

**ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE  
FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ  
KATEDRA APLIKOVANÉ EKOLOGIE**



**ASPEKTY RECYKLACE PLASTOVÉHO  
ODPADU NA BÁZI POLYSTYRENU A  
POLYETHYLENTEREFTALÁTU  
DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**Vedoucí práce: Ing. Tereza Hnátková, Ph.D.**

**Diplomant: Bc. Eva Sopková**

**Praha 2021**

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Eva Sopková

Krajinné inženýrství  
Regionální environmentální správa

Název práce

**Aspekty recyklace plastového odpadu na bázi polystyrenu a polyethylenetereftalátu**

Název anglicky

**Aspects of recycling plastic waste based on polystyrene and polyethyleneterephthalate**

---

### Cíle práce

Diplomová práce se zabývá problematikou nejvíce používaných dvou druhů plastů PET a PS, jejich charakteristikou a vývojem. Dále analyzuje sběr, separace, metody recyklace, výrobu a marketing těchto dvou druhů plastů. Důraz se klade na oběhové hospodářství – cirkulární ekonomiku. Praktická část diplomové práce se věnuje nakládání s plastovým odpadem na území České republiky a EU a následní přehled technologií využívaných ke zpracování plastového odpadu. V poslední části výsledků práce je analýze chemické recyklace termoplastů, následní přehled technologií a jejich výstupy, využití, dostupnost postupu EU/ČR a kapacity. Cílem této práce bude s environmentálního hlediska hodnocení vstupních surovin a jejich alternativy.

### Metodika

Pro zpracování diplomové práce budou využité informační zdroje, které se zabývají komplexní problematikou materiálových složek odpadového hospodářství a to dvou druhů plastů PET a PS, se zaměřením na jejich charakteristiku a vývoj, metody recyklace, sběr, separace, výrobu a marketing. S prací bude provedena analýza chemické recyklace termoplastů, přehled technologií a jejich výstupy a následně shrnutí informací k dané problematice týkající se jejich využití, dostupnosti postupů a jejich kapacity. Dostupné poklady budou získané z odborné literatury české a zahraniční, odborných vědeckých článků a internetových zdrojů a zpracování vlastních poznatků a záznamů.

**Doporučený rozsah práce**

40 stran

**Klíčová slova**

recyklace, polystyren, polyethylentereftalát, separace, plast

---

**Doporučené zdroje informací**

- ANDRADY A. L. et NEAL M. A., 2009: Applications and societal benefits of plastics. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences 364: 1977-1984.
- NORT ET., HALDEN RU., 2013: Plastic end environmental health: the road ahead. Rev Environ Health 28, 1-8.
- NUTSCH W., 2006: Příručka pro truhláře. ISBN 80-86706-14-1.
- PIVNEKO K., ERIKSEN M., MARTÍN-FERNÁNDEZ J., ERIKSSON E., ASTRUP T., CARDON L., VAN IMPE F. et DEVLIEGHERE F., 2016: Recycling of plastic waste: Presence of phthalates in plastics from households and industry. Waste Management 54: 44-52.
- SISOL M., 2006: Separácia plastového odpadu. In: VŠB – TU OSTRAVA. [ed.]: Recyklace odpadů X. VŠB-TU Ostrava, Ostrava: 51 – 56.

---

**Předběžný termín obhajoby**

2020/21 LS – FŽP

**Vedoucí práce**

Ing. Tereza Hnátková, Ph.D.

**Garantující pracoviště**

Katedra aplikované ekologie

---

Elektronicky schváleno dne 22. 3. 2021

**prof. Ing. Jan Vymazal, CSc.**

Vedoucí katedry

---

Elektronicky schváleno dne 23. 3. 2021

**prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.**

Děkan

V Praze dne 24. 03. 2021

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma „**Aspekty recyklace plastového odpadu na bázi polystyrenu a polyethylentereftalátu**“ vypracovala samostatně a citovala všechny informační zdroje, které jsem v práci použila a které jsem rovněž uvedla na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů.

Jsem si vědoma, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

Jsem si vědomá, že odevzdáním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Svým podpisem rovněž prohlašuji, že elektronická verze práce je totožná s verzí tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souvislosti s GDPR.

V Praze dne 30. března 2021

.....

(Podpis autora práce)

### **Poděkování**

Mé poděkování patří Ing. Tereze Hnátkové, Ph.D. za odborné vedení, za poskytování cenných rad a ochotu, se kterou se mi v průběhu zpracování diplomové práce věnovala. V neposlední řadě bych chtěla poděkovat své rodině za trpělivost a podporu.

## **Abstrakt**

Diplomová práce je zaměřená na vybrané druhy polymerů PET a PS. Práce je rozdělená na literární rešerše a metodickou část. V literární rešerši jsou popsány plasty současnosti spolu s historií, jejich složení, dělení a vlastnosti. Další část literárního rešerše je zaměřená na mnou vybrané dva druhy plastů, a to polystyrenu a polyethylentereftalátu, jejich recyklace včetně všech jejích kroků a to sběrem, separací, výrobou a marketingem. Praktická část se věnuje nakládání s odpadem v České republice a Evropské unie spojenou s oběhovým hospodářstvím, příslušnou legislativou a politikou druhotných surovin, které spolu úzce souvisí. V rámci této části práce je provedena analýza životního cyklu pro PET a PS plasty podle zásad LCA analýzy ohledně charakteristiky, zpracování, recyklace, výroby, opětovného použití a environmentálního dopadu na životní prostředí.

## **Klíčová slova**

recyklace, polystyren, polyethylentereftalát, separace, plast

## **Abstract**

The diploma thesis is focused on selected types of PET and PS polymers. The work is divided into literary research and methodological part. The literature search describes the plastics of the present together with history, their composition, division and properties. Another part of the literature search is focused on two selected types of plastics, namely polystyrene and polyethylene terephthalate, their recycling, including all its steps, namely collection, separation, production and marketing. The practical part deals with waste management in the Czech Republic and the European Union associated with the circular economy, relevant legislation and policy of secondary raw materials, which are closely related. Within this part of the work, a life cycle analysis for PET and PS plastics is performed according to the principles of LCA analysis regarding the characteristics, processing, recycling, production, reuse and environmental impact on the environment.

## **Keywords**

recycling, polystyrene, polyethylene ephthalates, separation, plastic

## Obsah

1. Úvod.....	11
2. Cíle práce.....	12
3. Literární rešerše .....	12
3.1 Plasty.....	12
3.1.1 Historie plastů.....	12
3.1.2 Definice a složení plastů.....	13
3.1.3 Dělení plastů .....	15
3.1.4 Vlastnosti plastů.....	16
3.2 Plasty polystyren a polyethylentereftalát.....	18
3.2.1 PS (Polystyren) .....	20
3.2.2 PET (Polyethylentereftalát).....	21
3.3 Recyklace termoplastových polymerů.....	23
3.3.1 Sběr .....	24
3.3.2 Separace (Třídění) .....	28
3.3.3 Výroba .....	32
3.3.3.1 Možnosti recyklace plastů z odpadů.....	33
3.3.3.2 Materiálová recyklace.....	36
3.3.3.3 Chemická recyklace.....	39
3.3.3.4 Surovinová recyklace .....	44
3.3.3.5 Energetická recyklace .....	45
3.3.4 Marketing.....	47
4. Metodika .....	48
5. Praktická část .....	48
5.1 Nakládání s odpadem v České republice .....	48
5.1.1 Oběhové hospodářství.....	49
5.1.2 Právní rámec v České republice pro nakládání s odpady.....	50
5.1.3 Politika druhotných surovin .....	52
5.2 Nakládání s odpadem v Evropské unii .....	53
5.2.1 Právní rámec pro nakládání s odpady v Evropské unii.....	55
5.3 Možnosti technologického zpracování .....	57
5.3.1 Analýza cyklu pro vybrané druhy plastů PET a PS.....	58
6. Diskuse .....	69
7. Závěr.....	73
Literární zdroje:.....	74
Zákony a vyhlášky .....	84



Seznam použitých grafů, obrázků a tabulek .....	84
---	----

## Seznam použitých zkratek

Zkratka	Celý název
CO	Oxid uhelnatý
CO <sub>2</sub>	Oxid uhličitý
ČR	Česká republika
ČSÚ	Český statistický úřad
EPS	Zpěňovatelný polystyren
EU	Evropská unie
HDPE	Polyetylén s vysokou hustotou
LDPE	Polyetylén s nízkou hustotou
MPO	Ministerstvo průmyslu a obchodu
MŽP	Ministerstvo životního prostředí
NPW	Nerozložitelný plastový odpad
PE	Polyetylén
PET	Polyethylentereftalát
POH	Plán odpadového hospodářství
PP	Polypropylen
PS	Polystyren
PUR	Polyurethan
PVC	Polyvinylchlorid
SUP	Plasty na jedno použití
TRL	Úroveň technologické připravenosti
XPS	Vytlačovaný pěnový polystyren

# 1. Úvod

Skupina materiálů, které se dnes souhrnně nazývají plasty, hraje rozhodující roli v poskytování většiny sociálně-ekonomických výhod moderního života a jejich výroba překonala výrobu téměř všech ostatních materiálů od padesátých let. Slovo plast vzniklo z klíčové fyzikální vlastnosti, která definovala, jak všestranná jsou. (Gómez, Rima 2019) Plasty v spousta oblastech nahradili tradičně používané materiály a určitých oblastech se doslova staly jen těžko nahraditelnými, nebo nenahraditelnými (Sisol 2006; Špaček, Kotovicová 2016a).

Vzestup produkce a využití výrobků z plastů sebou nese i negativní stránky (Pivnenko et al. 2016). Znečištění plastů se stalo jedním z nejnaléhavějších problémů životního prostředí, protože rychle rostoucí výroba jednorázových plastových výrobků převyšuje schopnost světa se s nimi vypořádat. Znečištění plastů je nejvíce patrné v rozvojových asijských a afrických zemích, kde systémy sběru odpadu jsou často neefektivní nebo neexistují. Ale i rozvinutý svět, zejména země s nízkou mírou recyklace, mají také problémy se správným sběrem odpadních plastů. Plastové odpady se staly tak všudypřítomné. (Parker 2019)

Plasty i nadále prospívají společnosti nespočetným způsobem, i když nedávné zaměření veřejnosti na plasty se soustředilo především na lidské zdraví a životní prostředí, včetně jejich vlastností narušujících endokrinní systém a dlouhodobého znečištění, které představují. Výhody plastů jsou patrné zejména v lékařství a veřejném zdraví. Plasty jsou univerzální, nákladově efektivní, vyžadují méně energie na výrobu než alternativní materiály, jako je kov nebo sklo, a mohou být vyrobeny tak, aby měly mnoho různých vlastností. (Nort, Halden 2013)

Pandemie COVID-19 také zasáhla nečekaně do životů lidí a výrazně je ovlivnila. I když některé dopady ještě nevidíme, již nyní je jisté, že tzv. Lockdown si na ekonomice z globálního hlediska vyberou tvrdou daň. Kromě těchto ekonomických dopadů pandemie však byly zaznamenány i její jiné efekty. Čistší ovzduší, nebo návrat někteří živočišných druhů do oblastí, odkud vymizely, je z ekologického hlediska pozitivní, na straně druhé, pandemie způsobila zvýšení množství plastového odpadu.

(Odpadonline 2020) V České republice se v současní době zvýšila spotřeba plastů o 25 až 30 %. Největší narůst byl zaznamenán hlavně u jednorázových rukavic, sáčku, kelímků a nádob, a to až o 70 až 80 % ve srovnání s obdobím před pandemií COVID – 19. (ČTK 2020)

## **2. Cíle práce**

Diplomová práce se zabývá problematikou vybraných dvou druhů plastů PET a PS, jejich charakteristikou a vývojem. Dále analyzuje sběr, separace, metody recyklace, výrobu a marketing těchto dvou druhů plastů. Důraz se klade na oběhové hospodářství – cirkulární ekonomiku. Praktická část diplomové práce se věnuje nakládání s plastovým odpadem na území České republiky a EU a následní přehled technologií využívaných ke zpracování plastového odpadu. V poslední části výsledků práce je analýze chemické recyklace termoplastů, následní přehled technologií a jejich výstupy, využití, dostupnost postupu EU/ČR a kapacity. Cílem této práce bude se environmentálního hlediska hodnocení vstupních surovin a jejich alternativy.

## **3. Literární rešerše**

### **3.1 Plasty**

#### **3.1.1 Historie plastů**

V roce 1862 byla uspořádána průmyslová výstava v Londýně, kde zaujala laiky i veřejnost představovaná nová hmota – látka, která byla ohebná jak kůže, a přitom tvrdá jako rohovina, a kterou bylo možné lisovat nebo odlévat, barvit, řezat, ... Za tuhle hmotu získal na výstavě vynálezce Alexander Parkes z Anglie bronzovou medaili. Tahle látka byla stvořená směsí ricinového oleje a chloroformu, a dostala název parkesin. Postupem času Parkes hnán svým úspěchem vynalezl další látky – plasty, které nedosáhli žádný převratný úspěch až na celuloid, na který získal patent. Celuloid byl vytvořen sloučeninou nitrocelulózou s kafrem. Časem se ve velkém začal

používat v oblastech průmyslů ve výrobě, jako např. pingpongové míčky, pravítka, kulečnické koule, vložky do límečků. Největší uplatnění dosáhl díky jeho vlastnostem, jako průhlednost, pružnost a možnost nanášení fotocitlivých vrstev hlavně při výrobě filmů ve filmovém průmyslu. Jedinou jeho nevýhodou byla vysoká hořlavost, a to i bez přístupu vzduchu. (Nutsch 2006)

V roce 1909 Belgičan Leo Hendrich Baekeland, chemik, vynálezce a vědec nechal patentovat novou látku, první uměla pryskyřice, kterou vytvořil reakcí mezi fenolem a formaldehydem a pojmenoval ji bakelit. Tuhle hmotu se mu podařilo vyvinout při snaze o vytvoření nehořlavé bowlingové dráhy. Zpracovávala se buď odléváním nebo tvářením. Pryskyřice se lila při odlévání do olověných forem, a v pecích pak docházelo k vytvrzení. Při tvářením se pryskyřice musela nejdříve roztavit, po vychlazení byla rozdrčená a následně se přidávalo barvivo a plnivo. Směs velkými válci se rozválcovávala do desek, poté byly rozdrčeny na jemný prášek a pod vysokým tlakem byla tvářená ve formě do potřebného tvaru. Bakelit jako nehořlavý materiál a izolant se používal v elektrotechnice a autoprůmyslu jako izolátory. Postupem času se začaly vyrábět stovky předmětů. Po druhé světové válce se objevili další plastové hmoty, které bylo možné odlévat stříkáním a výroba výrobků z bakelitu začala pomalu ustupovat. Plasty během několika desetiletí ovládli trh. (Nutsch 2006)

### **3.1.2 Definice a složení plastů**

Plast je jakýkoli syntetický nebo polosyntetický organický polymer. Jinými slovy, zatímco jiné prvky mohou být přítomny, plasty vždy obsahují uhlík a vodík. Zatímco plasty mohou být vyrobeny z téměř jakéhokoli organického polymeru, většina průmyslového plastu je vyrobena z petrochemikálií. Termoplasty a termosetové polymery jsou dva typy plastů. Název „plast“ označuje vlastnost plasticity, schopnost deformace bez porušení. (Helmenstine 2019)

Polymer používaný k výrobě plastu je téměř vždy smíchán s aditivou, včetně barviv, změkčovadel, stabilizátorů, plniv a výztuží. Tato aditiva ovlivňují chemické složení, chemické vlastnosti a mechanické vlastnosti plastu spolu s jeho náklady. (Ducháček 2006)

Plasty jsou důležitým materiálem v mnoha odvětvích hospodářství, ale představují pro ně také výzvu pro udržitelný rozvoj, pokud jde o nakládání s odpady, účinné využívání zdrojů a ochrana životního prostředí. Nízká míra recyklace a vysoká úroveň likvidace životního prostředí jsou klíčové otázky pro životní prostředí, návrháře technologií a výrobci obalů. Výroba plastů včetně termoplastů, polyurethanů, termosetů, elastomeru, lepidel, potahů a těsnících materiálů v roce 2018 celosvětově činila 359 milionů tun. V Evropě to bylo 61,8 milionů tun. Největší výrobce plastů za rok 2018 byla Čína: Její výroba činila 30 % z celkové výroby. Podíl Evropy na celosvětové produkci plastů byl 17 %. Poptávka po plastech u evropských zpracovatelích v roce 2018 představovala 51,2 milionů tun. Hlavními aplikačními odvětvími pro plasty byly obaly a to 39,9 %, stavebnictví 19,8 %, automobilový průmysl 9,9 %. (Polomka, Jedrczak, Myszograj 2020)

Moderní společnosti se staly závislými na plastech, což způsobilo, že výroba plastů předstihla produkci téměř všech ostatních materiálů. Od roku 1950 do roku 2015 dosáhla výroba polymerů roční míry růstu 8,4 % a za posledních 20 let se vyrobila více než polovina všech plastů. (Rickert et al. 2020) Navíc z 8,3 miliard tun plastů vyrobených globálně do roku 2015 se 5,8 miliardy tun stalo odpadem (Geyer et al. 2017).

Většina společností tvrdí, že mají obavy z plastového odpadu a podporují úsilí o jeho snížení. Investice do těchto snah jsou však zlomkem investic do výroby nových plastů, zjistila agentura Reuters. Provedla průzkum mezi 12 největšími světovými ropnými a chemickými firmami - BASF, Chevron, Dow, Exxon, Formosa Plastics, INEOS, LG Chem, LyondellBasell, Mitsubishi Chemical, SABIC, Shell a Sinopec. Pouze menšina společností uvedla podrobnosti o tom, kolik investuje do snižování odpadu. Většina z nich uvedla, že své úsilí směřují do skupiny s názvem Alliance to End Plastic Waste, jejímž cílem je minimalizovat množství plastového odpadu. Na toto úsilí vyčlenili její členové v průběhu následujících pěti let 1,5 miliardy dolarů, což je jen zlomek jejich zisků. (Garaiová 2020)

Pandemie COVID-19 způsobila, že celý trh, a to od sběru plastových odpadů až po konečnou recyklaci je nestabilní. A očekává se ještě další snížení míry sběru

klíčových recyklovaných polymerů. Velcí zpracovatelé už avizovali, že jim ze systémů sběru obalových plastů bude v blízké budoucnosti chybět kvalitní surovina jakým je například recyklovaný polypropylen nebo polyethylen. (Karmazín 2020)

V důsledku blokovacích opatření ve většině evropských zemí spolu s přísnými hygienickými požadavky měl COVID-19 významný vliv na spotřebu plastových obalů a výrobků na jedno použití (OOP). (European Environment Agency 2020) Při pandemii COVID-19 je v márnících a nemocnicích nutné používat vhodné OOP, jako je čepice, brýle nebo chránič obličeje, s dlouhým rukávem nepromokavá zástěry, chirurgická maska, nepromokavé rukavice a boty. Je důležité zdůraznit důležitost použití vodotěsných materiálů, aby se zabránilo kontaktu s infikovanou krví, tekutinami a tělesnými sekreci. Plastové materiály jsou pro takové aplikace ideální, protože jsou vodotěsné. (De Sousa 2020) Během vypuknutí COVID-19 v provincii Chu-pej v Čínské lidové republice (ČLR) zaznamenal infekční lékařský odpad (s podstatným podílem plastu) nárůst o 340 % ze 40 tun denně na 240 tun denně (Vanapalli et al. 2020). V Evropě se v roce 2020 vyprodukovalo kolem 56 milion tun plastového odpadu, denní produkce odpadů činila 153 623 tun. (Benson et al. 2021) Podle společnosti Ekotermex se objem infekčního odpadu přibližně zvýšil o 35 až 40 %. Například v Thomayerové nemocnici bylo za měsíc říjen vyprodukováno více o 28 %. (Vlčková 2021)

Jakým směrem se to bude ubírat dál, to zatím nikdo nedokáže odhadnout. Co se ale týče dopadů na poptávku nebo nabídku po recyklovaných polyolefinech, ty budou pravděpodobně rozděleny na trhy ke konečnému použití, a to hlavně pro klíčový trh, jako je například obalový průmysl nebo výroba pytlů na odpadky. Dá se ale předpokládat, že stoupne poptávka po obalech, s ohledem na současnou situaci. Spotřebitelé budou totiž upřednostňovat tovar balený do plastových obalů a kvůli šíření pandemie COVID-19. (Karmazín 2020)

### **3.1.3 Dělení plastů**

Plasty nejčastěji se dělí do dvou základních skupin (Kepák 2005, Janíčková 2012):

- **Termoplasty** – jsou to plasty, které se velice dobře recyklují. Působením tlaku a tepla mění svou konzistenci a tím se zvyšuje pružnost, elasticitu a tvárnost. Termoplasty jsou tvořeny lineárními molekulárními řetězci a tento polymer při zahřívání měkne a po ochlazení tvrdne. Termoplastické polymery jsou zastoupený širokou škálou plastových materiálů. Do tyto skupiny řadíme např. polystyren (PS), polyethylentereftalát (PET). (Grigore 2017)
- **Termosety** – plasty, které vůči teplotám více odolné. Na rozdíl od termoplastů nemění svoji konzistenci, díky pevnosti se jejich pružnost se snižuje. Recyklovatelnost termosetu je komplikovanější. Termosetové polymery označují nevratnou polymeraci a tento typ polymeru se vytvrzuje chemickou reakcí nebo teplem a stává se netavitelným a nerozpustným materiálem. Termoplasty jsou tvořeny lineárními molekulárními řetězci a tento polymer při zahřívání měkne a po ochlazení tvrdne. (Amin, Amin 2011)

### 3.1.4 Vlastnosti plastů

Plasty se skládají z několika řetězců (nazývaných polymery) vyrobených z malých molekul (nazývaných monomery), spojených chemickými vazbami. Plasty se mohou vyskytovat v různých strukturách podle toho, jaký monomer se v řetězci opakuje, a podle způsobu propojení řetězců. Na základě toho lze rozlišovat mezi termosety, termoplasty a elastomery. Termosetové plasty se tvoří, když jsou jejich makromolekulární řetězce vzájemně zesítené, což neumožňuje další deformaci nebo tvarování; v termoplastech nejsou makromolekulární řetězce zesítené, ale drží je pohromadě relativně slabé chemické síly, což znamená, že je lze reverzibilně znovu roztavit zahříváním a znovu tuhnout chlazením, aniž by se příliš změnily jejich mechanické vlastnosti. Elastomery jsou také tvořeny zesítenými řetězci, ale mohou být pružně deformovány a po vystavení zatížení se vrátí do svého původního tvaru. Termoplasty lze rozdělit na amorfni a semikrystalické podle toho, zda mají náhodnou nebo uspořádanou strukturu, která ovlivňuje jejich vlastnosti, např. barvu, chemickou odolnost, rozpustnost, tepelnou stabilitu, hustotu, pevnost a pevnost. (Hahladakis, Lacovidou 2018)

Odpady vznikající během výrobního procesu. Zahrnují odpady z vláken, spřádání, pletení a tkaní. Obecně se tyto odpady shromažďují a prodávají za nižší ceny



odpadům, které spřádají, nebo končí na skládkách. Průmyslové odpady se snadno recyklují ve srovnání s odpady po spotřebitelích, protože jsou složeny z různých směsí vláken a materiálů, jako jsou kousky kovů, knoflíky, spony atd. (Bartl et al. 2005).

