



EVROPSKÁ UNIE

Evropský fond pro regionální rozvoj

OP Podnikání a inovace pro konkurenceschopnost



MINISTERSTVO  
PRŮMYSLU A OBCHODU



TECHNOLOGICKÉ  
CENTRUM AV ČR



ČESKA TECHNOLOGICKÁ  
PLATFORMA PLASTY

## **Technologický foresight výroby a zpracování plastů v kontextu globálního vývoje**

Zpracováno v rámci projektu „Technologická platforma Plasty V“ projekt CZ.01.01.01/07/23\_010/0001245 za podpory programu Ministerstva průmyslu a obchodu ČR a spolufinancování Evropské unie.

**Aktualizace říjen 2025**

## Obsah

|                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------|----|
| Úvod.....                                                         | 5  |
| 1. Globální „megatrendy“ ovlivňující naši budoucnost .....        | 6  |
| 1.1. Klimatická změna, dostupnost zdrojů a znečištění plasty..... | 6  |
| 1.2. Urbanizace.....                                              | 8  |
| 1.3. Demografické a sociální změny .....                          | 9  |
| 1.4. Změna center globální ekonomické síly .....                  | 9  |
| 1.5. Akcelerace technologických změn .....                        | 10 |
| 2. Obecné trendy v plastikářském průmyslu .....                   | 11 |
| 2.1. Segmentace trhu .....                                        | 11 |
| 2.2. Rostoucí globální poptávka .....                             | 12 |
| 2.3. Inovace v plastových technologiích.....                      | 13 |
| 2.4. Digitalizace a využití AI v segmentu plastů.....             | 13 |
| 2.5. Expanze obalového průmyslu .....                             | 20 |
| 2.6. Udržitelnost a environmentální výzvy .....                   | 20 |
| 2.7. Regulační opatření .....                                     | 20 |
| 2.8. Ceny petrochemických surovin a energií .....                 | 21 |

|       |                                                                         |    |
|-------|-------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.9.  | Přechod k bioplastům.....                                               | 22 |
| 2.10. | Spotřebitelské trendy a preference .....                                | 22 |
| 2.11. | Nárůst používání plastů ve zdravotnictví .....                          | 22 |
| 3.    | Světový vývoj výroby a zpracování plastů .....                          | 23 |
| 8.    | Budoucí vývoj klíčových aplikačních sektorů pro plasty .....            | 32 |
| 8.1.  | Obaly .....                                                             | 32 |
| 8.2.  | Stavebnictví .....                                                      | 33 |
| 8.3.  | Automobilový průmysl .....                                              | 33 |
| 8.4.  | Elektronika a elektrotechnika.....                                      | 34 |
| 8.5.  | Zemědělství .....                                                       | 35 |
| 8.6.  | Zdravotnictví.....                                                      | 36 |
| 9.    | Budoucí technologie pro výrobu a využití plastů .....                   | 37 |
| 9.1.  | Úvod .....                                                              | 37 |
| 9.2.  | Využití obnovitelných zdrojů .....                                      | 38 |
| 9.3.  | Bioplasty a jejich technologie.....                                     | 39 |
| 9.4.  | Rozvoj vyspělých technologií a plastů se zvýšenou užitnou hodnotou..... | 48 |
| 9.5.  | Plastové obaly .....                                                    | 51 |

|       |                                                    |    |
|-------|----------------------------------------------------|----|
| 9.6.  | Nanokompozity .....                                | 53 |
| 9.7.  | Materiály pro zdravotnictví .....                  | 54 |
| 9.8.  | Oxo-biodegradovatelné plasty (zemědělství) .....   | 56 |
| 9.9.  | Plasty se sníženou hořlavostí (stavebnictví) ..... | 58 |
| 9.10. | Plasty pro dopravní prostředky .....               | 61 |
| 9.11. | Obnovitelné zdroje a recyklace .....               | 64 |
| 10.   | Závěr .....                                        | 68 |
|       | Zdroje .....                                       | 70 |
|       | Zkratky .....                                      | 71 |

## Úvod

Tato studie byla zpracována v rámci projektu „Technologická platforma Plasty V“ projekt CZ.01.01.01/07/23\_010/0001245 za podpory programu Ministerstva průmyslu a obchodu ČR a spolufinancování Evropské unie. ve spolupráci České technologické platformy Plasty a Technologického centra AV ČR pro účely aktualizace Strategické výzkumné agendy a Implementačního akčního plánu ČTP Plasty. Jedná se o aktualizaci technologického foresightu výroby a zpracování plastů v kontextu globálního vývoje z listopadu 2024.

Cílem této studie je identifikovat a analyzovat klíčové globální megatrendy, které budou mít vliv na dlouhodobý vývoj společnosti (za horizont roku 2030). Studie se dále zaměřuje na analýzu vybraných vývojových trendů v hlavních aplikačních sektorech plastů. Pochopení těchto zásadních transformačních procesů představuje základní předpoklad pro identifikaci aktuálních a budoucích technologických výzev v oblasti výroby a zpracování plastů. Navazuje na zprávu „Východiska pro tvorbu scénářů vývoje chemického průmyslu ČR do roku 2050“, která byla zpracována v červenci 2021 ve spolupráci Technologického centra Praha, Svazu chemického průmyslu ČR, SUSCHEM CZ (České technologické platformy pro udržitelnou chemii) a České technologické platformy Plasty.

Struktura studie odráží metodologii analýzy od nejširších globálních megatrendů, přes vývojové trendy v aplikačních sektorech až po technologické výzvy, kterým čelí sektor výroby a zpracování plastů. První část stručně prezentuje klíčové transformační procesy (megatrendy), které již dnes prokazatelně existují a budou mít zásadní vliv na budoucí vývoj společnosti. Následující část se zaměřuje na hlavní hybné síly v segmentu výroby a zpracování plastů v kontextu chemického průmyslu. Třetí část je věnována vývojovým trendům a prognózám v klíčových sektorech, které tvoří poptávku po plastech. Identifikace megatrendů a hlavních vývojových trendů v aplikačních sektorech slouží jako základ pro stanovení budoucích technologických výzev, jimž bude nezbytné věnovat pozornost. Tyto technologické výzvy jsou detailně popsány ve čtvrté, závěrečné části studie. Snaha byla postihnout hlavní faktory ve struktuře použité ve studii „The EU Chemical Industry Transition Pathway“ a z ní vycházejícího Akčního plánu pro Digitální a zelenou transformaci plastikářského průmyslu ČR zpracovaného ČTP Plasty.

# 1. Globální „megatrendy“ ovlivňující naši budoucnost

## 1.1. Klimatická změna, dostupnost zdrojů a znečištění plasty

Ve dnech 31. 10. až 13. 11. 2021 proběhla v Glasgowě 26. konference smluvních stran OSN o změně klimatu (COP 26). Diskutovalo se o plnění závazného dokumentu z Pařížské dohody o klimatu, zejména o mechanismu trhu s uhlíkem a financování projektů, které mají zajistit do roku 2050 uhlíkovou neutralitu a nepřekročení průměrné teploty o více než 1,5 °C. Přijatý Glasgowský pakt znovu potvrzuje cíle Pařížské dohody a uznává, že omezení globálního oteplování na 1,5 °C oproti předindustriální úrovni vyžaduje rychlé, hluboké a trvalé snížení celosvětových emisí skleníkových plynů, včetně snížení celosvětových emisí oxidu uhličitého o 45 % do roku 2030 ve srovnání s úrovní v roce 2010 a na čistou nulu kolem poloviny století, jakož i hluboké snížení emisí dalších skleníkových plynů. Glasgowský pakt o klimatu je také první klimatickou dohodou, která výslovně zmiňuje uhlí jako největšího přispěvatele ke změně klimatu a hovoří o záměru postupně snižovat využívání uhelné energie. V rámci konference se rozšířil počet zemí, které se zavázaly dosáhnout čistých nulových emisí, na 140. To představuje 90 % celosvětových emisí. Více než 10 zemí se zavázalo, že do roku 2030 zvrátí odlesňování. Více než 40 zemí se zavázalo k odklonu od uhlí.

