

Ako premeniť plastový odpad na produkty?

Úvod

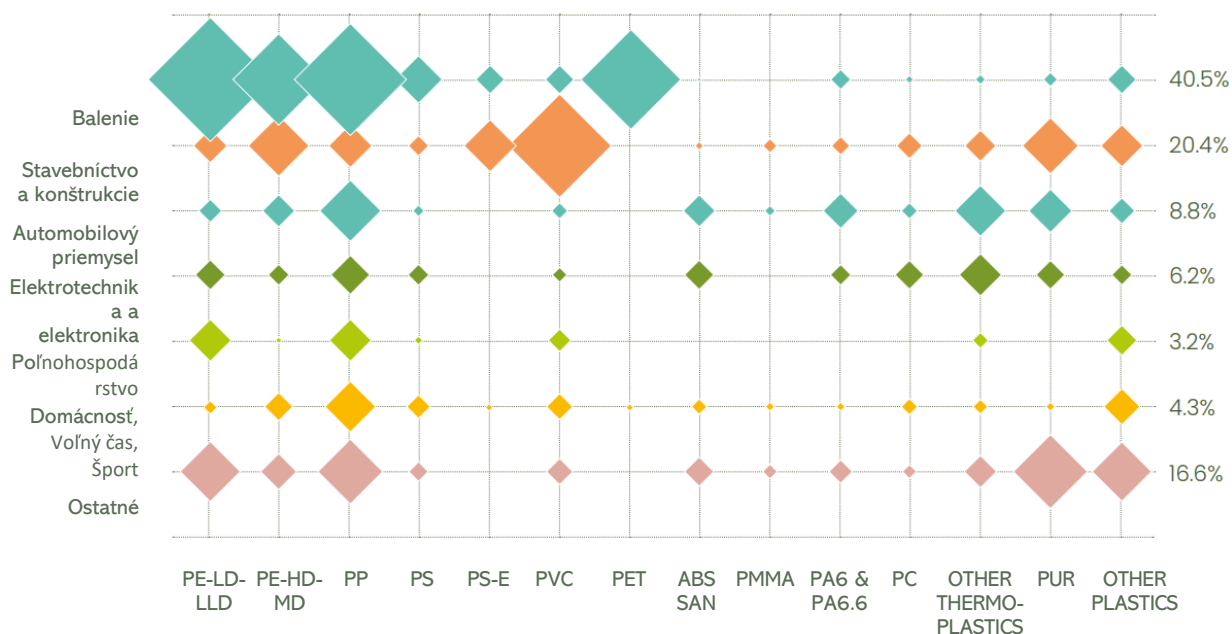
Plastový odpad zahŕňa širokú škálu materiálov a pochádza z rôznych oblastí hospodárstva. Sektory ekonomiky, ktoré v najväčšej miere nakupujú plasty do svojich prevádzok v Európe, z ktorých následne produkujú odpad, sú znázornené na obrázku 1. Z dôvodu rôznorodosti sektorov vstupuje do procesu zhodnocovania plastov viacero druhov plastov a materiálové toky sa značne líšia.

Existujú dve hlavné metódy na premenu plastového odpadu na hodnotný materiál na výrobu nových výrobkov. Prvou je mechanické spracovanie a druhou použitie chemických procesov. Po získaní odpadového materiálu z niektorého z dostupných zdrojov je ďalším krokom mechanické a chemické spracovanie na získanie skutočne použiteľných materiálov.

V tejto kapitole je uvedený stručný opis zloženia plastového odpadu spolu s úvodom do mechanického a chemického spracovania. Podrobnejšia analýza zloženia plastového odpadu je vypracovaná v ďalšej kapitole.

Začatie procesu zhodnocovania plastov

Ako už bolo spomenuté, presný obraz o zložení plastového odpadu možno získať na základe dopytu po nových výrobkoch z plastov. Na obrázku 1 je tento dopyt rozdelený podľa sektora hospodárstva a typu polyméru.



