAN transparent	87 877	4.02 %	22 %
PMMA transparent	95 560	4.02 %	2.95 %
POM (natural)	103 963	6.29 %	33.5 %
PC transparent	103 723	9.71 %	7 %

Konkrétní ukázka vývoje ceny regranulátu jednotlivých materiálů, které jsou v ČR standardně dotřiďovány na dotřiďovacích linkách a je předpoklad, že v případě funkční infrastruktury by daný regranulát mohl být vyráběn, je na Obr. 28 až Obr. 32. Uvedené ceny jsou v Eurech za jeden kilogram.

T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

Obr. 28: Cenový vývoj polymeru – HDPE – foliovaný typ

T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

Obr. 29: Cenový vývoj polymeru – HDPE – vstřikovací typ

T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

Obr. 30: Cenový vývoj polymeru – PET – vyfukování

T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

Obr. 31: Cenový vývoj polymeru – PP – různé

T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

Obr. 32: Cenový vývoj polymeru – LDPE – foliovaný typ

6.3. Popis situace v ČR

Situace v ČR je poměrně hodně variabilní a záleží na velké míře aspektů konkrétního zpracovatelského zařízení. Můžeme konstatovat, že jsou zařízení, která mají nasmlouvané dlouhodobé kontrakty s odběrateli, což s sebou přináší „zafixované" výkupní ceny druhotných surovin. V opačném případě jsou provozy, které nedisponují dlouhodobými kontrakty a jakmile mají dostatečné množství vytříděné druhotné suroviny tak realizují prodej. V tomto ohledu je nutno disponovat alespoň jedním plně naloženým nákladním automobilem, aby prodej byl pro obě strany ekonomicky zajímavý. Přílohou tohoto dokumentu je vytvořen seznam zpracovatelských zařízení se zaměřením na potenciální druhotnou surovinu (plast papír, sklo, kov a další).

V republice existuje přibližně 140 dotřiďovacích linek, které jsou prioritně zaměřeny na dotřiďování plastů, případně papíru. Jedná se o manuální dotřiďovací linky, kde hlavní úlohu

T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

plní operátoři, kteří ručně vybírají konkrétní frakci odpadů. Jednoduše nelze nastavit referenční scénář pro DTL, protože vše se odvíjí od celé řady aspektů např. třídící potenciál, skladovací potenciál, technologie linky, počet operátorů, provedení shozového systému, manipulační schopnosti a další. Je zcela jednoznačné, že téměř většina DTL se zaměřuje zejména na frakci PET, která je po obchodní stránce velmi zajímavá. Další frakce již závisí na obchodních schopnostech konkrétního provozu. Z toho hlediska jsou provozy, které produkují např. i 90 % výmětu a v opačném případě jsou provozy, které dokáží zpracovat celkový vstupní materiál, kdy výmět prodávají na výrobu certifikovaného paliva (TAP).

Do budoucna je očekáváno, že budou postaveny dvě velké automatizované třídicí linky, a to v Praze a Brně. Koncepce může být nastavena i takovým způsobem, že na malých DTL bude dotřiďována pouze jednoduše vytříditelná frakce a zbytkový proud bude převážen na velké automatizované linky, kde dojde k tzv. sekundárnímu dotřídění. Míra dotřídění na úroveň 100 % je technologicky možná, ovšem bude narážet na obchodní potenciál, zda detailně dotříděné frakce budou na trhu uplatnitelné. Současně je nutno uvést, že dotříděné frakce jsou určeny na recyklaci a v tomto ohledu je důraz kladen na identifikaci materiálu a tedy i podmínku jednodruhovosti.

V tomto ohledu lze konstatovat, že celkový systém s efektivní možností dotřídění ovlivňuje společnost EKO-KOM. Jedná se autorizovanou obalovou společnost, která byla založena v roce 1997 průmyslovými podniky vyrábějícími balené zboží jako společnost, která zajišťuje odpovědné zpracování obalů na základě principu přenesené zodpovědnosti. Tato nezisková akciová společnost vytvořila a efektivně provozuje celorepublikový systém, který finančně podporuje sběr, třídění, recyklaci a využití obalového odpadu na kvalitní evropské úrovni. Vzhledem k tomu, že EKO-KOM přispívá a podporuje třídění přímo u obcí, dochází velmi často k tzv. pákovému pravidlu, které je určitou mírou ošetřeno podílem obalové složky (liší se pro každou sbíranou komoditu). Obce k tomu přistupují takovým způsobem, že apelují na občany, aby do žlutých nádob (nádoba na separovaný plast) vyhazovali co největší množství plastového materiálu, aby dokázali vykázat co největší vytříděná množství a tím dosáhli na vyšší odměny.

Ukázky podílu obalové složky stanovené ke dni 1. 10. 2021 jsou předvedeny v Tab. 4 a Tab. 5.

T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

Tab. 4: Ukázka podílu obalové složky v separované složce SEP-složky

Způsob sběru	Nádoby a pytle	Sběrné dvory, sběrná místa	Ostatní sběr
Název komodity	Podíl obalové složky v hmotnostních procentech		
Papír	53 %	50 %	42 %
Plasty	68 %	68 %	68 %
Sklo (směs, čiré)	98 %	98 %	98 %
Kovy	80 %	6 %	7 %
Nápojový karton	100 %	100 %	100 %

Tab. 5: Ukázka podílu obalové složky ve SKO

Název komodity	Podíl obalové složky v hmotnostních procentech
Směsný komunální odpad	11,8 %

Pro relevantnější představu jsou v Tab. 6 vyčísleny aktuální výkupní ceny za rok 2020/2021 druhotné suroviny se zaměřením na plast.

Tab. 6: Ukázka výkupních cen z DTL v období 2020-2021

	Frakce	**Výkupní cena - DS**
	-	*Kč/t*
1	PET - Transparetní	11 000 Kč
2	PET - Modrá	7 200 Kč
3	PET - Zelená	6 600 Kč
4	PET - Mix	2 100 Kč
5	HDPE	5 000 Kč
6	LDPE folie čirá	3 850 Kč
7	LDPE folie barevná	1 000 Kč
8	PP	1 200 Kč
9	Tetrapack/Nápojový karton	950 Kč
10	Výmět	-1 000 Kč

T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

Od poloviny roku 2021 až do současné doby došlo k poměrně zásadnímu nárůstu cen druhotné suroviny. Jednak je to způsobeno světovou pandemií COVID19, který díky své síle dokázal zavřít velké množství průmyslových závodů, a tedy materiál pro výrobu celého spektra výrobku (i obalů) na trhu jednoduše chyběl. Nejednalo se pouze o plasty, ale např. i hutní materiál, cihly, polystyren a další. Cena u takto zasažených výrobků stoupla až čtyřikrát, proto začala být poptávka po kvalitní druhotné surovině, a tedy i cenová politika byla z pohledu např. provozů dotřiďovacích linek ekonomicky zajímavější.

Výkupní ceny druhotné suroviny v prvním roce 2022 vypadaly následovně – viz Tab. 7. Uvedenou tabulku je potřeba brát pouze orientačně, protože rok 2022 je zásadní pro změnovou politiku plastů. Důležitý poznatek je ten, že se jednalo o zásadní nárůst ceny plastů na trhu.

Tab. 7: Ukázka výkupních cen z DTL na konci roku 2021

	Frakce	**Výkupní cena - DS**
	-	*Kč/t*
1	PET - Transparetní	26 000 Kč
2	PET - Modrá	13 000 Kč
3	PET - Zelená	11 000 Kč
4	PET - Mix	8 000 Kč
5	HDPE	10 000 Kč
6	LDPE folie čirá	7 000 Kč
7	LDPE folie barevná	3 000 Kč
8	PP	3 800 Kč
9	Tetrapack/Nápojový karton	950 Kč
10	Výmět	-1 000 Kč

Pro představu lze uvažovat náklady na dotřídění přibližně ve výši 3 500 Kč na jednu *t* odpadu. Současně je doporučeno uvést i zastoupení jednotlivých druhů plastů na DTL, pro ukázku v Tab. 8 byla vybrána DTL většího krajského města s ročním zpracováním cca 2,2 kt plastů.

T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

Tab. 8: Ukázka procentuálního zastoupení tříditelných frakci na DTL - roční bilance (2020)

	Frakce	Procentuální zastoupení
	-	%
1	PET - Transparetní	4,63 %
2	PET - Modrá	3,25 %
3	PET - Zelená	1,99 %
4	PET - Mix	1,27 %
5	HDPE	7,94 %
6	LDPE folie čirá	-
7	LDPE folie barevná	6,62 %
8	PP	-
9	Tetrapack/Nápojový karton	3,54 %
10	Výmět	70,77 %

6.4. Kvalita druhotné suroviny

Kvalitou druhotné suroviny se rozumí konkrétní požadavky, které ovlivňují výkupní cenu. Výkupní cena je ovlivněna i předpokladem za jakým účelem se druhotná surovina bude dál využívat. Konkrétně lze uvést, že kvalita druhotné suroviny bude jiná například pro potravinářské účely a v opačném případě pro technické výrobky například gumové tvárnice. Kvalitu stanovuje kupující případně třetí strana, které zajišťuje materiál pro svého partnera.

Mezi sledované kvalitativní požadavky patří následující:

- **Suppliers REACH confirmation** (Potvrzení, že materiál neobsahuje látky uvedené na Substances of Very High Concerns (SVHC) in Annex XIV of European Regulation (EC) No 1907/2006 (REACH) and Substances on the SVHC Candidate List
- Požadavek, že flaky pocházejí z konkrétních obalů, případně nastavení min. hodny např. 95 % hm. sledované složky.
- **Specifické požadavky zejména příměsi jiných materiálů:**
  - Kontaminace PVC (ppm)
  - Jiné polymery (ppm)
  - Jiné nečistoty (ppm)
  - Vlhkost (%)
  - Prachové částice (%)
  - Sypná hmotnost (kg/m^3)
  - Flaky s lepidlem (%)

T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

  - Flaky s blokátory (%)
  - Přítomnost jinobarevných flaků (tmavých/světlých) (%)
- Stanovení velikosti flaků (rozdílnost průmyslový vs. laboratorní)

T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

7. PET láhev jako klíčový obal v oblasti recyklovatelnosti

PET láhev patří k jedním k nejvíce zastoupeným obalovým materiálům, které se nacházejí v odděleném separovaném sběru (žlutá nádoba). Její procentuální zastoupení dosahuje hodnoty až 30 % hm., proto je klíčové dokázat právě tento materiál velmi dobře popsat.

7.1. Identifikace složení komponent potravinové PET láhve

PET láhev jako primární produkt získaný z kojenecké pitné vody Bonny (Obr. 33). Láhev byla analyzována, tak jak byla získána, žádná tepelná, UV-světelná nebo jiná expozice nepředcházela. Byly analyzovány tyto části láhve:

Obr. 33: Předmět analýzy – potravinová PET láhev, identifikace sledovaných oblastí

Byla použita metoda diferenční kompenzační kalorimetrie (DSC): která vychází z hodnocení tepelného chování polymeru při řízeném ohřevu a chlazení. V průběhu experimentu se zaznamenává energetické změny uvnitř materiálu (reflektuje změny vnitřní energie) v závislosti na teplotě materiálů. Významnou charakteristikou je teplota tavení, kterou se jednotlivé polymery odlišují.

Polymer v průběhu životního cyklu prochází mechanickým a tepelným zatížením při výrobě obalu, stárnutím. Tyto fáze se do materiálu zapisují ve formě určité energetické stopy a tedy jeho zpracování v laboratoři musí být postupné:

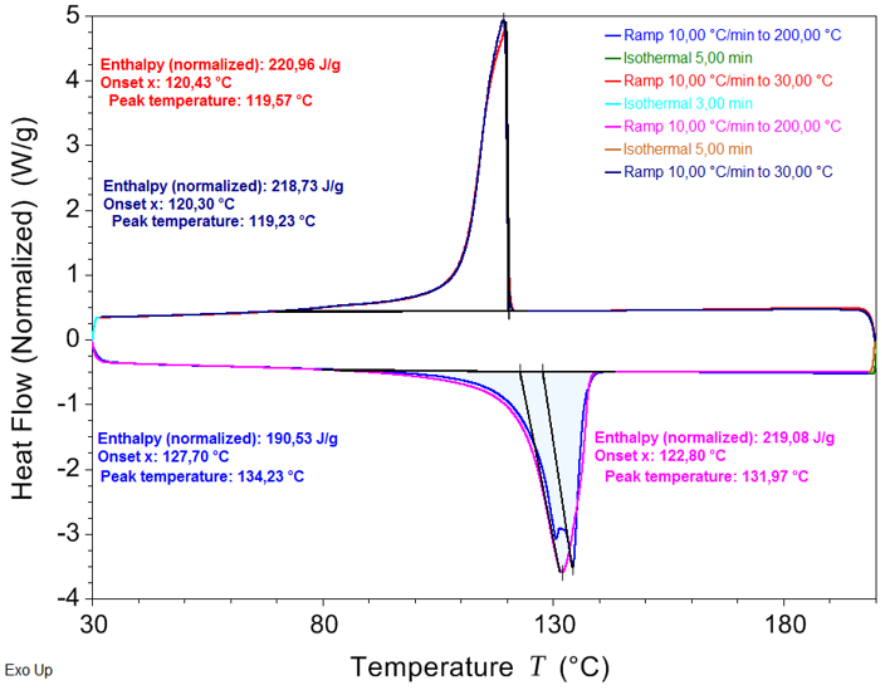
T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

- Vzorky granulátu byly po zalisování do standardních hliníkových nosičů proměřené ve dvou cyklech ohřevu a chlazení z 0 °C na 190°C a zpět rychlostí 10 °C/min s výdrží 3 min na teplotě 190°C na kalorimetru DSC Discovery (TA Instruments) v inertní atmosféře dusíku (25 ml/min).
- V prvním ohřevu se projeví všechny entalpické odezvy spojené s typem materiálu a s jeho tepelnou a mechanickou historií, která se během něho nevratně smaže, a druhý ohřev slouží k určení inherentních vlastností materiálu.
- Hlavní použitou analytickou metodou byla DSC.