Plasty jsou životně důležité pro splnění cílů OSN v oblasti udržitelného rozvoje. Významný růst jejich spotřeby v každodenním životě je, bohužel, spojen s všudypřítomným plastovým odpadem. Jeho opětovným použitím v rámci cirkulární ekonomiky s důležitou spoluprací výrobců, zpracovatelů, uživatelů a společnostmi zabývajícími se využitím odpadů je globální výzvou. Pandemie Covid-19 ukázala na řadu neefektivních příkladů k přechodu na udržitelnou ekonomiku plastů.

Na tiskové konferenci dne 1. 9. 2021 ve Washingtonu vyzvali prezidenti petrochemických společností Dow a LyondellBasell vedení OSN, aby při nadcházejícím plenárním zasedání přistoupily zúčastněné státy k vypracování a přijetí globální dohody o odstraňování plastového odpadu z životního prostředí.

Připomněli významné přínosy plastových aplikací v oblasti snižování spotřeby energií a emisí CO<sub>2</sub>. Obecnou vizí by se mělo stát zabránění vstupu plastů do životního prostředí, přijetím univerzálního přístupu ke sběru odpadů a jejich opětovným použitím, namísto zákazů a vyřazování plastů z aplikací. Investování do zlepšeného nakládání s plastovým odpadem by se mělo stát nejvyšší prioritou. Dosavadní míra recyklace plastů mezi 10-14 % je, oproti násobně vyšším podílům recyklací papíru (70 %), kovů (45 %) a skla (35 %), naprosto nedostatečná. Nutno podotknout, že pro výpočet míry recyklace se ve světě používá více než deset způsobů a certifikací.

Britská společnost Eunomia vypočítala, že v roce 2019 dosáhly světové emise CO<sub>2</sub> výše 36 miliard tun. Při zlepšení současného stavu technologií využívání odpadů by bylo možno ušetřit 2,1 až 2,8 miliard tun exhalací CO<sub>2</sub>. Poukazuje na tři klíčové oblasti:

- Efektivnější sběr
- Účinnější třídění a recyklaci
- Odklonění od skládkování a spalování

Současné charakteristiky výrobního a spotřebního chování rovněž výrazně zvyšují tlak na zdroje. Očekává se, že rostoucí globální populace bude do roku 2030 požadovat o 35 % více potravin. Stále

vyžadovanějším druhem potravin v souvislosti s rostoucími příjmy obyvatel jsou rostlinné oleje, mléčné výrobky, maso, ryby a cukr, jejichž rostoucí spotřeba bude mít obzvlášť významný dopad na dostupnost energie a vody. S růstem populace a ekonomické úrovně se do roku 2030 očekává zvýšení celosvětové poptávky po vodě o 40 % a energie o 50 %.

Blogger na [www.icas.com](http://www.icas.com) John Richardson uvádí, že podíl rozvojových zemí na světové produkci plastových odpadů poroste. Jestliže v období 1999-2019 se rozvojové země se podílely 41,4 %, pak na období 2020-2040 se očekává zvýšení podílu na 63,3 %. Při neexistenci dokonalých systémů třídění a recyklací a ukládání odpadů na skládky se zvyšuje tvorba metanu, který patří k násobně nebezpečnějším skleníkovým plynům, než je CO<sub>2</sub>.

Paul Hodgess na stejném serveru uvádí, že současné desetiletí je klíčové pro dosažení cílových parametrů z Pařížské dohody a chemický průmysl, jehož součástí je i produkce plastů, mají všechny předpoklady k úspěchu. Aplikace plastů pomůže ke plnění cílů i v dalších sektorech, zejména ve výrobě dopravních prostředků. Přechod na alternativní výrobu energií a elektropohony a vyšší využívání odpadních plastů způsobí pokles spotřeby ropy z necelých 100 mil. barelů/den v rekordním roce 2019 na pětinu v roce 2050 a současně dojde k odstavování nadbytečných rafinerií ropy. K třetinovému poklesu by mělo dojít i ve spotřebě zemního plynu.

Podle studie společnosti Markets and Markets dosáhl v roce 2017 globální trh s mechanicky recyklovanými plasty hodnoty 36,9 miliard USD a do roku 2022 má každoročně růst průměrně o 6,4 % na hodnotu 50,4 miliardy USD. Motorem růstu jsou obalové aplikace, z plastových typů PET a z regionů Asie a Tichomoří a Severní Amerika.

Do procesů využití postuživatelských plastových odpadů jsou zapojeny, kromě odpadářských společností, jako jsou francouzské Veolia a Suez, KW Plastics z USA i další aktéři, včetně výrobců zařízení pro třídění a mechanickou recyklaci, ale i technologie chemických recyklací u výrobců primárních plastů. Výrobci aditiv přispívají ke zlepšení vlastností recyklátů, zejména k jejich čistotě, mechanickým a senzometrickým vlastnostem.

Asociace Plastics Europe podporuje schválení povinného cíle pro 30procentní obsah recyklátu v obalech od roku 2030. Podmiňuje to s uznáním chemické recyklace odpadních plastů za plnohodnotnou formu recyklací. Současným cílem pro recyklaci plastů v Evropě v roce 2025 je zpracování 10 milionu tun plastových odpadů. Podle údajů agentury AMI je v současnosti v EU v provozu 1 100 linek pro mechanickou recyklaci o roční kapacitě 4 mil. tun. Dosažení cíle je tak procesem mechanických recyklací nereálné. Je nutno schválit možnost započítání přínosů z chemických způsobů recyklací a výstavbu nových linek urychlit.

Podle studie IHS Markit bude nutno, v souladu s trvale rostoucí poptávkou po plastech, do roku 2050 investovat do plastikářského průmyslu 1,5 bilionu USD, z čehož 300 miliard USD bude nutno investovat do nových kapacit pro mechanické a chemické recyklace plastových odpadů.

Chemický průmysl musí prioritně řešit nízkouhlíkovou budoucnost. Každá chemická společnost vydává kromě výroční zprávy o hospodaření i zprávu o udržitelnosti, ve které vytyčuje i úkoly k vyššímu využití plastových odpadů. Z každé tuny plastového odpadu lze získat chemickými procesy 700-800 kg sekundárních chemikálií. K řešení plastových odpadů se vyvíjejí následující procesy:

- Rozpouštění, zejména pro PS z obalů, EPS z izolací, PET z obalů a textilu, PE a PA z vícevrstvých obalů a PP z koberců

- Depolymerizace, zejména pro PS a EPS z obalů, PET z obalů a textilu, PUR z matrací, a z izolací, PA ze sítí, textilu a koberců, PMMA a polyolefiny z obalů a folií
- Pyrolýza pro směsné plasty po odstranění PVC a PET
- Zplyňování pro směsné plasty.
- Z analýz životního cyklu /LCA/ vyplývá, že mechanické nebo chemické recyklace plastových odpadů, oproti jejich spalování, snižují emise CO<sub>2</sub> o více než 50 %. Chemická recyklace se tak stává vhodným doplňkem k mechanickým způsobům, zejména v případě využití směsných nebo znečištěných odpadů. Z přehledné studie agentury Eunomia z prosince 2020 vyplývá, že v procesu výstavby je v Evropě a USA více než 30 jednotek s desítkou technologií a s kapacitami 800 - 200 000 tun za rok na jednotku.