Zde jsou některé další vlastnosti:

- Plasty jsou obvykle pevné látky. Mohou to být amorfnní pevné látky, krystalické pevné látky nebo semikrystalické pevné látky (krystality).
- Plasty jsou obvykle špatnými vodiči tepla a elektřiny. Většina z nich jsou izolátory s vysokou dielektrickou pevností.
- Skelné polymery bývají tuhé (např. Polystyren). Tenké listy těchto polymerů však mohou být použity jako filmy (např. Polyethylen).
- Téměř všechny plasty vykazují prodloužení, když jsou namáhány, které se po odstranění napětí nezískají. Tomu se říká „dotvarování“.
- Plasty bývají trvanlivé, s pomalou rychlostí degradace. (Helmenstine 2019)

**Vlastnosti PET** (Běhálek 2015):

- Vysoká pevnost
- Vysoká tuhost a tvrdost
- Velmi nízká absorpce vlhkosti
- Dobrá úroveň meze tečení
- Nízké kluzné tření a kluzné opotřebení
- Odolnost vůči hydrolýze (do +70 °C)
- Není vhodný ke kontaktu s médii obsahujícími >50% líh
- Dobrá chemická odolnost vůči kyselinám
- Dobrá adheze a schopnost svařování

**Vlastnosti PS** (Sova, Krebs 2001):

- Ovlivňuje teplota a čas expozice
- Není náchylný na vzdušnou vlhkost
- Nepodléhá působení běžných neoxidujících kyselin, louhů, alkoholů, roztoků solí a některých olejů a tuků
- Podléhá působení organických rozpouštědel
- Odolání teplotám do cca 60 °C (až 90 °C)

- Dobré elektrické a dielektrické vlastnosti
- Nepochlívající, nenavlhavý
- Sklon ke korozi za napětí

### 3.2 Plasty polystyren a polyethyltereftalát

Plasty jsou v obalových aplikacích volitelným materiálem, a to z důvodu jejich nízkých nákladů, nízké hmotnosti a vysokého výkonu spojeného s dobrou zpracovatelností. Očekává se, že výroba plastových obalů do roku 2050 překročí 250 milionů metrických tun. Přestože se většina plastů používaných v obalovém průmyslu používá méně než týden, trvanlivost, jedno z největších aktiv plastů, způsobuje obrovský růst zneškodněných plastů jako znečišťujících odpadů. Tento růst spolu se skutečností, že velká většina syntetických polymerů je navržena pro výkon a trvanlivost, ale nikoli pro odbouratelnost a recyklovatelnost, přinesla miliony tun akumulace plastů na skládkách. (Sanroniz et al. 2019)

Polyethyltereftalát (běžně zkráceně PET, PETE nebo kód pro identifikaci (recyklaci) pryskyřice č. 1) je jedním z nejvíce rozptýlených termoplastických polymerů dostupných na trhu. V nedávné zprávě byl PET označen jako třetí nejčastěji používaný plast v obalovém průmyslu (pokrývající přibližně 16 % evropské spotřeby) s neustále rostoucí poptávkou. Průmyslové využití PET koncovým segmentem prokázalo, že tento polymer se používá hlavně k výrobě lahví / nádob na nápoje, jako je voda (asi 26 %), sycené nealkoholické nápoje (asi 26 %) nebo jiné nápoje / džusy (asi 18 %), ve tvaru listů / fólií (asi 14 %), v potravinářském průmyslu (asi 9 %) a také pro nepotravinářské účely (např. kosmetika, asi 6 %). (Nisticó 2020)

V současnosti jsou nejrozšířenějšími materiály polyethylen (PET) a polyolefiny, jako je polyethylen (PE). I při současných postupech recyklace se odhaduje, že téměř 95% hodnoty plastových obalových materiálů není po krátkém jediném použití uchováno pro následné použití, což představuje pro ekonomiku roční ztrátu 80–120 miliard dolarů. (Sanroniz et al. 2019)

Druh plastu	Výrobní postup	Aditiva	Finální produkt	Vlastnosti finálního produktu
PS	Polymerizace styrénu blokovou metodou		Standardní PS	Tvrдый, průhledný s vysokým leskem, dobrá dielektrická a elektrická vlastnosti, dobrá zpracovatelnost, nízká nasákavost, nízká odolnost vůči chemikáliím.
	Proces roubování nebo směsování	Roubovaný kopolymer z butadien-styrenového kaučuku	Houževnatý PS	Zvýšena houževnatost, ztráta křehkosti, zhoršené optické vlastnosti, snížení tuhosti a tvrdosti, mírně horší chemická odolnost.
	Vyrábí a dodává se ve formě malých, mléčně zakalených perel nasycených pod tlakem.	Nadouvadla – přísady přidávají se při přípravě lehčených hmot, nejčastěji dusík nebo oxid uhličitý. Mezi další přísady, které ovlivňují zpracovatelské vlastnosti řadíme např. změkčovadla, barviva, plniva.	Zpěňovatelný PS (EPS)	Dobrá zpracovatelnost, nízká hustota (malá hmotnost), výborné izolační vlastnosti.
	Proces tepelní úpravy zpěňovatelného polystyrenu.		Vytlačovaný pěnový PS (XPS)	Dobrá zpracovatelnost, nízká hustota, nízká nasákavost, objemová stálost, vysoká pevnost v tlaku.
			Kopolymery	Vyšší odolnost vůči teplu.
PET	Vzniká polykondenzací etylenglykolu a kyseliny tefelatové, modifikace přísady kyseliny izoftalové.	Regenerátor – působí jako lepidlo, lepí přetržené řetězce do původního tvaru. Další aditiva ovlivňující životnost jsou stabilizátory zpomalující.		Vyšší pevnost oproti panenskému PET, obnovení původní struktury a fyzikálních vlastností, využití nejen na výrobu PET lahví, vysoká pevnost, vysoká tuhost a tvrdost, velmi nízká absorpce vlhkosti,

		degradační procesy a zlepšují odolnost např. vůči zvýšeným teplotám, slunečního záření.		dobrá úroveň meze tečení, dobrá chemická odolnost vůči kyselinám, dobrá adheze a schopnost svařování.
--	--	---	--	---

Tabulka č. 1 Formy PS a PET a jejich vlastnosti (Běhálek 2015)

### 3.2.1 PS (Polystyren)

PS (Polystyren) vzniká procesem polymerizace styrenu (vinylbenzenu). PS je ryzí, čistý plast jako sklo. Je tvrdý, zároveň křehký a jeho odolnost vůči teplu až do +70 °C. (Ducháček 2006)

Polystyrenový (PS) plast je přirozeně průhledný termoplast, který je k dispozici jako typický pevný plast stejně jako ve formě pevného pěnového materiálu. PS plast se běžně používá v různých aplikacích spotřebního zboží a je také zvláště užitečný pro komerční balení. Pěnová forma polystyrenu se nejčastěji používá jako obalový materiál. Polystyrén se také používá pro kontejnery typu „go-go“ a jednorázové nádoby z mnoha restaurací. Polystyren je obvykle (ale ne vždy) homopolymer, což znamená, že je složen pouze z monomerního styrenu v kombinaci se sebou samým. V závislosti na typu PS může být klasifikován jako „termoplast“ nebo „termoset“. Název se týká způsobu, jakým plast reaguje na teplo. Termoplastické materiály se stanou plně tekutými v jejich bodu tání (210-249 stupňů Celsia v případě Polystyrenu), ale začnou téct v jejich skleněném přechodném bodě (100 stupňů Celsia pro PS). Hlavním užitečným atributem termoplastů je to, že může být zahříván na teplotu tání, ochlazován a znovu zahříván bez významné degradace. Místo spalování termoplasty zkapalňují, což jim umožňuje snadno vstříkovat a následně recyklovat. (Rogers 2015)

V elektrotechnickém průmyslu má polystyren významné uplatnění, např. u krytů na televizory nebo při výrobě chladniček. Recyklace u těchto produktů má velice dobré předpoklady, jelikož se materiál používá poměrně ve velkém množství a dlouhodobě si zachovává své vlastnosti. Na druhou stranu jsou tady i určitá omezení, jako použití některých aditiv jako jsou různé bromované sloučeniny používané jako retardéry hoření a nutnost demontáže přístrojů ručně. Hlavním těžištěm materiálové

recyklace v západní Evropě se nachází ve dvou oblastech, a to obaly od mléčných výrobků a kelímky z automatů na nápoje. Kelímky na nápoje z automatů se převážně produkují z houževnatého polystyrenu, sběr tohoto produktu je poměrně snadný a malý stupeň znečištění. (Bagarová Grzywa 2020)

Polystyrény jsou náročné na sběr a recyklaci kvůli své nízké hustotě. Pevné PS lze mechanicky recyklovat do jiných užitečných produktů, zatímco expandovaný polystyren (EPS) obvykle vyžaduje metodu na bázi rozpouštědla nebo mechanicky pro odpěnění a zmenšení jeho objemu před opětovným zpracováním. (Schyns, Shaver 2020)

### **3.2.2 PET (Polyethylentereftalát)**

PET lahve se objevili po prvý u společnosti Coca-Cola v roce 1978, PET lahví začali být plněná jejich produktem Coca-Colou. V Česku se začali vyrábět až od roku 1993. (Vítek 2016)

Základní surovinou pro výrobu plastových lahví je polyethylentereftalát, který se řadí ze skupiny polyesterových polymerů mezi nejrozšířenější polymery. Hygienicky jsou neškodné. Výroba PET lahví jde produkovat několika způsoby a to chemicky, mechanicky a termicky. (Janoško 2011)

V průběhu let se množství spotřeby plastů zvýšilo kvůli jeho přiměřeným nákladům, flexibilitě, trvanlivosti a globální industrializaci. Podle statistik provedených Národním oddělením pro nakládání s pevným odpadem v Malajsii jsou plastové odpady druhým největším z celkových pevných odpadů produkovaných v Malajsii (Kamarudin et al. 2016). Je vyžadována pomalá rychlost degradace a velké množství plastového odpadu produkovaného lidskou činností, což vede k velké ploše skládek. Spalování není životaschopnou metodou likvidace kvůli uvolňovaným toxickým výparům, které poškozují životní prostředí a lidské zdraví. Výzkumy nedávno navrhly opětovné použití plastových odpadů v betonu jako náhrady přírodního kameniva ke snížení těžby přírodních zdrojů a mohlo by to minimalizovat negativní dopady staveb na životní prostředí (Alqahtami et al. 2015). Plastový odpad je levný kvůli velkému množství dodávek. Opětovné použití plastového odpadu jako

náhrady za přírodní kamenivo je proto možné, protože je ekonomické a šetrné k životnímu prostředí. V betonu se běžně používají dvě formy plastů, a to plastové agregáty a plastová vlákna. Z těchto dvou je aplikace plastových agregátů ekonomičtější a jednodušší, protože obecně zahrnuje menší počet kroků zpracování ve srovnání s vlákny. (Lee et al. 2019)

Výroba plastu s použitím polyolefinových vláken se zvýšila díky jejich dostupnosti za levnější cenu a lepším tahovým, fyzikálním a chemickým vlastnostem. Plasty se po skončení životnosti buď ukládají na skládky, nebo na moři, proto dochází k plastovému odpadu. Lavina plastového odpadu znečišťuje životní prostředí kvůli jeho biologické rozložitelnosti. Vzhledem k tomu, že skládky jsou omezené a současně mají nepříznivý dopad plastů na životní prostředí, jsou ve většině zemí podporovány nové legislativní předpisy pro odstraňování plastových odpadů k recyklaci odpadu. Recyklace odpadu minimalizuje komunální tuhý odpad, kterému dominují lahve vyrobené z polyethylentereftalátu (PET), výroba nových surovin, stejně jako rozvoj nových trhů. Odpad z PET se recykluje většinou na vlákna, listy a lahve. Jsou diskutovány různé metody recyklace, jako je primární, mechanická, chemická a kvartérní recyklace. (Tshifularo, Patnaik 2020)

Pro betonové aplikace jsou k dispozici různé typy agregátů z plastového odpadu. Polyethylen tereftalát (PET) je široce používán na domácím trhu a po jednom použití je vyřazen. PET se běžně používá k výrobě plastových lahví, nádob na potraviny a textilních vláken. Výzkum ukázal, že zabudování plastových agregátů do betonu může být použito pro stavební aplikace, protože může dosáhnout tak vysoké pevnosti jako u běžného betonu. (Abdullah et al. 2011)

Preventivní opatření COVID-19 vyústila ve vysoký dopad na plastikářský průmysl a nakládání s odpady. Posun v chování spotřebitelů, který je většinou způsoben obavami o hygienu, a nutnost rychle doplnit regály vedli k významnému nárůstu poptávky po balených potravinách. Plastikářský průmysl navíc v minulosti vyvolal obavy z křížové kontaminace způsobené opakovaně použitelnými nádobami a taškami, což vedlo ke stažení nebo odložení zakázů a poplatků plastů na jedno použití (SUP). Některé vlády odložili zákaz SUP kvůli obavám z COVID-19, zatímco jiní znovu zavedli SUP a zakázali používání opakovaně použitelných alternativ. Zvýšené

používání a spotřeba SUP během pandemie COVID-19 vedly k abnormálně zvýšené poptávce ze strany dodavatelů plastů (např. Čína a USA). Kromě toho cena ropy dramaticky poklesla v důsledku poklesu vodní, pozemní a letecké dopravy, který upřednostňuje výrobu panenských plastů (před recyklovanými plasty) v plastikářském průmyslu. (Silva et al. 2020)

Při ochraně lidí během pandemie COVID-19 hrála klíčovou roli řada osobních ochranných prostředků (OOP) vyrobených z plastů. Roste však znepokojení nad bezprecedentním nárůstem plastů na jedno použití (SUP), včetně rukavic, ochranných lékařských obleků, masek, lahvíček na dezinfekci rukou, odběrových plastů, balení potravin a polyethylenového zboží a lékařských testovacích souprav od začátku pandemie. Nakládání s odpady vznikajícími z SUP je znepokojivým výsledkem pandemie COVID-19, která zničila globální systémy zdravotní péče a narušila ekonomiky národů. Byly ohroženy základní komunální služby, jako je sběr a zpracování odpadu, zatímco došlo k nebývalému nárůstu množství vytvářeného lékařského a domácího odpadu. (Benson et al. 2021)

### **3.3 Recyklace termoplastových polymerů**

Polymery jsou jedním z nejuniverzálnějších materiálů kvůli jejich vynikajícímu poměru cena / výkon a trvanlivosti. Tyto důvody vedly k rozsáhlému použití polymerů v mnoha běžných aplikacích a jejich životnost často přesahuje potřeby aplikace. Tím se vytvářejí proudy polymerních odpadů, které si zachovávají podstatné množství svých původních vlastností, a proto by mohly být recyklovány. K recyklaci polymerů lze použít mechanickou, chemickou a tepelnou recyklaci, i když v druhém případě dochází k tepelné ztrátě (zpětnému získávání energie) ke ztrátě polymerní složky. (Valerio et al. 2020)

Díky ideálním vlastnostem termoplastických polymerů, jako je odolnost proti korozi, nízká hustota, vysoká pevnost a uživatelsky přívětivý design, je použití plastů mnohem vyšší než použití hliníku nebo jiných kovů. Hustota je např. velice důležitým parametrem pro odhad informací o vnitřní síle konstrukce na základě, které má být vytvořená, jako v případě Iněné výztuže. Účelem je totiž vyrobit komponent, který bude co nejlehčí a pro kterou je nejlepší volbou kvůli svojí nízké hustotě je také PP.

Další charakteristikou je teplota skelného přechodu ( $T_g$ ), která je velmi důležitá při studiu mechanických vlastností polymeru, protože flexibilita amorfních polymerů je drasticky snížena. (Grigore 2017) Velmi důležité u termoplastických polymerů jsou také mechanické vlastnosti, především pevnost tahu (odolnost při namáhání) a modul tahu (odolnost proti elastické deformaci) (Krevelen, Nijenhuis 2017).

Obvyklými hledisky metod regenerace to se týče termoplastických polymerů je recyklace a spalování. Spalování představuje určité problémy jako je zbytkový popel, který obsahuje olovo a kadmium a produkce toxických plynů. (Grigore 2017) Recyklace představuje výhody, jako je snížení environmentálního problému a úspora materiálu i energie (Mohammadzadeh 2009). Při recyklaci termoplastických polymerů se používají 4 kroky (obrázek č.1).

## **Sběr → Separace → Výroba → Marketing**

Obrázek č. 1: Kroky při recyklaci termoplastických polymerů (Grigore 2017)

Tyhle polymery mají jedinečné vlastnosti (fyzikální, tepelné a elektrické), díky nimž jsou vhodná pro mnoho aplikací. Proces modelování vstřikováním je hlavní technikou zpracování polymeru, která umožňuje výrobu různých druhů dílů, např. počítačové myši. (Khan, Zagho, Shakoore 2017) Tyto plastové materiály lze modelovat do různých produktů pro širokou škálu aplikací díky skutečnosti, že termoplastické polymery jsou levné, lehké a odolné. Každým rokem významně roste výroba plastů, což způsobilo velký problém na celém světě. (Kolek 2001)

### **3.3.1 Sběr**

Kvalita plastového odpadu závisí na způsobu odděleného sběru, který je velice důležitý. Tenhle odpad se pak recykluje pro materiál na výrobu. Samostatný sběr plastů přináší znatelně lepší výsledky, které představují méně vyšší výtěžnost plastů a méně příměsí. V ČR byl zaveden samostatný sběr plastů na začátku 90. let 20. století (IEEP 2011).

Rozeznáváme sběr směsných plastů a sběr plastů jednodruhových (odpad skládající se z jednoho druhu plastů v rozličné kvalitě a čistoty) (Slezák 2004). Podle



druhu odpadů rozdělujeme na sběr z komunálních systému, zpětný odběr, specifické systémy a demontáž autovraků a elektrozařízení (IEEP 2011).

### **Způsoby sběru odpadů z plastů vhodných k recyklaci:**

#### **1, Sběr plastového odpadu z průmyslu**

Plastový odpad z průmyslových odvětví je materiál, který vzniká při vnitropodnikových technologických operacích a opotřebením používaných výrobků (Slezák 2004). Převažuje složení z obalových plastů, z komunálního směsného odpadu, z výroby jednodruhových odpadů a z vedlejších produktů. Většinou u jednotlivých původců v rámci jejich odpadového hospodářství probíhá sběr rovnou odděleně. V rámci provozu je sběr zajišťován do kontejnerů s menším objemem nebo velkokapacitních. Zajištění sběru je většinou smluvně s firmami, které obchodují s plasty jako druhotní surovinou nebo s odpadářskými firmami (IEEP 2011).

#### **2, Sběr odpadních plastů z komunální sféry (sběr tříděného plastu v obci)**

Nejrozšířenější komoditou, která je v rámci tříděného sběru komunálních systémů sbírána jsou plasty. Komunální odpad se vlastně skládá ze šesti druhů základních polymerů, které jsou uvedené v tabulce č.2 (Slezák 2004). Sběr plastů může probíhat odděleně jak v pytlových, tak v nádobových systémech, ve sběrných dvorech a také jako možnost školního sběru. Většina obcí sbírá plasty jako směs plastových výrobků a obalových plastů. Především jsou sbírány do žlutých kontejnerů, nádob s horním výsypem (viz obrázek č.2).

Z celkového množství sběru plastového odpadu je jenom 7 % využíván pytlový sběr. Méně významné jsou pro plasty sběry na školách a ve sběrných dvorech. Sběr ,s odpadářskými firmami je většinou zajištěn smluvně (IEEP 2011).



Od roku 1999 systém EKO-KOM sleduje výkon využitelných složek domovních odpadů tříděného sběru počítaje upotřebených obalů v obcích v České

Obrázek č. 2: Žlutý kontejner na sběr plastů (vlastní zdroj)

republice (Voštová 2006). Kvalita u jiných zdrojů je obecně vyšší než u komunálních plastových odpadů, protože obsahují technologicky nezpracovatelné plasty a příměs jiných neplastových odpadů (IEEP 2011).

Polyethylentereftalát (PET)	Polyetylén s nízkou hustotou (LDPE)	Polyetylén s vysokou hustotou (HDPE)	Polyvinylchlorid (PVC)	Polypropylén (PP)	Polystyren (PS)	Ostatní
5,9	17,4	57,4	2,2	7,3	4,8	5

Tabulka č. 2 Zastoupení základních druhů polymerů v komunálním odpadu [%]. (Areprasert 2017)

Skladba komunálního odpadu se České republiky provádí periodicky jednou za dva roky z různých lokalit odebráním určitého počtu vzorků. V roce 2016 bylo odebráno 95 vzorků, v roce 2018 už to bylo 121 vzorků ze 16 lokalit. Na každé lokalitě se odděleně analyzuje odpad z venkovské zástavby a typické městské zástavby nebo sídlišť. Rozbory se opakují pravidelně ve čtvrtletních intervalech, aby se zachytilo v rozličných ročních obdobích chování lidí. Proces analýzy probíhá na základě ručního

třídění reprezentativního podvzorku odpadu, který se rozděluje podle definovaných látkových skupin. Při roztřídování se používá síto velikosti oka 40x40 mm a to, co nepřepadne není možné zařadit do vybraných skupin. (Ekokom 2019)

Na žlutých popelnicích jsou uvedené také informace co do žlutých kontejneru patří a co nepatří. Popsaný i způsob, jak správně třídít a označení plastů z obalu, jak vidíme na obrázku č. 3.



Materiál	Písmenný kód	Číselný kód
Polyethylentereftalát	PET	1
Vysokohustotní (linerání) polyetylén	HDPE	2
Polyvinylchlorid	PVC	3
Nízkohustotní (rozvětvený) polyetylén	LDPE	4
Polypropylén	PP	5
Polystyren	PS	6
Ostatní		7

Obrázek č.3: Co patří do žluté popelnice (Respono 2021)

Do kontejneru na plasty lze vhodit výrobky s tímto označením (číslo je umístěno ve známém trojúhelníčku a pod ním slovní označení).

Doporučení a upozornění:

- Sešlápnutím lahví z plastu se výrazně ušetří místo v kontejneru. Do kontejneru tak vejde 3x více lahví a výrazně se tak zlevní celá sběr.
- U lahví nedotahovat uzávěry, uzavřené láhve lisovat do balíků nejde.
- Třídění plastů je velice náročné na kvalitu sběru, jedná se hlavně o zbytky potravin, mechanickými nečistotami a oleji se může úplně znemožnit recyklace plastů.