Uzávěr:

Data na Obr. 34 ukazují, že polymer taje při 132 °C (2. tání) a shodně při obou krystalizacích krystaluje při cca 119 °C, což obojí indikuje přítomnost lineárního polyethylenu (HDPE). Dvojitý peak prvního tání, na obrázku zobrazen v barvě světle modré, odráží předchozí tepelnou historii, při které byl materiál při výrobě vstřikováním rychle zchlazen a vytvořil min. 2 frakce s různou morfologií. Po opětovném protavení a řízeném pomalém chlazení po 1. tání již vytvořil morfologicky homogenní strukturu s jediným maximem tání při 132°C.

T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

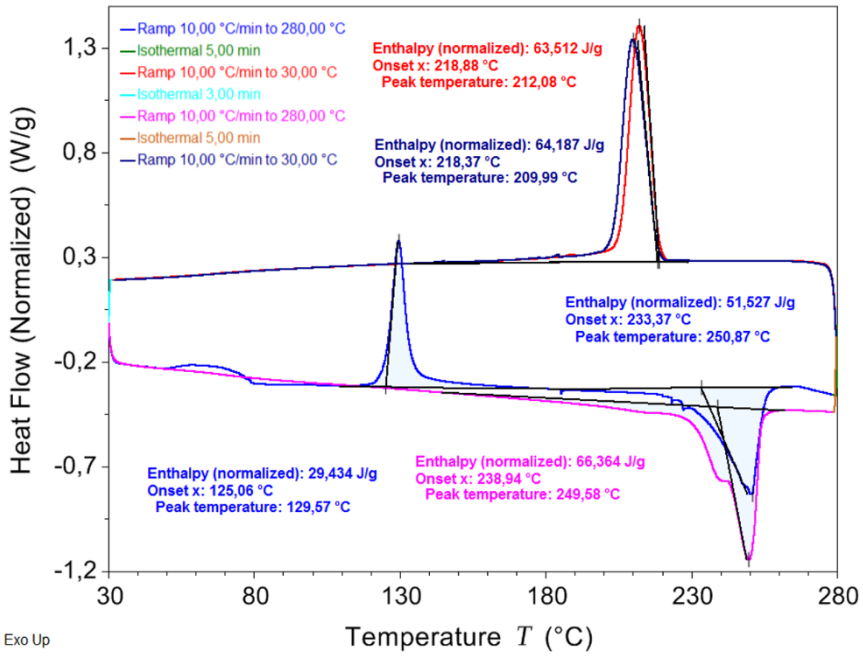


Obr. 34: Uzávěr – zdrojová DSC data vzorku (1. a 2. tání, včetně obou krystalizací)

Hrdlo láhve a závit:

Záznamy na Obr. 35 jednoznačně ukazují na přítomnost PET podle jeho bodu tání při 250°C. Vedle tohoto základního faktu ale rovněž podávají informace o teplotě skelného přechodu a předchozí tepelné historii. Teplota skleného přechodu leží při cca 75°C, což indikuje snížení oproti plně krystalickému polymeru o cca 6 °C (Tg = 81°C). Záporné absorpční maximum při 130°C reprezentující teplo uvolněné krystalizací zároveň ukazuje, že polymer v hrdle a závitu neměl dostatek času na to, aby při výrobě parisonu (meziprodukt při lahve, předlisek) plně zkrystaloval a dokrystalovává až teď, při ohřevu nad kritickou difúzní mez umožňující opětovný pohyb makromolekul. Rozdíl tepla tání a studené krystalizace činí 22.1 J/g, což představuje přibližně 16 % krystalinity, kterou hrdlo láhve původně mělo (vše vztaženo k ideálně 100 % krystalickému PET s entalpií tání 140.1 J/g. Maximální možné uspořádání popisuje až druhé tání s entalpií 66.4 J/g představující 47 % krystalinity, která je pak ve velmi dobré shodě s výsledky dosaženými na těle láhve.

T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

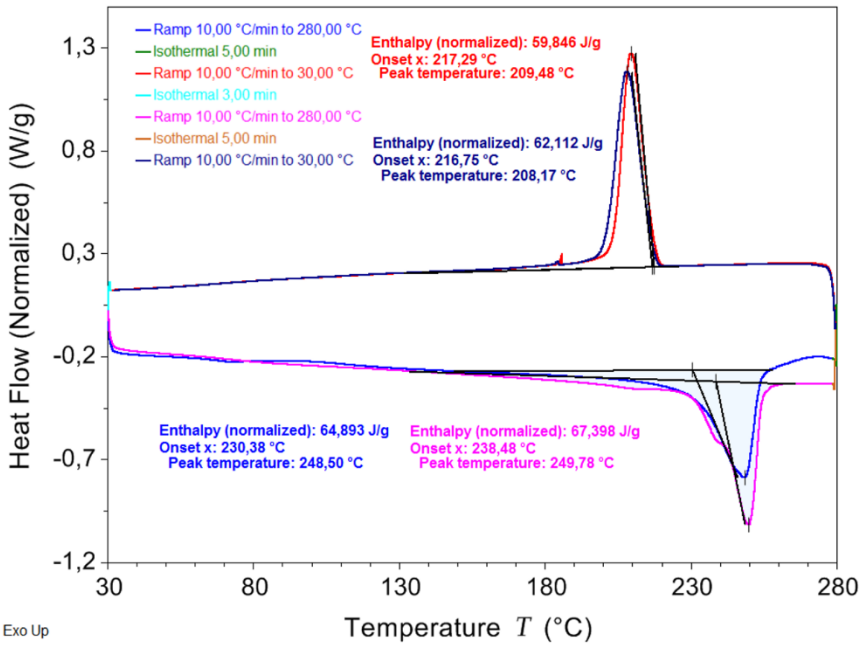


Obr. 35: Hrdlo láhve a závit – zdrojová DSC data vzorku (1. a 2. tání, včetně obou krystalizací)

Tělo láhve:

Záznamy na Obr. 36 indikují přítomnost krystalické fáze při 250°C, která potvrzuje přítomnost matrice PET a zároveň ukazuje, že materiál během zpracování zkrystaloval do maximální možné míry, čemuž zjevně napomohla orientace při rozfukování parisonu do formy láhve. Maximální mírou krystalizace je míněn stupeň krystalinity, který umožňuje termodynamika systému. Tu odrážejí tepla 1. a 2. tání 64.9 a 67.4 J/g, což representuje 46-48 % krystalinity, vše vztaženo k ideálnímu 100% krystalickému PET s entalpií tání 140.1 J/g.

T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

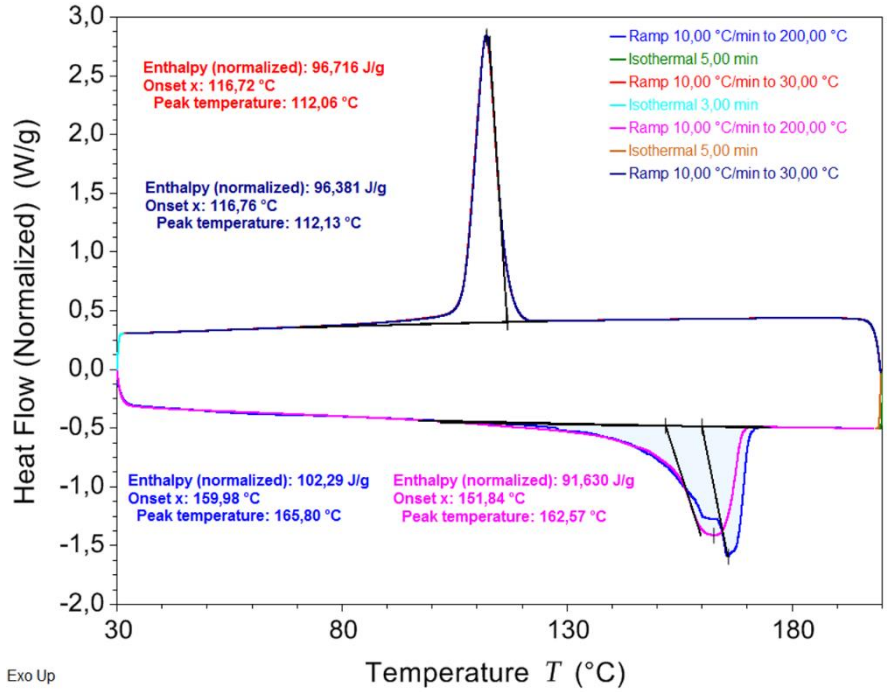


Obr. 36: Tělo láhve – zdrojová DSC data vzorku (1. a 2. tání, včetně obou krystalizací)

Viněta:

Analýza byla provedena na nepotištěné části viněty. Záznamy na Obr. 37 s hlavním pásem při 163 °C (2. tání) ukazují na přítomnost polypropylenu. Absence jiných pásů potvrzují, že se jedná o PP homopolymer a morfologie viněty stejně jako posun maxim mezi 1. a 2. tání směrem k nižší teplotě indikují, že se jedná o fólii orientovanou, pravděpodobně biaxiálně.

T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.



Obr. 37: Viněta – zdrojová DSC data vzorku (1. a 2. tání, včetně obou krystalizací)

Provedené analýzy ukázaly, že jednotlivé komponenty PET láhve od kojenecké pitné vody Bony jsou složeny z těchto polymerů:

- Uzávěr: vysokohustotní polyethylen (HDPE).
- Hrdlo láhve a závit: poly(ethylenglykoltereftalát) (PET) zčásti nedokrystalovaný.
- Tělo láhve: poly(ethylenglykoltereftalát) (PET) dokrystalovaný.
- Viněta: izotaktický polypropylen homopolymer (iPP) biaxiálně orientovaný.

Přestože o složení vlastní PET láhve není pochyb, v obecné rovině mohou být doplňující komponenty jako uzávěr a viněta u jiných výrobků a výrobců vyrobené z jiných materiálů. Nemají složení striktně dané. Uzávěr tak teoreticky může být vyroben z HDPE nebo PP, viněta může být vyrobena z biaxiálně orientovaného PP, biaxiálně orientovaného PET, objevují se i případy vinět z PVC (smršťující se viněty). Výše uvedený postup analýz umožňuje přesnou identifikaci materiálu.

T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

Detailní znalost složení jednotlivých komponent PET láhví je pak následně dobře využitelná při cílené separaci plastového odpadu. Například při flotaci, kdy polyolefinické součásti jako HDPE a PP s hustotami 1 g/cm^3 ve vodě plavou, zatímco PET materiál ve všech jeho formách s hustotou 1 g/cm^3 zůstává u dna.

7.2. PET láhev (tělo láhve) – extruzní zkoušky

Cílem je nadefinovat nutné požadavky pro potřeby laboratorní extruze, zejména se zaměřením, jak vstupní materiál připravit do vhodné podoby (velikost frakce, čistota, vlhkost a další), aby proběhla bez zásadních problému extruzní zkouška, resp. vícenásobná extruze. Zaměřeno bylo různě barevné láhve.

Materiál:

Pro hodnocení zpracovatelnosti byly použity tři typy odpadních polymerů PET:

- PET – transparentní.
- PET – zelený.
- PET – modrý.

Všechny materiály byly získány ve formě použitých potravinových lahví separovaných z komunálního odpadu. Aby je bylo možno dávkovat do extruderu při první extruzi, byly láhve drceny na čtvrtprovozním mlýnu. Materiál prošel procesem drcení minimálně 2x. Poprvé byl podrcen za použití síta velikosti 6 mm, velikost částic se ale ukázala nevhodná pro samovolný průchod násypkou extruderu. Bylo proto provedeno ještě jedno drcení za použití síta o velikosti ok 4 mm. Tato velikost již schůdný průchod laboratorní násypkou umožnila.