Imperativem pro snížení vlivu člověka na změny klimatu je úprava současných modelů výroby a spotřeby a přechod k nízkouhlíkovému oběhovému hospodářství. K tomu, aby do roku 2100 nedošlo ke zvýšení teploty o kritické 2 stupně, je zapotřebí, aby se emise CO<sub>2</sub> celosvětově snižovaly nejméně o 6,5 % ročně.

Ve dnech 28.2. až 2.3.2022 proběhlo za účasti zástupců 175 zemí v keňském Nairobi Shromáždění OSN pro životní prostředí /UNEA - 5.2/ k zahájení procesu, který měl navrhnout právně závaznou globální smlouvu o zabránění znečišťování plasty k přijetí v roce 2024. Setkání se zúčastnilo 3400 expertů osobně a 1500 online.

Konference smluvních stran OSN o změně klimatu 2024, známá jako COP29, se pak konala v Baku, Ázerbájdžánu, od 11. do 22. listopadu 2024. Konference byla uzavřena dohodou o finančních plánech na zmírnění dopadů změny klimatu a na pomoc rozvojovým zemím při přechodu na udržitelnější zdroje energie. Rozvinuté země souhlasily s tím, že do roku 2035 pomohou nasměrovat do rozvojových zemí 300 miliard dolarů ročně, aby podpořily jejich úsilí vypořádat se s klimatickými změnami. Jednotný požadavek rozvojových zemí byl při tom 1,3 bilionu USD ročně.

Konference COP29 se tak zaměřila především na stanovení nového cíle pro financování klimatických opatření (New Collective Quantified Goal on Climate Finance, NCQG), který má nahradit dlouhodobě nenaplňovaný závazek rozvinutých zemí poskytovat 100 miliard USD ročně na podporu klimatických opatření v rozvojových státech. Další klíčová témata zahrnovala implementaci dohody z předchozího summitu COP28 o postupném odklonu od fosilních paliv a začlenění těchto závazků do národních klimatických plánů do roku 2035.

## 1.2. Urbanizace

V roce 1800 žila ve městech pouze 2 % světové populace. V roce 2010 to bylo více než polovina a do roku 2050 bude ve městech žít přes 70 % populace. Tento urbanizační trend klade velké nároky na infrastrukturu, služby, pracovní místa, klima a životní prostředí ve městech.

Zatímco města zaujímají pouze 0,5 % světové půdy, spotřebují 75 % přírodních zdrojů a vytvoří 80 % celosvětových emisí skleníkových plynů. Zefektivnění nakládání s přírodními zdroji a optimalizace energetické spotřeby ve městech je proto klíčovým předpokladem pro dosažení globálních cílů v oblasti udržitelnosti a změny klimatu. Pro města budoucnosti je důležité, aby byla čistá, odolná, ekologická, s integrovaným a kompaktním designem dopravní a energetické infrastruktury a využívání půdy.



Rychlý rozvoj urbanizace a s ním související požadavek na udržitelný rozvoj měst bude významně ovlivňovat segment stavebnictví, dopravy a energetiky, které patří mezi klíčová odvětví aplikací pro odvětví výroby a zpracování plastů. Důležitou oblastí související s rostoucí urbanizací je rovněž nakládání s odpady.

### 1.3. Demografické a sociální změny

Do roku 2030 se očekává nárůst celosvětové populace o více než 1 miliardu, čímž celkový počet obyvatel na Zemi přesáhne osm miliard. 97 % tohoto populačního růstu bude pocházet z rozvíjejících se nebo rozvojových zemí. Pro budoucí vývoj populace je stejně významným trendem, že lidé ve všech regionech žijí déle a mají méně dětí. Výsledkem je, že nejrychleji rostoucím segmentem bude v následujících letech populace ve věku nad 65 let.

Přestože trend stárnutí populace bude patrná ve všech regionech světa, nejrychleji se tento trend projeví v Evropě, Asii a Latinské Americe. Například v Asii je nyní na jednu osobu v postproduktivním věku v průměru devět lidí v produktivním věku. Do roku 2050 se tento podíl sníží na čtyři lidi v produktivním věku. V Evropě lze očekávat obzvláště významný pokles obyvatelstva v produktivním věku, což se odrazí v poklesu lidí v produktivním věku na jednu osobu v postproduktivním věku ze současných čtyř na dvě.

Trend stárnutí populace se projeví mimo jiné v rostoucích nárocích na zdravotní péči. Ve Spojených státech, kde jsou celosvětově absolutně nejvyšší výdaje na zdravotní péči, se očekává roční růst těchto výdajů mezi roky 2013 a 2040 o 3,4 miliardy dolarů. Také ostatní ekonomiky zemí G7 zaznamenají podstatné zvýšení výdajů na zdravotní péči. Rostoucí poptávka po zdravotní péči je významnou příležitostí pro uplatnění nových technologií, které tuto oblast zlepší a zefektivní. Významným faktorem rozvoje zdravotnických technologií a jejich širokého uplatnění budou nízké náklady.

Globální demografické změny a trend stárnutí populace bude ovlivňovat ekonomické i sociální atributy fungování společnosti. Vedle toho budou tyto megatrendy stěžejním způsobem determinovat vývoj v oblasti zdravotnictví, které představuje jednu z důležitých oblastí pro uplatnění speciálních plastů.

### 1.4. Změna center globální ekonomické síly

V posledním desetiletí byla hlavním motorem globální ekonomiky Čína, která rostla výrazně vyšším tempem než vyspělé ekonomiky. Čína se tak stala globálním ekonomickým hráčem a dalším centrem ekonomické a politické síly. Avšak i Čína již naráží na limity extenzivního růstu a její ekonomický model se začíná transformovat od závislosti na vývozu zboží a kapitálových investicích směrem k domácí spotřebě a službám. Důsledkem toho je nižší poptávka po dovezených komoditách, což je jeden faktor, který snižuje celosvětové ceny, zejména v oblastech, jako jsou kovy.

Do budoucna se očekává dynamický vzestup především indické ekonomiky, která se v posledních letech začala aktivně transformovat. Podle odhadů PwC by se indická ekonomika mohla do roku 2050 stát druhou největší ekonomikou světa (po Číně). Rychlý ekonomický rozvoj se očekává také v dalších zemích jihovýchodní Asie, jako je Indonésie, Vietnam či Filipíny.

Rozvoj nových center globální ekonomické síly se odrazí mimo jiné v rostoucí soutěži o zdroje, což výrazně posílí tlak na obnovitelné zpracování produktů vycházejících z existující zdrojové báze. Současně bude vznik nových ekonomických center vytvářet významné příležitosti z hlediska B2B spolupráce a konečných trhů.

Tyto aspekty změn center globální ekonomické síly budou ovlivňovat dynamiku změn ve všech nejvýznamnějších aplikačních odvětvích pro výrobu a zpracování plastů. Rostoucí soutěž o zdroje je významnou výzvou pro samotný proces výroby a zpracování plastů, kde bude posilovat tlak na využívání obnovitelných zdrojů a biodegradabilních materiálů.