- Z PET lahví není potřeba odstraňovat etikety, protože před zpracováním prochází mycí linkou, její úkolem je odstranit ne jenom víčko a etiketu, ale také lepidlo, kterým je etiketa přilepená. (Buštěhrad 2021)

Do žlutého kontejneru naopak nepatří (Respono 2021):

- PVC
- Pryžové výrobky
- Textil Pěnový polyuretan-molitan
- Obaly od olejů, obaly silně znečištěné
- Pneumatiky, videokazety
- Obaly od nebezpečných látek, barev, chemikálií a léčiv
- Kably, sprejové lahve

### **3, Ostatní**

Mezi ostatní zdroje plastového odpadu patří především plasty získané demontáží elektrozařízení a autovraků a pneumatiky. Jejich sběr je provozován v rámci sběrných míst zpětného odběru elektrozařízení, pneumatik a autovraků. Sběr se zajišťuje smluvně s kolektivním systémem nebo s oprávněnými osobami (IEEP 2011).

#### **3.3.2 Separace (Třídění)**

Předpokladem pro úspěšnou recyklaci je solidní zdroj plastů dostatečně čistých, a tady vzniká prostor pro technologie využívané pro separaci, které ze směsi odpadů z plastů umožňují odseparovat ne jenom znečištění a jednotlivé složky (Sisol 2006).

Největší dlouhodobou technologickou a ekonomickou překážkou představuje třídění a čištění plastových odpadů. Až 80 % celkových nákladů představují náklady na recyklaci a to třídění a čištění (Slezák 2004).

Charakter a složení je hlavním znakem pro vhodný výběr technologického postupu třídění a čištění odpadů z plastů. Dalším důležitým aspektem je obsah kovových a anorganických materiálů, stupeň degradace a znečištění. Na význačném

místě jsou i požadavky, kterých postup je závislý na aplikačních vlastnostech. Přípravní látkové třídění nebo přinejmenším oddělení rušivých složek od sebraného odpadu vyžadují všechny recyklační postupy (Slezák 2004).

Třídění odpadů z plastů je závislé na rozličných fyzikálních vlastnostech, jako je např. rozdílná hustota, vzhled, rozpustnost, barva, povrchová energie, viskozita (Dundálková 2016).

Pro třídění jednotlivých druhů odpadů z plastů je možné použít rozličné způsoby:

### **Manuální (ruční) separace**

Manuální třídění se provádí na dopravních pásích, kde odpady se sběru sypou. Obsluha pak následně požadované druhy vybírá (obrázek č. 4). Produktivita tohoto způsobu se odvíjí od ne jenom od množství zaměstnanců, který danou linku obsluhují, ale také její produktivity (rychlosti) (Slezák 2004).



Obrázek č. 4: Třídící manuální linka ([www.denik.cz](http://www.denik.cz))

## Automatická separace

Dalším způsobem separace je automatická separace, která je výkonnější než manuální (ruční) separace. Rychleji identifikuje druh plastu a nasměruje ho příslušného zásobníku.



Spektroskopické metody se využívají pro určení Obrázek č.5: Manuální třídící linka ([www.sollau.cz](http://www.sollau.cz))

individuálních druhů odpadu. Tenhle druh metod využívá záření o různých vlnových délkách. Nejvíce využívaným zářením je záření vydávané záření halogenovými zářiči v blízké infračervené oblasti (Slezák 2004, Sisol 2009).

Proud hmoty na pásovém dopravníku je přiváděn při automatické separace pod optický systém a následně ozářen. Poté počítač zprostředkuje na základě impulsu od spektrometru na vyřazovacím zařízení (Slezák 2004).

Do automatické separace řadíme například:

- **Flotace plastů** – při separaci flotací je odpad z plastů umístěn do vodní nádrže, kde dochází k odstranění nečistot, přičemž se ostatní částí usazují a na povrchu zůstávají polyolefiny jako lehčí složky (Sisol 2009, Dundlácová 2016).
- **Třídění vzduchem** – separace vzduchem se využívá při třídění plastů, u kterých je stejná hustota ale částice s rozdílní velikosti, nebo plasty se rozdílní hustotou ale částice se stejnou velikosti. Negativní stránkou tohoto postupu je, že se dá využít jenom při plastech, které nemohou obsahovat víc jak dva typy druhů plastů. Tahle metoda se využívá např. v komunálním odpadu na separaci polyetylénu od jiných druhů plastů, které se v něm nacházejí (Slezák 2004, Dundlácová 2016).

- **Elektrostatická separace** – tenhle způsob třídění se využívá na oddělení příměsi mědi od plastů a ostatních barevných kovů. Využívá se také na třídění odpadů z plastů na základě permitivity a jejich vodivosti (Sisol 2009).
- **Separace pomocí hydrocyklonu** – využívá se hlavně v technologické praxi, kde dochází ke zpracování velkého množství komunálního odpadu (Dundláková 2016).

Flotace je separační proces, které má široké uplatnění v průmyslu při separaci recyklaci plastů. Základem separačního procesu je rozdílná smáčivost složek ve směsi. Vzduchové bubliny se pak lépe zachytávají na hydrofobní (špatně smáčivý) povrch částic. Vytvořené shluky (flokule) jsou vynášeny k hladině na základě hustoty, která je nižší než hustota okolí kapalného prostředí. Hydrofilní (dobře smáčivé) složky zůstávají ve vsádce. I když většina plastů je hydrofobní, je potřeba při izolování směsi plastů použít selektivní smáčení více složek nebo jedné složky ve směsi. V případě plastů zároveň dochází k adhezi několika bublin na jednu plastovou částici. Použití flotace je úspěšně nejen u recyklaci PET lahví, ale také pro separaci směsí více plastů. (Basařová 2014)

Flotační separace využívá přechody chování PET ve vodném prostředí po úpravě silnou alkálií, jako je hydroxid sodný. PVC při tomto procesu zůstává na hladině a jeho chování se nemění, zatímco PET se ve vodě ponoří. Na tomto základním principu je možné oddělit směs od PVC tím, že plovoucí podíl se odebere. Flotační metoda by mohla představovat velice účinný a dostupně ekonomický postup pro třídění. Nová flotační separační metoda byla navržena v Turecku, prověřovaná je teprve v laboratoři. Tahle metoda PET vyčistí jenom na 57 %, je to sice málo, ale produkt je pořád recyklovatelný. (Bagarová Grzywa 2009)

Senzor NIR (Near InfraRed) je založený na detekci záření v oblasti blízké infračervenému, použila společnost TiTech pro třídění plastů jako první na světě. Každý materiál, když je osvětlen, odráží záření v infračervené oblasti spektra, které není lidskému oku viditelné. Odpady z plastů potřebné pro vytrídění se umístí na pásový dopravník, nad kterým se nachází scanner s NIR senzorem, který dokáže nasnímat 320 tisíc bodů a provést na 10 milionů operací za vteřinu. Informace ze senzoru jsou zpracovává softwarem ovládajícím vzduchové trysky, který odfoukává

přesně zacílenými „fuky“ konkrétní objekt z proudu odpadů. Technologie zajišťuje vysokou čistotu po vytrídění díky přesné detekci, a to až 90-93 %, v závislosti na vstupním materiálu v některých případech až 98 %, a kapacitu třídění za hodinu až 10 tun. Referenčním zařízením pro odpady z obalů je třídička v Lipsku. Jsou zde v provozu 12 jednotek TiTech, které třídí polymery (PET, PE, PP, PS) a směsný plast, včetně nápojových kartonů a směsného papíru. (Šťastná 2007)

### **3.3.3 Výroba**

Pod pojmem recyklace plastů rozumíme opětovné zpracování materiálu odpadů z plastů tak, aby produkt zpracování bylo možné opět využít jako surovinu pro výrobu jiného nebo stejného výrobku (Shent et al. 1999, Hopewell et al. 2009). Recyklaci plastů vzniká možnost ne jenom využití samotného materiálu z plastů, ale také energií, kterou je tenhle materiál obsažen.

V současnosti je recyklace jednou z nejdůležitějších opatření, které je možností pro redukci spotřebu ropy, emisí oxidu uhličitého a množství odpadů, které je potřeba zlikvidovat (Hopewell et al. 2009).

Takřka veškeré druhy umělých hmot je možné recyklovat, nýbrž jak moc jsou recyklovatelné je závislé od ekonomických, legislativních a technických faktorech. Nejlepší volbou recyklace pro převážnou část výrobků z plastů „u konce životnosti“ znamená recyklovat produkt tak, aby ho bylo možné opět a opět recyklovat (BFP 2016).

Recyklace už použitých výrobků není až tak jednoduchá. Při jejich používání dochází k spoustě změnám. Výrobek z plastu je vystavován hodně zevnějších vlivů, jako je světlo, teplo a mechanické záření. Působením zevnějších faktorů plast stárne a dochází ke přeměně jeho vlastností. Současně díky různým nečistotám by mohlo dojít i k jeho znečištění (Fiedor 2012).

Recyklace plastů a jejich následující využití zařazujeme mezi velice šetrné enviromentální postupy. Už z několika hledisek je možné vysledovat přínosy z těchto postupů. Z hlediska ochrany přírody se jedná o postupy, při kterých se snižuje množství odstraněného odpadů skládkováním a spalováním. Díky recyklace se také snižuje využití primárních zdrojů surovin. Z hlediska ekonomického se využitím



recyklace umožňuje využít relativně levnější vstupní surovinu. I když je vstupní surovina levnější, i přesto se vyžaduje vhodná aplikace do výrobků. Určeno je to mířícími vlastnostmi recyklátu ve srovnání s surovinami původními (Špaček et al. 2016b).

### 3.3.3.1 Možnosti recyklace plastů z odpadů

Recyklace je souhrn souvisejících postupů a technologických procesů. Výsledkem těchto recyklačních technologií je proměnit odpad na druhotnou surovinu, tj. surovinu, kterou lze získat zpracováním odpadu z plastů a lze ji využít k jinému hospodářskému nebo dalšímu využití (Dundáková 2016).

Díky všestrannosti, nízkým nákladům a snadné výrobě jsou aplikace plastů rozsáhlé, a proto výroba plastů nepřetržitě roste po půl století. V roce 2015 dosáhla celosvětová produkce plastů 322 milionů tun. Enormní výroba a spotřeba plastů vede k obrovskému toku odpadu. Obecně existují tři hlavní způsoby nakládání s odpadními plasty: mechanická recyklace, energetické využití a skládkování (Al-Salem et al. 2009, Lazarevic et al. 2010).

Mezi možnostmi recyklace řadíme (Dundáková 2016):

- Materiálová recyklace
- Chemická recyklace
- Surovinová recyklace
- Energetická recyklace

Vybrané druhy recyklací a jejich využitelnost, výhody a nevýhody jsou shrnuté v tabulce č.3.

Druh plastu	Recyklace	Využitelnost	Výhody	Nevýhody
PS	Mechanická	Mechanicky recyklováno, použito jako plnivo pro formování nových produktů EPS.	Opakovaná recyklace, dobrá izolační schopnost, snadná zpracovatelnost,	Vysoké nároky na vstupní surovinu, použití výhradně na nepotravinářské

		Mleté v kusech a používané jako pro výrobu lehkých malt a betonu. Transformuje na kantabilní polystyren (PS) a poté extruduje. Chemicky se recykluje za účelem výroby styrenu a dalších organických produktů.	použití pro různé aplikace, vhodný pro balení produktů, nízká cena.	účely, nedefinovatelná barevnost.
PET	Materiálová	Drť, vločky	Chemická a biologická odolnost.	Vysoké nároky na vstupní surovinu.
	Chemická (glykolýza, methanolýza, hydrolýza)	Peletizace, výroba, přeměna vloček.	Nízké nároky na čistotu vstupní suroviny.	Vysoké investiční náklady, emise, skleníkové plyny.

Tabulka č.3: Využitelnost u jednotlivých druhů recyklace u plastů PS a PET (Aminudin et al. 2011, Chacon et al.2019)

Při mechanické recyklaci PS dochází k poklesu molekulové hmotnosti, viskozity a prodloužení při přetržení. Recyklovaný polystyren je primárně dorecyklován na jednorázové přístroje a výrobky. Během přepracování dominuje štěpení řetězce, což potvrzují jak molekulární hmotnost, tak reologická měření. Mechanická recyklace není primární metodou používanou k recyklaci EPS, protože rozdíly v hustotě pěny a přísady ovlivňují proces a zabraňují skutečné kruhovitosti. Techniky rozpouštění / srážení jsou u PS široce používány kvůli jejich schopnosti snižovat objem EPS a poskytovat vysoce kvalitní rPS srovnatelný s původním materiálem. (Schyns, Shaver 2020)

Technologie dostupné pro recyklaci plastů a jejich charakteristiky pro vybrané plasty jsou shrnuté v tabulce č.4. Přehled je zaměřený hlavně na chemickou recyklaci a možnosti technologií využitelné pro recyklaci plastů PS a PET.

Primární recyklace (mechanické přepracování jednoho	Uzavřená			
---	----------	--	--	--

nekontaminovaného plastu, výsledkem je produkt se stejnou kvalitou)				
Sekundární recyklace (degraduje recyklovaný materiál)	Mechanická	Lisování a zahříváním k roztavení	Extruze	Proces využívající teplo a rotující šrouby k vyvolání tepelného změkčení nebo plastifikace.
Terciální recyklace (štěpí polymery na monomery s kvalitním využitím recyklovaného materiálu)	Tepelně chemická	práskání	Pyrolýza plazmová	Proces konvenční pyrolýzy s termochemickými vlastnostmi plazmy k přeměně plastového odpadu na syntézu (velmi vysoké teploty).
			Pyrolýza mikrovlnná	Proces smíchání plastů s vysoce mikrovlnným absorpčním dielektrickým materiálem. Teplo absorbované z mikrovln je přenášeno do plastů vedením.
			katalytické	Proces pyrolýzy s přidáním katalyzátoru.
			hydrokrakování	Přidání vodíku do procesu krakování má za následek vyšší kvalitu produktu. Proces probíhá při zvýšených tlacích vodíku.
		zplyňování	konvenční	K procesu dochází při teplotách mezi 700 a 1 200 ° C v závislosti na zplyňovacím činidle; hlavní jsou vzduch, pára a plazma.
			plazmové	Proces, při kterém plazmové hořáky vytvářejí elektrický oblouk průchodem elektrického proudu plynem.
			pyrolýza s in-line reformováním	Proces se provádí ve dvou připojených in-line reaktorech pro kroky pyrolýzy a reformování. Nečistoty

				zůstávají v reaktoru a nemají žádný kontakt s reformovacím katalyzátorem, nedochází k deaktivaci katalyzátoru.
		chemolýza		
Kvarterní recyklace (spalování odpadu pro energetické využití)	Obnovení energie		Pyrolýza	

Tabulka č.4: Technologie pro jednotlivé druhy recyklace u PS a PET (Solis, Silveria 2020, Maharana et al. 2007)

### 3.3.3.2 Materiálová recyklace

Materiálová recyklace je vlastně fyzikální proces, u kterého se z odpadu z plastů získává nový materiál neboli prvky nového materiálu, aniž by proběhla účelně podníčená chemická reakce (Slezák 2004).

Recyklace zahrnuje několika procesů, počínajíc nejjednodušším procesem jako je mletí odpadů z plastů, poté se pro výrobu nových produktů melivo tepelně mechanicky zpracuje, včetně kompatibilizačních postupu v tavenině, sloužící k přípravě materiálu z vícero složek ze směsi odpadů z plastů. Materiálová recyklace probíhá na základě dodání tepelné energie a aditiv sloužících ke změně odpadní suroviny na novou látku, kterého mechanické a estetické vlastnosti jsou velice blízké jako u výchozího polymeru (Enviweb 2011).

Existuje několika druhů forem provedení (Dundlákova 2016). V současnosti se preferují technologie mechanické, u kterých se odpad z plastů převede do taveniny nebo viskózně, do elastického stavu, následně tvarován, ochlazen (Nachtigal 2001, Slezák 2004). Tenhle mechanický proces se dělí na primární a sekundární recyklaci na základě zpracování suroviny a hodnoty použité výrobku (Nachtigal 2001).

Nejoblíbenější proces představuje primární recyklace díky své jednoduchosti a nízké ceně. Tento proces se týká opětovného použití produktů v jejich původní struktuře. Nevýhodou tohoto procesu je existence omezení počtu cyklů pro každý materiál (Hopewell et al. 2009, Francis 2016, Singh et al. 2017). Pro primární recyklaci je nejvhodnější tříděný, čistý, homogenní a nedegradovaný odpad, u kterého byla

provedená úprava (Kepák 2005). Z jednodruhového odpadu z plastů je získáván výrobek se stejnou nebo podobnou kvalitou, jako u původního polymeru.

Recyklovaný odpad z plastů je nejdříve nutné dostatečně nadrtit na jemnou frakci tak, aby velikost těchto částic byla přijatelná pro míchaní s původním materiálem s následným zpracováním (Nachtigal 2001, Kepák 2005). Odpad je možné zpracovat válčováním, vyfukováním nebo vstřikováním (Trebichavský et al. 1996).

Sekundární recyklace nebo také mechanická recyklace je proces, ve kterém lze použít pouze termoplastické polymery, protože je lze znovu roztavit a znovu zpracovat na konečné produkty. Mechanická recyklace nezahrnuje změnu polymeru během procesu. Tento proces představuje fyzikální metoda, při které se plastové odpady vytvoří řezáním, drcením nebo promýváním na granuláty, vločky nebo pelety odpovídající kvality pro výrobu a poté se roztaví, aby se vytvořil nový produkt vytlačováním. Přepřacovaný materiál lze také smíchat s původním materiálem, aby se dosáhlo lepších výsledků. Poté, co se plast roztřídí, vyčistí, vysuší a poté přímo zpracuje na konečné produkty, se množství odpadního plastu dramaticky sníží. Nevýhody této metody se týkají heterogenity pevného odpadu a zhoršování vlastnosti produktu v každém cyklu, ke kterému dochází v důsledku nízké molekulové hmotnosti recyklované pryskyřice. Stává se to kvůli reakcím štěpení řetězců způsobeným přítomností vody a stopových kyselých nečistot a aby se zabránilo snížené intenzity sušení, doporučuje se použití sloučenin prodlužujících řetězec nebo přepřacování vakuovým odplyněním. Tato metoda je relativně levná, ale vyžaduje značné počáteční investice (Hopewell et al. 2009, Francis 2016). V sekundární recyklaci je možné zpracování homogenního odpadu nebo degradovaného materiálu jako např. obalové materiály, podlahoviny, vícevrstvé fólie. Ve srovnání s primární recyklací se ze sekundární získává materiál nebo produkt s viditelně horšími vlastnostmi a kvalitou, jako u původního materiálu (Trebichavský et al. 1996, Kepák 2005). Mechanická recyklace odpadních plastů je ekologickým řešením problému likvidace odpadních plastů a v průmyslu se již stala běžnou praxí (Gu et al. 2017).

V současnosti se zlomek tříděných plastových proudů recykluje mechanicky, což vede k výrobě recyklovaného materiálu, který je degradován a který je často dražší než čerstvé plasty. Mechanická recyklace nemůže zpracovat kontaminované

plasty nebo proudy směsných plastů. Proto je před procesem recyklace nutné podrobné a pracné třídění. Významné množství odpadu je tak v rané fázi odmítnuto, což snižuje celkovou účinnost procesu. (Solis, Silveira 2020) Výsledkem mechanické recyklace je přibližně 10% ztráta materiálu a 10% ztráta kvality (Merrild et al. 2012). Kromě toho mechanická recyklace degraduje materiál po celou dobu jeho životnosti (Ragaert et al. 2017). Podle Förpacknings och Tidnings Insamlingen, v současném systému lze plastové obaly recyklovat až sedmkrát, než jsou polymery příliš degradovány na to, aby mohly být dále použity. (Solis, Silveira 2020)

Odpadní plasty z různých zdrojů, jako jsou zemědělské odpady, výrobci plastových výrobků, sebrané pevné plastové odpady a části demontované z odpadních elektrických a elektronických zařízení, se zpracovávají třemi způsoby, přičemž produkty končí na různých trzích. Výsledky hodnocení životního cyklu ukazují, že proces vytlačování má největší dopady na životní prostředí, následované použitím plnidel a přísad. Ve srovnání s výrobou čerstvých plastů a kompozitů se mechanická recyklace ukázala jako vynikající alternativa ve většině environmentálních aspektů. Nahrazením původních plastových kompozitů recyklovanými plastovými kompozity bylo dosaženo nejvyšších přínosů pro životní prostředí, protože výroba původních kompozitů má téměř čtyřikrát vyšší dopad než produkce recyklovaných kompozitů v každém faktoru poškození. (Gu et al. 2017)

### **Nevýhody při materiálové recyklaci**

Velký problém představuje obvykle nedefinovatelnost barevnosti odpadu a taktéž změna hodnot určitých fyzikálně-chemických parametrů, které při porovnání se základní surovinou vykazují negativní změny. Druhově využití jednotného recyklátu bývá omezeno pouze na nepotravinářské účely z hygienických důvodů. Při použití koextruze je možné aplikovat i v potravinářství, ale výrobek může tvořit jenom vnější obal. Z nové hmoty musí být vytvořen vždy vnitřní obal. (Dundláková 2016)

### 3.3.3.3 Chemická recyklace

Chemická recyklace je považována za atraktivní technologický postup pro snižování emisí odpadu a skleníkových plynů a pro podporu oběhového hospodářství. V EU je připravenost vyvinout plně komerční provozovnu stále důležitější vzhledem k ambicióznímu cíli recyklovat všechny plasty do roku 2030. Toky obalů pro domácnost mají ve srovnání s průmyslovými a komerčními odpady nižší kvalitu a nižší recyklační výkon, což vyžaduje zvláštní pozornost. (Quantis 2020)

Chemická recyklace poskytuje alternativu k mechanické recyklaci a mohla by pomoci splnit cíle oběhového hospodářství a zároveň vést k vyšší kvalitě recyklovaného materiálu. Chemické procesy mají vyšší toleranci ke směsným a kontaminovaným proudům plastových odpadů než mechanická recyklace a mohou rozložit polymery na jednotlivé monomery za vzniku vysoce kvalitního produktu. (Solis, Silveira 2020)

Tabulka č. 5 (viz. níže) shrnuje výhody a nevýhody a tři klíčové parametry analyzované v různých technologiích, jmenovitě teplota procesu, citlivost na kontaminaci odpadu a úroveň technologické připravenosti (TRL).