Drť z mlýnu byla před extruzemi přečištěna flotací a promyta kohoutkovou vodou při laboratorní teplotě. Následně byla sušena pouze expozicí na vzduchu bez zvýšené teploty. Tento krok byl nezbytný, bez něj nebyla extruze možná, produkt byl příliš znečištěný, uvolňoval plynné složky a struna se po opuštění trysky velmi často trhala.

a) Laboratorní extruze – zpracovatelská stabilita

Realizována na jednošneku HAAKE, průměr šneku 19 mm, L/D=25, komprese šneku 4:1, teploty válce extruderu 270°C / 80 rpm. Tavenina polymeru chlazena vodou. Byla provedena

T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

pětinásobná extruze, jednotlivé extruze jsou na obalech za názvem značeny římskými číslicemi /I až /V. Jak na počátku, tak před každou další extruzí byl materiál sušen min. 2 hod. při 150°C.

b) Měření indexu toku

Index toku granulátů byl měřen na melt-indexeru Dynisco LMI 5000 za podmínek 270°C/2,16 dle standardu ISO 1133. Před každým jedním měřením byl materiál vysušen minimálně 2 hod při 150°C, pro vlastní měření MFI/MVI byl granulát odebírán horký, přímo ze sušárny, aby byl minimalizován kontakt se vzdušnou vlhkostí. Pro stanovení MFI bylo počítáno s hustotou taveniny 1.2 g/cm^3.

Aby bylo možno konsistentně provést extruze, bylo nezbytné podrcený materiál nejprve zbavit nečistot. Vyžádaly to orientační zkoušky extruze bez praní, při kterých se materiál ukázal být prakticky nezpracovatelný. Přítomnost prachu, zbytkových nečistot z nápojů a částic jiných polymerů způsobila, že tavenina polymeru opouštějící extruder byla silně nehomogenní, trhala se a uvolňovala nezanedbatelný zápach. Vzhledem k povaze kontaminace nestačilo pouhé promývání tekoucí vodou. Drť polymeru byla vsypána do objemu vody většího, než měla sama a byla v něm intenzívně míchána. Potom byla směs ponechána sedimentaci, kdy PET těžší, než voda klesnul ke dnu, zatímco částice polyolefinů s hustotou menší než 1 g/cm3 vyplavaly na hladinu. Dělení polymerů flotací názorně ukazuje Obr. 38. Pro extruze byl tento postup prováděn ve větších nádobách s 600-800 g drti.

T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

Obr. 38: Flotace polymerů s různou hustotou ve vodě při 23°C. Zleva: HDPE-mix, víčka, PET-modrý, PET-zelený, PET-transparentní.

Flotací byly z PET spolehlivě odděleny polyolefiny, problematickým však zůstal papír z vinět (Obr. 39), který neplaval, ale volně se vznášel v kapalině nebo byl stažen ke dnu klesající drtí PET. V tomto kroku bylo nezbytné zapojit manuální separaci, která tak proces čištění zjevně komplikovala. Po oddělení papíru a flotující fáze byla drť scezena a celý postup opakován ještě jednou. Po druhém čištění byla nakonec drť několikrát promyta vodou a vysušena. Teprve v tomto stavu mohla být provedena první extruze. Vlastní násobné extruze s promytou drtí už větší komplikace nepřinesly, složitější pro obsluhu byly jen u všech PET poslední páté extruze, kdy byl polymer narušený degradací již hodně tekutý, a granulace ztuhlé taveniny musela být prováděná s maximální rychlostí, kterou sekačka struny dovolila.

Obr. 39: Ukázka kontaminujících nečistot – zbytky papírových vinět, manuálně vybrané z drti transparentního PET při čištění flotací.

Stanovení hodnot indexů toku (MFI) indikujících míru procesního narušení polymeru předcházelo hledání optimálních podmínek měření. Bylo zjištěno, že index toku lze reprodukovatelně měřit výhradně bezprostředně po vytažení granulátu ze sušárny. V opačném

T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

případě, kdy byl vysušený granulát ponechán během 1 a více měření v kontaktu se vzduchem docházelo k absorpci vlhkosti, která se následně projevila vyšším indexem toku během každého následujícího měření. Tento jev byl pozorován na komerčním granulátu PET, fóliovém typu, který byl použit jako reference. Po vytažení granulátu ze sušárny byla kádinka s ním ponechána na stole a byly z ní postupně odebírány navážky pro jednotlivá měření. Získané hodnoty MFI po sobě jsoucích měření byly následující:

1. měření: 70,3 dg/min.
2. měření: 79,1
3. měření: 95,9
4. měření: 102,3
5. měření: 110,2

Na základě těchto výsledků bylo rozhodnuto měřit MFI na granulátu bezprostředně odebraném ze sušárny. Zavedením tohoto přístupu se stala měření konsistentními a jednotlivé hodnoty MFI se lišily pouze v rámci experimentální chyby. Proto bylo možno přistoupit na měření sledovaných granulátů odpadních. Hodnoty indexů toku naměřené po jednotlivých extruzích jsou uvedeny v Tab. 9 až Tab. 11. Každá z uvedených hodnot je průměrem ze dvou měření.

Tab. 9:Index toku granulátu PET-transparentní po jednotlivých extruzích měřený při 270 °C / 2.16 kg

Extruze:	Index toku při 270 °C/2.16 kg	
	MFI (g/10 min.)	MVI (cm^3/10 min.)
1	70,7	58,9
2	86,2	71,8
3	97,9	81,6
4	112	93,3
5	126,5	105,5

Tab. 10: Index toku granulátu PET-zelený po jednotlivých extruzích měřený při 270 °C / 2.16 kg

Extruze:	Index toku při 270 °C/2.16 kg

T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

	MFI (g/10 min.)	MVI (cm^3/10 min.)
1	69,9	58,2
2	84	70
3	99,8	83,2
4	120,1	100,1
5	142,9	119

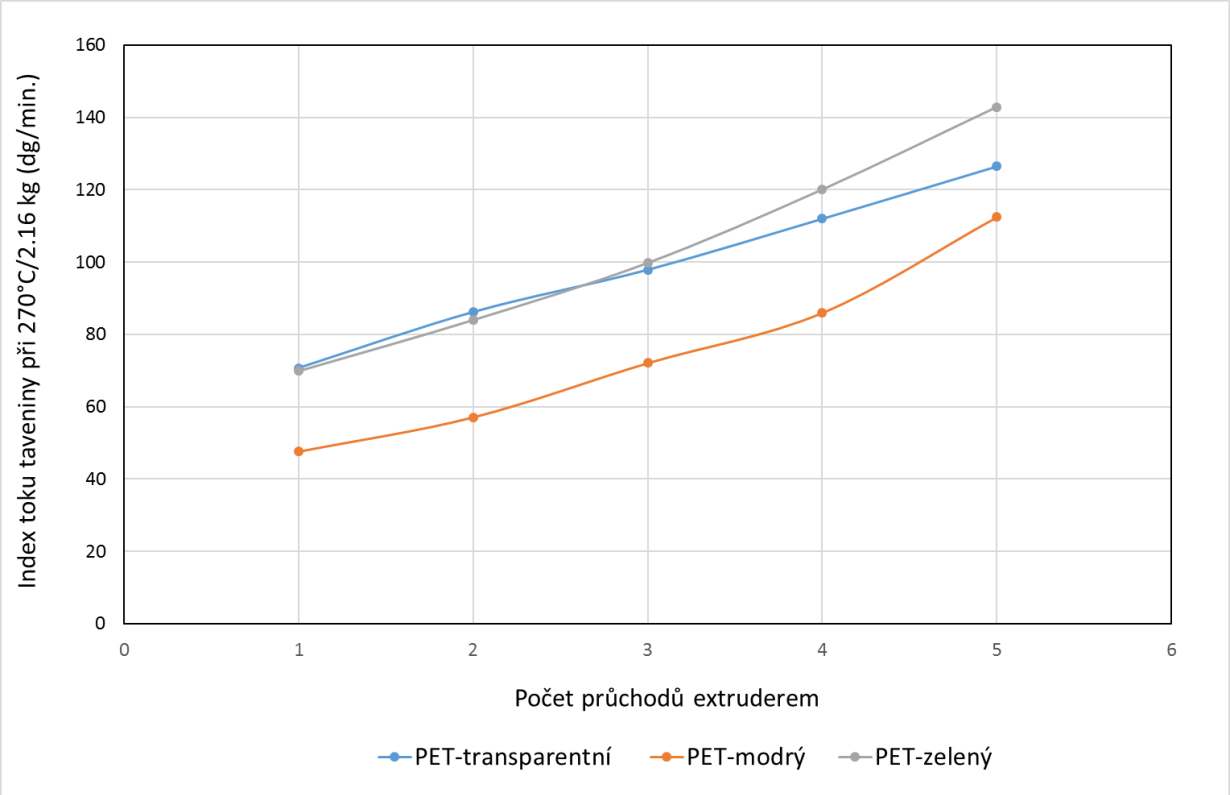
T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

Tab. 11:Index toku granulátu PET-modrý po extruzích měřený při 270 °C / 2.16 kg

Extruze:	Index toku při 270 °C/2.16 kg	
	MFI (g/10 min.)	MVI (cm^3/10 min.)
1	47,6	39,7
2	57,1	47,6
3	72,1	60,1
4	86	71,6
5	112,5	93,7

Za účelem vzájemného porovnání zkoumaných typů polymerů byly použity pouze hodnoty indexu toku hmotnostního MFI (dg/min.), které jsou v praxi používány nejčastěji. Spolu s nimi přístroj poskytuje hodnoty objemového indexu toku MVI (cm^3/10 min) automaticky, jejich změny však přímo úměrně kopírují změny MFI, takže poskytují prakticky stejnou informaci. Graficky zpracované hodnoty MFI všech tří polymerů jsou uvedeny na Obr. 40.

T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.



Obr. 40: Zpracovatelská stabilita odpadního PET hodnocená násobnou extruzí na jednošneku HAAKE 19 mm, L/D=25 při 270 °C/80 rpm

Z grafů na Obr. 3 lze vyčíst, jak se jednotlivé zkoušené typy PET svými výchozími vlastnostmi i následným zpracovatelským chováním liší. Přestože byly všechny tři materiály použity ke stejnému účelu – výrobě obalových lahví na potraviny – nemají stejné vlastnosti. PET-modrý vykazuje viditelně nižší tekutost taveniny již po první extruzi, je tedy zřejmé, že je vyroben z jiného typy PET. Naproti tomu PET-transparentní a PET-zelený mají výchozí viskozitu taveniny i zpracovatelské chování až do III. extruze stejné, liší se jen odolností k mechanochemické degradaci, která se projeví až v posledních fázích zkoušky při 4. a 5. extruzi. Zde se ukazuje PET-transparentní odolnější. Přes pozorované odlišnosti výchozích materiálů je patrné, že PET-modrý a PET-zelený vykazují stejné zpracovatelské chování charakterizované tvarem křivky indikujícím částečnou autoakceleraci v pokročilejším stádiu

T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

degradace. Oproti nim má závislost PET-transparentního průběh lineární, což může být dokladem přítomnosti účinnějšího stabilizačního systému.

Provedená zkouška zpracovatelské stability ukázala, že recyklované PET znovu zpracovatelné jsou, i s částečnou rezervou. Při korelaci velké provozní extruzní linky s extruderem laboratorním bylo v minulosti zjištěno, že jeden průchod na velké lince odpovídá 2-3 průchodům na jednošneku laboratorním. Toto bylo zjištěno pro polyolefiny a lze předpokládat, že pro PET se příliš lišit nebude. Nicméně na tuto skutečnost nelze bez důkazů spoléhat a rozhodně by bylo vhodné daný fakt experimentálně ověřit.

Vedle vlastního hodnocení zpracovatelské stability tato práce odhalila několik dalších problémů, kterým bylo nutno při laboratorním měření čelit a které při příští práci rozhodně nelze podceňovat. Byly to především granulometrie a čistota drceného recyklátu. Ač se to na začátku zkoušky tak nejevilo, velikost částic vstupního materiálu hraje roli zcela zásadní a má vliv na úspěšnost celého experimentu. Bez vhodné optimální velikosti nepropadávají částice drti samovolně hrdlem násypky a vytvářejí mosty. Ukázalo se, že aby byla drť spolehlivě dávkovatelná, musí být připravena v drtiči se sítem o maximální velikosti 4 mm. Teprve tak může být zajištěn kontinuální přísun materiálu do šneku. A i přes tuto podmínku se statisticky občas vyskytne částce větší (delší), která zbrždění způsobí a vyžaduje zásah obsluhy stroje, aby nedošlo k přerušení přísunu drti a narušení homogenity sycení šneku. Tento krok, jakkoliv se jeví triviální, je zcela zásadní pro úspěšnost první kompaundační extruze. Podaří-li se drť první extruzí zgranulovat, je problém vyřešen. U následujících extruzí pracujících již s granulátem tak problém nedostatečné sypnosti odpadá.