### **1.5. Akcelerace technologických změn**

Současný trend ukazuje na stále rostoucí dynamiku technologické změny, kdy se zkracuje doba od vývoje nových technologií k jejich uplatnění a rozšíření ve společnosti. Technologická změna má proto rychlejší dopad na rozvoj společnosti než v minulosti. Mezi hlavní faktory současné dynamiky technologické změny patří levnější přístup k technologiím, globalizace technologie, zvýšený komfort života s technologiemi, konkurenční výhoda technologie a multiplikační efekt technologie.

Digitalizace a automatizace, zahrnující umělou inteligenci, rozšířenou a virtuální realitu, internet věcí, robotiku, aditivní výrobu a blockchain, budou zásadně ovlivňovat obchodní modely a spotřebitelské chování. Levné a spolehlivé senzory spolu s téměř neomezeným připojením umožní propojit různá zařízení (Internet of Everything), což změní oblasti jako zdravotní péče, doprava, výroba či vzdělání.

Univerzální konektivita rovněž skýtá významný potenciál pro vývoj inovativních výrobních a obchodních modelů. Za uplynulé desetiletí mnoho společností investovalo do propojení všech aspektů svého výrobního procesu od návrhu a vývoje až po logistiku. Díky tomu nyní vykazují větší flexibilitu a schopnost adaptace při řešení výrobních problémů, což vede k efektivnějšímu hospodaření s náklady. Do budoucna lze očekávat další integraci a automatizaci výrobních procesů podél celého produkčního řetězce, což povede k vyšší produktivitě a konkurenceschopnosti. Digitalizace výrobních procesů se tedy jeví jako klíčový faktor pro budoucí fungování společností napříč všemi odvětvími a regiony světa.

Technologické změny budou významně ovlivňovat výrobní procesy ve všech aplikačních oblastech pro výrobu a zpracování plastů, stejně jako výrobní procesy v samotném odvětví. Nově nastupující technologické trendy rovněž představují příležitost pro zavedení nových materiálů. Zvláštní pozornost je věnována novým materiálům pro aditivní výrobu, kde se očekává rychlý rozvoj v blízké budoucnosti.

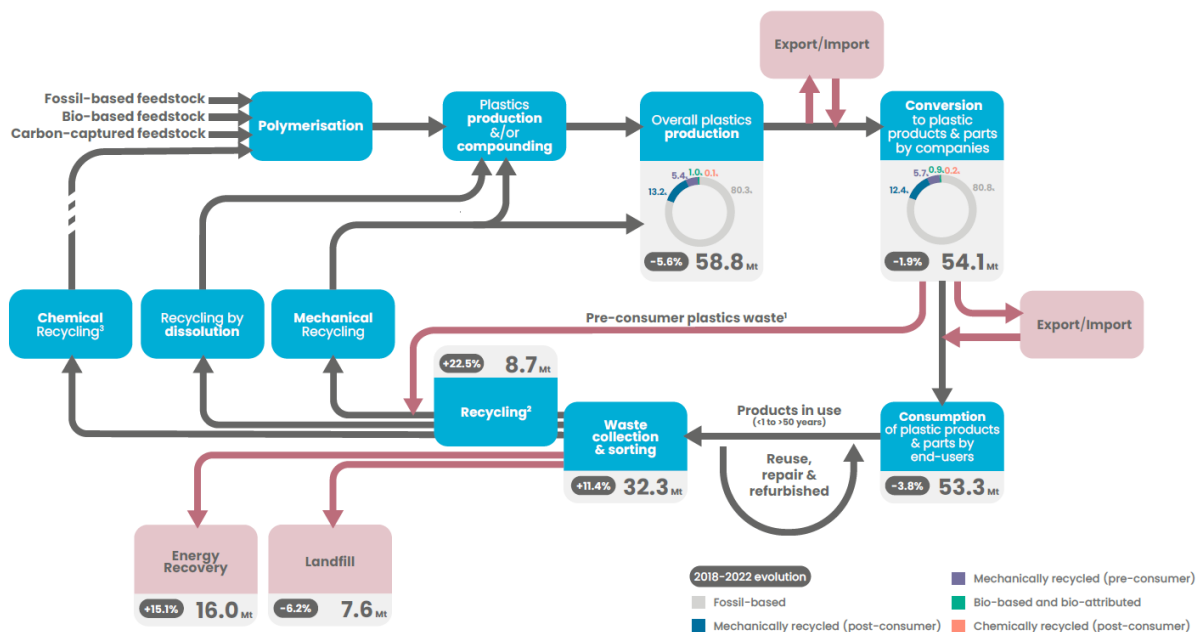
## 2. Obecné trendy v plastikářském průmyslu

Plastikářský průmysl je poměrně složitý a rychle se vyvíjející odvětví ovlivněné řadou faktorů. Hlavní faktory ovlivňující trh s plasty pak dnes můžeme shrnout do následujících nejvýznamnějších oblastí.

### 2.1. Segmentace trhu

V kontextu rozvoje cirkulární ekonomiky, která je v současnosti hnací silou transformace (nejen) plastikářského průmyslu, je hodnotový řetězec výroby a zpracování plastů rozšířen o systém sběru a recyklace plastů, čímž směřuje k ucelenému oběhovému systému. Dochází také ke značné segmentaci trhu plastů na hlavní aplikační skupiny, často se specifickými požadavky na kombinaci vlastností plastů.

Schéma oběhového hospodářství plastů



Zdroj: PlasticsEurope (2024): The Circular Economy for Plastics A European Analysis.

Pro lepší pochopení trhu s plasty je nutné rozlišit segment primární výrobu plastů (polymerů) a zpracování plastů do konečných produktů:

**Primární výroba plastů** (polymerů) zahrnuje syntézu základních polymerních materiálů, jako je polyetylen (PE), polypropylen (PP), polyvinylchlorid (PVC) nebo polystyren (PS). Primární výroba plastů je realizována zejména petrochemickými firmami. Tento sektor je ovlivněn cenami ropy a zemního plynu, které určují výrobní náklady polymerů. Stále větší důraz se klade na výrobu bioplastů a recyklovaných polymerů jako odpověď na legislativní tlaky a rostoucí požadavky na udržitelnost.

**Zpracování plastů** se zaměřuje na transformaci primárních plastů do finálních produktů prostřednictvím různých technologií, jako je vstřikování, extruze, termoformování či 3D tisk. Tento segment pokrývá rozsáhlé aplikace, od výroby obalů, automobilových dílů a stavebních materiálů až po specializované komponenty např. v elektrotechnice. Zpracování plastů reaguje na zvýšenou poptávku po lehkých a ekologických materiálech, přičemž se rozvíjí **technologie recyklace**, jako je chemická recyklace polymerů nebo mechanická recyklace plastového odpadu.

Plasty nacházejí široké uplatnění v různých odvětvích. Hlavní segmenty jejich využití zahrnují:

**Obaly** – hlavní síla trhu, zejména díky poptávce po polyetylenu v potravinářském a nápojovém průmyslu.

**Automobilový průmysl a doprava** – plasty zlepšují účinnost vozidel a prodlužují životnost jejich součástek. Klíčovými materiály pro automobilový sektor jsou polypropylen (PP), polykarbonát, akrylonitril-butadien-styren (ABS) a polyvinylchlorid (PVC).