Obrázok 1. Dopyt po plastoch v EÚ+3 podľa sektorov a polymérov v roku 2020. Prevzaté zo zdroja [1]

Ako vidno na obrázku 1, používanie plastov v obalovom priemysle výrazne prevyšuje ostatné odvetvia. Obaly majú nielen kratší životný cyklus v porovnaní s ostatnými druhmi plastového odpadu, ale sú aj jedným z najťažšie zhodnotiteľných druhov. Široká škála nádob a obalov na značkové a marketingové účely znižuje možnosť opätovného použitia a recyklácie [2], okrem toho je plastový spotrebiteľský odpad (ďalej len SO), ktorý možno opätovne zhodnotiť, často znečistený

zvyškami potravín a nerecyklovateľnými materiálmi. Preto je potrebné zabezpečiť riadny zber, prepravu a triedenie odpadu, aby sa zhodnocovali stále väčšie množstvá.

Je tiež dôležité zdôrazniť, že rôzne polyméry sa zhodnocujú rozdielne. Miery pre polyetyléntereftalát (PET) a polyetylén vysokej hustoty (HDPE) bežne presahujú 10 %, zatiaľ čo miery pre polystyrén (PS) a polypropylén (PP) sa blížia k nule [3]. Na obrázku 2 sú znázornené niektoré z najpoužívanejších plastov v súčasnosti.



PE-LD-LLD



PE-HD-MD



PP



PS



PVC



PET

Obrázok 2. Bežné plastové výrobky

Možnosti spracovania sú podobné pre priemyselný odpad (ďalej len PO) aj SO. Keď sa nové suroviny získavajú mechanickými postupmi, zvyčajne je ich výsledkom granulát, ako je znázornené na obrázku 3. Keď sa použije chemický prístup, zvyčajne vedie k získaniu monoméryných stavebných blokov [4].



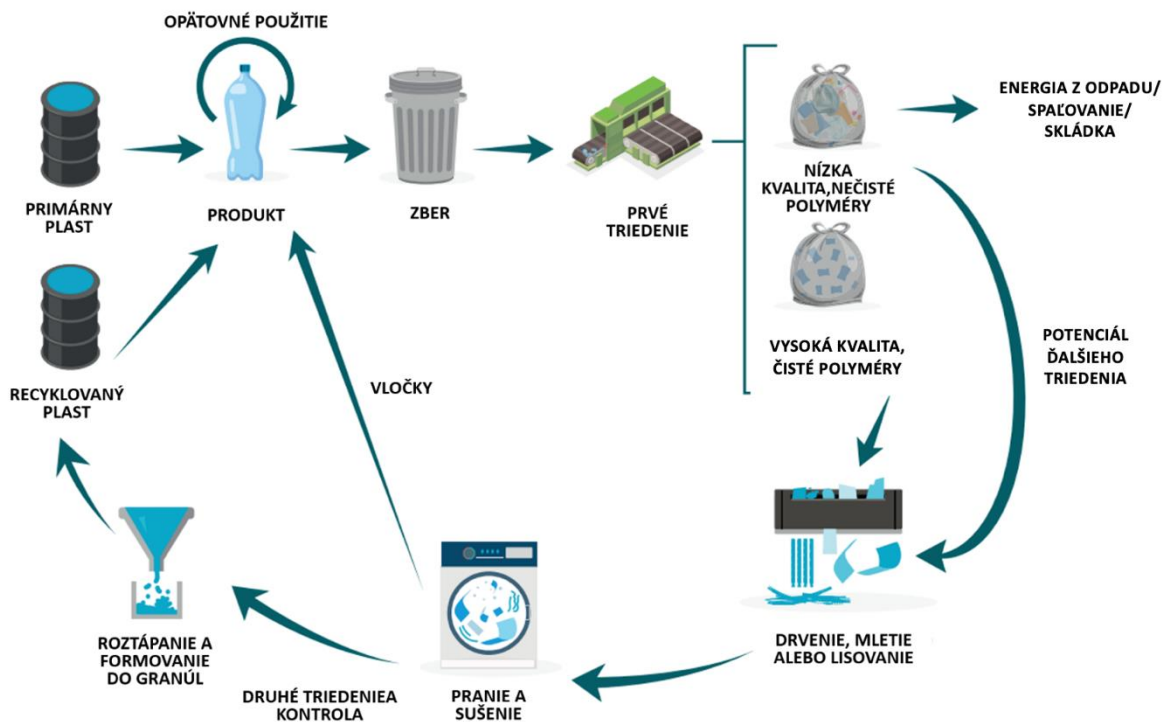
Obrázok 3. Plastový granulát. Zdroj z AdobeStock.