Druhým zásadním problémem byla čistota drti. Bylo potvrzeno, že jakkoliv se jeví zejména barevné drti vizuálně čisté a jednodruhové, bez čištění je extrudovat nelze. Obsahují velké množství mikronečistot, zbytků jiných polymerů a papíru, které by jednodruhový recyklát znehodnotily. Separace jiných polymerů flotací a promývání vodou jsou tak i pro laboratorní extruzi nezbytné.

Posledním z technických problémů bylo sušení polymeru před všemi tepelnými úkony. Tato vlastnost PET je dobře známá a není nikterak překvapivá. Přesto práce ukázala, že důsledná, možná až úzkostlivá péče o granulát se vyplatí. Přenášení granulátu vysušeného při 150°C z pece přímo do válce plastometru s minimálním kontaktem s okolní atmosférou přineslo své ovoce a čísla získaná na již použitém polymeru vykázala minimální rozptyl.

T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

7.3. HDPE – extruzní zkoušky

HDPE-mix – manuálně separovaný výběr HDPE získaný z komunálního odpadu. Byly zjevně použity především větší obaly, u nichž je typ polymeru průkaznější. Výběr materiálu nebyl prováděn s ohledem na barvu a převažovaly v něm obaly od pracích prostředků a aviváží, které byly subjektivně indikovány i čichem. Vůně původních produktů, které obal nesl, byla velmi intenzívní a výrazným způsobem přehlušila zápach, který je pro běžný odpad typický. Intenzívní vůně aviváží se uvolňovala i během extruzí. Drť z mlýna (Obr. 41) byla před extruzemi 2x promyta kohoutkovou vodou při laboratorní teplotě. Následně byla sušena pouze expozicí na vzduchu bez zvýšené teploty.

Obr. 41: Drť z mlýna (vlevo sledovaný finální produkt, vpravo nadsítné částice pro extruzi nepoužité)

a) Drcení

Materiál prošel procesem drcení (Obr. 42) minimálně 2x. Poprvé byl podrcen za použití síta velikosti 6 mm, velikost částic se ale ukázala nevhodná pro samovolný průchod násypkou extruderu. Bylo proto provedeno ještě jedno drcení za použití síta s velikostí ok 4 mm. Tato velikost již schůdný průchod násypkou umožnila.

T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

a) b)

Obr. 42: a) vnitřní uspořádání mlecího zařízení, b) celkový pohled na drtič s kvalifikovanou obsluhou

b) Laboratorní extruze

Jednošnek HAAKE, průměr šneku 19 mm, L/D=25, komprese šneku 1:4, teploty válce extruderu 240 °C / 100 rpm. Tavenina polymeru chlazena vodou. Byla provedena čtyřnásobná extruze, jednotlivé extruze značeny za názvem římskými číslicemi /I až /IV.

c) Měření indexu toku

Index toku granulátů byl realizován na melt-indexeru Dynisco LMI 5000 za podmínek 190 °C/2.16 nebo 5 kg dle standardu ISO 1133. Před měřením nebyl materiál nijak zvlášť upravován, po předchozím promývání byl pouze vysušen několik dní při laboratorní teplotě.

Drť označená jako HDPE-mix byla čtyřikrát za sebou extrudována. Po každém z průchodů byl odebrán vzorek cca 50 g pro měření indexů toku. Samotná extruze probíhala bez větších těžkostí, problematická byla pouze kvalita struny. Její povrch byl hrubý a často se trhala, což u běžných polyolefinů nebývá obvyklé. Z tohoto důvodu nebyla možná pátá extruze, protože i přes kvalifikovaný odhad výchozího množství drti došel materiál díky většímu odpadu při promývání a znovunavádění struny při opakovaných přetrzích.

Na struně se tak projevovala heterogenita, která byla důsledkem především různorodého složení struny, jak z hlediska typů polymeru, tak z hlediska vnějších kontaminantů. Z pohledu

T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

polymerů to mohly být různé typy HDPE, případně i jiné typy PE, např. LDPE, LLDPE apod., které manuální obsluha při třídění nemusela rozpoznat. Z vnějšku byl polymer kontaminován zbytky pracích prášků a aviváží nebo jinými nečistotami, které do polymeru mohly nadifundovat a přečkat v něm i dvojnásobné praní. Vedle nich to pravděpodobně byly i zbytky papírových vinět, které byly sice při mytí průběžně vybírány, ale stále mohla část z nich být nenalezena. Soubor vlivů především vnější kontaminantů dále také způsobil, že struna byla po všech provedených extruzích napěněná. Jak struna na řezu vypadala, ukazuje foto granulátu po první extruzi na Obr. 43. Po ostatních extruzích vypadal granulát přibližně stejně.

Aby byl možno postihnout míru narušení polymeru vlivem extruzního namáhání, byl měřen index toku taveniny, standardní metodou při 190 °C/2.16 kg. Jako první byl měřen granulát po první extruzi označený jako HDPE-mix/I, u něhož se předpokládalo nejmenší narušení. Výsledky měření jsou uvedeny v Tab. 12. Z pěti měření se ukázala použitelná pouze dvě, při ostatních byla viskozita taveniny natolik vysoká, že se píst se závažím zastavil a vzorek se stal neměřitelným. Při pohledu na minimum použitelných hodnot bylo zřejmé, že měření musí probíhat při vyšším zatížení pístu. Další měření byla proto prováděna při hmotnosti závaží 5 kg, výsledky uvádí Tab. 13.

T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

Obr. 43: HDPE-mix po první extruzi – granule nasekané z napěněné struny

Tab. 12: Index toku granulátu HDPE-mix/I měřené při 190°C / 2.16 kg

Měření:	**Index toku při 190°C/2.16 kg**	
	MFI (g/10min.)	**MVI** (cm^3/10min.)
1.	n.	n.
2.	0.48	0.63
3.	n.	n.
4.	0.35	0.46

T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

5.	n.	n.

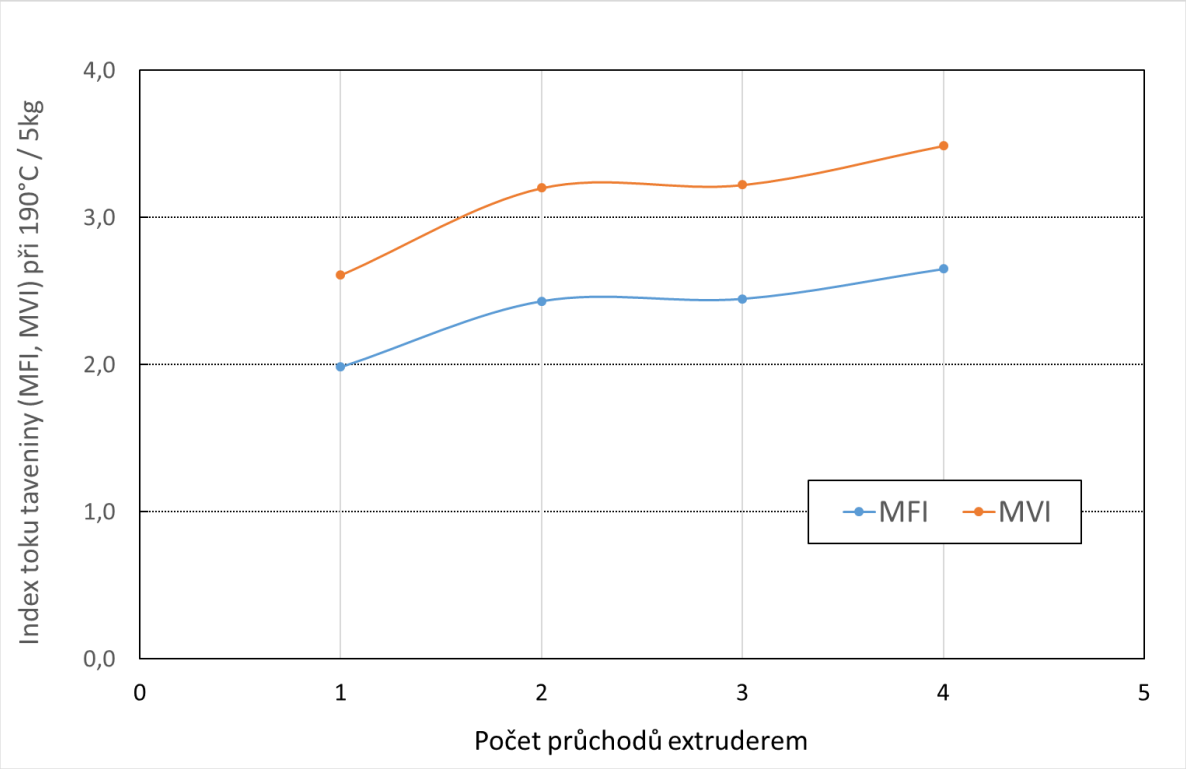
n = neměřitelné, píst se zastavil

Tab. 13: Index toku granulátu HDPE-mix po jednotlivých extruzích měřený při 190°C / 5 kg

Extruze:	**Index toku při 190 °C/5 kg**	
	MFI (g/10 min.)	**MVI** (cm^3/10 min.)
I.	1.98	2.61
II.	2.43	3.20
III.	2.45	3.22
IV.	2.65	3.49

Čísla v Tab. 12 a Tab. 13 představují vždy průměry ze dvou měření, výsledky jsou graficky zobrazeny na Obr. 44. Je vidět, že s rostoucím počtem extruzí index MFI lehce narůstá. Rozdíl však není velký, a i když index roste, je nutno předpokládat, že polymer zároveň i síťuje, což dokladují především výsledky měření z Tab. 12, kdy se polymer při nižším zatížení ve většině pokusů ukázal jako neměřitelný, tj. netekoucí. Porovnáme-li pak absolutní hodnoty indexů toku MFI z měření při 5 kg s jinými typy jako referencí, např. z produkce HDPE Liten (Unipetrol), částečná shoda s některými vyfukovacími typy zde patrná je. I přes tento na první pohled relativně pozitivní fakt je však nutno brát v úvahu, že recyklovaný polymer má na rozdíl od nového za sebou několik extruzí a výsledné tokové vlastnosti nemusí odrážet skutečné podmínky v distribuci molekulových hmotností v polymeru. Dále je také index toku ovlivněn vnějšími nečistotami-příměsemi, takže přímé srovnání s polymerem nově vyrobeným má skutečně jen informativní charakter.

T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.



Obr. 44: HDPE-mix – zpracovatelská stabilita 19 mm jednošnek extruder při 240 °C / 100 rpm MFI-hmotnostní index, MVI-objemový index toku taveniny (MFI stanoven pro hodnotu hustoty taveniny 0.76 g/cm³)

Zpráva podává informaci o výsledcích laboratorního hodnocení použitelnosti odpadního HDPE, který byl směsí manuálně vytříděnou z komunálního odpadu plastů. Zkoušky ukázaly, že přestože byl materiál sledován v relativně malém množství (cca 1 kg) jeho zkoušky nebyly jednoduché. Bylo zjištěno, že odpadní drť, aby bezproblémově propadávala násypkou extruderu, musí být separována na sítě o velikosti ok 4 mm. Této velikosti částic je dosaženo intenzívnějším mletím a delším pobytem v drtiči. Takové podmínky sice poskytnou vhodnou velikost částic, na druhé straně ale zvyšují nezbytné mechano-chemické namáhání při mletí, které následně iniciuje termooxidaci. Tento proces spolu s nečistotami jak chemickými (zbytkové prací prostředky, aviváže apod.), tak mechanickými (zbytky vinět, papíru) způsobí, že polymer při následném protavení na teplotu zpracování ve zvýšené míře degraduje. V případě HDPE se to projevuje jak oxidačním štěpením makromolekul vedoucím ke snížení molekulové hmotnosti, tak k síťování, které naopak molekulovou hmotnost zvyšuje. Oba tyto

T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

procesy probíhají současně, takže index toku taveniny, který se běžně pro hodnocení tekutosti polymeru používá, ukáže jen výsledný „součet“ těchto procesů.

U sledovaného materiálu HDPE-mix se při hodnocení zpracovatelnosti ukázalo, že tekutost s počtem extruzí mírně narůstá, což indikuje, že termooxidační odbourání převyšuje. Tohoto však bylo dosaženo pouze se zvýšenou hmotností závaží 5 kg. Při standardním zatížení 2.16 kg se odpadní polymer (směs) jevil jako neměřitelný, což potvrdilo, že síťování zde probíhalo v nezanedbatelné míře a že je nutné tento fakt mít stále na zřeteli. Použití indexů toku v takovýchto případech nestačí a pro zjištění, jaké změny se v polymeru skutečně odehrávají, je nutné použít jiných, sofistikovanějších metod, např. rotační rheometrie a/nebo stanovení distribuce molekulových hmotností.

Jiným problémem se ukázala nehomogenita taveniny způsobená kontaminací a pravděpodobně asi i přítomností jiných plastů, které manuální vytřídění nemuselo poznat. Tento fakt měl za následek trhání struny při extruzi a zcela jistě i negativní ovlivnění kvality měření indexu toku.

Shrnutím všech výše uvedených skutečností je zjištění, že přes veškerou snahu je prvotní laboratorní krok vedoucí k přeměně heterogenního polymerního odpadu do použitelné formy těžkopádný a nedostatečně účinný.