**Stavebnictví** – plastové materiály se využívají při výrobě podlahových krytin, okenních fólií, armatur a potrubí.

**Textilní a spotřební průmysl** – plasty se uplatňují v oděvním průmyslu (funkční textilie, sportovní oblečení), výroba hraček, sportovního vybavení i elektroniky.

Flexibilita, odolnost a snadná tvarovatelnost polymerů představují ideální plasty pro široké spektrum produktů. Plastikářský průmysl se neustále vyvíjí pod vlivem technologických inovací, faktorů a legislativních požadavků. Klíčovým směrem je zvyšování podílu recyklovaných materiálů, vývoj ekologických podílů plastů a optimalizace výrobních procesů s cílem snížit energetickou náročnost. Plastové materiály i nadále zůstávají nepostradatelné pro širokou škálu aplikací, od obalů a automobilového průmyslu po zdravotnictví a high-tech technologiích.

Novým a zásadním prvkem především do budoucna je **systém oběhového hospodářství** plastů a stále se bouřlivě rozvíjející **sběr a třídění plastového odpadu a jeho následná recyklace** a využití pro další zpracování v chemickém průmyslu.

## 2.2. Rostoucí globální poptávka

Plasty jsou široce využívány v různých odvětvích, včetně stavebnictví, elektroniky, automobilového průmyslu, zdravotnictví a obalového průmyslu. Růst poptávky je tažen především rozvíjejícími se ekonomikami, kde plasty nalézají uplatnění díky své dostupnosti a využití širokého spektra. Zvláště důležitou roli hraje Asijsko-pacifický region, který dominuje světové výrobě i spotřebě plastů. Značně je zde rostoucí podíl výroby bio plastů.

Jedním z klíčových faktorů bude cenová konkurence výroby v Asii a USA. Rostoucí náklady na pracovní sílu a energie v kombinaci s uvolněnějšími regulačními podmínkami v těchto regionech vytvářejí tlak na evropské výrobce, kteří se budou muset stále více zaměřovat na technologické inovace a udržitelný design jako konkurenční výhodu. Očekává se, že evropské výrobky budou postupně ztrácet konkurenceschopnost vůči levnějším dovozům ze třetích zemí, což povede k dalšímu poklesu podílu evropských firem na exportních trzích mimo EU.

Roste tlak na redukci uhlíkové stopy a využívání alternativních surovin (bioplasty, recykláty). Konkurenceschopnost evropských výrobců klesá kvůli vyšším nákladům na energie a regulacím oproti asijským a americkým producentům.

Firmy se musí více soustředit na cirkulární ekonomiku, optimalizaci materiálového využití a inovace designu produktů s vyšším podílem recyklovaných materiálů. Očekává se větší poptávka po udržitelných výrobcích, zejména kvůli preferencím mladších generací.

## 2.3. Inovace v plastových technologiích

Technologický pokrok vede k vývoji nových a vylepšených plastových materiálů. Moderní formulace a pokročilé zpracovatelské metody nabízejí možnosti odolnosti, flexibility a přizpůsobivosti plastů, což rozšiřuje jejich využití. Výzkum se zaměřuje na zlepšení recyklace výkonnosti a škálovatelnosti biologicky odbouratelných polymerů, které mohou konkurovat běžným syntetickým materiálům. Nově lze narazit i na trendy využití metod CCU (výroby plastů ze zachycovaného CO<sub>2</sub>) nebo využití fermentačních technologií.

Jedním z klíčových aspektů budoucí konkurenceschopnosti bude schopnost uzavřít životní cyklus výrobků v souladu s principy oběhového hospodářství. Firmy budou čelit rostoucím nárokům na využívání recyklovaných surovin a obnovitelných zdrojů energie při výrobě plastů. Redukce uhlíkové stopy se stane prioritou, což povede k větším investicím do obnovitelných zdrojů a uhlíkově neutrálních materiálů. Zákazníci a odběratelé se stanou aktivními partnery při vývoji udržitelných produktů, což podpoří inovace a posílí vztahy mezi firmami a jejich klienty. Současně se očekává, že Evropská unie bude podporovat strategickou autonomii prostřednictvím investic do lokálních technologií, rozvoje domácí výroby a využívání primárních recyklovaných surovin.

Inovace ve vývoji bio-based plastů, chemické recyklaci a pokročilých katalyzátorech mohou zvýšit efektivitu a udržitelnost výroby. Digitalizace přinese optimalizaci výrobních procesů a snížení emisí.

Pokročilé recyklační technologie umožní širší využití recyklovaných materiálů bez ztráty kvality. Rostoucí význam 3D tisku a eko-designu posílí konkurenceschopnost inovativních zpracovatelů plastů.

## 2.4. Digitalizace a využití AI v segmentu plastů

### Digitalizace a umělá inteligence v plastikářských technologiích

Digitalizace a umělá inteligence (AI) se stávají klíčovými hybateli inovací v plastikářském průmyslu. Umožňují efektivnější výrobu, vývoj pokročilých materiálů i lepší recyklační procesy a mění způsob, jak firmy navrhují produkty a obsluhují zákazníky. Plastikářský sektor v Evropě i Česku proto stále intenzivněji zavádí prvky Průmyslu 4.0 od senzorů a IoT ve výrobě až po algoritmy strojového učení pro podporu rozhodování. Tato kapitola představuje aktuální stav a vývoj využití digitalizace a AI v oblasti plastů se zaměřením na vývoj nových materiálů, výrobní technologie, recyklaci a obchodní či zákaznické aplikace. Ukazuje konkrétní přínosy pro plastikářský sektor včetně případových studií, datových ukazatelů a výhledů do budoucna v kontextu evropského a českého průmyslu.

### AI pro vývoj nových plastových materiálů

Umělou inteligenci lze dnes využít i pro urychlení vývoje polymerních materiálů tento trend se ukazuje jako stěžejní pro budoucnost plastikářství. Tradiční vývoj nového plastu (např. bioplastu) metodou pokus-omyl ve fyzické laboratoři může trvat roky. Nyní však výzkumníci nasazují strojové učení k predikci vlastností polymerů a objevování nových receptur, což dramaticky zkracuje inovační cyklus. Například vědci vyvinuli *multitask* hluboké neuronové sítě, které se naučily z databáze ~23 000 experimentálních údajů předpovídat klíčové parametry polymerů (teploty skelného přechodu a tání, pevnost v tahu, propustnost plynů aj.) Poté prohledali obrovský prostor 1,4 milionu možných polymerních směsí a identifikovali 14 slibných PHA biopolymerů, jež výkonem mohou nahradit běžné plasty jako PE či PP. Tyto objevy by bez AI nebyly realizovatelné v rozumném čase AI tak urychluje návrh udržitelných materiálů, jako jsou nové bioplasty, aniž by utrpěla jejich kvalita. [plasticsengineering.org](https://plasticsengineering.org)

Dalším příkladem je projekt polySCOUT nizozemské organizace TNO. Jde o AI model, který na základě požadovaných vlastností vygeneruje chemickou strukturu polymeru na míru. Umožňuje tak materialovým inženýrům „zadávat“ požadované charakteristiky (např. pevnost, pružnost, biodegradabilitu) a AI navrhne konkrétní polymer splňující tyto parametry. TNO již polySCOUT prakticky využívá ve spolupráci s firmou Senbis k vývoji biodegradabilních syntetických vláken pro textilní průmysl. Díky AI dokážou navrhnout nové polymerní složení téměř okamžitě, zatímco dříve by laboratorní vývoj trval roky. Výzkumníci uvádějí, že model nachází korelace a závěry rychleji než lidé a umožňuje tak okamžitý návrh vhodného materiálu. Podobné AI nástroje tedy výrazně zefektivňují vývoj pokročilých plastů včetně bioplastů, čímž přispívají k řešení ekologických výzev. [bioplasticsmagazine.com](https://bioplasticsmagazine.com)