Mechanické procesy recyklácie plastov.

Mechanické zhodnocovanie plastového odpadu je najbežnejšou metódou recyklácie a najrozvinutejším trhom s dobre vybudovanými dodávateľskými reťazcami. Podľa Plastics Europe je postup mechanickej recyklácie plastov nasledovný [5]:

- Zber: Zber plastových výrobkov po skončení životnosti zo separovaného a zmiešaného odpadu.
- Prvé triedenie: Po príchode plastového odpadu do recyklačného závodu sa plastový odpad triedi. Hoci sa niektoré druhy triedili už vo fáze zberu, ďalšie triedenie je najmä podľa farby alebo hrúbky.
- Drvenie: Plasty sa musia pred ďalším použitím rozdrviť na menšie kúsky.

- Umývanie: Umývaním sa odstráni prach a nečistoty, aby sa zabezpečila čistota plastov pred ich prechodom do ďalšej fázy. To môže zahŕňať odstránenie stôp jedla, nápojov alebo etikiet.
- Druhé triedenie a kontrola: Plasty sa pred odoslaním do vstrekovacieho zariadenia opäť triedia a kontrolujú.
- Vytlačanie: Plastové vločky sa nakoniec premenia na homogénne pelety pripravené na použitie pri výrobe nových výrobkov.



Obrázok 4 Schéma mechanického recyklačného systému. Prevzaté zo zdroja [6].

Ako už bolo spomenuté v úvode, plastový odpad pochádza z priemyselných (PO) a spotrebiteľských (SO) zdrojov, pričom zväčša platí, že PO je z hľadiska zloženia ľahšie vytriediteľný a SO viac znečistený druh odpadu [4].

Najrozvinutejšie dodávateľské reťazce mechanickej recyklácie sú zavedené pre PET a PE (HDPE), pretože ich polymérny reťazec sa rozkladá pri relatívne nízkej teplote, a tak dochádza k menšej degradácii počas procesu recyklácie [7]. Napriek tomu, teoreticky možno mechanicky recyklovať všetky termoplasty s malým alebo žiadnym vplyvom na ich kvalitu. Medzi najbežnejšie príklady termoplastov patria [5]:

- Akrylonitrilbutadiénstyren (ABS)
- Polykarbonát (PC)
- Polyetylén (PE)
- Polyetyléntereftalát (PET)
- Polytetrafluóretylén (PTFE)
- Polyvinylchlorid (PVC)
- Polymetylmetakrylát (PMMA)
- Polypropylén (PP)
- Polystyrén (PS)
- Expandovaný polystyrén (EPS)

Výhody a výzvy

Hlavnou výhodou mechanickej recyklácie je, že je vhodná na decentralizovanú implementáciu. Zariadenia na mechanickú recykláciu sú jednoduché a lacné, majú relatívne nízku spotrebu energie a zdrojov v porovnaní so zariadeniami potrebnými na chemickú recykláciu [8].

Mechanická recyklácia najlepšie funguje pri homogénnych plastových tokov. Podľa K. Ragaerta a kol. (2017), používanie náterov a farieb však tento proces komplikuje. Okrem toho, ak kontaminanty nie sú úplne rozpustné, môžu vyvolať fázu separácie s negatívnym vplyvom na mechanické vlastnosti výrobku [4].

Počas mechanickej recyklácie polymérov sú najdôležitejšie dva typy rozkladu:

- rozklad spôsobený prepracovaním (tepelno-mechanická degradácia)
- rozklad počas životnosti

Pri recyklácii plastov z PO aj SO dochádza k znehodnoteniu spôsobeného kombináciou tepla a mechanického spracovania. K degradácii počas celej doby životnosti dochádza dlhodobým pôsobením najrôznejších faktorov prostredia (teplo, kyslík, svetlo, vlhkosť atď.). Tento typ degradácie je však najmä dôležitý v prípade recyklácie plastov zo SO [4].