Chemická recyklace – Technologie zpracování pro PS a PET	Výhody	Nevýhody	Citlivost (na kvalitu suroviny)	Teplota (° C) (v procesu)	TRL
Tepelné krakování (konvenční pyrolýza)	Jednoduchá technologie, flexibilní proces, vhodný k odpadu plastů, který se obtížně depolymerizuje.	Složitost reakcí, vysoká energetická náročnost, nízká tolerance k PVC, citlivé na kontaminaci suroviny, výroby je často nutné před dalším použitím vylepšit.	Vysoká	300-700	9
Plazmová pyrolýza	Dostatečně vysoká teplota pro rozložení toxických sloučenin	Vysoký požadavek na elektřinu.	Nízká	1800-10 000	4

	v produkčním plynu – vhodná pro směsný plastový odpad, produkovaný plyn s nízkým obsahem dehtu a vysokou výhřevností.				
<b>Mikrovlnná pyrolýza</b>	Rovnoměrné rozložení tepla, ve srovnání s konvenční pyrolýzou: vyšší rychlost ohřevu, větší kontrola procesu, zvyšuje rychlost výroby.	Citlivé na velké výkyvy ve složení odpadu, výzva k efektivnímu využívání dielektrických absorbentů v průmyslovém měřítku, vyžaduje realizovatelnost velkých objemů surovin.	Střední	Až 1000	4
<b>Katalytické práskání</b>	Ve srovnání s tepelným krakováním: nižší provozní teplota, vyšší výtěžnost oleje, kratší reakční doba, možná nižší výrobní náklady a spotřeba energie. Produkt s podobnými vlastnostmi jako fosilní paliva. Katalyzátor pomáhá optimalizovat distribuci a selektivitu produktu.	Citlivé na kontaminaci suroviny, chloridové a dusíkové složky v odpadu mohou deaktivovat katalyzátor. Organický materiál v odpadu může blokovat póry katalyzátoru. Často vyžaduje předběžnou úpravu.	Vysoká	450-550	9
<b>Hydrokrakování</b>	Vysoce kvalitní produkt.	Vysoké náklady na vodík. Účinek otravy po hydrokrakování PVC. Vysoké investiční a provozní náklady.	Vysoká	375-500	7
<b>Konvenční zplyňování</b>	Možný velmi podrobný rozklad polymeru: na vodík a metan. Vícenásobné	Produkční plyn vyžaduje zlepšení kvality před dalším použitím. Vyžaduje vysoké	Střední	700-1200	9



	<p>použití produkčního plynu. Vhodné pro směsný plastový odpad, osvědčená technologie. Čisté zplyňování kyslíkem generuje syntézu téměř bez atmosférického dusíku, syntetické aplikace a výroba nových plastových produktů, možná výroba vodíku z parního zplyňování.</p>	<p>objemy suroviny, aby bylo možné realizovat dehty a char v produkčním plynu., nákladově a energeticky náročné. Zplyňování čistého kyslíku vyžaduje oddělení kyslíku od vzduchu, a to je velice nákladné.</p>			
<b>Plazmové zplyňování</b>	<p>Ve srovnání s konvenčním zplyňováním: vyšší čistota produktového plynu, snížená hladina dehtu, vysoká tolerance k nekvalitní surovině. Regulace teploty nezávisle na kolísání vlastností a kvality suroviny a dodávky zplyňovacího činidla, osvědčená technologie.</p>	<p>Vysoké investiční a provozní náklady, velmi vysoká potřeba elektřiny.</p>	Nízká	1200-15 000	8
<b>Pyrolýza s in-line reformováním</b>	<p>Výroba vodíku z procesu, produktový plyn bez dehtů. Nečistoty v plastovém odpadu nemají žádný kontakt s reformovacím katalyzátorem. Ve srovnání s konvenčním zplyňováním: nižší teplota procesu a výrobní náklady, vyšší produkce</p>	<p>Je třeba dále prozkoumat a vyřešit problém s deaktivací katalyzátoru.</p>	Střední	500-900	4

	vodíku než při zplyňování parou.				
--	-------------------------------------	--	--	--	--

Tabulka č.5: Výhody a nevýhody a tři klíčové parametry v různých technologiích pro PS a PET (Solis, Silveria 2020)

Se shromážděnými informacemi byli určeny TRL pro různé technologie. Komerčně dostupné technologie s TRL 9 jsou pyrolýza, katalytické krakování a konvenční zplyňování. Současné projekty zplyňování plazmou využívají technologii pro následnou úpravu, tj. pro zpracování nebezpečného odpadu a pevných zbytků ze zplyňovacího procesu, nikoli pro zpracování samotného hlavního pevného zbytku. Proto se má za to, že plazmové zplyňování plastového odpadu má TRL 8. Tato technologie má potenciál být brzy komerčně dostupná. Hydrokrakování má TRL 7 jako největší překážku při zavádění technologie v průmyslovém měřítku jsou náklady na vodík. Tato technologie je k dispozici v pilotním měřítku a vyvinuta velkými společnostmi. Plazmová pyrolýza, mikrovlnná asistovaná pyrolýza a pyrolýza s in-line reformováním byly klasifikovány na TRL 4. Jsou k dispozici v laboratorním měřítku, a než budou komerčně dostupné, je nutný další výzkum. (Solis, Silveira 2020)

Na rozdíl od procesu recyklace nezpůsobuje pyrolýza znečištění vody, a proto je považována za ekologickou technologii. Procesu pyrolýzy může produkovat kapalný olej až do 80% při snadno dosažitelné teplotě asi 500 °C. Pyrolýza PS prováděná ve vsázkovém tlakovém autoklávovém reaktoru po dobu jedné hodiny při teplotním rozsahu 300–500 °C s rychlostí ohřevu na 10 °C / min a kolísání okolního tlaku od 0,31 MPa do 1,6 MPa vede k produkci přibližně 97,0% kapalného oleje a maximální produkci plynu 2,5% při optimální teplotě 425 °C. Během pyrolýzy PS za použití reaktoru s fluidním ložem při teplotním rozmezí 450–700 °C. Byla dosažena rekordní produkce kapalného oleje a to 98,7 %. Při 600 °C produkce kapalného oleje poklesla na 89,5 % při 581 °C. Proto se nedoporučuje provádět pyrolýzu PS při teplotě vyšší než 500 °C, aby se dosáhlo maximální produkce kapalného oleje. (Maafa 2021)

V dnešní době ani jedno z existujících zařízení využívané pro chemickou recyklaci ve světě není schopné vyprodukovat dostatek energie pro provoz a je dost nepravděpodobné, aby došlo k změně v příštích několika desítkách let. K výrobě nových plastů je potřeba ještě více energie, na výrobu plastů z jedné tuny fosilních paliv je

potřeba další tona fosilních paliv jako zdroj energie. Kromě přímých emisí skleníkových plynů z procesu chemické recyklace a při spalování jejích produktů chemická recyklace dále zhoršuje změnu klimatu přispíváním k zachování těžby fosilních paliv pro výrobu plastů. (Ekolist 2020)

V současnosti době největší producenti odpadu z plastů a petrochemický průmysl investují masivně do chemické recyklace, která údajně dokáže všechny druhy odpadních plastů zpracovat. Zařízení po celém světě zápolí s velkým množstvím technologických problémů, kvůli kterým je snadné pochybovat o bezpečí pro životní prostředí. Ani Česká republika není výjimkou, kde bylo naplánováno 26 zařízení. Až na několik zařízení, většina z nich kvůli vážným nedostatkům nebyla doposud zapojená do provozu. Doposud nejsou ani známy výsledky měření nejvíce škodlivých látek, jako například dioxiny ve výstupech. (Arnika 2020)

Ředitel pro strategie udržitelnosti německé společnosti BASF Andreas Kicherer říká: **„Většina plastů tvoří směsné materiály, není to například čistý PET. A tyto materiály dnes velmi často skončí na skládce nebo ve spalovně“**. Proto firma BASF vyvinula postup, který nazvali ChemCycling. Díky tomuto postupu plasty, které nejdou mechanicky recyklovat a skončili by na ve spalovně nebo na skládce, je možné použít k výrobě olejů nebo syntetických plynů. Je možné je použít i jako druhotnou surovinu, která může posloužit při výrobě nových plastů. (Koval, Český rozhlas 2019)

Andreas Kicherer dále říká: **„Na uzavření každého cyklu je potřeba energie a tu bereme přímo z recyklace odpadu. Mohli bychom do procesu přidávat energii z externích zdrojů, ale je podle nás lepší, aby vše běželo jen díky zpracovávanému materiálu.“** Společnost BASF v pilotní fázi má v plánu dodat svým zákazníkům poměrně malé množství recyklovaných plastů, jenom asi tisíce tun. Měli by být použité na výrobu komponentů ledniček, izolačních panelů a obalů na mozzarella. Už letos by se takové produkty měli dostat na trh. (Koval, Český rozhlas 2019)

### **3.3.3.4 Surovinová recyklace**

Surovinová recyklace je využívána u směsi odpadů velmi znečištěných. Dochází u ní k úplnému rozkladu vysokomolekulárních látek, následně dělení a čištění konečných sloučenin rozkladu (Dundálková 2016).

Surovinová recyklace zahrnuje depolymeraci, hydrolýzu, chemické zpracování a tepelné štěpení (Trebichavský et al. 1996, Kepák 2005).

#### **Depolymerizace**

Depolymerizace je chemická reakce, která je opakem polymerizaci. Polymer je při této reakci brán jako reaktant a výsledným produktem je monomer. Depolymerizaci jde jednoduše vysvětlit jako rozdělení dlouhých makromolekul na drobné molekuly s velikostí řetězce od jednoho uhlíku do cca šestnácti. Principem této metody je zahřívání polymerů bez přístupu kyslíku. (Bačiak, Pátek 2019)

#### **Hydrolýza**

Při hydrolýze dochází k procesu zpětného štěpení polymeru ve vodním prostředí. Hydrolýza probíhá u plastů, které jsou připravené k polyadičním a polykondezačním reakcím. Do tyto skupiny řadíme polyestery, polyamidy, polyuretany a polykarbonáty (Trebichavský et al. 1996, Kepák 2005).

#### **Chemické zpracování**

Chemické zpracování je perspektivnou oblastí pro zhodnocení plastů (Trebichavský et al. 1996).

Plastový odpad je možné využít jako chemickou surovinu. Příklad pro chemické zpracování lze uvést přípravu fakulantů na čištění vod polystyrenového odpadu (Kepák 2005).

#### **Tepelné štěpení**

Pyrolýza, karbonizace a hydrogenace je součástí tepelného štěpení. Pyrolýza je nejběžnějším způsobem tepelného štěpení (Dundálková 2016). Koks a smolu, kapalné a plynné uhlovodíky poskytuje karbonizace (Trebichavský et al. 1996, Kepák

2005). Lehké a těžké oleje se získávají hydrogenací plastů, zpracovávají se jako příslušné složky ropy.

### **3.3.3.5 Energetická recyklace**

Energetickou recyklaci je možné chápat akceptovatelné enviromentální spalování s využitelností energetického potenciálu. Obzvlášť je vhodná pro odpad, který je získáván se směšného komunálního odpadu (Dundálková 2016).

Postupy energetického využití se zakládají na využití vysokého tepla získaného ze spalování plastů. Daný způsob tohoto energetického využití je velkou výhodou ne jenom co se týče produkce energie, také se snižuje objem plastového odpadu až o 95 %, který je zpracován a váhu o 75 %. Řadíme sem pyrolýzu a vysokoteplotní oxidaci, do které patří spalování i zplyňování (Trebichavský et al. 1996). Tepelná energie je výstupem energetické recyklace (Dundálková 2016).

#### **Spalování**

Proces spalování se v první řadě využívá při likvidování plastu nacházejícího v komunálním odpadu. Spalováním plastů se energie uvolňuje štěpením, a to chemickými vazbami makromolekul plastu. Teplo vznikající spalováním, specifické pro plasty v porovnání s dřevem nebo uhlím je u určitých druhů dokonce až dvojnásobné.

Spalováním dochází nejdřív k vysušení odpadů při teplotách 50-150 °C. K chemickému rozkladu dochází při teplotách vyšších, těkavé látky se začnou uvolňovat, vznítí se a hoří plamenem. K odplynění pak dochází u zbylého materiálu a mnohem je pomalejší i jeho hoření. (Kuraš et al. 2008)

Postupy u těchto procesů se od sebe liší na základě rozdílní teploty, délky procesu a množství vzduchu, který je přiváděný.

Spalování se rozděluje na nízkoteplotní (do 1000 °C) a vysokoteplotní (nad 1000 °C) a takovým způsobem je možné energeticky využít také komunální a průmyslový odpad, čistírenské kaly a další vstupy. (Braniš 2004)

## **Zplyňování**

Zplyňování je průběh několika procesů, při kterých postupně dochází k oxidaci uhlovodíků s vodní párou z paliva (nebo zplyňovacího media) a následně dochází k redukci na hořlavé plyny, destilační produkty a minerální zbytek. (Peer, Friedel 2016)

Pro proces zplyňovací v porovnání se spalováním platí níže uvedené charakteristiky:

- Menší objem produkce plynu oproti objemu spalin při spalování;
- Převažující produkce CO nad CO<sub>2</sub>;
- Kumulace nezplyňovacích částic ve formě vitrifikované strusky (při vysokoteplotním zplyňování);
- Menší a kompaktnější jednotky (obzvláště při tlakovém zplyňování);
- Možnost materiálového a energetického zužitkování syngasu;
- Menší množství odpadních vod z čištění syngasu. (Chang, Pires 2015)

## **Pyrolýza**

Pyrolýza (řecky pýr = oheň, lysis = rozpuštění) představuje fyzikálně-chemický děj, který se řadí do poměrně široké skupiny termických postupů. Termické postupy v praxi představují technologie působící teplem na odpad za teploty, jež přesahují limity jeho termické stability. (Šejvl 2013)

Předseda České asociace pro pyrolýzu a zplyňování Doc. Michael Pohořelý říká: „Pyrolýza plastů se cyklicky opakuje už desítky let a vyvíjí se. Protože Čína zamezila dovozu některých plastových odpadů, Evropa hledá technologie, jak je znovu využívat v rámci strategie obnovitelného hospodářství. Jedním způsobem je přeměna plastových odpadů na meziprodukt – olej – ze kterého se můžou opět vyrobit plasty tak, jak je známe – například ethylen nebo propylen. Vzniklý olej by mohl sloužit jako vstupní surovina do rafinérského nebo petrochemického průmyslu. Pokud by byl dostatečně čistý a stejně kvalitní jako vstupní surovina, mohl by být zpracovaný na standardní produkty jako benzín, naftu, ethylen, propylen a podobně. Dnešní recyklační technologie zatím olej o takové kvalitě obvykle neprodukují. České i zahraniční firmy se však snaží postavit jednotky na principu pyrolýzy, které toho

schopné budou. V Česku dokážou teoreticky přijmout recyklovaný olej jako vstupní surovinu pouze dva závody Unipetrolu.“ (Vincourová 2020)

### 3.3.4 Marketing

PET poskytuje jedinečnou kombinaci vlastností, jako je nízká propustnost plynu, odolnost vůči ropě, mastnotě, alkoholům, různým rozpouštědlům, vysokým pevnostem a vlastnostem bariéry vlhkosti, které z něj činí oblíbenou volbu pro různá průmyslová odvětví, jako je textil, balení, automobilový průmysl a elektronika, podněcují růst trhu PET. Kromě toho PET nereaguje s potravinami a vodou, a tak; rostoucí poptávka z potravinářského průmyslu je hnací silou růstu polyethylenu tereftalátu trhu. Naopak kolísající ceny surovin, jako je ethylenglykol v důsledku volatility cen ropy, omezují růst trhu s polyethylenem tereftalátem. Nicméně nárůst používání polyethylenového tereftalátu pro výrobu kontejnerů, který zahrnuje lahve na nealkoholické nápoje, léky, alkoholické nápoje, kosmetiku, detergenty a vodu, by však v nadcházejících letech očekával, že poskytne lukrativní příležitosti. (VMR 2020)

Trh výroby polystyrenových pěnových produktů těží ze zvýšeného používání nádob na potraviny a obalového materiálu kvůli nárůstu popularity portálů pro rozvoz jídla a odnášejících restaurací. Polystyren je široce používán v balení potravin, protože poskytuje dobrou izolaci, čímž udržuje potraviny čerstvé po delší dobu ve srovnání s jinými alternativami. Nárůst služeb online rozvozu jídla v důsledku široké škály možností výběru jídel, pohodlí a flexibilních platebních možností zvýšil během tohoto období prodej restaurací a stánek s jídlem prostřednictvím poskytovatelů služeb online agregátoru potravin. Například v roce 2016 vzrostl v Indii online průmysl dodávek potravin o 150 % v roce 2016. Tento růst na trhu dodávek potravin online přispívá ke zvýšení poptávky po polystyrenových obalových materiálech. (The Business Research Company 2019)

Polystyren není snadno biologicky odbouratelný a je hlavní látkou znečišťující životní prostředí. Společnosti v tomto odvětví vyvíjejí nové technologie recyklace polystyrenové pěny, snižování nákladů na suroviny a dodržování přísných environmentálních předpisů týkajících se výrobků z polystyrenové pěny. Například v

roce 2017 vytvořily společnosti Pyrowave a Ineos Styrolution America LLC strategické partnerství s cílem implementovat technologii Catalytic Microwave Depolymerization (CMD) společnosti Pyrowave pro recyklaci polystyrenového obalového materiálu. (The Business Research Company 2019)

## **4. Metodika**

Praktická část diplomové práce je zaměřená na plasty Polyethylentereftalát a Polystyren. Byly identifikovány čtyři obecné kategorie recyklace plastů. Pozornost je kladená na technologii zpracování používané i teprve ve výzkumů. Byla provedena analýza srovnání: Výhody a nevýhody technologií a TRL pro osm vybraných technologií pro chemickou recyklaci PS a PET, teplotní citlivost na surovinu a teplota potřebná v procesu. Data byla získaná z internetových zdrojů daných technologických zpracovatelů. Práce bude hodnocená z environmentálního hlediska vstupních surovin a jejich alternativy.

## **5. Praktická část**

### **5.1 Nakládání s odpadem v České republice**

Prakticky při veškeré lidské činnosti vznikají odpady. Vznikají nejenom při běžném životě člověka ve společnosti, ale také v průmyslu, dopravě, zemědělství, stavebnictví. Základní pravidla pro nakládání s odpady jsou stanovena zákonem č. 541/2020 Sb., o odpadech a jeho prováděcími právními předpisy. Cíle pro nakládání s odpady a potřebné opatření k jejich dosažení jsou ustanovené v Plánu odpadového hospodářství České republiky (POH ČR).

Strategické cíle uvedené v POH ČR jsou:

1. Předcházení vzniku odpadů a snižování měrné produkce odpadů.
2. Minimalizace nepříznivých účinků vzniku odpadů a nakládání s nimi na lidské zdraví a životní prostředí.
3. Udržitelný rozvoj společnosti a přiblížení se k evropské „recyklační společnosti“.



4. Maximální využitelnost odpadů jako náhrada primárních zdrojů a přechod k oběhovému hospodářství. (MŽP ©2016)

### 5.1.1 Oběhové hospodářství

Přechod na oběhového hospodářství je jedním z hlavních cílů uvedených výše v Plánu odpadového hospodářství v ČR (MŽP ©2016), které je v současnosti patří mezi hlavní priority Evropské komise. Základním principem oběhového hospodářství je úsilí o udržení přidané hodnoty produktů co nejdéle v ekonomickém systému při nyníjší redukci objemu odpadu a negativních vlivů na životní prostředí. Produkt po dosažení konce životnosti v oběhovém hospodářství nadále zůstává jako zdroj, opakovatelně se využítá ve výrobě a je vytvořená tak další hodnota. Pro spotřebitele je tak možnost využívat výrobky déle, resp. její funkce. Pro podnikatelskou sféru poskytuje kromě prodeje výrobků i další nové možnosti finančních příležitosti ve více oblastech, jako je opětovné využití výrobků, jejich opravy a údržba, recyklace nebo poskytování dalších služeb (např. servis). (Růžička, Dobeš 2015)



Obrázek č. 6: Oběhové hospodářství (ČSÚ ©2019)

Cirkulární ekonomika se projevila i u plastových recyklátu. V současnosti pro styk s potravinami je možné použít z mechanických recyklátů pouze rPET, u kterých musí být prokazatelný vstupní materiál dodavatelem. Musí se prokázat, že vstupní surovinou materiálu jsou pouze PET lahve, do kterých byli balené pouze nápoje. Tento rPET, který se vyrábí z vyříděných PET lahví, které jsou rozdrčené, vyčištěné a následně přetavené do granulátu, a pak následně vznikne nová lahev je využívána u výrobce minerálních vod Mattoni. (Kohoutová 2020)

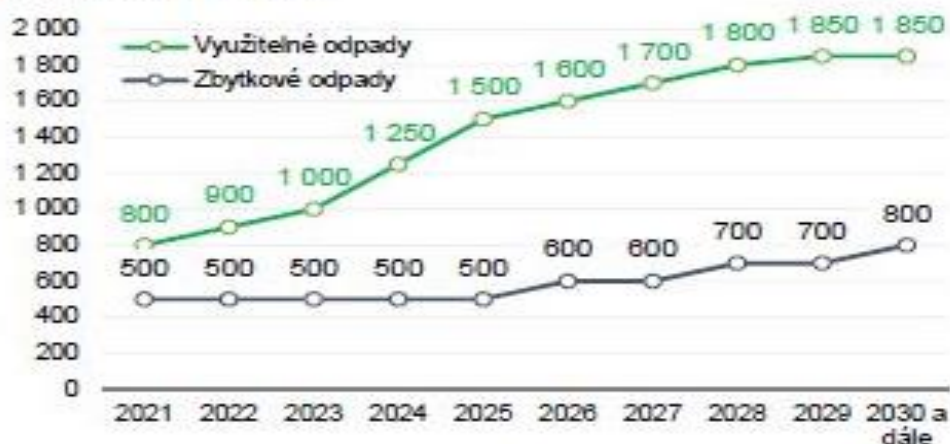
### 5.1.2 Právní rámec v České republice pro nakládání s odpady

Problematiku odpadů v České republice řeší zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech (Ekonet 2016). Tenhle zákon o odpadech je nejdůležitějším dokumentem české legislativy, který se zabývá touto problematikou (Váňa et al. 2009).