AI také napomáhá práci s polymerovými databázemi. Existují rozsáhlé digitální databáze vlastností polymerů a monomerů; strojové učení nad nimi dokáže odhalit skryté vztahy mezi strukturou a vlastnostmi materiálu. To umožňuje virtuálně testovat tisíce variant složení plastu a předpovědět jeho chování (např. odolnost vůči teplu, UV záření či biologickou rozložitelnost) bez zdoluhavých experimentů. Český a evropský výzkum drží s tímto trendem krok. Národní strategie AI ČR 2030 výslovně podporuje zapojení AI do výzkumu materiálů a průmyslu. Ministerstvo průmyslu a obchodu v rámci programu TWIST nedávno podpořilo 50 projektů aplikace AI do podnikové praxe, včetně vývoje nových produktů. Lze očekávat, že v následujících letech se AI bude podílet na objevování nových polymerů (např. s vyšší pevností a nižší ekologickou zátěží) i na zdokonalování stávajících plastů (např. náhrad škodlivých aditiv) mnohem častěji. Případové studie jako výše uvedené potvrzují, že spolupráce chemiků a datových algoritmů může přinést průlomové materiály rychleji a levněji než kdy dříve. [aitrendy.cz](https://aitrendy.cz)

### **AI ve výrobě, zpracování a recyklaci plastů**

Ve výrobních provozech plastikářského průmyslu nachází digitalizace a AI široké uplatnění od řízení strojů po kontrolu kvality. Cílem je zvyšovat efektivitu, udržitelnost i eliminovat lidské chyby. Například přední výrobci vstřikovacích lisů (Engel aj.) prosazují strategii „Inject 4.0“, která propojuje digitální asistenty, simulace a AI algoritmy pro optimalizaci procesů vstřikování. Již ve fázi návrhu plastového dílu lze díky realistickým simulacím a digitálním dvojčatům zvolit optimální výrobní postup. Software umí asistovat při zkoušení nástrojů např. automaticky navrhnout ideální uzavírací sílu formy či synchronizovat robot a stroj. Ve výrobě pak digitální systémy průběžně monitorují stovky parametrů procesu v reálném čase (tlaky, teploty, rychlosti atd.) a umí na odchylky ihned reagovat. Například Engel vyvinul online systém automatické kompenzace výkyvů kvality materiálu či regulace teploty formy; pokud se vstupní granulát mírně liší, algoritmus upraví nastavení stroje, aby výstupní výrobek zůstal v požadované kvalitě. Tyto adaptivní stroje řízené AI tak minimalizují zmetkovitost a zajišťují stabilní proces.

Praktické výsledky z podniků potvrzují měřitelné přínosy digitalizace výroby. Např. firma Solid Plast nasadila pokročilý monitoring vstřikovacího lisu a dosáhla snížení výrobních nákladů o 4,2 % a zvýšení dostupnosti stroje o 270 hodin ročně. Společnost BIC Violex díky sběru dat z výrobních strojů zlepšila celkovou efektivitu o 3 % a zároveň snížila zmetkovitost přibližně o 40 %, což vedlo k udržitelnějšímu procesu. Další závod (Interroll SA) využil digitálního asistenta pro seřizování strojů i méně zkušenými operátoři s jeho pomocí zkrátily dobu nastavování a prostoje při výměně nástrojů až o 80 %. Optimalizací teplotního managementu formy navíc firma ušetřila přes 15 % energie. Tyto případové studie z praxe dokazují, že AI a digitální nástroje v provozu přinášejí hmatatelné úspory nákladů, času i materiálu. [technickydenik.cz](https://technickydenik.cz)

Velký pokrok přináší AI v kontrole kvality. Strojové vidění s využitím konvolučních neuronových sítí dokáže automaticky rozpoznat defekty výrobků (praskliny, škrábance, deformace apod.) dříve a spolehlivěji než lidský zrak. Kamery porovnávají každý výlisek s ideálním modelem a jakákoliv odchylka je okamžitě detekována. Chybný kus je tak zachycen už v rané fázi procesu, čímž se zabrání dalšímu zpracování zmetků a ušetří materiál. Algoritmy strojového učení naučené na datech z předchozí výroby lze využít i k predikci, kdy se proces začne odchylovat od optimálních podmínek systém může v předstihu upravit nastavení stroje nebo upozornit operátora. Taková prediktivní regulace dále zvyšuje stabilitu kvality produkce. O tom, že AI revolucionizuje kontrolu kvality v plastikářství, svědčí i Akční plán odvětví v ČR: firmy pomocí ní zajišťují, že na trh jdou jen bezvadné výrobky, což posiluje jejich pověst a snižuje plýtvání materiálem.

Součástí digitalizované výroby jsou i prediktivní údržba a vzdálený servis. Stroje osazené čidly průběžně hlásí vibrace, teploty ložisek, zatížení motorů aj. AI pak z těchto dat umí odhadnout, kdy dojde k opotřebení či poruše dříve, než nastane. Údržba se plánuje proaktivně, čímž se minimalizují havarijní odstávky a prodlužuje životnost zařízení. Technici navíc mohou využívat digitální dvojčata strojů a linek virtuální repliky výrobního zařízení k simulaci a analýze chování v reálném čase. Digitální dvojče synchronizované se senzory ve výrobě umožňuje zkoušet různé scénáře nastavení „nanečisto“ a odhalit chyby ještě dříve, než nastanou ve skutečnosti. Tím se urychluje ladění procesu i vývoj nových produktů bez potřeby tolika fyzických prototypů. Například před nasazením nové formy či receptury lze na dvojčeti optimalizovat parametry a předejít ztrátám. V praxi se osvědčuje i rozšířená realita (AR) pro servis vzdálený technik vidí přes AR brýle to, co operátor u stroje, a AI překladář či asistent mu v rodném jazyce radí postup oprav. Firma Engel dokonce vyvíjí vlastního chatbota Engel GPT, trénovaného na manuálech strojů a provozních datech. Operátorovi tak bude stačit popsat problém běžným jazykem do chatu a AI model mu poradí řešení nebo rovnou sám aktivuje vhodný digitální nástroj na stroji. Díky napojení na interní databázi znalostí poskytne tato AI podpora okamžitou pomoc při řešení potíží ve výrobě, v libovolném jazyce. Kromě rychlého odstranění závad systém umožní i analýzu příčin např. nahráním fotografie defektního výrobku GPT model identifikuje pravděpodobné příčiny vady. Podobné generativní AI asistenty v údržbě jsou novinkou, jež může dále zvýšit plynulost výroby a snížit závislost na vysoce specializovaných expertech dostupných na místě.