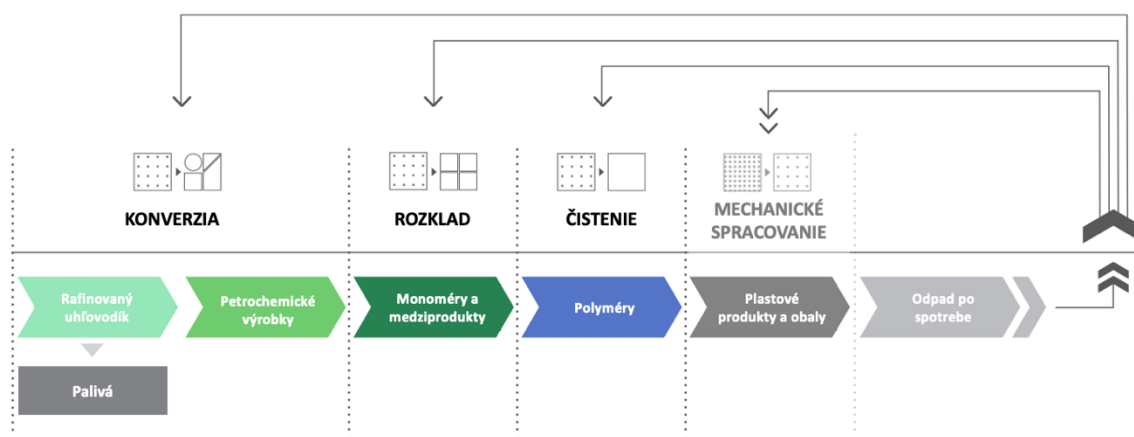
Chemické procesy recyklácie plastov.

Akokoľvek technológia opätovného spracovania, ktorá ovplyvňuje zloženie polymérneho odpadu alebo samotný polymér a premieňa ho na chemické látky a/alebo výrobky, sa môže definovať ako chemická recyklácia (okrem energetickej obnovy). Chemická recyklácia predstavuje dobre realizovateľnú možnosť pre spracovanie plastového odpadu, ktorý je buď viac znečistený alebo pozostáva z viacerých materiálov [9].

Je založený na premene polymérov na menšie molekuly. Spôsoby chemickej recyklácie možno rozdeliť na termochemické a katalytické procesy konverzie [4]. Medzi takéto príklady patrí [9]:

- Depolymerizácia: väčšinou sa zameriava na jeden druh plastu nezávisle triedený podľa druhu, t. j. PET (vrátane vlákien), polyamidy alebo nylon (PA), polyuretán (PU), PMMA a kyselina polymliečna (PLA).
- Pyrolýza a hydrotermálne zušľachťovanie: väčšinou sa zameriavajú na zmiešané polyméry vrátane viacvrstvových (LDPE, HDPE, PP, PS).
- Splyňovanie: väčšinou sa zameriava na zmiešané polyméry.

Ďalšie porovnanie procesu spracovania plastového odpadu možno získať pri pohľade na konkrétne technologické výstupy. Mechanická recyklácia nemení štruktúru polymérov. V procese čistenia sa používajú rozpúšťadlá na odstránenie prísad z polymérov, pričom polyméry zostávajú takmer nezmenené. Naopak, depolymerizácia rozkladá dlhé uhľovodíkové reťazce na kratšie uhľovodíkové frakcie alebo na monoméry pomocou chemických, tepelných alebo katalytických procesov. Napokon technológie konverzie spracovávajú plastové materiály na úplne základné zložky, ktoré sa nachádzajú vo vstupnom prúde petrochemického priemyslu [10]. Grafický vyobrazenie je uvedené na obrázku 5.



Na vyššie uvedenom obrázku pojem "monoméry" zahŕňa aj iné medziprodukty, ako napríklad paraxylen. V súčasnom prostredí sa tieto medziprodukty často vyrábajú z petrochemikálií vyrábaných konverzným procesom.

Obrázok 5. Chemické technológie na zhodnocovanie plastového odpadu. Prevzaté zo zdroja [11].

Výhody a výzvy

Na rozdiel od mechanickej recyklácie je kvalita recyklátu (výstupu recyklačného procesu) dosiahnutá na konci chemickej recyklácie porovnateľná s kvalitou primárnych plastových materiálov [8].

Zo všeobecného hľadiska sú výsledky analýzy životného cyklu chemických recyklačných procesov pozitívne. Chemická recyklácia má menší negatívny vplyv na životné prostredie v porovnaní so spaľovaním pri získavaní energie, ako aj z výroby plastov alebo špeciálnych chemických výrobkov z fosílnych zdrojov [9].