Viněty – extruzní zkoušky

Posuzovaná směs byla vytvořena odtržením vinět z přibližně 250 PET láhví, které pocházely z odpadních plastů. Je složena z částic plastů o maximální velikosti do cca 1.5 cm (viz Obr. 45), je předpoklad, že obsahuje podíly běžných komoditních plastů jako je PET, PP, HDPE, LDPE, případně dalších.

T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

Obr. 45: Směs vzorkového podrceného plastu – viněty

Extruze byla prováděna na laboratorním jednošneku HAAKE, průměr šneku 19 mm, L/D=25, komprese šneku 1:4, teploty válce extruderu 270-265 °C / 50 rpm. Tavenina polymeru chlazena vodou.

Výsledky:

Přestože dodaného zkušebního materiálu bylo relativně málo (~100 g), bylo možno provést alespoň informativní zkoušku zpracování, tj. zjistit, jestli je nabízená fyzikální forma použitelná pro laboratorní extruzi. Vzhledem k tomu, že převažující podíl tvořil PET s nejvyšším bodem tání (~260 °C), bylo nutno volit zpracovatelskou teplotu s ohledem na něj, tj. 270 °C teploty válce a 265 °C na trysce.

T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

Výsledky zkoušky ukázaly, že dodaná drť plastů do násypky extruderu padá poměrně dobře a šnek ji podává bez problémů. Místy ale dojde k tvorbě mostu a zde je nutno směsi manuálně pomoci. Tento výskyt je ale náhodný a je dán různorodostí velikostí částic. Lze očekávat, že u laboratorního zařízení se tento problém může vyskytnout častěji než u většího zařízení s větším otvorem vstupu šneku.

Částečně vážnějším problémem se ukázala být velká nehomogenita směsi, která nedovolila extruderu poskytnout kontinuální strunu (Obr. 46). Struna se trhala především v místech neprotavených nečistot a/nebo v místech velmi tekuté taveniny, např. typů PE, pro něž je teplota zpracování 270 °C již příliš vysoká. Vzhledem k tomu, že PET a polyolefiny jsou polymery významně se lišící svou polaritou, není možné je vzhledem k jejich struktuře úspěšně mísit. Tento fakt však není předmětem prováděné zkoušky a vliv složení směsi by pak měl být řešen separátně.

Obr. 46: (a) výchozí směs plastů *(b) granulát získaný extruzí*

Dodaná směs plastů do šneku extruderu dávkovatelná je. Částečná manuální asistence je prozatím potřebná, ne však zcela nezbytná a stačí jen při občasném výskytu mostu v dolní části násypky. Dostane-li se drť až ke šneku pak je jeho odběr již bezproblémový. Vzhledem k tomu, že zkouška byla provedena jen s malým množstvím drti, pro obecnější závěry by bylo vhodné ji zopakovat s množstvím alespoň 1 kg. Větší množství materiálu umožní delší dobou chodu stroje pro potvrzení těchto závěrů, resp. poskytne možnost případného doladění zpracovatelských podmínek (otáčky šneku, teploty, velikost trysky apod.).

T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

8. Zobecnění bariér

Rizika a kritické body recyklace odpadních plastů

Primárním rizikovým faktorem je skutečnost, že recyklace odpadních plastů představuje proces pracující s nejistými a proměnlivými vstupy materiálu. Z tohoto faktu pak plynou všechna rizika s ní spojená.

Uvedená rizika zde nejsou podána v pořadí důležitosti. Vzhledem k proměnlivosti substrátu ve složení a v čase, stanovení pořadí důležitosti ztrácí smysl. S trochou nadsázky lze říci, že všechna rizika zde uvedená jsou důležitá stejně.

8.1. Rizika z pohledu vstupního materiálu:

8.1.1. Složení polymerů

Sběrný koš separovaných plastů představuje směs polymerů nejrůznějších proveniencí. Jde o směs polymerů vyrobených různými technologiemi zpracování i s různou aditivační výbavou (nejčastěji stabilizace a barva) to vše s nesmírnou rozmanitostí tvarů. Míra separace požadovaného materiálu je proto velmi důležitá v návaznosti na kvalitu výsledného recyklátu.

Z hlediska kvality se nejlépe separují nápojové PET láhve, které jsou jednoznačně určeny svým tvarem a použitým typem plastu. Zde se dá hovořit o odpadním recyklátu skutečně jednodruhovém (víčka, viněty jsou snadno oddělitelné flotací). Druhou potenciálně dobře definovanou skupinou jsou velké nádoby od pracích prostředků či aviváží, které jsou převážně z HDPE. U ostatních plastů je pak dělení složitější a mnohem méně efektivní. Vedle nich jsou zde ale také typy plastů, které se v separovaném odpadu běžně vyskytují, ale recyklovat se nedají vůbec. Jsou to:

- a) PVC – je mu sice přiřazen recyklační symbol č. 3, ale jeho případná recyklace má smysl spíše v případě čistých odpadů z výroby. Odpadní PVC se příliš nerecykluje. Přítomnost PVC v recyklátu ostatních plastů však může způsobit znehodnocení.
- b) Síťované plasty (reaktoplasty) – jsou v principu nerecyklovatelné, 3D síťovaná struktura nedovolí protavení. Při vyšších teplotách se mohou jen rozložit (XPE, molitan, epoxypryskyřice apod.).
- c) Pryže a kaučuky – i když vlastnostmi představují svébytnou skupinu, patří mezi polymery síťované. Rovněž netavitelné, do odpadního koše plastů nepatří!

T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

- d) Kompozity – vzhledem k přítomnosti ztužujících materiálů jako jsou např. částice, vlákna nebo textilie, jsou rovněž tyto polymery nerecykovatelné, i když samotná polymerní matrice mezi recyklovatelné plasty patřit může. Dělení polymerní matrice od ztužujících materiálů je provozně nereálné. Pokud se kompozity recyklují, tak rozfrézováním nebo pomletím na menší částice, které se následně přidávají např. do asfaltu.

8.1.2. Oxidační narušení

U odpadního recyklátu není nikdy jisté, jak byl primárně použit, stejně jako kde a jak dlouho polymer po primárním použití pobýval. Materiál tak může být degradačně narušen teplem nebo UV zářením, někdy i chemikáliemi. Často se do odpadního koše dostávají plasty sice teoreticky recyklovatelné, ale ve vysokém stupni rozkladu. Nejčastěji jsou to krycí PE fólie nebo plasty desítky let staré. Tyto materiály jsou již nezpracovatelné a je nutno je bezpodmínečně odstranit.

S postupným naplňováním požadavků na náhradu primárních surovin recykláty se bude postupně ve spotřebním koši objevovat vyšší podíl starších a více degradovaných polymerů. Zmíněný problém degradace bude narůstat.

8.1.3. Kontaminace potravinami

Jsou-li do odděleně soustřeďovaného plastu odkládány obaly od potravin, je kontaminace jejími zbytky nevyhnutelná. U hydrofilních látek jako např. zbytky nápojů (ne mléčných!), jsou-li (láhve) separovány, je čištění snadné. V průběhu recyklačního procesu se flaky propírají vodou. U lipofilních kontaminantů je čištění sice teoreticky možné, ale z ekonomických, hygienických a ekologických důvodů prakticky neproveditelné. Takto kontaminované plasty, byť separované, jsou ve formě výmětu energeticky vaužívány.

8.1.4. Kontaminace papírem a vnějšími nečistotami

U některých odpadních polymerů jsou patrné zbytky vinět (plastových, papírových), které se patrně snaží snížit ekologickou zátěž výrobku. Z hlediska recyklace však přinášejí spíše komplikaci, protože se při praní rozměňují (rozvlákňují) a pokud se dostanou do taveniny, komplikují filtraci.

T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

8.1.5. Nehomogenita recyklátu

Každý z výše uvedených faktorů má šanci přispět k nehomogenitě recyklátu jak z hlediska složení, tak z hlediska barvy. Barevný vliv je patrný nejvíce. Z pohledu ekonomiky recyklace nelze zajistit, že bude zpracováván polymer jen jediné barvy. Vždy jde o směs minimálně různých odstínů téže barvy, což způsobí, že výsledný regranulát nikdy nebude zcela stejný. Při běžném barevně neseparovaném odpadu je recyklát většinou šedo-hnědý, nebo se slabým odstínem převažující barevného vstupu.

8.1.6. Rizika nepředvídatelná

Do výčtu možných rizik je nutné zařadit i rizika nepředvídatelná a nelogická, která se mohou vyskytnout nahodile a jen zřídka, s nimiž je ale nutno rovněž potenciálně počítat. Mohou to být komunální odpad, mrtvá zvířata nebo jiní živočichové, kteří se dostanou do sběrného koše plastů. Dále to mohou být kontaminanty jako kámen, stavební suť, menší kovové předměty, rozpouštědla nebo chemikálie v uzavřených nádobkách, které se do sběrných kontejnerů dostanou jako produkt lidské ignorance, arogance nebo jako důsledek nespokojenosti s vlastním životem či společenským systémem. Všechny tyto mohou vést ke znehodnocení recyklátu, případně poškození zpracovatelského zařízení. Je proto nezbytné, aby plast určený k recyklaci prošel ještě před drcením přísnou osobní inspekcí, aby se tato i výše uvedená standardní rizika eliminovala.

8.2. Rizika z pohledu technologie zpracování

Komentář 1

I přes veškerou snahu o kvalitní vyčištění a zpracování odpadního plastu, vždy bude jeho klasickou recyklací získán materiál druhořadé kvality, jehož vlastnosti a použití jsou horší než u materiálu primárních.

Komentář 2

Fakta předložená v této zprávě neplatí v plném rozsahu pro recyklaci technickou, kdy je čistý jednodruhový materiál shromažďován hned u zpracovatele plastů. Jedná se většinou o ořezy nebo nestandardní kusy, které představují materiál jednou prošlý zpracovatelským zařízením, který není nijak znečištěný a zpracovatel navíc zná jeho přesné složení. Takový materiál, u něhož odpadají kroky separace a čištění, je pak většinou posekán na granulím podobné vločky

T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

a následně zpětně vracen do výroby. Obvyklé „opatrné“ dávkování recyklátu se pohybuje v rozmezí 5-15%, možní-li to materiál i technologie, může přídavek recyklátu dosahovat až 30%.

8.2.1. Výběr materiálů – manuální vs. strojová separace

Úvodním a velmi důležitým krokem je prvotní hrubá separace plastů podle požadavku recyklace. Je prováděna kontinuálně na pásovém dopravníku. Nejčastěji bývá prováděna manuálně, vyškoleným personálem, jehož výkon ale nemusí být vždy stoprocentní. Je to práce nevyžadující přílišnou kvalifikaci a často ji provádějí lidé s minimálním vzděláním či minimální motivací. Je proto nutno brát v úvahu i lidský faktor, který na kvalitu výběru (nebo separace nečistot) vliv bezesporu má.

Jinou z možností je separace plastů strojová, využívající např. IR-paprsek poskytující na pásovém dopravníku online informaci o povaze projíždějícího polymeru, na jejímž základě je v další fázi definovaný kus separován. Přes veškerý pokrok tyto technologie stále ještě nejsou dostatečně spolehlivé, vzhledem k rozmanitosti používaných materiálů a faktu, že kromě vlastního chemického složení se jejich tvary a velikosti mohou pohybovat od jednotek až po mnoho desítek centimetrů.

8.2.2. Mechanická příprava vstupního materiálu

Důležitým krokem z hlediska technologie zpracování je přeměna vstupního materiálu do vhodné formy tak, aby umožňovala dostatečné a plynulé dávkování do extruderu. Většinou je realizována na rotačním mlýnu se sítem omezujícím velikost částic, výstupem jsou pak nepravidelné částice o velikosti vhodné pro danou technologii. Volba velikosti částic závisí na velikosti vstupu extruderu, jsou-li částice větší, tvoří mosty nebo nejsou šnekem odebírány pravidelně. To vše pak vede ke zhoršené kvalitě i ekonomice extruze. V extrémním případě může být extruze znemožněna zcela.

8.2.3. Čištění a filtrace

Tato fáze je pokračováním primární separace popsané v bodě 2.1. Menší kusy plastů, které nebyly nebo nemohly být separovány manuálně jsou oddělovány až zde. Oba uvedené faktory se týkají dělení materiálu od kontaminantů, v praxi jsou ale realizovány ve dvou rozdílných časových úsecích. Čištění praním probíhá na posekaném materiálu, který je sprchován (se saponátem) a posléze míchán ve vodní lázni, ve které dojde díky rozdílným hustotám k flotaci, tj. k oddělení polymerů či nečistot lehčích než voda od těch, které neplavou. Tento krok umožní velmi účinné oddělení např. polyolefinů od PET, PA nebo PVC a to i v případě nejmenších částic.