Významnou oblastí uplatnění AI je také třídění a recyklace plastů. Pokročilé systémy strojového vidění a robotiky dokážou výrazně zlepšit kvalitu i efektivitu recyklačních procesů. Příkladem jsou robotická třídící centra vybavená AI, která zvládají identifikovat a separovat plastový odpad s přesností přes 95 %. Optické senzory analyzují tvar, barvu, materiál a dokonce i značku každého kusu odpadu na pásu v reálném čase. Kloubová ramena pak bleskově roztřídí PET lahve, PP obaly, PE fólie, polystyren, kovy a další složky do příslušných kontejnerů. V pilotním projektu ZenRobotics dosáhl AI robot průměrné čistoty výstupu 97 % ve 13 druzích odpadu taková konzistence je pro ruční nebo konvenční třídění obtížně dosažitelná. Vysoce čistý vytříděný materiál pak lze použít k výrobě regenerulátu mnohem vyšší kvality, protože obsahuje minimum nežádoucích příměsí. Díky AI se tak daří zvýšit čistotu a homogenitu recyklátu, což je klíčové pro jeho opětovné využití v náročnějších aplikacích (např. obal pro potraviny vyžaduje velmi čistý vstup).

AI pomáhá i řídit samotný recyklační proces. Český projekt společnosti LAVARIS vyvinul koncept mobilní recyklační linky řízené umělou inteligencí a digitálním dvojčetem. Digitální dvojče linky sbírá data z provozu i z cloudové platformy sdílené všemi instalovanými linkami. Řídící algoritmy se díky tomu průběžně učí a adaptivně přizpůsobují různorodému vstupnímu odpadu, aby výstupní regenerulát měl konzistentní kvalitu. Linka tak automaticky optimalizuje nastavení drtičů, třídačů a extrudérů podle



složení odpadu jinak se může lišit zpracování čistých PET lahví a směsi více polymerů. Sdílení dat z mnoha zařízení umožňuje systému porovnávat účinnost nastavení a neustále se zlepšovat. Zároveň AI zajišťuje prediktivní údržbu: monitoruje stav strojů, porovnává je s historií poruch z jiných linek a včas upozorňuje na potenciální závadu. Tím se zvyšuje spolehlivost a plynulost provozu. Tyto inteligentní recyklační technologie přinesou nejen vyšší efektivitu, ale i udržitelnost – firmy budou moci využívat více recyklátu (očekává se nárůst z dnešních ~10 % vstupů na 30 % v nejbližších letech) a plnit tak evropské cíle cirkulární ekonomiky. [lavaris.eu](http://lavaris.eu)

Nasazování AI v plastikářské výrobě a recyklaci však klade i nové nároky. Propojení strojů s internetem (IoT) a vzdálený přístup zvyšují riziko kybernetických hrozeb. Průmyslové provozy se musí chránit před útoky hackerů stejně důsledně jako IT systémy. Zavádění osvědčených postupů kybernetické bezpečnosti (dle standardů IEC 62443, ISO 27001 aj.) je proto nezbytnou součástí digitální transformace. Firmy v ČR již tomuto tématu věnují pozornost – polovina dotázaných podniků zavedla program OCS (Operation Clean Sweep) na omezení úniku plastových mikrogranulí při výrobě a uvědomují si potřebu jednotných pravidel pro trh s odpady v EU. Celkově platí, že digitalizace plastikářských technologií jde ruku v ruce s automatizací a ekologizací. Moderní továrny na plasty se tak stále více stávají “chytrými” provozy: propojenými, adaptivními a udržitelnými.

### **AI v obchodních a zákaznických procesech**

Umělá inteligence proniká nejen do výroby, ale i do podnikových a obchodních procesů plastikářských firem. V konkurenčním prostředí a při kolísavých cenách surovin poskytuje AI výhodu těm, kdo dokážou lépe predikovat trh a pružně reagovat. Jednou z hlavních aplikací je predikce poptávky a plánování výroby. AI dokáže analyzovat velké objemy historických dat prodeje, sezonní výkyvy i aktuální trendy a přesněji odhadnout budoucí zájem zákazníků. Například u výrobců plastových obalů může model zohlednit i ceny ropy (ovlivňují cenu polymerů), situaci u odběratelů (např. potravinářství) či makroekonomické ukazatele a vytvořit tak komplexní prognózu poptávky. Na základě těchto predikcí pak firmy lépe řídí zásoby surovin a plánují kapacity zabrání výpadkům dodávek i nadbytečným skladovým zásobám, což snižuje náklady. Studie ukazují, že propojení AI a lidských plánovačů vede k výraznému zlepšení přesnosti prognóz a omezení nadvýroby. Některé pokročilé podniky již nasazují AI k realtime přeplánování výroby, když nastanou odchylky algoritmus umí okamžitě přepočítat výrobní rozvrh při náhlém výpadku dodavatele nebo skokové změně objednávek, mnohem rychleji, než by to zvládl člověk.

Další oblastí je optimalizace cenotvorby a řízení obchodních nabídek. Ceny plastů a výrobků z nich závisejí na mnoha faktorech (cena vstupů, poptávka, konkurence, kursy měn). AI systémy mohou v reálném čase analyzovat tržní data a navrhnout optimální ceny, které maximalizují marži a zároveň zůstávají konkurenceschopné. Například u komoditních plastových granulátů lze využít prediktivní model, jenž na základě vývoje cen ropy, předpovědi poptávky od zákazníků a stavu skladových zásob navrhne, zda v daný týden cenu mírně snížit či zvýšit. Takové dynamické cenové modely již používají globální chemické distributory. Výsledkem bývá pružnější reakce na trh a často i zvýšení ziskovosti. Podle průzkumů české firmy v budoucnu plánují AI do těchto procesů více zapojit například optimalizovat trasování logistiky nebo právě predikci poptávky pomocí AI [systemonline.cz](http://systemonline.cz).

Pro marketing a prodej plastikářských firem přináší AI další nové možnosti. V B2B sektoru (např. prodej plastových polotovarů či granulátů) je velmi cenná personalizace nabídky AI dokáže z CRM dat vyčíst preference každého zákazníka a doporučit obchodníkům, kdy a s čím klienta oslovit. U velkých katalogů produktů (různé typy plastů, aditiva, barviva) umí AI automaticky vybrat nejvhodnější varianty pro



daného zákazníka podle jeho předchozích objednávek a aktuálních potřeb. Chytré CRM systémy využívají strojové učení k ohodnocení tzv. leadů (potenciálních poptávek) a prioritizaci obchodního úsilí, obchodník dostane doporučení, na které poptávky se zaměřit, protože mají vysokou pravděpodobnost úspěchu. V marketingu se začíná prosazovat generativní AI: nástroje jako ChatGPT mohou generovat návrhy textů produktových katalogů, tiskových zpráv či příspěvků na síť, čímž zrychlují práci marketingových týmů. Grafické generativní modely zas umí vytvořit vizualizace obalů, 3D modely designů nebo reklamní bannery. Díky tomu mohou i menší plastikářské firmy produkovat kvalitní marketingový obsah s menšími náklady. Průzkumy však ukazují, že marketingoví pracovníci se obávají, aby s nasazením generativní AI nezaostali za konkurencí je tedy zřejmé, že AI v marketingu bude brzy standardem a odvětví na to musí reagovat.

**Zákaznické služby a komunikace** těží z AI rovněž. Stále častěji jsou nasazováni chatboti a virtuální asistenti, kteří komunikují se zákazníky online. V kontextu plastikářského průmyslu to mohou být B2B chatboty na webu výrobce plastů či distributorů, kteří 24/7 odpovídají na dotazy k produktům, dostupnosti materiálů, cenám nebo pomáhají s vytvořením objednávky. Například zákazník na e-shopu s plastovými deskami se zeptá chatbota na vhodný materiál pro potravinářský účel – AI asistent na základě databáze vlastností doporučí certifikovaný polypropylen a rovnou nabídne kalkulaci ceny. Externí AI asistenti tak zrychlují zákaznickou obsluhu a zlepšují zkušenost klientů. Podle studie B4I dnes mnoho firem chápe tyto nástroje nikoli jako nadstavbu, ale jako revoluční součást obchodního modelu, která mění způsob komunikace se zákazníky.