Od 1. 1. 2021 je platná novela zákona č. 185/2001 Sb., kterou podepsal i prezident ČR Miloš Zeman. Hlavním cílem nového balíčku legislativních opatření je zvýšení třídění, využití odpadů, odklon od skládkování a povinnosti související s plněním evropských cílů. V České republice se za 5 let musí veškerý komunální odpad recyklovat z 55 %, momentálně je to pouhých 41 % podle údajů za rok 2019. V roce 2030 by to už mělo být 60 % a 65 % za dalších pět let a více. Ministr ŽP Richard Brabec řekl: **„Vzhledem k tak ambiciózním cílům potřebuje ČR zrychlit, respektive přehodit výhybku, a jak pevně věřím, s novou legislativou to konečně půjde. Navíc není důvod odpady sypat na skládky, pro moderní společnost představují zdroje, jejichž využitím ušetříme primární suroviny a naše životní prostředí.“** Datum skládkování u nového zákona se posouvá z roku 2024 na rok 2030. (MŽP ©2020a)

Nový zákon o odpadech v souladu s recyklačními cíli zavedl navýšení poplatku za recyklovatelné a využitelné odpady ukládané na skládky. V roce 2020 činil poplatek 500 Kč za tunu uloženého komunálního odpadu. V roce 2021 je to už 800 Kč za tunu, v dalších letech se bude postupně zvyšovat. (Hrtúsová, Novák 2020)

### Sazba pro dílčí základy poplatku za ukládání odpadů na skládku (v Kč/t)



Graf č.1: Zvyšování poplatků v jednotlivých letech (Návrh zákona o odpadech 2020)

Hlavním důvodem navýšení poplatku je motivace pro snížení využitelného a recyklačního materiálu ze skládek a tím nastartovat recyklační průmysl. (EnviGroup 2020)

Zákon převádí i evropskou směrnici do české legislativy. Od července 2021 už nebudou uváděné na trh plastové výrobky jako plastové vatové tyčinky, příbory, talíře nebo brčka. Také bude zákaz uvádění na trh nádob na potraviny a nápoje a kelímky z expandovaného polystyrenu. Ročně se v Česku na základě odhadu ministerstva prodá přibližně 20 milionů plastových talířů, 300 milionů brček, 40 milionů nádob na jídlo, 60 milionů příborů a 40 milionů kelímků z expandovaného polystyrenu. (Soldatova 2020)

Další zákon, zabývající se recyklací odpadu z plastů je zákon č. 477/2001 Sb., o obalech a o změně některých zákonů (zákon o obalech) (Ekonet 2016). I u tohoto zákona došlo k novelizaci, která je platná také od 1. 1. 2021. Novela zákona o obalech přináší zcela nový princip ekomodulace. Na její základě se bude odvíjet výše poplatku u výrobců a dodavatelů za uvedení určitých výrobků na trh. Vyšší cenou budou zatíženi za jeho využití a odstranění výrobky hůře opravitelné nebo recyklovatelné a naopak. Cena výrobků ekologicky balených nebo vyráběných se tak může zlevnit, firmy za výrobky zatěžující životní prostředí nesmyslně zaplatí více. (MŽP ©2020b)

### 5.1.3 Politika druhotných surovin

V České republice má produkce a využívání druhotných surovin dlouhou tradici. Druhotní suroviny šetří nebo rovnou nahrazují zdroje primárních surovin. Druhotní suroviny kromě materiálové náhrady představují i jiné významné přínosy: zjednodušují technologické postupy a procesy, energetická náročnost výroby se snižuje, nejsou potřebné obtížné technologické úpravy potřebná pro primární zdroje, vede ke snížení tvorby skleníkových plynů a k zmírňování dalších globálních enviromentálních následků. (MPO ©2019a) Jak je vidět v tabulce níže, produkce druhotných surovin – plast, každým rokem stoupá.

Komodita/zdroj	2013 Množství (t)	2014 Množství (t)	2015 Množství (t)	2016 Množství (t)	2017 Množství (t)
<b>Plasty</b>	333 768	344 612	365 165	385 771	406 027

Tabulka č.6: Produkce druhotných surovin v ČR za období 2013–2017 (ČSÚ ©2019)

V roce 2016 se v České republice vyprodukovalo 436 tisíc tun odpadů z plastu v následujícím členění, viz tabulka č. 7.

Druh	Množství (t)
<b>Odpady z obalů</b>	<b>271 000</b>
<b>Odpady ze stavebnictví</b>	<b>31 000</b>
<b>Odpady z automobilů</b>	<b>18 000</b>
<b>Odpady z elektroniky</b>	<b>23 000</b>
<b>Odpady z domácnosti</b>	<b>17 000</b>
<b>Odpady ze zemědělství</b>	<b>19 000</b>
<b>Ostatní</b>	<b>57 000</b>

Tabulka č.7: Produkce plastových odpadů v roce 2016 (Coversio 2018)

Stát má snahu zvýšit množství vytríděných odpadů z plastu, je ale nutné také podpořit konečné využití obzvláště z méně atraktivních plastů, a to např. daňově, dobrovolné iniciativy zpracovatelů, výrobců, provozovatelů a uživatelů recyklačních zařízení. Plasty patří mezi velmi dobrou obchodovatelnou komoditou a na vývoji

poptávky v rámci mezinárodních trhů jsou závislé jejich zpracovatelské kapacity. (MPO ©2019a)

Účelem aktualizace politiky je nadále pokračovat ke zvyšování procenta surovin zpětně navracených do hospodářství ČR co se týče celkové spotřeby surovin v České republice. Na základě statistiky vypracované Eurostatem sice vzrostla návratnost v období mezi lety 2014 až 2016 z 6,9 % na 7,6 %, ale ve srovnání s evropským průměrem, který je 11,7 %, je to nedostačující výsledek. (MPO ©2019b)

Využití plastů po ukončení jejich životnosti je ztížené velkým množstvím modifikovaných typů v rámci jednotlivých výrobků z primárních plastů, kompaundů (přídavek aditiv a změkčovadel, retardérů hoření, barviv, nadouvadel, plniv a dalších) a zpracovatelů (kombinace různých plastů koextruzí, např. až 11 vrstev různých plastů). Odhaduje se existence více než 1 000 různých druhů modifikovaných plastů. (MPO ©2019a)

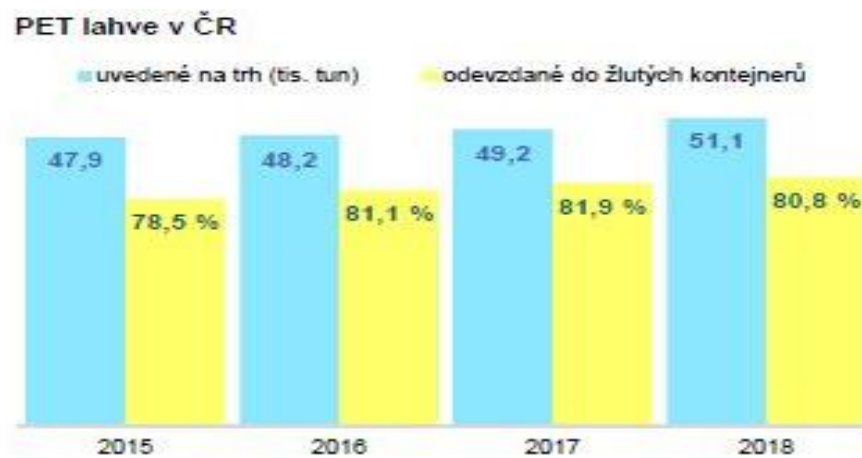
## 5.2 Nakládání s odpadem v Evropské unii

Jsme více než 7,5 miliardy lidí na naší planetě a každý den produkujeme odpad. Neustálé rozšiřování populace znamená rostoucí produkci odpadu, a přestože se nakládání s odpady v EU stále zlepšuje, mnoho odhadů nám říká, že polovina tohoto odpadu není shromažďována, zpracovávána nebo bezpečně likvidována. Proto tvůrci politik potřebují konzistentní a užitečné nástroje pro měření a sledování nakládání s odpady. Výzvu tvoří dva různé aspekty: udržitelná spotřeba a chytřejší nakládání s odpady. Aby bylo možné naplánovat koordinační opatření prostřednictvím zemí EU, je zapotřebí spolehlivé opatření „dobrého“ nakládání s odpady. Je důležité najít vztahy mezi dimenzemi a zjevnými proměnnými, aby bylo možné syntetizovat informace a reagovat na chování každé země při dosahování prioritních cílů stanovených Evropou, snižování produkce odpadu a maximalizace recyklace a opětovného použití. Identifikace těchto vztahů by mohla být zásadní pro pochopení toho, kam by se každá země měla zaměřit na své akce a jaké dopady by každá akce mohla mít. (Cavicchia et al. 2020)

Budoucnost odpadů: Cíle EU		
Odpady	Obaly	Plastové výrobky na jedno použití
Míra recyklace komunálního odpadu 2025 - 55 % 2030 - 60 % 2035 - 65 %	Míra recyklace obalových odpadů 2025                      2030 65 %   všechny obaly   70 % 75 %   Papír a lepenka   85 % 70 %   Železo               80 % 50 %   Hliník                 60 % 70 %   Sklo                     75 % 50 %   Plast                     55 % 25 %   Dřevo                     30 %	Tříděný sběr plastových nápojových lahví na jedno použití (PET lahve) 2025 - 77 % 2029 - 90 % víška mají být spojena s lahví
Skládkování komunálního odpadu 2035 - max. 10 %		Obsah recyklátu v plastových nápojových lahvích 2025 - 25 % PET lahve 2030 - 30 % všechny plastové nápojové lahve

Obrázek č. 7: Cíle EU (MŽP ©2018, EKO-KOM 2018, EVROPSKÁ KOMISE 2018)

Česká republika už dnes plní cíle stanovené pro rok 2025 na 77 % ohledně zpětného odběru PET lahví. Na základě údajů společnosti EKO-KOM v roce 2018 bylo vytříděno v ČR až 81 % PET lahví, které byly na trh uvedené. (Hrtúsová, Novák 2020)



Graf č.2: PET lahve v ČR (EKO-KOM, E15)

V Evropské unii je nakládání s odpady, tj. Sběr, přeprava, využití a odstraňování odpadu zdůrazněno jako klíčové opatření k dosažení oběhového hospodářství. V této souvislosti je využití definováno jako jakákoli operace, jejímž hlavním výsledkem je odpad sloužící užitečnému účelu nahrazením jiných materiálů, zatímco recyklace je definována jako jakákoli operace využití, kterou odpadní materiály se přepracovávají na výrobky, materiály nebo látky kromě energetického

využití. EU definuje hierarchické pořadí nakládání s odpady, tj. přípravu k opětovnému použití, recyklaci, další využití (např. Energetické využití) a likvidaci. Recyklace a využití odpadu je podporováno před zneškodňováním stanovením kvót pro recyklaci a využití pro konkrétní toky odpadu. (Sommer, Walther 2020)

### **5.2.1 Právní rámec pro nakládání s odpady v Evropské unii**

Plastovým odpadem se zabývá směrnice č. 98/2008/ES, o odpadech. Tahle směrnice o odpadech č. 98/2008/ES byla uzákoněná 19. listopadu 2008 Evropským parlamentem a Radou. Je to rozsáhlý dokument obsahující množství ustanovení, které řeší určité problémy odpadového hospodářství z jiného pohledu. Stanovuje podmínky, jako např. za kterých odpad přestává být odpadem nebo, kdy je spalování možné považovat za energetické využití. V 11 článku směrnice se věnuje otázce recyklace a jsou stanovené pro recyklace plastů cíle pro členské státy pro dosažení minimálního podílu (Váňa et al. 2009). Tenhle cíl se nevztahuje jenom na odpad z domácnosti, ale také se týká i plastového odpadu (EUROPEAN COMMISSION 2016).

Základem směrnice bylo také vytvořit hierarchii nakládání s odpady, která obsahuje body uvedené níže:

- předcházení vzniku
- příprava k opětovného využití
- recyklace
- jiné využití, např. energetické využití
- odstranění

Ke snížení ekologické stopy plastů a úniku plastů do životního prostředí bylo vyvinuto několik mezinárodních směrnic, národních a místních/regionálních iniciativ. Iniciativy zahrnují poplatky, ekologické daně nebo přímé legislativní zákazy určitých plastů na jedno použití (SUP) (např. zákaz plastových tašek a mikrokuliček). Nedávná pandemie COVID-19 (těžký akutní respirační syndrom způsobený novou epidemií - SARS-CoV-2) však rychle postupovala a preventivní opatření prováděná za účelem kontroly a zmírnění její vysoké přenositelnosti zahrnovala náhlý nárůst poptávky a spotřeby plastových výrobků širokou veřejností, zdravotnickými pracovníky a pracovníky služeb. S upřednostňováním lidského zdraví

před zdravím pro životní prostředí byly politiky snižování plastů a strategie nakládání s plastovým odpadem v poslední době obráceny nebo dočasně odloženy. (Silva A.L.P. et al. 2020)

Správa plastů, konkrétně správa plastových obalů, představuje jedno z hlavních odvětví odpovědných za dopady na životní prostředí a zdraví. Evropská komise v roce 2018 vydala strategii pro plasty v oběhovém hospodářství a novou směrnici o odpadu z obalů, aby uzavřela smyčku tohoto systému řízení a donutila členské státy recyklovat 55 % plastových obalů do roku 2030. Úroveň oběhového hospodářství v dodavatelský řetězec lze měřit pomocí analýzy toku materiálu, což je užitečný nástroj, který pomáhá tvůrcům politik předvídat recyklační schopnosti a poskytuje návrhy na zlepšení udržitelnosti správy plastových obalů. (Lombardi et al. 2020)

Novely směrnic Evropského parlamentu a Rady (EU) v roce 2018:

- **Směrnice Evropského parlamentu a Rady (EU) 2018/850 ze dne 30. května 2018 kterou se mění směrnice 1999/31/ES o skládkách odpadů**

Cílem této směrnice je snížení veškerého skládkovaného odpadů od roku 2030, který je možné recyklovat nebo k použití na energetickému využití. Směrnice klade důraz na hierarchii nakládání s odpady, hlavním krokem je přechod postupně „**k prevenci, včetně opětovného použití, přípravě k opětovnému použití a recyklaci**“ a zabránění „**rozvoji nadbytečných kapacit zařízení pro zpracování zbytkových odpadů například cestou energetického využití...**“. K energetickému využití by měli v souladu nakládání s odpady směřovat výhradně odpad, který je po vytrídění materiálově využitelných složek.

- **Směrnice Evropského parlamentu a Rady (EU) 2018/851 z 30. května 2018, kterou se mění směrnice 2008/98/ES o odpadech**

Podle tyhle směrnice se materiálové využití chápe „**jakýkoli způsob využití jiný než energetické využití a přepracování na materiály, které mají být použity jako palivo nebo jiné prostředky k výrobě energie. Zahrnuje mimo jiné přípravu k opětovnému použití, recyklaci a zasypávání**“.

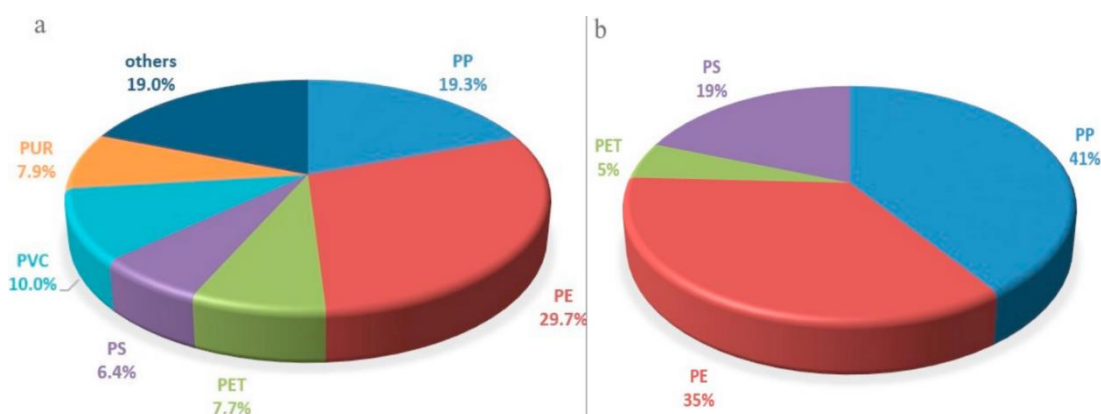
- **Směrnice Evropského parlamentu a Rady (EU) 2018/852 ze dne 30. května 2018, kterou se mění směrnice 94/62/ES**



Táto směrnice upravuje znění směrnice 94/62/ES o obalech a obalových odpadech. Stanovuje cíle, které jsou potřebné pro dodržení určité míře recyklace obalových odpadů jednotlivých druhů. Taktéž jsou stanovené i cíle pro recyklaci veškerých odpadů z obalů: 65 % do prosince 2025 a 70 % do prosince 2030.

### 5.3 Možnosti technologického zpracování

Výsledkem rozvoje průmyslu je nejen mnoho produktů pro lidskou činnost, ale také velké množství odpadů pro životní prostředí, protože použité výrobky jsou vypouštěny po lidské činnosti. Poptávka po plastech stále roste díky vynikajícím výhodám plastů, jako jsou pohodlí, trvanlivost, odolnost proti erozi, snadnost zpracování a nízké náklady. Přibližně 60 % plastů vstupuje do životního prostředí jako plastový odpad. Poptávka po plastu zahrnuje hlavně polyethylen (PE), polypropylen (PP), polyvinylchlorid (PVC), polyethylen tereftalát (PET), polyurethan (PUR) a polystyren (PS), jak je znázorněno na grafu 3a. Odpovídajícím způsobem vzniklý plastový odpad také pochází z výše uvedených hlavních plastových produktů. Například obalový průmysl spotřebovává nejvyšší podíl vyrobených plastů a je hlavním zdrojem plastového odpadu z důvodu rozšířeného používání jednorázových produktů. NPW vypouštěné z oblasti balení zahrnují hlavně PP, PE, PS a PET, jak je znázorněno na grafu 3b. (Zhang F. et al. 2020)




Graf č.3: a) Podíl poptávky po různých typech plastů (Zdroj: PlasticEurope 2019),  
 b) Hlavní složení odpadu z plastových obalů (Zdroj: Colantonio et al. 2019)

### 5.3.1 Analýza životního cyklu pro vybrané druhy plastů PET a PS

Hodnocení životního cyklu (LCA) bylo za poslední tři desetiletí významně vylepšeno, takže se stalo systematictější a robustnější jak pro identifikaci, tak pro kvantifikaci potenciálních dopadů na životní prostředí spojených s životním cyklem produktu. V současné době se LCA používá pro výběr, návrh a optimalizaci produktu/procesu a lze jej spojit se simulačními technikami a návrhovými nástroji, které společně pomohou plně si uvědomit environmentální důsledky, které mají jejich akce na místě i mimo něj. Tento aspekt přispívá k tomu, že se z něj stává neocenitelný nástroj pro podporu rozhodování pro zúčastněné strany, jako jsou výzkumní pracovníci, výrobci, tvůrci politik a vlastníci společností. (Ingrao et al. 2017)

„Recyklovatelnost“ jakéhokoli materiálu, včetně plastů, závisí na řadě klíčových faktorů. Nejprve materiál musí být oddělitelný nebo schopný třídění od jiných odpadů nebo recyklovatelných materiálů. Za druhé, akumulace efektivně sběratelských a přenosných objemů je také klíčem k „recyklovatelnosti“. A za třetí, materiály musí mít proveditelné konečné použití v jiném produktu nebo aplikaci. Obecně platí, že nejlépe se používají ty aplikace, kde se materiál přemění zpět na stejný produkt- tj. plastová láhev se vrací do lahví. Alternativně lze materiály změnit na zcela různé použití. Mnoho plastů se ubírá touto cestou a plasty na jedno použití se recyklují na trvanlivé výrobky, jako jsou plastové lahve do koberců nebo plastové sáčky do plastového řeziva. (Cornell 2007) V tabulce č.8 je uvedena analýza charakteristik dvou vybraných plastů.

Kódy pryskyřice	Popis	Typické produkty	Zdraví a životní prostředí
	Polyethelen tereftalát (PET, PETE) Čirá, tuhá a silná bariéra proti vlhkosti.	Láhve na pití, dózy na jídlo, obaly na jídlo udržující jejich teplo, textil a filmy.	Relativně bezpečné pro použití spotřebitele, ale PET nádoby mohou vyluhovat toxiny do kapalného obsahu, pokud jsou nádoby horké, staré nebo vystavené slunci. Malé z těchto toxinů mohou způsobovat bolesti hlavy a závratě. Výroba PET pryskyřice generuje toxické emise do ovzduší ve formě niklu,

			ethylbenzenu, ethylenoxidu a benzenu.
	Polystyren (PS) může být tuhý nebo pěnový (expandovaný polystyren (EPS) nebo polystyren), čirý, tvrdý, křehký, nízká teplota tání, silná odolnost proti vlhkosti, nízká tepelná vodivost. S kombinací s gumou je to vysoce odolný polystyren (HIPS).	Využívá se pro výrobky na potraviny, jako jsou poháre, talíře, příbory a ochranní obaly. Další využití je stavební izolace, věšáky, zdravotnické výrobky, hračky, atd.	Zkusit se vyhnout. Expandovaný polystyren (polystyren) představuje extrémní problémy s likvidací a často uniká jako smetí do živ. prostředí, kde je působení větru, slunce a vln, díky něm degraduje na známé a podezřelé karcinogeny, včetně styrenového monomeru, styrenového dimeru a styrenového trimeru.

Tabulka č.8: Charakteristika plastových dvou pryskyřic PET a PS (Zdroj: World Centric 2020)

Podle Agentury pro ŽP množství tuhého komunálního odpadu produkovaného neustále roste. V roce 2010 vyprodukovaly Spojené státy 250 milionů tun odpadu, což odpovídá kolem 4 kg pevného odpadu za den na osobu. Většina vytvářeného odpadu pochází z obytných oblastí, ale 35–45 % vytvářeného odpadu pochází z komerčních institucí. Výhody recyklace pro životní prostředí jsou četné. Bylo prokázáno, že recyklace přispívá k čistšímu ovzduší, vodě a půdě. S dalšími znalostmi o škodlivých účincích skládek a rostoucím obavám z nedostatku prostoru na skládkách vzrostla poptávka po komerčních institucích, aby začleňovaly programy snižování a recyklace odpadu. Recyklační program je úspěšný, pouze pokud může iniciovat individuální účast. (Andrews et al. 2012)

U obalového materiálu, který se recykluje na konci životnosti, se jedná o směs recyklace v uzavřené a otevřené smyčce vhodné pro každý obal aplikace a / nebo materiál. Rozšíření systému je přístup používaný k zabránění přidělení v systému tyto analýzy. V rámci přístupu rozšiřování systému jsou to typy a množství materiálů, které jsou přemístěny pomocí zpětně získaného spotřebního materiálu, určují typy a množství vyloučených kreditů na výrobu environmentálního materiálu. Pokud se jedná o recyklaci na konci životnosti, rychlost je vyšší než recyklovaný obsah produktu, systém je čistý výrobní materiál, takže systém obdrží kredit otevřené smyčky za to, že se vyhne produkci panenského materiálu ekvivalentní množství recyklace na konci životnosti, která převyšuje recyklovaný obsah systému. Naopak,

pokud je míra recyklace na konci životnosti nižší než recyklovaný obsah výrobků, pak je systém čistého spotřebitelného materiálu a je zatížen břemeny pro výroba materiálu potřebného k vyrovnání schodku. (Franklin Associates 2018)

Ve stejné kategorii recyklace a technologii ve vstupních parametrech (jako je spotřeba energie, výsledky produktu a emise) mohou existovat velké rozdíly. Data pro recyklační technologie se proto mohou odchýlit, i když se jedná o stejnou technologii, například na úrovni závodu. V této studii jsou popsány recyklační technologie zobrazením široké variace možné v samotné technologii. Některé vybrané technologie jsou navíc inovativní a v tržním měřítku se dosud nepoužívají. Úroveň rozvoje recyklačních technologií je definována na stupnici Technology Readiness Level (TRL). Zde je rozdělena do tří úrovní: nízká (1–4), střední (5–7) a vysoká (8–9). Následující recyklační technologie jsou vybírány děleny podle kategorie hierarchie recyklace v tabulce č.9 uvedené níže. (Schwarz et al. 2020)

Druhy recyklace		Postup při recyklaci
Primární recyklace	Mechanická recyklace v uzavřené smyčce (TRL: vysoká)	Tato forma mechanické recyklace zohledňuje mechanickou recyklaci čistých plastů. Plasty, které nejsou míseny s jinými rušivými materiály nebo polymery, lze recyklovat v uzavřené smyčce.
	Rozpouštění polymerů dvěma rozpouštědly (TRL: nízké)	Tato technologie fyzické recyklace připomíná rozpouštění superkritickým rozpouštědlem (rozpouštědly). Polymer je rozpuštěn specifickým rozpouštědlem a vyčištěn od potenciální kontaminace pomocí kosolventu k oddělení polymeru a získání použitého rozpouštědla. Polymer je získán a regranulován. Rozpouštědla se liší podle polymeru a některé technologie rozpouštění nepoužívají k získání polymeru spolurozpouštědla. V tuto chvíli ještě není u všech polymerů realizována recyklace prostřednictvím rozpouštění. V modelu se předpokládá, že všechny polymery mohou být ošetřeny rozpouštěním.
Sekundární recyklace	Mechanická recyklace v otevřené smyčce (TRL: vysoká)	Když jsou polymery odpadního plastu shromažďovány ve směsných proudech odpadu, obsahuje značné množství kontaminace. To může být způsobeno jinými materiály nebo polymery v důsledku složitých produktů, znečištěním z fáze používání nebo přísadami, jako jsou barvy. Po sekundární recyklaci se tedy získá (smíšený) recyklát s nižšími materiálovými vlastnostmi (kvalitou) než panenský produkt. Tento recyklovaný produkt nemůže nahradit původní produkty.