Nižšie je uvedená porovnávací tabuľka výhod a nevýhod mechanickej a chemickej recyklácie.

Vlastnosť	Mechanická recyklácia	Chemická recyklácia
Technické požiadavky na infraštruktúru/procesy	nízke	vysoké
Možnosť decentralizovaného spracovania	možná	V súčasnosti technicky náročná a neekonomická.
Požiadavka na kvalitu vstupného toku	vysoká	nízka a stredná úroveň
Kvalita výstupného materiálu	Závisí od kvality vstupného materiálu. Mierne zlepšenie kvality pomocou parametrov procesu a prísad je možné, ale je nepriamo úmerné technickým nákladom.	veľmi vysoká
Schválenie výstupu potravinárskymi orgánmi	v osobitných prípadoch je možné	vysoké
Možnosť viacnásobnej recyklácie	obmedzená	možná
Priemyselná zrelosť	vysoká	V závislosti od procesu, nie úplne vyspelá.
Náklady	nízke	vysoké
Posudzovanie vplyvov na životné prostredie	Vzhľadom na nedostatok údajov celého životného cyklu viacnásobnej recyklácie, procesov zlepšovania kvality a použitia zhodnotených materiálov v konkrétnych aplikáciách, nie je v súčasnosti možné presné porovnanie. Aj	

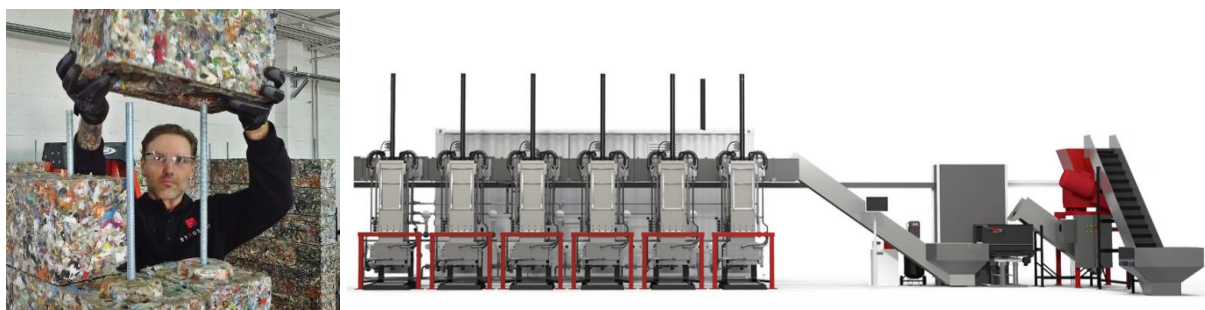
keď z hľadiska ekologického dopadu sa očakáva, že mechanická recyklácia bude výhodnejšia.

Tabuľka 1 Výhody a nevýhody chemickej a mechanickej recyklácie. Prevzaté zo zdroja [8].

Prípadové štúdie a príklady

ByBlock je produkt, ktorý v rámci čisto mechanickej recyklácie vytvorila spoločnosť [ByFusion](#). Spoločnosť v procese bezodpadového spracovania netriedeného zmiešaného plastového odpadu bez sekundárnych prísad alebo plnív využíva iba paru (teplo) a stláčanie a tak vyrába ByBlock.

ByBlock sa dá prispôbiť špecifickej hustote, nepraská ani sa nedrobí ako betónové bloky, nevyžaduje použitie lepidiel, produkuje o 83 % menej emisií CO₂ oproti betónovým blokom a na jeho výrobu sa môže použiť aj stavebný zvyškový materiál.



Talianska spoločnosť [Ecoplasteam](#) využíva patentovaný proces na spracovanie polyaminátov (plastové a kovové vrstvy) zo spotrebiteľských odpadových tokov (SO) na vytvorenie novej sekundárnej línie recyklovateľných materiálov. Kombináciou použitia mechanickej recyklácie a niektorých prísad, spoločnosť Ecoplasteam navrhla nový materiál vyrábaný z odpadu z potravinových obalov. Keď sa polyamináty zo SO získavajú z podobných tokov, vedie to k časovo konzistentným výsledkom z hľadiska zloženia a vlastností. Vďaka tomu je nový materiál EcoAllene® pevný a ľahko opakovateľný, čo umožňuje pracovať s ním rovnako ako s primárnou surovinou. Niektoré obrázky procesu a aplikácií nového materiálu sú uvedené nižšie.