T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

Celková účinnost čištění vodou pak dále závisí na míře znečištění. Ve vodě rozpustné látky nejsou problém, avšak lipidické látky ve vodě nerozpustné, např. oleje nebo tuky, tímto způsobem jdou odstranit jen velmi omezeně. Při vyšších hladinách kontaminace takový způsob čištění už použitelný není a přítomnost tohoto druhu nečistot pak vylučuje materiál z dalšího zpracování.

Před vlastní extruzí musí být polymerní drť účinně zbavena vlhkosti. Dostatečné vysušení je vyžadováno především u polymerů, které za podmínek zpracování mohou hydrolyzovat, např. polyestery, polyamidy.
Druhou fází čištění je filtrace taveniny, při které se oddělují netavitelné mechanické nečistoty, jako jsou dřevo, písek, zuhelnatělé organické zbytky apod. Filtrace roztaveného polymeru využívá ne-Newtonského chování taveniny, která za vyšších smykových rychlostí snižuje viskozitu a dobře prochází i jemným sítem. Tím dojde o oddělení všech netavitelných mechanických kontaminantů a polymer je definitivně připraven k dalšímu použití.

8.2.4. Teplota extruze

Teplota extruze vychází z typu zpracovávaného polymeru, je-li jednodruhový, není to problém. Pokud je ale recyklovaná směs z více typů, jako např. polyethylenů (LDPE, LLDPE, HDPE) musí respektovat bod tání a z něj plynoucí teploty extruze toho nejvýše tajícího polymeru. Jen tak může být dosažena dostatečná homogenita taveniny při extruzi.

8.2.5. Zpomalení pokračující degradace

Oxidační degradace polymeru je nevratná. Jeli plast oxidačně narušený nelze již jeho stav zpětně zvrátit ani vylepšit. Je-li však ve stavu, kdy rozsah degradace (thermo-, foto- nebo mechanochemické) ještě není tak velký a je k recyklaci vhodný, lze jej dodatečnou stabilizací ochránit, aby v důsledku další extruze jeho degradace dále nepokračovala. Výběr procesního stabilizačního systému závisí na typu polymeru, resp. jeho dalším zamýšleném použití. Dodatečný stabilizační systém pak může být přidáván do extrudéru buď přímo ve formě práškového premixu nebo granulovaného koncentrátu (masterbatche).

8.2.6. Zápach a ostatní organoleptické vlastnosti

Vzhledem k faktu, že se jedná o plast odpadní, je problém jeho organoleptiky aktuální. U odpadního, a tedy již jednou použitého plastu, nikdo neočekává hygienickou nezávadnost či

T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

možnost styku s potravinami, nicméně je nutno přijmou fakt, že polymer při zpracování může uvolňovat plynné složky a produkovat zápach. Zápach při zpracování je pak závislý na míře předchozího narušení polymeru a na povaze a množství kontaminantů, které se při teplotách zpracování polymeru rozkládají a/nebo odpařují. Problém se týká především hygieny samotného pracovního procesu, jehož prostředí se personál obsluhy zpracovatelského stroje dlouhodobě vystavuje.

8.2.7. Spolupráce laboratoř-výroba

Jednou z účinných cest vedoucích ke snížení rizika při recyklaci plastů je spolupráce recyklační výroby s výzkumným pracovištěm. Výzkumné pracoviště může s předstihem poskytnout informace o složení, kvalitě či míře znečištění použitého plastu a dokáže tak ušetřit strojový čas výroby. Je to právě laboratoř, která by měla definovat podmínky kvality a čistoty vstupního materiálu.

Potřebné informace dokáže laboratoř získat se zanedbatelným množstvím materiálu a ušetří tak výrobě zbytečné náklady, ke kterým by došla, kdyby postupovala pouze metodou pokusu a omylu.

T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

9. Doporučení pro provádění terénních prací

V souvislosti s doporučením je důraz kladen zejména na srovnatelnost a opakovatelnost výsledků terénních průzkumů zaměřených na stanovení složení komunálního odpadu (dále jen „KO“), případně se zaměřením na konkrétní sledovou část např. plast. Pro stanovení cílů vzorkování je potřeba zohlednit (ne)rozlišitelnost složky ve směsi KO, a to i s ohledem na časové a ekonomické hledisko a v některých případech i nejednoznačný účel a původ výrobků a obalů, které skončí v KO (např. lze obtížně odlišit letáky a časopisy, u tetrapaku, zda je uvnitř folie nebo alobal). Problémem může být i znečištění, kdy se především v případě zbytkového SKO těžko identifikují jednotlivé materiály, a to i ty základní (např. rozlišitelnost znečištěných plastů, papíru, textilu a vícemateriálových odpadů).

Výrobci v současnosti nemusí na své obaly vyznačovat kód plastu a bez infračervené detekce (NIR) nelze vizuálně rozlišit, zda se jedná o PE, PP nebo PS, proto se v analýzách KO plastové obaly běžně dělí především na 2D (folie nelze dále rozlišit) a 3D (lahve, bezpečně se vytřídí HDPE a PET). Z hlediska rozlišitelnosti lze u kovů místo hliníkových sledovat spíše barevné nebo feromagnetické kovy. Z hlediska rozlišitelnosti je pro obalové sklo běžné rozdělení podle barvy (základní informace pro další zpracování), případě vratné a nevratné.

Terénní práce jsou zaměřeny zejména na potenciální **materiálové složení, resp. využití**, budou vycházet z praktických možností a potřeb provozů pro dotřídění anebo úpravu plastového a papírového KO. Produktem těchto provozů je **obchodovatelná komodita, tzv. druhotná surovina** s kladnou cenou na trhu**.** Cíleno je zejména na tři základní kategorie odpadů:

- **Jednodruhové materiály** – snadno rozeznatelné (např. PET lahve nebo obaly se zřetelným označením materiálu).
- **Jednodruhové materiály** – obtížně rozeznatelné na základě materiálu (např. PET vs. HDPE; obal se chová jako HDPE (dutý obal), ale přitom se jedná o PET).
- **Kompozitní materiály** – problematické materiály z pohledu zpracovatelských provozů (zejména dotřiďovací linka), složitá identifikace samotného materiálu, případně kombinace materiálů, které jsou problematicky oddělitelné (svařované, lepené, tavené a další).

Znečištění papírového odpadu omezuje či přímo znemožňuje materiálové využití. Sem rovněž patří nadměrná vlhkost. Znečištění plastového, skleněného a kovového odpadu nemá zásadní vliv na recyklovatelnost. Z ekonomických, časových a dalších důvodů se předpokládá manuální

T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

roztřídění. Automatizované anebo mechanizované postupy se pro analýzy KO nevyužívají a nejsou nijak standardizovány, jejich využití je možné spíše teoreticky za značně zvýšených nákladů. Doporučuje se odběr vzorku KO přímo ze sběrné nádoby, případně ze svozového vozidla bez lisu. Ve vozidlech s lisem dochází k zásadnímu ovlivnění naměřených hodnot (přenos vlhkosti u papíru, promísení, stlačení odpadu; následek může být i velmi problematická možnost roztřídění) a výrazně se zhoršuje rozpoznatelnost jednotlivých frakcí odpadu. Z pohledu plastů dochází k výrazné deformaci obalů, ostatní frakce jsou vtlačovány do 3D plastových obalů, 2D obaly jsou silně znečištěny.

Je doporučeno využití postupů i struktury v souladu s aktuální českou certifikovanou metodikou pro rozbory KO, která vznikla v rámci projektu TIRSMZP719 (tj. metodika TIRSMZP) a je zaměřena na tok odpadů přímo od spotřebitelů (nikoliv na zpracovatelském zařízení nebo po úpravě ve svozových vozech) a respektuje možné postupy pro úpravu na obchodovatelnou druhotnou surovinu, což je v souladu se zaměřením projektu CEVOOH a se směřováním k tzv. cirkulární ekonomice. **Silnou stránkou metodiky TIRSMZP je důraz na jednoznačnost, srovnatelnost, opakovatelnost a související statistické vyhodnocení výsledků**, metodika je v souladu s doporučeními Evropské komise, která jsou formulována v dokumentu SWA-Tool[22]. Metodiku TIRSMZP zaštiťuje MŽP ČR a metodické podklady jsou veřejně přístupné[23] (). Pro sledované skupiny KO je konkrétně doporučeno:

- Pro **separované plasty** sledovat podíl obalové a neobalové složky, plastové obaly dále rozdělit na fólie, tvrdé (duté) plasty, čirý PET, barevný PET, polystyren a ostatní obaly. V případě tvrdých plastů lze do určité míry sledovat podíl HDPE, PET a PP, nicméně toto rozlišení je značně časově náročné a značná část odpadu je v terénu prakticky nerozlišitelná, nicméně po zvážení přínosů a nákladů je možné takto detailní průzkum v určitém rozsahu realizovat. Barevné PET lahve lze dělit dle jejich barvy, nicméně odstínů PET je teoreticky nekonečné množství dle použitých aditiv.
- Pro **separovaný papír** sledovat podíl obalové a neobalové složky a ostatní papír (např. znečištěný, mastný nebo potahovaný), papírové obaly dále rozdělit na lepenku + karton a na ostatní obaly, neobalový papír dále sledovat na novinový + kancelářský a na časopisy + letáky + podobný papír.

22 iC consulenten ZT GmbH, Methodology for the Analysis of Solid Waste (SWA-Tool) User Version, 2004. 5th Framework Program EU. Dostupné z: https://www.wien.gv.at/meu/fdb/pdf/swa-tool-759-ma48.pdf

23 TAČR Starfos: Prognózování produkce odpadů a stanovení složení komunálního odpadu, TIRSMZP719. Dostupné z https://starfos.tacr.cz/cs/project/TIRSMZP719#project-results

T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

- Pro **separované sklo a kovy** sledovat rozdělení na obalovou a neobalovou složku, u kovů lze dále sledovat rozdělení na feromagnetické, hliníkové (především pro kovové obaly) a ostatní.
- **Textilní odpad** komunálního původu je pro účely projektu CEVOOH doporučeno sledovat nad rámec stanovený metodikou TIRSMZP, která sleduje pouze podíl oděvního a ostatního textilu. Pro účely projektu CEVOOH je doporučeno sledovat rozdělení na a) předměty šatníku, b) průmyslové textilie (zbytky a odřezky z šití), c) domácí textilie a hadry a d) další textilní výrobky (hračky, obuv). Skupina a) a z určité části i skupina d) je při odděleném sběru vhodná pro znovuvyužití, skupina b) a z určité části i skupina c) je vhodná pro hypotetickou materiálovou recyklaci.
- Dále je **doporučeno sledovat zastoupení vícemateriálových obalů**, především tetrapacků, které se ovšem mohou vyskytovat v různých nádobách na KO dle nastavení místního obecního systému sběru odpadů. Dle obecních vyhlášek se tetrapacky běžně shromažďují do nádob pro sběr plastů, papíru, nebo do specializovaných nádob.
- Pro sledování složení zbytkového SKO je v souladu s metodikou TIRSMZP doporučeno sledovat:
    - Na **první úrovni třídění** především materiálové složení, konkrétně rozdělení na papír, plast, bioodpad, dřevo (pouze upravené), sklo, kovy, textil, vícemateriálové obaly, elektrozařízení, baterie + akumulátory, další odpady a podsítnou část.
    - Na **druhé úrovni třídění** pro papír, plast, sklo a kovy rozdělení na obalovou a neobalovou složku. Pro bioodpad sledovat podíl kuchyňského odpadu a odpadu ze zahrad a parků, pro textilní odpady oděvy a ostatní textiliní materiály (případně navržené rozdělení dle odrážky výše) a skupinu dalších odpadů dále dělit na pleny + hygienické odpady, minerální odpady, ostatní potenciálně nebezpečné odpady (zohledňuje bezpečnost práce - není vhodné v terénu zkoumat neznámé látky a obsah neoriginálně uzavřených láhví), komplexní vícemateriálové produkty a ostatní odpady (např. neobvyklé materiály, guma, specifické stavební materiály).
    - **Třetí úroveň třídění** je doporučena pro papír, plast, kovy a bioodpad a odpovídá uvedenému rozdělení v odrážkách výše. Pro kuchyňský bioodpad se na třetí úrovni sleduje podíl ovoce + zeleniny (celé kusy), rostlinných zbytků z přípravy ovoce + zeleniny (odkrojky, slupky, listy, vymačkané citrusy) a ostatní potraviny.
- Během analýz složení SKO není potřeba využívat plného rozsahu sít jako v metodice TIRSMZP719 (jedná se o síta s velikostí oka 40, 20 a 10 mm), význam má pro SKO především největší síto s velikostí oka 40 mm, které slouží jako pracovní plocha a ohraničuje čas rozboru SKO. Lze předpokládat, že odpady propadlé sítem nejsou z většiny vhodné pro úpravu na druhotnou surovinu a následnou recyklaci, což potvrdily

T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

i experimenty provedené v rámci projektu TIRSMZP719. Podsítná část SKO sestává především ze směsi hlíny, prachu, popele, drobného bioodpadu a částic různých materiálů, které jsou většinou silně znečištěné a velmi obtížně rozlišitelné.