Terciární recyklace	Zplyňování na výchozí produkty (TRL: vysoké)	Tato chemická recyklační technologie připomíná vysokoteplotní zplyňování. Pro tuto technologii se polymer používá jako palivo odvozené z odpadu a transformuje se ve zplynovači na syntézu s molárním poměrem $H_2 / CO_2$ : 1. Množství syntézního plynu a související emise $CO_2$ závislosti na typu polymeru.
	Pyrolýza na výchozí produkty (TRL: vysoká)	Pro tuto technologii chemické recyklace se polymer používá jako palivo odvozené z odpadu a přeměňuje se na pyrolýzní olej, který se považuje za ekvivalent nafty. Energetický obsah nafty závisí na výhřevnosti polymeru.
	Pyrolýza na voskové produkty (TRL: vysoká)	Pro tuto technologii chemické recyklace se polymer používá k získání středně dlouhých uhlovodíkových řetězců ( $C_{10} - C_{14}$ ) k nahrazení parafinových vosků, které lze případně použít také k nahrazení mazacích olejů.
	Termochemická recyklace na monomery prostřednictvím zplyňování (TRL: střední)	Polymery se zplyňují při střední až vysoké teplotě a získává se plyn se směsí chemikálií, včetně BTX, monomerů a krátkých molekul uhlíku ( $C_2 - C_5$ ). Výstup lze použít k výrobě nových polymerů. Vytvořené chemikálie silně závisí na polymeru. Důležitým požadavkem na regeneraci monomeru je separace produktu.
	Termochemická recyklace na monomery pyrolýzou (TRL: střední)	Polymer se pyrolyzuje při střední teplotě a získá se olej se směsí chemikálií, které zahrnují monomery, BTX a kratší molekuly uhlíku. Ty mohou být potenciálně znovu použity pro výrobu nových polymerů a vytvářené chemikálie silně závisí na polymeru. Důležitým požadavkem na regeneraci monomeru je separace zbývajících oleje.
	Depolymerizace pomocí glykolýzy (TRL: médium)	Díky této technologii chemické recyklace se přidává ethylenglykol ke konkrétním polymerům (PET, Nylon 6) v přítomnosti katalyzátoru, polymer se depolymerizuje na své stavební bloky, které lze znovu použít při výrobě nových polymerů.
	Hydrolyza s vodou pro specifické biopolymery (TRL: nízká)	U specifických biopolymerů (v tomto případě PLA) může být polymer rozpuštěn ve vodě, když je zahřát a rozložen na stavební bloky monomeru. Tyto monomery lze znovu použít při výrobě nových polymerů.
Kvartérní recyklace	Spalování pro energetické využití (TRL: vysoké)	Polymer je spalován, ale uvolněná energie je zachycena a může nahradit teplo a elektřinu. Množství tepla a energie závisí na výhřevnosti (energetickém obsahu) polymeru a konfiguraci zařízení na výrobu energie z odpadu.

Tabulka č. 9: Recyklační technologie podle kategorie hierarchie recyklace (Schwarz et al. 2020)

Ve srovnání s jinými materiály, jako je sklo a kov, vyžadují polymery větší zpracování k recyklaci. Každý typ se taví při různých teplotách a má jiné vlastnosti, takže opatrní oddělení může být zásadní. Většina plastů není navzájem vysoce kompatibilní, a přitom bylo prokázáno, že některé smíšené aplikace zachycují obvykle

mnohem méně hodnoty než panenský plast. Existují metody a technologie pro třídění a oddělování mnoha druhů plastů má mnoho použití pro mnoho druhů plastů. Druhá etapa recyklovatelnosti – vytvoření efektivní sběrné a dopravní infrastruktury – je pravděpodobně nejtěžší faktor při určování, který plast se recykluje. Akumulace adekvátního množství některých druhů plastů může být velmi problematická. Například kelímky z polystyrenové pěny a nádobí jsou převládajícími druhy plastů, ale jsou velmi obtížné efektivně shromažďovat a přepravovat díky své velmi rozptýlené generaci a nízké hmotnosti objemový poměr. (Cornell 2008)

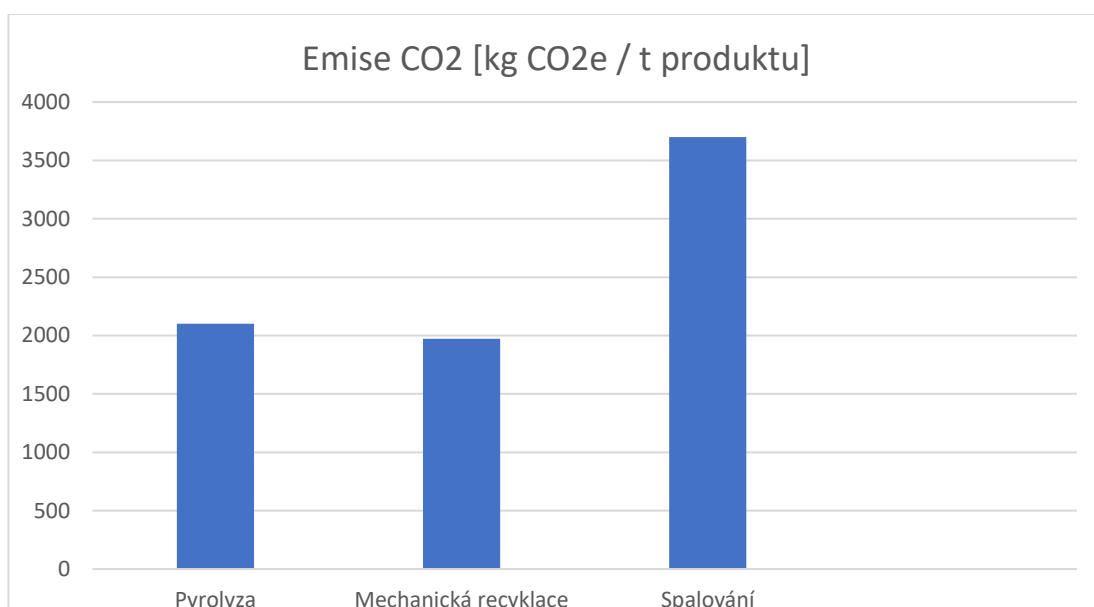
Aby se u plastu dosáhla udržitelnost v oběhu co nejdéle je potřeba ho v něm uchovat. Základem je hlavně recyklovatelnost. Aby došlo k maximalizaci, neustále dochází nových variant. Kromě mechanické recyklace, funkční i chemická recyklace.



Obrázek č. 8: Materiální toky pro obaly vyrobené z plastu (Udržitelnýobal 2020)

V současné době se formuje největší jednoproudový plast z domácností, který je obtížné recyklovat PET zásobníky. Toto je souhrnný název pro PET obaly jiné než lahve a baňky, jako jsou mísy, šálky a škeble. Tento proud je obtížné recyklovat běžnými (mechanické) recyklačními techniky. Vznikají z několika důvodů. Při drcení PET zásobníků často dochází ke ztrátě malých částí, které mohou být v různých vrstvách PET a zásobnicích je obtížné oddělit a při recyklaci nelze rozlišovat mezi zásobníky PET pro potraviny a zásobníky pro nepotravinářské účely. Také EPS obsahující brom (jedná

se o polystyren se stavebnictví) je obtížné recyklovat mechanickou recyklací, a proto je další variantou chemická recyklace. (Broeren et al. 2019) Výroba plastů pomocí chemických látek recyklace (pyrolýza), mechanické recyklace směsného plastového odpadu a spalování má za následek produkci CO<sub>2</sub>, kterého srovnání vidíme v grafu č. 4. LCA studie společnosti BASF zjistila, že pyrolýza směsného plastového odpadu produkuje o 50 % méně CO<sub>2</sub> než spalování směsného plastového odpadu. Výroba produktů s chemickou recyklací suroviny a s mechanicky recyklovanou surovinou výrazně produkuje méně CO<sub>2</sub> než panenské fosilní produkty, které jsou spálené. Zvážit různé vlastnosti produktu pro chemickou a mechanickou recyklaci, vzorec kruhové stopy byl aplikován: S chemickou recyklací kvality originálního produktu (faktor kvality = 1) lze dosáhnout. Výsledkem mechanické recyklace směsného plastového odpadu je kvalita, která není čistá. Podle ekonomických hledisek faktor kvality se používá 0,5. U pyrolýzy je výtěžek 70 %, ztráty materiálu pro mechanickou recyklaci je až 55 %. Výsledek je, že chemicky recyklované plasty produkují méně emisí CO<sub>2</sub>, než plasty vyrobené z primárních fosilních zdrojů. (BASF 2020)

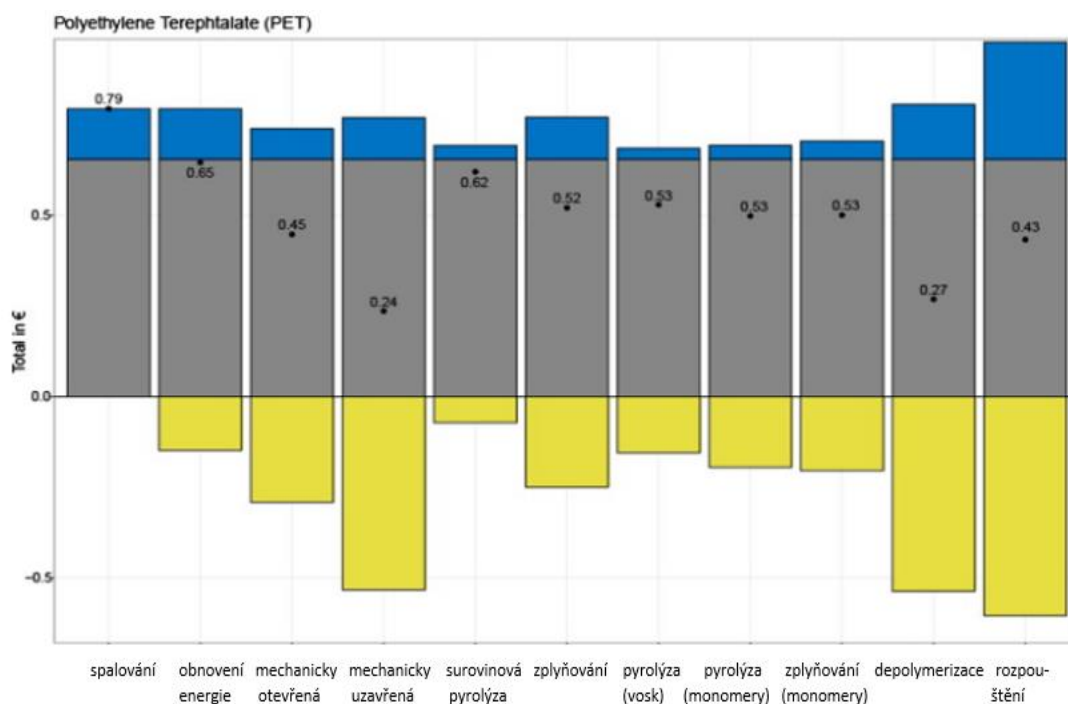


Graf č.4: Výroba a zpracování na konci životnosti 1 t vybraných plastů (BASF 2020)

Výroba a zpracování na konci životnosti 1 t plastů pyrolýzou vypustí 2 100 kg CO<sub>2</sub>, vzhledem k tomu, že produkce a zpracování na konci životnosti 1 t plastů pomocí

mechanické recyklace vyprodukuje 1 973 kg CO<sub>2</sub>. Výroba a spalování 1 t plastů vypouští 3 700 kg CO<sub>2</sub>.

Celkový dopad na životní prostředí při recyklaci PET je uveden ve grafu č.5 (na kg) s vybranými recyklačními technologiemi, seřazený od vysoké úrovně TRL (vlevo) po nízkou hladinu TRL (vpravo). Analýza zahrnovala výrobu polymerních granulátů, recyklační zpracování a recyklační kredity, které jsou zobrazeny jako záporné hodnoty.



Graf č.5: Celkový dopad na životní prostředí při recyklaci PET (Schwarz et al. 2020)

Pouze u kvartérních recyklačních technologií (spalování a energetické využití) je dopad recyklačního zpracování o něco vyšší než pozitivní dopad vyloučených produktů na životní prostředí (teplo a elektřina). Dopad recyklace na životní prostředí se celkově do určité míry liší (u PET mezi 0,04–0,38 EUR za kg nebo 6 % až 58 % dopadu výroby polymerů), zatímco rozsah pro materiály, kterým se lze vyhnout (modelované jako záporné hodnoty), je větší (pro PET mezi 0–0,58 EUR nebo 0 % až 89 % dopadu výroby polymerů). Kvalita a množství vyloučených materiálů nebo surovin proto nejvíce ovlivňují dopad na životní prostředí, a proto je kompromis mezi dopadem ošetření a vyloučenými produkty na životní prostředí pozitivní. To znamená, že u PET se zvyšuje intenzita léčby (např energie) je pro životní prostředí



prospěšné, když se zvyšuje kvalita a množství výstupních produktů. Příkladem je rozpouštění a mechanická recyklace (uzavřená smyčka), s velkým dopadem na zpracování, ale také s vysokou hodnotou pro produkty, kterým se produkt vyhýbá. Recyklace otevřené smyčky má nižší výhody díky použitému faktoru kvality. (Schwarz et al. 2020). Tabulka č. 10 porovnává recyklovatelnost a recyklaci platů PET a PS.

Druh pryskyřice	Rozdíly v recyklovatelnosti a recyklaci běžných spotřebitelských plastových pryskyřic
PET (1)	PET lahve mají prokázáno, že mají vysokou recyklovatelnost a jsou přijímány většinou recyklací a recyklačními programy. Růst recyklace lahví usnadnil vývoj zpracování technologií, které zvyšují čistotu produktu a snižují provozní náklady. Recyklovaný PET má mnoho využití a dobře zavedené trhy. Také hromadění velkého množství prostřednictvím programů hromadného sběru pomohla infrastruktuře rozvíjet přesun materiálu efektivně na trhy.
PS (6)	Polystyren se nachází v široké škále jiných spotřebních výrobků než lahve. Ve své rozšířené formě (EPS) je široce uznáván v produktech jako jednorázové kávové šálky a potravinová věčka. PS je recyklovatelný v některých celostátních programech, ale žádný program je neshromažďuje a většina zařízení sponzorovaných průmyslem na recyklaci polystyrenu už neexistuje. Podle odhadů kalifornského ministerstva of Conversation náklady na recyklaci PS činí 3 000 USD za tunu. To znamená, že PS má velmi vysokou záporní hodnotu odpadů. Hlavní překážkou recyklace polystyrénu je jeho hmotnost a rozptýlená generace, která zatěžuje a ztěžuje přepravu a poptávku po PS nekontaminovaný potravinami.

Tabulka č.10: Rozdíly v recyklovatelnosti a recyklaci běžných spotřebitelských plastových pryskyřic (Cornell 2008)

Výběr způsobu recyklace plastového odpadu obvykle závisí na faktorech, jako je umístění, typ polymeru, typ produktu, způsob sběru, přítomnost nečistot, požadovaná kvalita produktu a ceny surovin nabízené společnostmi, které odpad třídí nebo recyklují. Export recyklovatelných materiálů je v Evropě běžný, protože průmysl recyklace plastů je charakterizován velkým počtem subjektů, z nichž každý vykonává určitou roli v recyklačním řetězci a je spojen s velmi nestálými tržními dohodami, které závisí na „kdo nabízí více „Stejně jako cena panenských materiálů. Hlavními evropskými dovozci plastového odpadu jsou Německo, Nizozemsko a Itálie. Ačkoli mezinárodní trh s recyklovatelnými látkami může podporovat větší recyklaci, mezinárodní výměna recyklovatelných materiálů může také snížit transparentnost a

sledovatelnost odpadních materiálů, a tím ztěžovat účtování dopadů na životní prostředí a celkových nákladů na správu. (Faraca et al. 2019)

Při výrobě plastů se běžně používá několik přísad, například minerální plniva, plastifikátory, zpomalovače hoření, modifikátory nárazu, výztužné látky, tepelné stabilizátory a barviva. Podle posledně jmenovaného aditiva tvoří asi 10% hmotnosti plastů v průměru, což je potenciálně relevantní pro posuzování vlivů na životní prostředí. Množství a konkrétní látky používané jako přísady jsou však zřídka odhaleno, což představuje nejistotu. Pro plasty na bázi škrobu, se používají přísady jako kompatibilizéry, plastifikátory, pomocné látky a plniva. Na základě celkového využití přísad a celkové produkce plastů v roce 2005, která činila přibližně 22 a 225 milionů tun se obvykle přidávají, aby se dosáhlo příznivé rovnováhy mezi technickými vlastnostmi, zpracovatelností a náklady. Mohou představovat asi jednu třetinu hmotnosti škrobových plastů a mohly by tak silně ovlivnit celkově vliv na životní prostředí. (Nessi et al. 2018) Analýza procesu pro výrobu PET a PS je provedená v tabulce č.11.

Proces	Analýza výroby PET a PS
Vytlačování filmu a archů	Plastová fólie se vyrábí vytlačováním pryskyřice následovaným taháním a ochlazováním fólie. Vytlačování plastů je výrobní proces, při kterém se surový plastový materiál taví a formován do souvislého profilu. Při vytlačování plastů je pryskyřice gravitačně napájená z horní násypky do válce extruderu. Materiál vstupuje krmivem hrdla a přijde do styku se šroubem. Otočný šroub (otáčením v přibližně 120 otáček za minutu) tlačí pryskyřici do zahřátého válce. Roztavený plast opouští za šroubením a projede sítím, které odstraní nečistoty. Roztavený plast je potom protlačen prstencovou štěrbinovou maticí, obvykle svisle, za vzniku tenkostěnné trubice. Vzduch je foukán otvorem ve středu matrice, aby se vyhodila trubka do vzduchu. Vysokorychlostní vzduchový kroužek je na horní části matrice a fouká na horký film, aby se ochladil. Trubka s filmem poté pokračuje směrem nahoru za stálého ochlazování, dokud neprojde skrz svěrné válce, kde je trubka zploštělá. Okraje trubice jsou rozříznuty, aby se vytvořily dva ploché filmové listy. Film se poté navine na kotouče.
Vyfukování	Duté plastové díly se vyrábějí procesem zvaným vyfukování. Tavený plast je extrudován do duté trubice (předlisek) a zachycen uzavřením do chlazené kovové formy. Nízkotlaký vzduch (typicky 25 až 150 psi) je vyfukován do předlisku a nafoukne do něj tvar požadované nádoby. Jakmile plast vychladne, lze formu otevřít a část se vysunout.

<b>Vstřikovací vyfukování do formy</b>	<p>Prvním krokem v procesu vstřikování vyfukováním do formy (ISBM) je výroba a předlisek pomocí procesu vstřikování (viz Vstřikování). Předlisek je vyroben plně tvarovaného hrdla láhve / sklenice s připojenou silnou trubicí polymeru, který nakonec tvoří tělo. Předlisek se zahřeje nad teplotu skelného přechodu a natáhne se mechanicky s jádrovou tyčí. Nejprve je zaveden nízkotlaký vzduch, který vyfoukne bublinu. Po napínací tyč je plně vysunuta, vysokotlaký vzduch fouká expandovanou plastovou bublinu tvar vyfukovací formy. K výrobě se běžně používá vstřikovací vyfukování polyethylentereftalátové (PET) lahve na nápoje, protože polymer je zesílen, když protáhl, což mu umožnilo udržet svůj tvar pod tlaky, např. vytvořené oxidem uhličitým u nápojů.</p>
<b>Tvarování za tepla</b>	<p>Stejně jako vstřikování je i tvarování za tepla hlavní výrobní technikou pro rychlé vytváření velkého množství plastových předmětů. Tato technika je poměrně jednoduchá a dobře stanovená. List extrudovaného plastu se přivádí, obvykle na roli nebo z extruderu do vyhřívané komory, kde je změkčen plast. List se poté upne na negativ plísně ve změkčeném stavu a poté dojde k ochlazení. Razník uvolní plastové formy a eliminuje pásy, které lze recyklovat zpět do procesu. Tenký plech nebo fólie se používá při tvarování za tepla k výrobě jednorázových / recyklovatelných potravin, lékařských a obecných maloobchodní produkty, jako jsou nádoby, šálky, víčka a podnosy. Tlustý plech je zvyklý vyrábět větší, obvykle trvalejší předměty, jako jsou plastové palety, postele nákladních automobilů a lázně.</p>
<b>Vstřikování</b>	<p>Vstřikování plastů je jednou z hlavních výrobních technik pro rychlé vytváření velkých objemů množství plastových předmětů od jednorázových nádob na potraviny až po vysokou přesnost pro technické komponenty. Pro tento výrobní proces je plast přiváděn rotujícím šroubem pod vysokým tlakem do formy, která má inverzní tvar požadovaného tvaru produktu. Poté roztavený plast tuhne, když přijde do styku s ochlazenou stěnou formy, následně se forma otevře a hotový díl se vysune, čímž se dokončí cyklus.</p>

Tabulka č.11: Analýza procesů pro technologické procesy (Franklin Associates 2018)

Obecně lze rozlišovat mezi: a) hlavním produktem na konci životnosti v rozsahu, jakmile má dosáhla konce své životnosti a byla uživatelem vyřazena, a b) konec životnosti toků odpadu generované v různých fázích životního cyklu (tj. během výroby, distribuce, maloobchodu a fáze používání hlavního produktu). Konec životnosti toků odpadu vznikajících ve fázi výroby, distribuce, maloobchodu a používání musí být zahrnuty do celkového modelování životního cyklu produktu. Celkově by mělo být modelováno a hlášeno ve fázi životního cyklu, kdy dochází k odpadu. Například konec životnosti vzniklých odpadů během výroby by měly být modelovány a vykazovány ve fázi životního cyklu výroby. Konec života do

modelování se zahrne také ztráta produktu a připíše se fázi životního cyklu, kde nastal. Fáze Konec životnosti je fáze životního cyklu, která obecně zahrnuje odpad z produktu v rozsahu (např. potravinový odpad), produkt ponechaný na konci jeho používání, a primární obal produktu. Všechny toky odpadu vznikající z procesů zahrnutých do hranice systému (patří k oběma výše uvedeným kategoriím). To znamená, že odpad proudící sám o sobě nepředstavují emise do životního prostředí, zatímco emise a spotřeba zdrojů vyplývající z jejich správy na konci životnosti má vliv na proces životního cyklu. (Nessi et al. 2018) Například společnost Coca-Cola ve Švédsku má v plánu přejít k opětovnému použití obalů co se PET lahví týče. Jejím cílem je nahradit klasické PET lahve za 100 % recyklované PET lahve a tím uzavře smyčku a prodlouží životnost materiálů. (Rhein, Strater 2021)

Prodlouženou životnost produktu lze z důvodu opětovného použití nebo renovace produktu rozdělit do dvou situací, které jsou popsány v tabulce č.12.