Ako premeniť plastový odpad na produkty?



Automobilové komponenty



Obaly

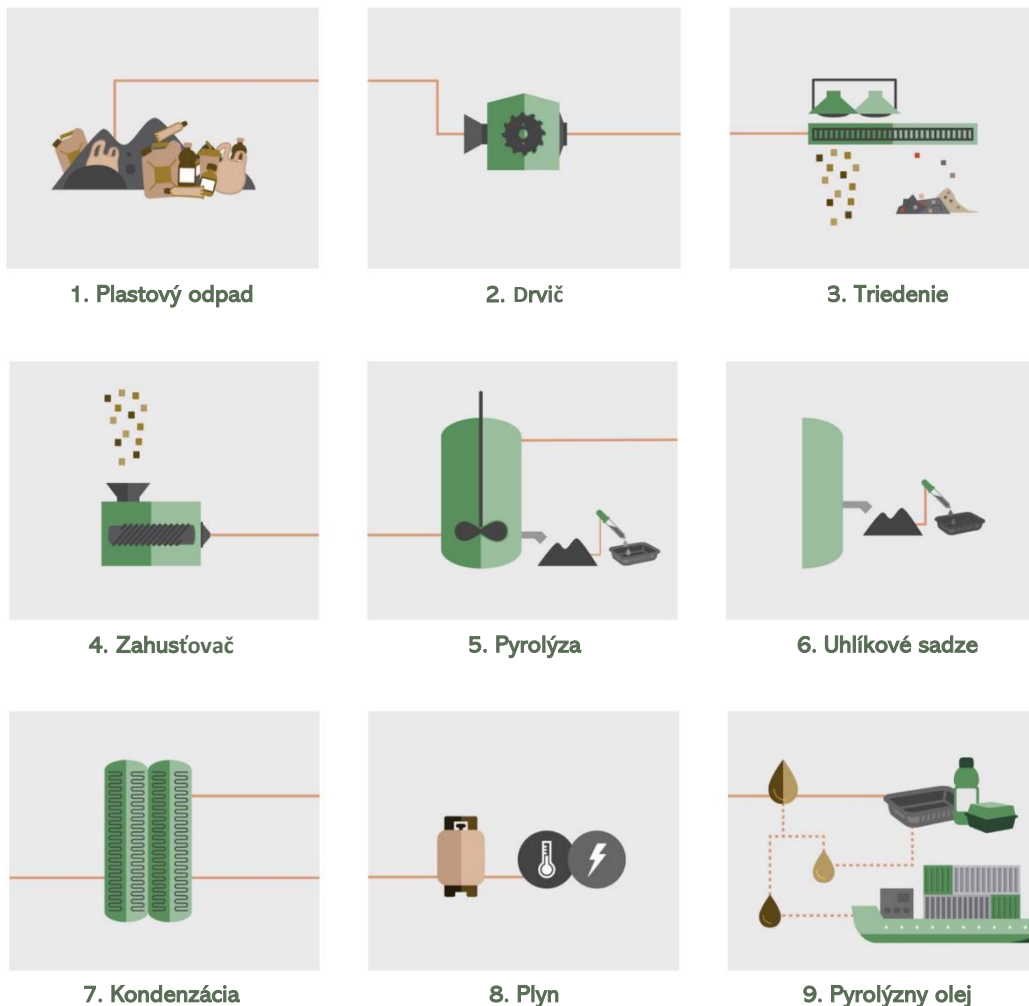


Nábytok a príslušenstvo

Spoločnosť Makeen Energy pôsobí v oblasti chemickej recyklácie a vyvinula produkt [Plastcon](#). Táto technológia umožňuje premeniť nespracovaný a netriedený plastový odpad na pyrolýzny olej a iné suroviny, ktoré možno použiť na výrobu nových plastových materiálov. Systém prijíma všetky druhy plastového odpadu bez výnimky.