9.1. Klíčové poznatky z rozborů se zaměřením na plastové a jednorázové obaly

Metodika rozboru vychází jednak s certifikované metodiky TIRSMZP719[23], která byla modifikovaná pro potřeby projektu CEVOOH (výstup ***Prvotní návrh metodiky – 1.D.1.3.***). Hlavním cílem bylo zejména schopnost identifikovat materiál, sledovat recyklační piktogram a sledovat hmotnost konkrétního obalu, případně obaly vzájemně dokázat porovnat. Porovnání může být váhové či materiálové, opět dle požadavků a stanovených cílů zkoušení.

Praktická realizace byla provedena následovně:

- Náhodně zvolena nádoba na SEP-PLA o objemu 1 100 l.
- Nádoba byla tříděna na III. úrovni dle navržené metodiky.
- Bylo provedeno roztřídění a celkové zvážení jednotlivých sledovaných frakcí.
- Následně byl každý obal detailně analyzován (značka výrobku, odečten objem, případně hmotnost, zjištěna celková hmotnost obalu, přítomnost recyklačního piktogramu, typ materiálu, jiná specifikace pro identifikaci obalu).
- Závěrečné vyhodnocení.

Praktická ukázka terénních prací na dvou reprezentativních vzorcích, tj. nádoba o objemu 1 100 l.

V Tab. 14 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.

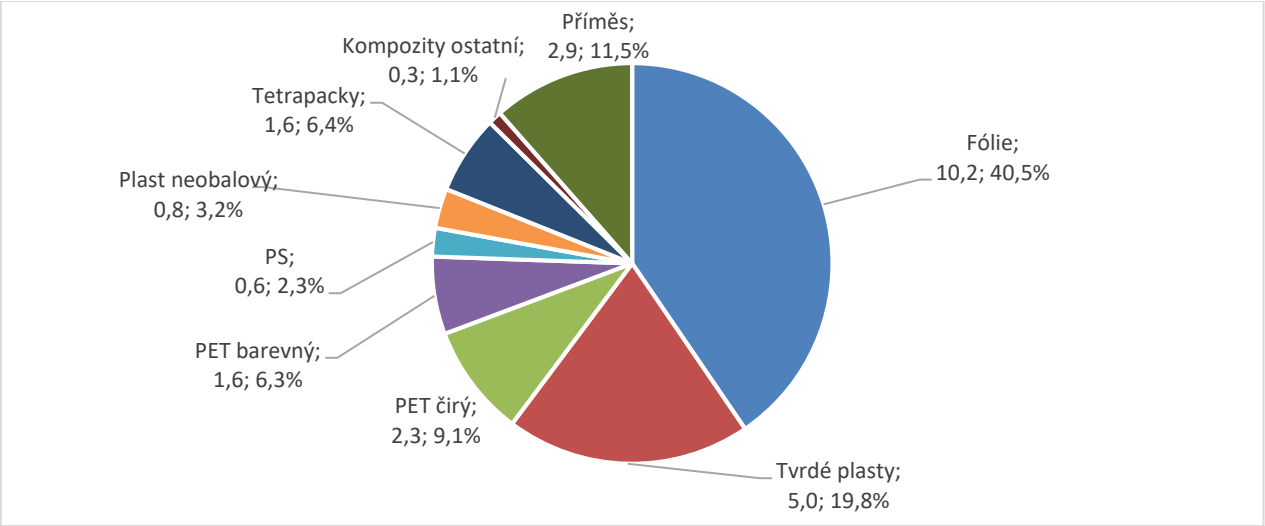
Tab. 14: Data z analýzy separovaného plastového odpadu

I. úroveň	II. úroveň	III. úroveň	Vzorek 1 [g]	Vzorek 2 [g]
Plasty	obalový	fólie	6 145	14 320
		tvrdé plasty	6 087	3 909
		PET čirý	671	3 908
		PET barevný	1 900	1 270
		PS	1 075	87

T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

	neobalový		1 375	246
Kompozitní a nápojové kartony	Tetrapack		1 771	1 449
	ostatní		396	153
Příměs			4 573	1 237
Celkem			23 993	26 579

Následující graf na Obr. 47 ukazuje průměrné hmotnostní zastoupení sledovaných frakcí v analyzovaných vzorcích.



Obr. 47: 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. Analýza vybraných vzorků probíhala na jaře (5/2022), což se projevilo i na celkovém složení. Ukázky jsou předvedeny na Obr. 48, kde velký podíl vzorku byl tvořen pytli od substrátů, mulčovací kůrou a dalšími zahradními obalovými fóliemi (černé pytle).

T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

Obr. 48: Ukázky 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 (Obr. 49). Značný podíl tvořily obaly od drogistických produktů, např. tekutý prací prostředky, šampóny, mýdla nebo krémy.

T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

Obr. 49: Ukázka analyzované frakce – tvrdé plasty

Necelých 12 % z celkové hmotnosti obou vzorků tvořily příměsi materiálů, které do tříděného plastu nepatří, i když mohou mít potenciál zastoupení plastů (Obr. 50). Jednalo se o hliníkové plechovky, směs papíru, textilu a odpadu ze zahrady (hlína, větve apod.).

Obr. 50: Ukázka analyzované frakce – příměs

PET lahve (Obr. 51) 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.

T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

Obr. 51: Ukázka analyzované frakce – PET lahve

Obalový polystyren (Obr. 52) byl zastoupen hlavně v podobě ochranných tvarovek na elektroniku.

Obr. 52: Ukázka analyzované frakce – Polystyren

Neobalový plast (Obr. 53) se vyskytoval ve formě rohožek, trubek, košíků a ramínek na oblečení.

T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

Obr. 53: Ukázka analyzované frakce – Neobalový plast

Kompozitní a nápojové (vícemateriálové) obaly (Obr. 54) byly zastoupeny hlavně sáčky od potravin s vnitřní hliníkovou fólií a blistry od léků. Nápojové kartony (tetrapack) byly převážně od mléka a ovocných nápojů.

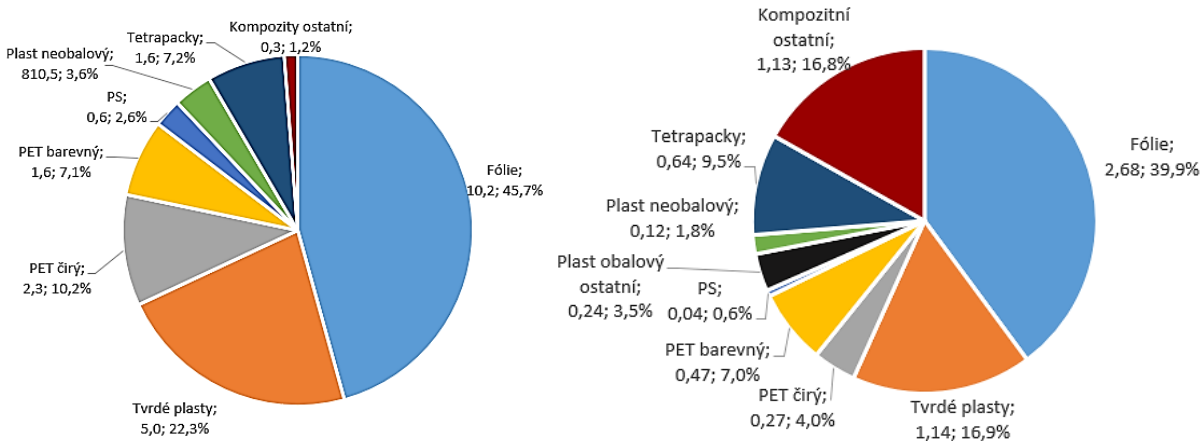
Obr. 54: Ukázka analyzované frakce – Kompozitní a nápojové kartony

T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

9.2. Porovnání sledovaných frakcí ve SKO a SEP-PLA

Dalším krokem pro srovnání bylo porovnání výsledků z analýzy SEP-PLA a SKO ze stejné lokality.

Lze předpokládat, že v SEP-PLA by měl být větší výskyt PET (čirého i barevného) a v SKO by se mělo vyskytovat více kompozitních obalů, případně ostatních a neobalových plastů. Ostatní frakce plastového odpadu by mohly být zastoupeny v podobném poměru v SEP-PLA i ve SKO. Následující grafy na Obr. 55 ukazují průměrné hmotnostní zastoupení sledovaných frakcí (bez příměsí) v analyzovaných vzorcích SEP-PLA (vlevo) a SKO (vpravo).



Obr. 55: 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, které jsou dominantní zejména jako „čisté“ obalové v proudu SEP-PLA a v případě SKO ty znečištěné, případně ty do kterých se balí jiné odpady a vzniká znečistěný plastový proud. Jak bylo předpokládáno největší rozdíl je v zastoupení zejména kompozitních obalů ostatních (např. blistry od léků, fólie od potravin s vnitřním hliníkovým potahem apod.), které jsou ve větším množství obsaženy v SKO což potvrzuje i správný přístup ke třídění v obci. Předpoklad týkající se PET se také naplnil, nicméně byl očekáván větší rozdíl (menší zastoupení PET v SKO). Je nutno uvést, že nápojový PET, když se vyskytuje ve směsi SKO, tak pro zcela korektní analýzu by bylo nutné porovnávat kusy nikoli hmotnost z důvodu značného znečištění. 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 pásky z PP.

T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

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 i přes vyšší míru znečištění.

9.3. Rozlišitelnost výrobků/obalů vůči materiálu v rámci terénních pracích

Jak již bylo uvedeno v úvodní části, metodika rozborů vychází z připravené certifikované metodiky projektu TIRSMZP719. Po řadě testování a hledání možnosti rozšíření metodiky s cílem zejména rozšíření sledovaných frakcí, bylo zjištěno, že nevržený modul na III. úrovni je zcela dostačující a není nutné ho dále upravovat.

Kromě samotného rozboru byly aktivity zaměřeny na sledování materiálů, z kterých jsou obaly/výrobky vyrobeny. Ne každý obal bylo možné podrobně popsat na základě pouze vizuální stránky. Velké množství obalů byly již bez etikety, nebylo tedy možné odlišit k čemu daný obal sloužil či od jakého výrobce přesně pocházel. Pro ukázkovou analýzu byly tedy vybrány pouze obaly, u kterých bylo možné jednoznačně určit následující kategorie:

- typ obalu či značka,
- gramáž původního obsahu,
- recyklační 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, případně specifický kompozit).

Následující tabulka (Tab. 15) shrnuje detailnější popis tvrdých plastů se zaměřením na obaly od ovoce a zeleniny.

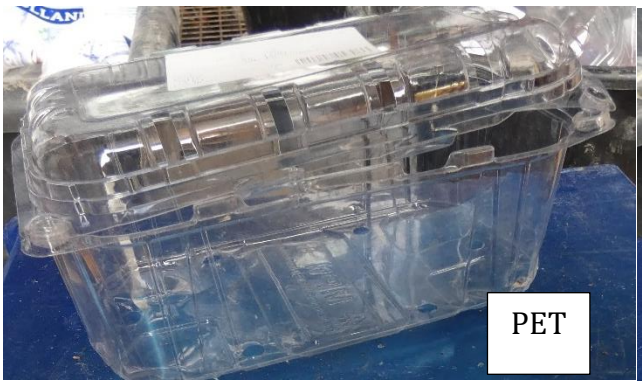
Tab. 15: Analýza tvrdých plastových obalů – ovoce a zelenina

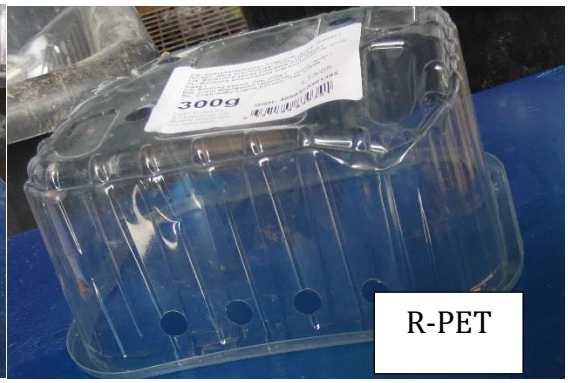
Typ obalu		Gramáž/objem	Jednotka	Hmotnost [g]	Recyklační ID
Ovoce a zelenina	borůvky	300	g	10	R-PET
		250	g	7	R-PET
		125	g	18	R-PET
		125	g	7	R-PET

T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

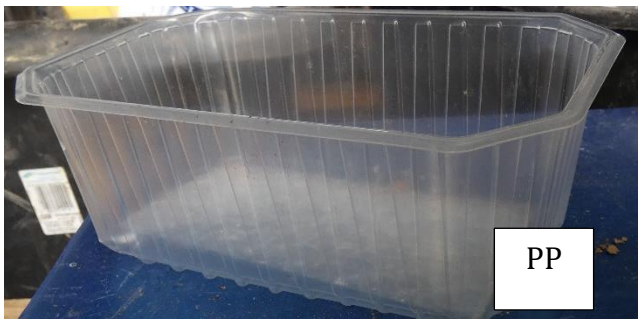
	hrozny	500	g	20	R-PET
		500	g	20	R-PET
		500	g	19	R-PET
		500	g	21	PET
		500	g	18	R-PET
		500	g	18	R-PET
		500	g	21	R-PET
	jahody	500	g	10	PP
		500	g	19	R-PET
		500	g	15	neuvedeno
	hlíva	300	g	20	R-PET
	rajčata	250	g	7	R-PET
	maliny	125	g	8	R-PET

Z výsledků je zřejmé, že vaničky na ovoce a zeleninu bývají nejčastěji z PET, případně z recyklovaného PET (R-PET). Občas byl obal vyroben i z PP. Z následujících fotografií (Obr. 56) je patrné, že vizuálně od sebe odlišit PET a recyklovaný PET nelze a je nutné použití optického snímače. V terénu rozlišení bylo realizováno na základě piktogramu. Se zaměřením na vaničky na ovoce a zeleninu PP se zdá být na rozdíl od PET méně čirý.