Možnosti opětovného použití	
1. Opětovné použití / renovace na produkt s originálními specifikacemi produktu	(za předpokladu, že jsou stejné funkce) Životnost produktu prodlouží na produkt s originálními specifikacemi produktu (za předpokladu stejná funkce) a budou zahrnuty do FU a referenčního toku. Odborník popíše, jaké opětovné použití nebo renovace bude zahrnuto do výpočtů referenčního toku a modelu celého životního cyklu, přičemž zohlednit „jak dlouho“ FU.
2. Opětovné použití / renovace na produkt s různými specifikacemi produktu	(za předpokladu jiné funkce) Opětovné použití / renovace produktu k produktu s jiným produktem specifikace (poskytující další funkci).

Tabulka č.12: Možnosti opětovného použití (Nessi et al. 2018)

Míra opětovného použití je počet použití materiálu ve výrobě. Často se tomu také říká výletní sazby, opětovné použití čas nebo počet otáček. To může být vyjádřeno jako absolutní počet opětovného použití nebo jako % míry opětovného použití. Počet zde použitých opětovných použití se týká celkového počtu použití

během životnosti materiálu. To zahrnuje jak první použití, tak všechna následující opětovná použití. Počet opakovaných použití materiálu ovlivňuje environmentální profil produktu v různé dobu životnosti fáze cyklu. (Nessi et al. 2018) Následujících 5 kroků vysvětluje, jak budou vypadat různé fáze životního cyklu s opakovaně použitelnými materiály jako příklad je použito balení, které jsou uvedené v tabulce č. 13.

Fáze cyklu	
1) Získávání surovin	Míra opětovného použití určuje množství spotřebovaného obalového materiálu na prodaný produkt. Spotřeba suroviny se vypočítá vydělením skutečné hmotnosti obalu podle počtu opakování použití tohoto obalu.
2) Přeprava od výrobce obalů do továrny na výrobky (kde jsou výrobky zabaleny)	Opětovné použití je určeno sazbou na základě množství přepravy, které je potřeba na prodaný produkt. Dopad na dopravu musí být vypočteno vydělením dopadu jednosměrné cesty na počet opakování použití tohoto obalu.
3) Přeprava z továrny na výrobky ke konečnému zákazníkovi a zpět	Další přeprava potřebná k cestě do zohlední se také zpáteční přeprava. Chcete-li modelovat celkovou přepravu, oddíl následuje modelování transportu.
4) V továrně na produkt	Jakmile se prázdné balení vrátí do továrny na produkt, použije se energie a zdroje budou účtovány za čištění, opravy nebo doplnění (pokud je to relevantní).
5) Balení na konci životnosti	Míra opětovného použití určuje množství obalového materiálu (na prodaný produkt) být ošetřen na konci života. Množství obalů ošetřených na konci životnosti se vypočítá vydělením skutečnou hmotností obalu podle počtu opakovaných použití tohoto obalu.

Tabulka č.13: Fáze životního cyklu s opakovaně použitelnými materiály (Nessi et al. 2018)

Diskutované plasty PET a PS splňují požadavky pro možnosti opětovného využití a fáze životního cyklu, které jsou popsány v tabulkách č. 12 a 13.

## 6. Diskuse

Model cirkulární ekonomiky, jehož implementace ve společnostech, regionech a zemích roste, brání to, že plastový odpad je cenným zdrojem s potenciálem recirkulace v novém materiálovém cyklu. Předpokládá se, že by měl být

využit potenciál recyklace plastových výrobků. (Horodycká et al. 2020) Plasty vstoupily do hlavního proudu a začala se zrychlovat poptávka po řadě produktů, které by plast mohl vyrábět, od oděvů přes stavební materiály až po izolátory. Cirkulární ekonomika plastů udržuje cenné plastové výrobky v hodnotě. Tím se šetří omezené zdroje, jako jsou fosilní paliva. Má-li být realizováno oběhové hospodářství plastů, měly by se zlepšit stávající metody recyklace plastů a měly by se vyvinout nové metody. (Davidson et al. 2021)

Existuje však mnoho technologických a ekonomických omezení, která v současné době omezují úplnou a efektivní recyklaci plastového odpadu na užitečné výrobky. Za prvé, plastové odpady jsou často kontaminovány jinými materiály, jako jsou nečistoty a kovy, které by mohly poškodit zařízení při přepracování odpadu. Za druhé, plasty nejsou homogenní materiály, jako je hliník nebo papír, místo toho se skládají z velkého počtu druhů s různými molekulárními strukturami a vlastnostmi. Každá plastová složka ve směsném odpadu má jiné chování při tavení, reologii a tepelnou stabilitu. Například při tepelném zpracování smíšených plastů mohou být některé součásti roztaveny, zatímco jiné zůstanou pevné. Za třetí, plastové směsi jsou obvykle nerozpustné a tvoří diskrétní fáze v kontinuální fázi. Pokud různé fáze nemají dobrou přilnavost, mají hotové výrobky špatné mechanické vlastnosti a nízký prodejní potenciál. Za čtvrté, plastová odpadní surovina není v průběhu času obvykle stejnorodá. Procesy používané v recyklačních operacích by proto měly být dostatečně pružné, aby vyhovovaly různým složením. Nakonec mají plastové odpady relativně nízkou hustotu. (Wu, Montalvo 2020)

K efektivní recyklaci velkého množství odpadu z plastových obalů vyžaduje oběhové hospodářství vhodné technologie, jako je chemická recyklace. Chemická recyklace přeměňuje odpad z plastových obalů na chemické výrobky, přičemž se v první řadě vyhýbá jejich výrobě z fosilních surovin. Očekává se proto, že chemická recyklace sníží poptávku po omezených fosilních zdrojích planet i emise skleníkových plynů. Chemická recyklace zároveň poskytuje chemické produkty, které jsou chemicky identické s nahrazenými produkty. Chemická recyklace tak předchází ztrátám výkonu, které jsou v současné době pozorovány u mechanické recyklace

plastových obalů, tzv. „Downcycling“. V důsledku downcyklace musí být produkty nakonec spáleny nebo po kratších cyklech použití skončí na skládkách. (Meys et al. 2020)

O přínosech pro životní prostředí při chemické recyklaci se však intenzivně diskutuje: (Geyer et al. 2016) ukazují, že recyklační systémy s uzavřenou smyčkou nemají v porovnání se systémy s otevřenou smyčkou žádnou skutečnou environmentální výhodu. Ve skutečnosti (Shen et al. 2010) zjistili, že lineární recyklační dráhy pro PET mechanickou recyklací jsou environmentálně lepší než kruhové dráhy pro chemickou recyklaci na monomery surovin, i když je mechanicky recyklovaný PET nakonec spálen. Studie dále ukazují, že velké množství sebraných a tříděných plastových obalových odpadů lze efektivně mechanicky recyklovat s materiálovými vlastnostmi dostatečnými k nahrazení původního polymeru (Meys et al. 2020)

Při vývoji technik nakládání s plastovým odpadem je důležité, aby byly chápány z hlediska možného dopadu na životní prostředí prostřednictvím emisí, znečištění a spotřeby energie, jakož i jejich schopnosti zpracovávat plastový odpad. Hodnocení životního cyklu (LCA) je metoda, která může tyto dopady určit pomocí modelování. Výsledky LCA lze použít jako vodítko pro vylepšení procesu. LCA se vyvinula jako nástroj pro modelování dopadů na životní prostředí za posledních 50 let a je aplikována v celé řadě procesů, produktů a fází životního cyklu. Uplatnění modelování LCA na systémy řízení plastických hmot, jako je chemická recyklace, zajišťuje pochopení širších dopadů procesů na životní prostředí, přičemž je stále dosaženo pokroku při snižování a prevenci dopadů plastového odpadu PET a PS na přírodní prostředí. (Laurent et al. 2014) Výzkum chemické recyklace plastů se za poslední desetiletí zvýšil. Zároveň se vyvinula metodika a aplikace pro hodnocení životního cyklu (LCA) a LCA je i nadále důležitým nástrojem pro pochopení environmentálních dopadů materiálů a procesů. LCA procesů chemické recyklace je rostoucí oblastí. Přímé srovnání metod chemické recyklace a mechanické recyklace již není cenné. Chemická recyklace podporuje mechanickou recyklaci recyklací plastového odpadu, který není mechanicky recyklován, proto není třeba určovat, která metoda je nejlepší. Pyrolýza je nejvíce zkoumanou metodou chemické

recyklace a zároveň nejběžnější metodou modelovanou pomocí LCA. Pyrolýza je často označována za nejlepší chemickou recyklační metodu. (Davidson et al. 2021)

Jakékoli zlepšení samotné činnosti sběru není dostatečné k minimalizaci dopadu emisí skleníkových plynů a ekonomická zátěž spojená s tím bude odrazována od přímých opatření. Přestože je důležité zlepšit sběr odpadu, aby se zabránilo skládkování plastového odpadu a jeho úniku do životního prostředí, je třeba v zájmu udržitelného rozvoje usilovat o změny zařízení a toků plastového odpadu. Pro energetické využití bylo široce doporučováno zlepšování efektivity procesu a využití odpadního tepla nevhodné. Bylo zjištěno, že zlepšení nad 30% účinnost je dostatečné k vyrovnání emisí uhlíku z fosilně intenzivní sítě. Pokud se průměrná mřížka stane méně náročnou na fosilie, tato účinnost bude muset být vyšší, aby byla splněna uhlíková neutralita. Lepší možností by v tomto případě mohlo být efektivní využití odpadního tepla: pokud 40 % spaloven provozovaných v režimu kombinované výroby tepla a elektřiny a zařízení jiných než kombinovaná výroba tepla a elektřiny provozovaných s účinností 30 %, zjistíme, že je tím možné dosáhnout čistých pozitivních úspor skleníkových plynů, i když síť je z 50 % obnovitelná. Chcete-li dosáhnout čistého pozitivního výnosu při rekuperaci paliva, je požadována pokročilá katalytická pyrolýza. (Basuhi et al. 2020)



## 7. Závěr

Plasty se používají již více než 100 let. První syntetický plast, bakelit, byl vyroben na počátku 20. století. Vlastnosti bakelitu znamenaly, že měl širokou škálu aplikací a byl účtován jako „materiál s 1000 použití“. Bohužel zvýšení aplikace a používání plastů vedlo ke zvýšení produkce plastového odpadu. Odhaduje se, že od roku 1950 vzniklo 6300 Mt plastového odpadu. Většina tohoto odpadu byla odstraněna na skládku. Pokud budou současné postupy pokračovat, odhaduje se, že do roku 2050 bude na skládkách nebo v přírodním prostředí 12 000 Mt plastového odpadu. Tento objem odpadu představuje nejen obrovskou ztrátu cenného materiálu, ale také představuje značné riziko pro životní prostředí. (Davidson et al. 2021)

Aby bylo možné zlepšit životní cyklus výrobků z PET a PS ,a tím snížit množství odpadů z plastů pomoci rozličných druhů recyklací, technologií a procesů související s jejich zpracováním a celkové environmentální dopady je zapotřebí provádění metod LCA z hlediska celého jeho životního cyklu, ve všech fázích jeho životního cyklu. Současně s rostoucím znepokojením nad osudem plastů v životním prostředí za poslední desetiletí významně vzrostl výzkum v oblasti recyklace plastů a nakládání s plastovým odpadem. V případě nápojů může být rozhodující, zda jsou spotřebitelé použité PET lahve ochotní odevzdat k recyklaci. To se shoduje s vývojem LCA jako důležitým nástrojem pro pochopení environmentálních dopadů materiálů a procesů.

## Literární zdroje:

- ABDULLAH M. A. B., TAMIZI S., TAMIZI A., ZARINA Y., 2011: "Investigation of HDPE plastic waste aggregate on the properties of concrete," *Journal of Asian Scientific Research*, vol. 1, no. 7, pp. 340–345.
- ALQAHTANI F. K., GHATAORA G., IQBAL K. M., DIRAR S., KIOUL A., AL-OTAIBI M., 2015: "Lightweight concrete containing recycled plastic aggregates," in *Proceedings of the International Conference on Electromechanical Control Technology and Transportation (ICECTT 2015)*, pp. 527–533, Zhuhai City, China, October.
- AL-SALEM S.M., LETIERI P., BAEYENS J., 2009: Recycling and recovery routes of plastic solid waste (PSW): A review, *Volume 29, Issue 10, October, Pages 2625-2643*
- AMIN S., AMIN M., 2011: Thermoplastic elastomeric (TPE) materials and their use in outdoor electrical insulation. *Rev. Adv. Mater. Sci.*, 29, 15–30.
- BARTL A., HACKL A., MIHALYI B., WISTUBA M., MARINI., 2005: RECYCLING OF FIBER MATERIALS, *Process Safety and Environmental Protection*, Volume 83, Issue 4 B, July, Pages 351-358.
- BRANIŠ M., 2004: Pivnička Výkladový slovník vybraných termínů z oblasti ochrany životního prostředí a ekologie. Praha: Karolinum.
- DUCHÁČEK V., 2006: *Polymery – výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. Vyd. 2. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 280 s. ISBN 80-7080-617-6.
- FIEDOR J., 2012: *Odpadové hospodářství I. VŠB – Technická univerzita Ostrava, Ostrava, 128 str. ISBN 978-80-248-2573-1.*
- FRANCIS R., 2016: *Recycling of Polymers: Methods, Characterization and Applications*; John Wiley & Sons: Hoboken, NJ, USA.
- GRIGORE M.E., 2017: *Methods of Recycling, Properties and Applications of Recycled Thermoplastic Polymers*. *Recycling*, 2, 24.
- GU F., GUO J., ZHANG W., SUMMERS P.A., HALL P., 2017: From waste plastics to industrial raw material: A life cycle assessment of mechanical plastic recycling practice based on a real – world case study, *Science of the Total Environment*, ISSN: 0048-9697, ročník: 601, strana: 1192-1207.
- HAHLADAKIS J.N., LACOVIDOU E., 2018: Closing the loop on plastic packaging materials: What is quality and how does it affect their circularity? *Science of The Total Environment*, ISSN: 0048-9697, Vol: 630, Page: 1394-1400
- HOPEWELL J., DVORAK R. et KOSIOR E., 2009: *Plastics recycling: challenges and opportunities*. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. 2009, 364: 2115-2126.

- CHANG N., PIRES A., 2015: Sustainable solid waste management: a systems engineering approach. Hoboken, New Jersey: John Wiley, 57 s. ISBN 978-111-8456-910.
- IEEP, 2011: Závěrečná zpráva. IEEP, Praha, 434 str.
- JANÍČKOVÁ B., 2012: Odpady a odpadové hospodářství. Střední zemědělská škola a Vyšší odborná škola Chrudim, Chrudim, 186 str.
- KAMARUDIN M. H., YAAKOB M. Y., SALIT M. S., PIETER H. H., BADARULZAMAN N. A., SOHAIMI R. M., 2016: "A review on different forms and types of waste plastic used in concrete structure for improvement of mechanical properties," Journal of Advanced Research in Applied Mechanics, vol. 28, no. 1, pp. 9–30.
- KHAN M. I., ZAGHO M., SHAKOOR R., 2017: A Brief Overview of Shape Memory Effect in Thermoplastic Polymers. In Smart Polymer Nanocomposites; Springer: Berlin, Germany, pp. 281–301.
- KEPÁK F., 2005: Průmyslové odpady 1. část. Fakulta životního prostředí UJEP, Ústí nad Labem, 200 str. ISBN 978-80-7414-228-4.
- KOLEK Z., 2001: Recycled polymers from food packaging in relation to environmental protection. Pol. J. Environ. Stud., 10, 73–76.
- KREVELEN D. W., NIJENHUIS K., 2009: Properties of Polymers: Their Correlation with Chemical Structure: Their Numerical Estimation and Prediction from Additive Group Contributions; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands.
- KURAŠ, M., 2008: Odpadové hospodářství. Vyd. 1. Chrudim: Ekomonitor, 143 s. ISBN 978-80-86832-34-0.
- LAZAREVIC D., AUSTIN E., BUCLET N., BRANDT N., 2010: Plastic waste management in the context of a European recycling society: Comparing result and uncertainties in a life cycle perspective, Volume 55, Issue 2, December, Pages 246-259.
- MERRILD H., LARSEN A.W., CHRISTENSEN T.H., 2012: Assessing recycling versus incineration of key materials in municipal waste: The importance of efficient energy recovery and transport distances, Waste Management, ISSN: 0956-053X, Vol: 32, Issue: 5, Page: 1009-1018
- MOHAMMADZADEH M., 2009: Characterization of Recycled Thermoplastic Polymers. Master's Thesis, University of Borås, Borås, Sweden.
- NORT E. T., HALDEN R. U., 2013: Plastic end environmental health: the road ahead. Rev Environ Health 28, 1-8.
- NUTSCH W., 2006: Příručka pro truhláře. ISBN 80-86706-14-1.
- PEER V., FRIEDEL P., 2016: Zplyňování – principy a reaktory. *TZB-info*. Topinfo s.r.o., s. 1-10. ISSN 1801-4399.

- PIVNENKO K., ERIKSEN M., MARTÍN-FERNÁNDEZ J., ERIKSSON E., ASTRUP T., CARDON L., VAN IMPE F. et DEVLIEGHERE F., 2016: Recycling of plastic waste: Presence of phthalates in plastics from households and industry. *Waste Management* 54: 44-52.
- RAGAERT K., DELVA L., VAN GEEM K., 2017: Mechanical and chemical recycling of solid plastic waste, *Waste Management*, Volume 69, November, Pages 24-58
- SHENT H., PUGH R. J. et FORSSBERG E., 1999: A review of plastics waste recycling and the flotation of plastics. *Resources, Conservation and Recycling* 25: 85-109.
- SINGH N., HUI D., SINGH R., AHUJA I., FEO L., FRATERNALI F., 2017: Recycling of plastic solid waste: A state of art review and future applications. *Compos. Part B Eng.*, 115, 409–422
- SISOL M., 2006: Separácia plastového odpadu. In: VŠB - TU OSTRAVA. [ed.]: *Recyklace odpadů X. VŠB-TU Ostrava*, Ostrava: 51 - 56.
- SLEZÁK M., 2004: *Ekologické aspekty chemických technologií a technologie zpracování odpadů*. Univerzita Pardubice, Pardubice, 184 str. ISBN 80-719-4705-9.
- SOVA M., KREBS J., 2001: *Termoplasty v praxi*. 1. vyd. Praha: Verlag Dashöfer, 2 sv. 580, 425 str. ISBN 80-86229-15-7.
- TREBICHA VSKÝ J., HAVRDOVA D., BLOHBERGER M., 1996: *Příručka pro nakládání s odpady určená pro širokou odbornou veřejnost ze sféry státní správy a z oblasti produkce a zpracování odpadů*. NSO, Kutná hora.
- VÁŇA J., HANČ A. et HABART J., 2009: *Pevné odpady*, Česká zemědělská univerzita, Praha, 190 str. ISBN 978-80-213-1992-9.
- VOŠTOVÁ V., 2006: *Zpracování pevných odpadů II*, Nakladatelství ČVUT, Praha, 95 str. ISBN 80-010-3488-7.

#### Internetové zdroje:

- ANDREWS A. et al., 2012: Comparison of recycling outcomes in three types of recycling collection units (online) [cit. 2021.03.05], dostupné z <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X12003844?via%3Dihub>>.
- ARNIKA, 2020: Chemická recyklace plastů: zatím neúčinné řešení produkující toxické látky (online) [cit. 2021.01.13], dostupné z <<https://arnika.org/chemicka-recyklace-plastu-zatim-neucinne-reseni-produkujici-toxicke-latky>>.

- BAČIAK M., PÁTEK J., 2019: Pravda a mýty o termické depolymerace plastových polymerů (online) [cit. 2021.01.13], dostupné z <<https://wasten.cz/cs/articles/pravda-a-myty-o-termicke-depolymerace-plastovych-polymeru/>>.
- BAGAROVÁ GRZYWA M., 2009: Separální metoda pro plasty (online) [cit. 2021.02.22], dostupné z <<https://www.odpady-online.cz/separacni-metoda-pro-plasty/>>.
- BAGAROVÁ GRZYWA M., 2020: Vysoký stupeň zhodnocení (online) [cit. 2021.01.13], dostupné z <<https://www.odpady-online.cz/vysoky-stupen-zhodnoceni/>>.
- BASAŘOVÁ P., 2014: Co je flotace (online) [cit. 2021-01-22], dostupné z <<https://laborator-flotace.webnode.cz/o-nas/>>.
- BASF, 2020: ChemCycling: Environmental Evaluation by Life Cycle Assessment (LCA) (online) [cit. 2021.03.12], dostupné z <[https://www.basf.com/cz/cz/who-we-are/sustainability/chemcycling/LCA for chemcycling.html](https://www.basf.com/cz/cz/who-we-are/sustainability/chemcycling/LCA%20for%20chemcycling.html)>.
- BASUHI R. et al., 2020: Environmental and economic implications of U.S. postconsumer plastic waste management (online) [cit. 2021.03.15], dostupné z <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344920307096>>.
- BENSON N. U. et al., 2021: COVID Pollution: Impact of COVID-19 Pandemic on Global Plastic Waste Footprint (online) [cit. 2021.02.25], dostupné z <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844021004485>>.
- BĚHÁLEK L., 2015: Polymery (online) [cit. 2021.01.20], dostupné z <<https://publi.cz/books/180/Impresum.html>>.
- BPF 2016: Plastics recycling (online) [cit. 2020.10.26], dostupné z <[http://www.bpf.co.uk/sustainability/plastics\\_recycling.aspx](http://www.bpf.co.uk/sustainability/plastics_recycling.aspx)>.
- BROEREN M. et al., 2019: Verkenning chemische recycling – update 2019 (online) [cit. 2021.03.12], dostupné z <<https://www.cedelft.eu/en/publications/2173/exploratory-study-on-chemical-recycling-update-2019>>.
- BUŠTĚHRAD, 2021: Jaké odpady patří do jednotlivých kontejnerů na tříděný odpad (online) [cit. 2021.01.20], dostupné z <<https://www.mestobustehrad.cz/obcan/odpady/kontejnery-na-odpad/>>.
- CAVICCHIA C., SARNACCHIARO P., VICHI M., 2020: A composite indicator for the waste management in the EU via Hierarchical Disjoint Non-Negative Factor Analysis (online) [cit. 2021.02.02], dostupné z <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038012119304483>>.
- CORNELL D. D., 2008: Differences in Recyclability and Recycling of Common Consumer Plastic Resins (online) [cit. 2021.03.05], dostupné z <<https://files.nc.gov/ncdeq/Environmental%20Assistance%20and%20Custo>>

mer%20Service/Plastic%20Bottles/Other%20Resources/RecyclingCommonConsumerPlasticResins.pdf>.