V závislosti od konkrétneho nastavenia a kontextu je systém schopný vytvoriť približne:

- 75 % pyrolýzneho oleja, ktorý sa môže použiť pri výrobe nových plastových materiálov.
- 15 % plynu, ktorý sa môže použiť na výrobu energie alebo tepla. Výroba plynu pozostáva zo zmesi metánu, etánu a propánu.
- 10 % sadze, ktorá sa môže použiť na farbenie nových plastových materiálov.



Zdroje

Publikácie:

Chemical recycling and its CO2 reduction potential

<https://cedelft.eu/wp-content/uploads/sites/2/2021/04/Chemical-recycling-and-its-CO2-reduction-potential.pdf>

Chemical recycling explained: an overview

<https://pryme-cleantech.com/chemical-recycling>

What is Mechanical Recycling?

<https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/what-is-mechanical-recycling>

Grafický obsah:

Plastics: The Facts 2021

https://plasticseurope.org/wp-content/uploads/2021/12/AF-Plastics-the-facts-2021_250122.pdf

Video:

How does plastic recycling really work?

<https://www.youtube.com/watch?v=zO3jFKiqmHo&t=213s>

How to recycle the unrecyclable?

<https://www.youtube.com/watch?v=cPEDdrGDGrS>

Iné zdroje:

Precious Plastic Academy

<https://community.preciousplastic.com/academy/plastic/basics>

The Circular Economy for Plastics – A European Overview

<https://plasticseurope.org/knowledge-hub/the-circular-economy-for-plastics-a-european-overview-2/>

Referencie:

- [1] "Plastics - the Facts 2021," Plastics Europe, 2021. Accessed: Feb. 16, 2023. [Online]. Available: https://plasticseurope.org/wp-content/uploads/2021/12/AF-Plastics-the-facts-2021_250122.pdf
- [2] J. Hopewell, R. Dvorak, and E. Kosior, "Plastics recycling: challenges and opportunities," *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.*, vol. 364, no. 1526, pp. 2115–2126, Jul. 2009, doi: 10.1098/rstb.2008.0311.
- [3] "Improving Plastics Management: Trends, policy responses, and the role of international co-operation and trade," OECD Environment Policy Papers 12, Sep. 2018. doi: 10.1787/c5f7c448-en.
- [4] K. Ragaert, L. Delva, and K. Van Geem, "Mechanical and chemical recycling of solid plastic waste," *Waste Manag.*, vol. 69, pp. 24–58, Nov. 2017, doi: 10.1016/j.wasman.2017.07.044.
- [5] "Recycling technologies • Plastics Europe," *Plastics Europe*. <https://plasticseurope.org/sustainability/circularity/recycling/recycling-technologies/> (accessed Feb. 17, 2023).
- [6] Z. O. G. Schyns and M. P. Shaver, "Mechanical Recycling of Packaging Plastics: A Review," *Macromol. Rapid Commun.*, vol. 42, no. 3, p. 2000415, Feb. 2021, doi: 10.1002/marc.202000415.
- [7] "Recycling of Polyethylene Terephthalate (PET or PETE)," *AZoCleantech.com*, Jul. 24, 2012. <https://www.azocleantech.com/article.aspx?ArticleID=254> (accessed Feb. 24, 2023).
- [8] M. Shamsuyeva and H.-J. Endres, "Plastics in the Context of the Circular Economy and Sustainable Plastics Recycling: Comprehensive Review on Research Development, Standardisation and Market," *Compos. Part C Open Access*, vol. 6, Jul. 2021, doi: 10.1016/j.jcomc.2021.100168.
- [9] "About Chemical Recycling | Chemical Recycling Europe," *ChemRecEurope*. <https://www.chemicalrecyclingeurope.eu/copy-of-about-chemical-recycling-1> (accessed Feb. 17, 2023).
- [10] B. P. Federation, "Chemical Recycling 101," *British Plastics Federation*. <https://www.bpf.co.uk/plastipedia/chemical-recycling-101.aspx> (accessed Feb. 17, 2023).

[11] "Accelerating Circular Supply Chains for Plastics," Closed Loop Partners, 2021. Accessed: Feb. 17, 2023. [Online]. Available: https://www.closedlooppartners.com/wp-content/uploads/2021/01/CLP_Circular_Supply_Chains_for_Plastics_Updated.pdf