T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.



Obr. 56: Obaly z tvrdého plastu – ovoce a zelenina

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 může být způsobeno i znečištěním obalu, viz Obr. 57.

Obr. 57: Znečištěný obal na hrozny

V Tab. 16 jsou zaznamenány údaje o tvrdých plastových obalech určených na mléčné výrobky (jogurt, kefír, smetana, tvaroh).

Tab. 16: Analýza tvrdých plastových obalů – mléčné výrobky

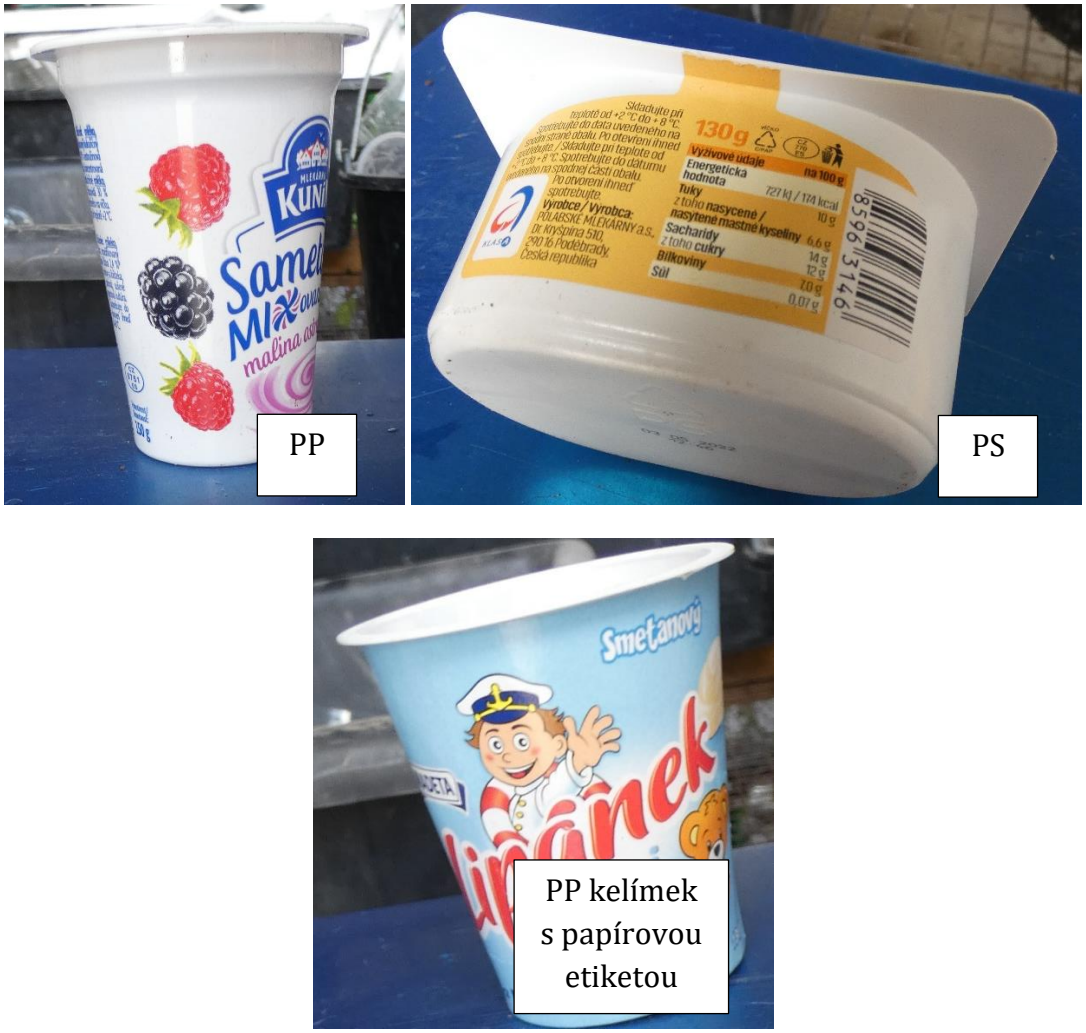
Typ obalu	Značka	Gramáž/objem	Jednotka	Hmotnost [g]	Recyklační ID
Jogurt	Kunín	150	g	7	PP
		150	g	7	PP
		150	g	7	PP
		200	g	8	PP

T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

		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

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 obaly nelze rozeznat (Obr. 58). 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).

T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.



Obr. 58: 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. 17).

Tab. 17: Analýza tvrdých plastových obalů – masné výrobky

Typ obalu	Gramáž/objem	Jednotka	Hmotnost [g]	Recyklační ID

T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

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	neuvedeno
	100	g	10	C
	100	g	11	C

Maso a masné výrobky nejčastěji bývají v plastových vaničkách, klobásy a salámy v plastových blistrech. V analyzovaném vzorku byly nejvíce zastoupeny vaničky z PET a PP. Oba druhy polymeru jsou na pohled totožné (Obr. 59). 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. 59: Obaly z tvrdého plastu – masné výrobky

Velké zastoupení v analyzovaném vzorku měly tvrdé plasty využívané jako obaly drogistických výrobků (Tab. 18).

T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

Tab. 18: 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 + vinětа 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	neuvedeno
	Balea	200	ml	48	neuvedeno
	Onclé	200	ml	67	HDPE
	Nivea	200	ml	49	LDPE
	-	100	ml	41	PS
Ústní voda	Listerin	1	l	73	PET

T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

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 (Obr. 60) jde vidět, že obaly vyrobené z PET mohou mít různou podobu, od čiré až po tmavou neprůhlednou.

Obr. 60: 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, nicméně bal vyrobený z LDPE je však oproti obalům z ostatních druhů polymerů měkčí a dá se snadněji stlačit (Obr. 61).

T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

Obr. 61: 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 nevyužitý odpad, případně jako součást výmětu, konkrétně se jedná o PET, který vůči HDPE je těžší a lze jej jednoduše oddělit ve flotační nádrži.

Poměrně velkou měrou je zastoupena obalová 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 (obr. 62). Vhodným odlišovacím znakem se stala vnitřní strana obalu. Je-li vnitřní strana stříbrná (hliníková nástřiková vrstva nebo tenká plastová folie, která je svařená s hlavní částí obalu) jedná se o kompozit, v opačném případě jde obvykle o jednoduhovou fólii.

T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

Obr. 62: Jednodruhová (nahoře) vs. kompozitní (dole) obalová fólie

T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

10. Závěrečná definice pojmů

- **Recyklovatelnost**: schopnost materiálu podrobit se chemické nebo fyzikální aktivitě, která materiál přetvoří do regranulátu se stejnými, resp. velmi podobnými vlastnostmi.
- **Recyklovatelný obal:** je to takový obal, který je jednodruhový, neobsahuje velké množství aditivace (poměr aditivace je vždy menší jak materiál samotného obalu např. vineta disponuje větší měrou aditivace jak samotného materiálu) a lze jej jednoduše nadrtit na požadovanou frakci. Recyklovatelný obal může být i kompozitní obal, který lze rozebrat tzv. na prvočísla a získáme z kompozitního obalu lehce oddělitelné části, které jsou z jednoruhového materiálu.
- **Ekomodulace:** zohlednění dopadu obalu na životní prostředí, zejména jeho opětovné použitelnosti, recyklovatelnosti, obsahu nebezpečných látek a plnění požadavků stanovených jinými právními předpisy.
- **Regranulát**: výsledný produkt po extruzní zkoušce, jedná se o produkt, který je výsledkem recyklace odpadního plastu. Regranulát je vytvořen ze stabilní a souvislé struny, která je stříhána na požadovanou velikost.
- **Flake**: drcený odpadní plast, určený pro další zpracování za pomoci recyklace.
- **Jednodruhový materiál:** materiál, který disponuje příměsí jiných materiál max. do 5 % a lze jej recyklovat.
- **Kompozitní materiál:** kompozitní materiál složený ze dvou více materiálů, které nelze jednoduše oddělit, recyklace kompozitních materiálu je poměrně obtížná a kompozity jsou vhodné pro energetické využití (waste-to-eenrgy).
- **Cirkulární ekonomika:** neboli oběhové hospodářství, jedná se o koncept udržitelného rozvoje, který je soběstačný.

T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

Závěr

Předkládaná závěrečná zpráva se zabývá bariérami recyklovatelnosti, které jsou klíčové pro správné nastavení přístupů k recyklaci obalů, zejména se zaměřením na plasty.

Celková zpráva je koncipovaná jako teoreticko-praktické poznatky k plastům, které byly získány od počátku projektu CEVOOH a rovněž vycházejí z poznatků projektu TIRSMZP719, kde v synergii s projektem CEVOOH probíhaly zejména terénní práce a vzorkování po celé ČR.

Úvodní část zprávy se zabývá jednorázovými plasty, pojmem recyklace, rešerší se zaměřením na recyklovatelnost a legislativními aspekty, které vhodně definují a popisují klíčovou terminologii. Další část se dostává do přístupů, jakým způsobem lze s plasty nakládat a efektivně je využívat.

Velmi důležitým krokem je popis řetězce pro zpracování plastů, tj. jakým způsobem je v ČR standardně s plasty nakládáno a je zobrazena i cenová politika pro druhotnou surovinu a analýza trhu z pohledu regranulátu. Taktéž je pozornost věnována kvalitě plastů z pohledu následných zpracovatelských kroků.

Součástí aktivit projektu CEVOOH jsou i extruzní zkoušky, poznatky z těchto zkoušek jsou sumarizovány se zaměřením na PET láhev, která disponuje poměrně velkou variabilitou materiálů, tj. tělo láhev PET, vinětа (PP, PVC, LDPE) a víčko s okroužkem (standardně HDPE). Taktéž poznatky byly souhrnně prezentovány v rámci konference životní prostředí – prostředí pro život 2022 ve formě dvou příspěvků:

- Testování recyklovatelnosti polymerů v laboratorních podmínkách.
- Produkce plastových obalů z produktů každodenní spotřeby.

Současně je uvedeno tzv. zobecnění bariery, které je doporučeno zohlednit při dalším nakládání s plastovými obaly za účelem snadné recyklovatelnosti. Praktické poznatky z terénních prací uzavírají celkovou předkládanou zprávu.

Z pohledu relevantního způsobu a zejména praktického doporučení pro plastový obal, který bude splňovat požadavky tzv. snadné recyklovatelnosti, tj. bude se jednat o snadno recyklovatelný obal, lze nadefinovat následující předpoklady:

- Bude se jednat o obal navržený tak, že **překonává bariery, které brání jeho recyklaci**.
- Obal má minimální vliv na životní prostředí a zdraví v celém svém životním cyklu.

T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

- Lze jej jednoduše shromáždit a snadno vytřídit z proudu ostatních odpadů a připravit surovinu v požadované kvalitě pro jeho následné využití jako druhotné suroviny nahrazující surovinu primární.
- Výše uvedený bod je možné provést pomocí komerčně dostupných technologií. Dostupnost technologií je posuzována v kontextu EU. Přestože z pohledu surovinové soběstačnosti ČR, podpoře podnikání v oblasti recyklačního průmyslu a snaze produkovat výstupy s vyšší přidanou hodnotou, by byl logický krok posuzovat v kontextu ČR. Dle provedených analýz se jeví dopad transportu na udržitelnost vyjádřenou kritérii ochrany životního prostředí jako zanedbatelná vzhledem k dalším částem celého řetězce. Doprava ale zásadně ovlivňuje cenu.
- Náklady na řetězec zahrnujícího předchozí body – musí být dostatečně nízké, aby na trhu bylo uplatnitelné.
- Za předpokladu pohledu na obal je nutno zdůraznit, že snadno recyklovatelný obal je takový obal, který je z jednoruhového materiálů, tohoto materiálu je dostatek a jsou dostupné technologie pro jeho zpracování, tj. dotřídění, recyklace a zpracování do nového produktu. Není doporučeno regranulát používat ve formě tzv. Down Recycling.

T A
Č R
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.