- ČTK, 2020: Koronavirová krize zvýšila spotřebu jednorázových plastů (online) [cit. 2021.03.18], dostupné z <<https://www.ceskenoviny.cz/zpravy/koronavirova-krize-zvysila-spotrebu-jednorazovych-plastu/1887592>>.
- DAVIDSON M. G. et al., 2021: Developments in the life cycle assessment of chemical recycling of plastic waste – A review (online) [cit. 2021.03.14], dostupné z <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652621003838>>.
- DE SOUSA F. D. B., 2020: Pros and Cons of Plastic during the COVID-19 Pandemic (online) [cit. 2021.03.18], dostupné z <<https://www.mdpi.com/2313-4321/5/4/27/pdf>>.
- DUNDÁLKOVÁ P., 2016: Využití plastů: Recyklace plastů (online) [cit. 2020.10.25], dostupné z <<https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/2062/Knihovna%20k%20projektu/Využití%20recyklace%20plastů.pdf>>.
- EKOKOM, 2019: Skladba směsného komunálního odpadu z domácností ČR (online) [cit. 2021.02.26], dostupné z <<https://www.ekokom.cz/news/715/212/Skladba-smesneho-komunalniho-odpadu-z-domacnosti-cr>>.
- EKOLIST, 2020: Jindřich Petrlík: Chemická recyklace plastů je zatím neúčinné řešení produkující toxické látky (online) [cit. 2021.01.10], dostupné z <<https://ekolist.cz/cz/publicistika/nazory-a-komentare/jindrich-petrlik-chemicka-recyklace-plastu-je-zatim-neucinne-reseni-produkujici-toxicke-latky>>.
- EKONET, 2016: Odpadové hospodářství (online) [cit. 2021.02.01], dostupné z <<http://eko-net.cir.cz/odpadove-hospodarstvi>>.
- ENVIGROUP, 2020: Nový odpadový zákon bude účinný od ledna 2021, rozhodla Sněmovna (online) [cit. 2021.02.01], dostupné z <<https://www.envigroup.cz/novy-odpadovy-zakon-bude-ucinny-od-ledna-2021-rozhodla-snemovna.html>>.
- ENVIWEB, 2011: Možnosti recyklace plastů (online) [cit. 2020.10.26], dostupné z <<http://www.enviweb.cz/clanek/recykl/88360/moznosti-recyklace-plastu>>.
- EUROPEAN COMMISSION, 2016: Plastic waste, (online) [cit. 2021.02.02], dostupné z <[http://ec.europa.eu/environment/waste/plastic\\_waste.htm](http://ec.europa.eu/environment/waste/plastic_waste.htm)>.
- EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY, 2020: COVID – 19 and Europe’s environment: impacts of a global pandemic (online) [cit. 2021.01.11], dostupné z <<https://www.eea.europa.eu/post-corona-planet/covid-19-and-europes-environment/#sdfootnote5>>.

- FARACA G. et al., 2019: Environmental life cycle cost assessment: Recycling of hard plastic waste collected at Danish recycling centres (online) [cit. 2021.03.07], dostupné z <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092134491930014X>>.
- FRANKLIN ASSOCIATES, 2018: Life cycle impacts of plastic packaging compared to substitutes in the United States and Canada (online) [cit. 2021.01.11], dostupné z <<https://www.plasticpackagingfacts.org/wp-content/uploads/2018/11/Life-Cycle-Impacts-of-Plastic-Packaging-Compared-to-Substitutes-in-the-United-States-and-Canada.pdf>>.
- GARAIOVÁ K., 2020: Pandémia zmenila, jako rozmýšľame nad odpadom. Recyklovať je drahšie jako vyrobiť nový plast (online) [cit. 2021.01.11], dostupné z <<https://www.aktuality.sk/clanok/829494/pandemia-znizenie-snaha-recyklovanie-plasty/>>.
- GEYER R., JAMBECK J. R., LAVENDER LAW K., 2017: Production, use, and fate of all plastics ever made (online) [cit. 2019.11.20], dostupné z <<https://advances.sciencemag.org/content/3/7/e1700782>>.
- GÓMEZ F. J., RIMA S., 2019: Setting the facts straight on plastics (online) [cit. 2020.11.20], dostupné z <<https://www.weforum.org/agenda/2019/10/plastics-what-are-they-explainer/>>.
- HELMENSTINE A. M., 2019: Plastic Definition and Examples in Chemistry (online) [cit. 2020.03.17], dostupné z <<https://www.thoughtco.com/plastic-chemical-composition-608930>>.
- HORODYCKÁ O. et al., 2020: Upcycling of printed plastic films: LCA analysis and effects the circular economy (online) [cit. 2021.03.14], dostupné z <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652620321855>>.
- HRTÚSOVÁ T., NOVÁK R., 2020: Cirkulární ekonomika v ČR: Třídít neznamená recyklovat (online) [cit. 2021.02.03], dostupné z <<http://www.edotace.cz/clanky/cirkularni-ekonomika-v-cr-tridit-neznamena-recyklovat>>.
- INGRAO C. et al., 2017: Attributional Life Cycle Assessment application experience to highlight environment hotspots in the production of foamy polylactic acid vanys for fresh-food packaging use (online) [cit. 2021.03.07], dostupné z <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652617304419>>.
- JANOŠKO I., 2011: Odpadní plasty – odstraňování a recyklace (online) [cit. 2020.03.29], dostupné z <<https://komunalweb.cz/odpadni-plasty-odstranovani-a-recyklace>>.
- KARMAZÍN M., 2020: Propad recyklace odpadu a jeho navázaného průmyslu v době COVID-19 (online) [cit. 2021.01.10], dostupné z

<https://inodpady.cz/propad-recyklace-odpadu-a-jeho-navazaneho-prumyslu-v-dobe-covid-19/>.

- KOHOUTOVÁ M., 2020: Jak využít odpad. Do plastů proniká cirkulární ekonomika (online) [cit. 2021.02.01], dostupné z <https://archiv.ihned.cz/c1-66822340-jak-vyuzit-odpad-do-plastu-pronika-cirkularni-ekonomika>.
- KOVAL V., ČESKÝ ROZHLAS, 2019: Chemická recyklace je budoucnost zpracování plastového odpadu, věří v Německu (online) [cit. 2021.01.10], dostupné z <https://radiozurnal.rozhlas.cz/chemicka-recyklace-je-budoucnost-zpracovani-plastoveho-odpadu-veri-v-nemecku-7776466>.
- LEE Z. H., PAUL S. CH., KONG S. Y., SUSILAWATI S., YANG X., 2019: Modification of Waste Aggregate PET for Improving the Concrete Properties (online) [cit. 2020.09.27], dostupné z <https://www.hindawi.com/journals/ace/2019/6942052/>.
- LOMBARDI M., RANA R., FELLNER J., 2020: Material flow analysis and sustainability of the Italian plastic packaging management (online) [cit. 2021.02.02], dostupné z <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652620356195>.
- LAURENT A. et al., 2014: Review of LCA studies of solid waste management systems – Part I: Lessons learned and perspectives (online) [cit. 2021.03.14], dostupné z <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X1300559X>.
- MAAFA I. M., 2021: Pyrolysis of Polystyrene Waste: A Review (online) [cit. 2021.02.22], dostupné z <https://www.mdpi.com/2073-4360/13/2/225/htm>.
- MEYS R. et al., 2020: Towards a circular economy for plastic packaging wastes – the environmental potential of chemical recycling (online) [cit. 2021.03.14], dostupné z <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092134492030327X>.
- MPO, ©2019a: Aktualizace politiky druhotných surovin České republiky pro období 2019-2022 (online) [cit. 2021.02.02], dostupné z [Politika-druhotnych-surovin-CR.pdf \(mpo.cz\)](#).
- MPO, ©2019b: Česká republika se přibližuje k cirkulární ekonomice, vláda ČR schválila Politiku druhotných surovin České republiky pro období 2019 – 2022 (online) [cit. 2021.02.02], dostupné z [Česká republika se přibližuje k cirkulární ekonomice, vláda ČR schválila Politiku druhotných surovin České republiky pro období 2019 – 2022 | MPO](#).
- MŽP, ©2016: Plán odpadového hospodářství ČR (online) [cit. 2021.01.18], dostupné z <http://www.mzp.cz/cz/plan-odpadoveho-hospodarstvi-cr>.
- MŽP, ©2020a: ČR nastupuje trend: od skládkování ke třídění, recyklaci a materiálovému využití na maximum (online) [cit. 2021.02.01], dostupné z



- [https://www.mzp.cz/cz/news\\_20201201-CR-nastupuje-trend-od-skladkovani-ke-trideni-recyklaci-a-materialovemu-vyuziti-na-maximum](https://www.mzp.cz/cz/news_20201201-CR-nastupuje-trend-od-skladkovani-ke-trideni-recyklaci-a-materialovemu-vyuziti-na-maximum)>.
- MŽP, ©2020b: Ministr Brabec: Spolu s našimi partnery – samosprávou a průmyslem – chceme dostat novou odpadovou legislativu do života co nejdřív (online) [cit. 2021.01.18], dostupné z [https://www.mzp.cz/cz/news\\_200116\\_Ministr-Brabec-spolu-s-nasimi-partnery-samospravou-prumyslem-chceme-dostat-novou-odpadovou-legislativu-do-zivota-co-nejdriv](https://www.mzp.cz/cz/news_200116_Ministr-Brabec-spolu-s-nasimi-partnery-samospravou-prumyslem-chceme-dostat-novou-odpadovou-legislativu-do-zivota-co-nejdriv)>.
  - NACHTIGAL M., 2001: Možnosti recyklace PVC (I.) (online) [cit. 2020.10.29], dostupné z <http://odpady-online.cz/moznosti-recyklacepvc-i/>>.
  - NESSI S. et al., 2018: JRC TECHNICAL REPORTS (online) [cit. 2021.03.06], dostupné z [https://eplca.jrc.ec.europa.eu/permalink/PLASTIC\\_LCI/Plastic\\_LCA\\_Report\\_I\\_2018.11.20.pdf](https://eplca.jrc.ec.europa.eu/permalink/PLASTIC_LCI/Plastic_LCA_Report_I_2018.11.20.pdf)>.
  - NISTICÓ R., 2020: Polyethylene terephthalate (PET) in the packaging industry (online) [cit. 2021.02.25], dostupné z <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0142941820310333>>.
  - ODPADYONLINE, 2020: Vedľajší efekt pandémie: Množstvo odpadu z plastu pribúda (online) [cit. 2021.01.11], dostupné z <https://www.odpadonline.sk/sk/novinky/vedlajsi-efekt-pandemie-mnozstvo-odpadu-z-plastu-pribuda.html>>.
  - PARKER L., 2019: Plastic pollution facts and information – National Geographic (online) [cit. 2020.11.20], dostupné z <https://www.nationalgeographic.com/environment/habitats/plastic-pollution/>>.
  - POLOMKA J., JEDRCZAK A., MYSZOGRAJ S., 2020: Risk and Opportunity of Using Plastics from Waste Collected in a Yellow Bag, (online), [cit. 2020-10-20]. Dostupné z: <https://www.mdpi.com/2073-4360/12/8/1815/htm>>.
  - QUANTIS, 2020: Chemical Recycling: Greenhouse gas emission reduction potential of an emerging waste management route (online) [cit. 2021.02.22], dostupné z [https://cefic.org/app/uploads/2020/12/CEFIC\\_Quantis\\_report\\_final.pdf](https://cefic.org/app/uploads/2020/12/CEFIC_Quantis_report_final.pdf)>.
  - RESPONO, 2021: Jak třídít plast (online) [cit. 2021.01.22], dostupné z <https://www.respono.cz/jak-tridit-odpad/jak-tridit-plast/>>.
  - RHEIN S., STRATER K. F., 2021: Corporate self-commitments to mitigate the global plastic crisis: Recycling rather than reduction and reuse (online) [cit. 2021.03.17], dostupné z <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652621007915#!>>.
  - RICKERT J., CERDAS F., HERMANN CH., 2020: Exploring the environmental performance of emerging (chemical) recycling technologies for post-consumer

- plastic waste (online) [cit. 2020.10.20], dostupné z <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.01.111>>.
- ROGERS T., 2015: Everything You Need To Know About Polystyrene (PS) (online) [cit. 2020.05.29], dostupné z <https://www.creativemechanisms.com/blog/polystyrene-ps-plastic>>.
  - RŮŽIČKA P., DOBEŠ V., 2015: Oběhové hospodářství: nejnovější strategie EU v oblasti managementu přírodních zdrojů (online) [cit. 2021.02.01], dostupné z [http://www.svds.cz/userfiles/files/Podkladov%C3%BD%20dokument\\_ob%C4%9Bhov%C3%A9%20hospod%C3%A1%C5%99stv%C3%AD.pdf](http://www.svds.cz/userfiles/files/Podkladov%C3%BD%20dokument_ob%C4%9Bhov%C3%A9%20hospod%C3%A1%C5%99stv%C3%AD.pdf)>.
  - SANGRONIZ A. et al., 2019: Packaging materials with desirer mechanical and berrier properties and full chemical recyclability (online) [cit. 2020.05.20], dostupné z <https://www.nature.com/articles/s41467-019-11525-x>>.
  - SHEN L. et al., 2010: Open-loop recycling: A LCA case study of PET bottle-to-fibre recycling (online) [cit. 2021.03.14], dostupné z <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-77956939570&origin=inward&txGid=12a1e34f222906b9f10c2b2e633a69b5>>.
  - SCHWARZ AE. et al., 2020: Plastic recycling in a circular economy, determing environmental performance through an LCA matrix model approach (online) [cit. 2021.03.07], dostupné z <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X20307091>>.
  - SCHYNS Z., SHAVER P. M., 2020: Mechanical Recycling of Packaging Plastic: A Review (online) [cit. 2021.02.22], dostupné z <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/marc.202000415>>.
  - SILVA A. L. P. et al., 2020: Rethinking and optimising plastic waste management under COVID-19 pandemic: Policy solutions based on redesign and reduction of single-use plastics and personal protective equipment (online) [cit. 2021.02.02], dostupné z <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969720340870>>.
  - SOLDATOVA A., 2020: Některé jednorázové plasty by od července 2021 neměly jít na trh (online) [cit. 2021.02.01], dostupné z <https://www.odpady-online.cz/nektere-jednorazove-plasty-by-od-cervence-2021-nemely-jit-na-trh/>>.
  - SOLIS M., SILVEIRA M., 2020: Technologies for chemical recycling of household plastics – A technical review and TRL assessment (online) [cit. 2021.02.22], dostupné z <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X20300465>>.
  - SOMMER V., WALTHER G., 2020: Recycling and recovery infrastructures for glass and carbon fiber reinforced plastic waste from wind energy industry: A

- European case study (online) [cit. 2021.02.05], dostupné z <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X20307108>>.
- ŠEJVL, R., 2013: Energie z odpadů II. (online) [cit. 2021.01.13], dostupné z <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/energie-z-odpadu-ii>>.
  - ŠPAČEK I., KOTOVICOVÁ J., 2016a: Recyclation of plastics wastes from production of PVC roofing sheets (online) [cit. 2020.11.20], dostupné z <[https://mnet.mendelu.cz/mendelnet09agro/files/articles/tech\\_spacek.pdf](https://mnet.mendelu.cz/mendelnet09agro/files/articles/tech_spacek.pdf)>.
  - ŠPAČEK I., KOTOVICOVÁ J., 2016b: Mechanical properties of recycling materials from heterogenit PVC wastes (online) [cit. 2021.01.15], dostupné z <[file:///G:/Diplomov%C3%A1%20pr%C3%A1ce/Literatura/21\\_spacek\\_406.pdf](file:///G:/Diplomov%C3%A1%20pr%C3%A1ce/Literatura/21_spacek_406.pdf)>.
  - ŠŤASTNÁ J., 2007: Představení automatické třídící linky s NIR detekcí (online) [cit. 2021.01.23], dostupné z <<https://www.odpady-online.cz/predstaveni-automaticke-tridici-linky-s-nir-detekci/>>.
  - THE BUSINESS RESEARCH COMPANY, 2019: Polystyrene Foam Product Manufacturing Market – By End Use Product (Packaging, Automotive And Construction), By Key Players, And By Region, Opportunities And Strategies – Global Forecast To 2023 (online) [cit. 2021.01.15], dostupné z <<https://www.thebusinessresearchcompany.com/report/polystyrene-foam-product-manufacturing-market>>.
  - TSHIFULARO C. A., PATNAIK A., 2020: Recycling of plastics into textile raw materials and products, Sustainable Technologies for Fashion and Textiles (online) [cit. 2020.10.29], dostupné z <<https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102867-4.00013-X>>.
  - VALERIO O., MUTHURAJ R., CODOU A., 2020: Strategies for polymer to polymer recycling from waste: Current trends and opportunities for improving the circular economy of polymers in South America (online) [cit. 2020.09.27], dostupné z <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2452223620300705>>.
  - VANAPALLI K. R. et al., 2020: Challenges and strategies for effective plastic waste management during and post COVID-19 pandemic (online) [cit. 2021.03.17], dostupné z <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969720350439>>.
  - VLČKOVÁ T., 2021: Koronavirus vrší tuny odpadu navíc. Nemocnice jeho spalování mohou odkládat (online) [cit. 2021.03.17], dostupné z <[https://www.idnes.cz/zpravy/domaci/infekcni-odpad-pandemie-koronavirus-covid-19-spalovny-nemocnice-zdravotnicka-zarizeni.A201216\\_145917\\_domaci\\_vlc](https://www.idnes.cz/zpravy/domaci/infekcni-odpad-pandemie-koronavirus-covid-19-spalovny-nemocnice-zdravotnicka-zarizeni.A201216_145917_domaci_vlc)>.
  - VMR, 2020: Global Polyethylene Terephthalate Market Size by Application, By End Use Industry, By Geographic Scope And Forecast (online) [cit.

2021.01.15], dostupné z <[Polyethylene Terephthalate Market Size | Trends | Opportunities | Forecast \(verifiedmarketresearch.com\)](#)>.

- VINCOUROVÁ H., 2020: Pyrolýza plastů je jeden ze způsobů chemické recyklace a je ve stadiu výzkumu, říká doc. Pohořelý (online) [cit. 2021.01.13], dostupné z <https://www.reflex.cz/clanek/veda/103064/pyrolyza-plastu-je-jeden-ze-zpusobu-chemicke-recyklace-a-je-ve-stadiu-vyzkumu-rika-doc-pohorely.html>.
- VÍTEK M., 2016: Bioplasty v obalové technice II.: Nápojové lahve (online) [cit. 2020.03.29], dostupné z <<https://ihned.cz/c1-65457880-bioplasty-v-obalove-technice-ii-napojove-lahve>>.
- WU S., MONTALVO L., 2020: Repurposing wastw plastics into cleaner asphalt pavement materials: A critical litereture review (online) [cit. 2021.02.05], dostupné z <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652620344000>.
- ZHANG F. et al. 2020: Current technologies for plastic waste treatment: A review (online) [cit. 2021.02.05], dostupné z <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652620345674>.

## Zákony a vyhlášky

- Směrnice Evropského parlamentu a Rady č. 98/2008/ES ze dne 19. listopadu 2008 o odpadech a o zrušení některých směrnic.
- Směrnice Evropského parlamentu a Rady (EU) 2018/850 ze dne 30. května 2018 kterou se mění směrnice 1999/31/ES o skládkách odpadů
- Směrnice Evropského parlamentu a Rady (EU) 2018/851 z 30. května 2018, kterou se mění směrnice 2008/98/ES o odpadech
- Směrnice Evropského parlamentu a Rady (EU) 2018/852 ze dne 30. května 2018, kterou se mění směrnice 94/62/ES
- Zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech
- Zákon č. 477/2001 Sb., o obalech a o změně některých zákonů (zákon o obalech)

## Seznam použitých grafů, obrázků a tabulek

- Graf č.1: Zvyšování poplatků v jednotlivých letech (Návrh zákona o odpadech 2020)
- Graf č.2: PET lahve v ČR (EKO-KOM, E15)
- Graf č.3: a) Podíl poptávky po různých typech plastů (PlasticEurope 2019),  
b) Hlavní složení odpadu z plastových obalů (Colantonio et al. 2019)
- Graf č.4: Výroba a zpracování na konci životnosti 1 t vybraných plastů (BASf 2020)
- Graf č.5: Celkový dopad na životní prostředí při recyklaci PET (Schwarz et al. 2020)

- Obrázek č. 1: Kroky při recyklaci termoplastických polymerů (Grigore 2017)
- Obrázek č. 2: Žlutý kontejner na sběr plastů (Vlastní zdroj)
- Obrázek č. 3: Co patří a nepatří do žluté popelnice (Respono 2021)
- Obrázek č. 4: Třídící manuální linka ([www.denik.cz](http://www.denik.cz))
- Obrázek č. 5: Manuální třídící linka ([www.sollau.cz](http://www.sollau.cz))
- Obrázek č. 6: Oběhové hospodářství (ČSÚ ©2019)
- Obrázek č. 7: Cíle EU (Zdroj: MŽP ©2018, EKO-KOM 2018, EVROPSKÁ KOMISE 2019)
- Obrázek č. 8: Materiální toky pro obaly vyrobené z plastu (Udržitelnýobal 2020)
- Tabulka č. 1: Formy PS a PET a jejich vlastnosti (Běhálek 2015)
- Tabulka č. 2: Zastoupení základních druhů polymerů v komunálním odpadu [%] (Areeprasert 2017)
- Tabulka č.3: Využitelnost u jednotlivých druhů recyklace u plastů PS a PET (Aminudin et al. 2011, Chacon et al. 2019)
- Tabulka č.4: Technologie pro jednotlivé druhy recyklace u PS a PET (Solis, Silveria 2020, Maharana et al. 2007)
- Tabulka č.5: Výhody a nevýhody a tři klíčové parametry v různých technologiích pro PS a PET (Solis, Silveria 2020)
- Tabulka č.6: Produkce druhotných surovin v ČR za období 2013–2017 (ČSÚ ©2019)
- Tabulka č.7: Produkce plastových odpadů v roce 2016 (Coversio 2018)
- Tabulka č. 8: Charakteristika plastových dvou pryskyřic PET a PS (World Centric 2020)
- Tabulka č. 9: Recyklační technologie podle kategorie hierarchie recyklace (Schwarz et al. 2020)
- Tabulka č.10: Rozdíly v recyklovatelnosti a recyklaci běžných spotřebitelských plastových pryskyřic (Cornell 2008)
- Tabulka č.11: Analýza procesů pro technologické procesy (Franklin Associates 2018)
- Tabulka č.12: Možnosti opětovného použití (Nessi et al. 2018)
- Tabulka č.13: Fáze životního cyklu s opakovaně použitelnými materiály (Nessi et al. 2018)