AI asistenti nacházejí uplatnění i interně ve firmách. Mohou automatizovat rutinní administrativu – zpracovávat faktury, generovat reporty, plánovat rozvoz apod. Moderní AI agenti se dokonce integrují přímo s podnikovými systémy (ERP, sklad, výroba) a dokážou samostatně provádět složitější úkoly: např. naplánovat výrobní zakázku, objednat materiál, rozvrhnout dopravu k zákazníkům. Tyto autonomní systémy využívající velké jazykové modely umí nejen reagovat na příkazy, ale i proaktivně rozhodovat a komunikovat v případě odchylky v dodávce suroviny samy vyhodnotí alternativy a navrhnou řešení. Firmy tak získávají „digitální spolupracovníky“, kteří zvyšují produktivitu a uvolňují lidským pracovníkům ruce pro kvalifikovanější činnosti.

Je ale nutné zmínit, že zavádění AI do obchodních procesů musí být doprovázeno změnou firemní kultury směrem k práci s daty. Úspěšné využití AI není jen otázkou nákupu technologie, ale i dostupnosti kvalitních dat a důvěry zaměstnanců v AI nástroje. Předpojatost typu „AI nás má nahradit“ je třeba odbourat školením a ukázkami přínosů – zaměstnanci by měli AI vnímat jako podporu pro svou práci, nikoli hrozbu. Firmy zavádějící datovou kulturu (Data-Driven Culture) získávají konkurenční výhodu – lépe chápou potřeby zákazníků, rychleji reagují na změny trhu a efektivněji řídí procesy. Příkladem může být použití AI pro analýzu zákaznických dat: namísto ručních výkazů umožní manažerům interaktivní dashboardy s AI, které okamžitě odhalí třeba klesající trend u prodejů určitého typu produktu a navrhnou akci (slevu či promo). Takové hlubší souvislosti v datech bývají tradičními nástroji přehlédnuty, zatímco AI je dokáže identifikovat. Výsledkem je informované rozhodování podložené daty, což je pro obchodní úspěch v dynamickém prostředí zásadní.

### **Budoucí výhled do roku 2030**

Do roku 2030 lze očekávat, že digitalizace a AI proniknou v plastikářském průmyslu ještě hlouběji napříč celým hodnotovým řetězcem. Hlavní trendy směřují k plně propojeným a inteligentním výrobním ekosystémům, kde data plynou od vývoje materiálu až po recyklaci zpět do výroby. Evropská unie si v rámci programu Digitální dekáda stanovila cíl, aby do roku 2030 využívalo alespoň základní AI, cloud

nebo big data 75 % podniků. Česká republika plánuje dosáhnout, aby přes 21 % podniků aktivně využívalo AI. To jsou ambiciózní mety ve srovnání s dneškem – v roce 2024 AI používalo zhruba 13,5 % firem v EU a 11,3 % v ČR. Jak ukazuje následující graf, české podniky sice v adopci AI mírně zaostávají za evropským průměrem, avšak zaznamenaly velmi dynamický růst (meziročně téměř zdvojnásobení podílu):

**Podíl podniků využívajících AI:** Podíl firem s implementovanou umělou inteligencí v České republice (ČR) oproti průměru Evropské unie (EU) v letech 2023 a 2024. Český podíl v roce 2024 dosáhl 11,3 % (v roce 2023 to bylo 5,9 %), což je těsně pod průměrem EU 13,5 % [mpo.gov.cz](https://mpo.gov.cz).

Pokud si trend udrží současné tempo, během dalších let se AI stane běžnou součástí podnikání i ve středně velkých a menších plastikářských firmách. Již do roku 2028 plánuje alespoň částečně nasadit AI agenty (autonomní AI systémy) přes 80 % organizací napříč odvětvími. Roste také trh s AI řešeními například trh s podnikovými AI agenty má do roku 2030 vzrůst o 821 % na hodnotu 47 miliard USD. To indikuje masivní rozšíření AI aplikací od současných pilotních projektů k mainstreamovému nasazení. V plastikářství se dá očekávat, že AI pronikne i do oblastí, kde zatím není běžná: například generativní design plastových dílů (AI automaticky navrhne optimální tvar dílu pro dané zatížení), automatizované laboratorní testování (robotické laboratoře řízené AI, zrychlující schvalování materiálů) či monitoring u koncových uživatelů (chytré senzory v produktech reportující opotřebení zpět výrobci pro zlepšení designu). [procomputing.cz](https://procomputing.cz)

Evropský důraz na udržitelnost a oběhové hospodářství bude znamenat, že AI bude hojně využívána k plnění ekologických cílů. Do roku 2030 mají členské státy významně zvýšit podíl recyklovaných plastů a snížit emise. AI zde pomůže optimalizovat recyklační sítě – predikovat tok odpadů, efektivně směřovat plasty do recyklačních závodů a maximalizovat využití druhotných surovin. Také vývoj nových „zelených“ plastů (bioplasty, kompostovatelné materiály) bude akcelarovat díky AI, která prohledá širší prostor chemických kombinací, než by zvládly tradiční výzkumné týmy. V roce 2030 tak můžeme vidět nástup cenově dostupných biopolymerů nové generace, objevených s přispěním AI, jež budou masověji nahrazovat konvenční ropné plasty. Z pohledu výrobních technologií se zřejmě prosadí koncept Průmysl 5.0, kombinující automatizaci s human-centric přístupem rutinní úkony převezmou stroje a AI, zatímco lidská obsluha se bude soustředit na dohled, kreativní a inženýrské činnosti. Kolaborativní roboty a AI asistenti budou běžně spolupracovat s lidmi ve výrobě i kanceláři.

Pro český plastikářský průmysl z toho plynou významné příležitosti, ale i výzvy. Aby domácí firmy udržely krok s Evropou, bude nutné investovat nejen do technologií, ale i do lidí a dat. Mezi hlavní doporučení pro naplnění vize do roku 2030 patří:

- Investice do digitálních dovedností a školení: Firmy by měly systematicky školit své zaměstnance v oblasti AI a práce s daty. Od 2. února 2025 vstupuje v platnost článek 4 Evropského aktu o umělé inteligenci (AI Act), který firmám ukládá povinnost zajišťovat vzdělávání v oblasti AI. Nejde však jen o regulaci – podniky samy potřebují experty schopné AI implementovat a uživatele, kteří jí rozumí. Doporučuje se spolupracovat se školami (stáže, trainee programy) a podporovat rekvalifikace stávajících pracovníků (např. z technologů se mohou stát datoví analytici v provozu).
- Využití dostupných podpor a partnerství: České firmy by měly čerpat výhody z národních a evropských programů na podporu digitalizace. Kromě zmíněného programu MPO TWIST či Operačního programu Technologie a aplikace pro konkurenceschopnost (TAK) lze využít

Evropské digitální inovační huby, které poskytují expertízu a testování AI (princip „Test Before Invest“). Zapojení do mezinárodních projektů (Horizon Europe apod.) zase umožní sdílet náklady a znalosti při vývoji AI aplikací. Partnerství mezi výrobní firmou a AI startupem může oběma stranám urychlit pokrok doporučuje se proto aktivně vyhledávat spolupráce v rámci oborových platforem a konferencí.

- Budování kvalitních datových základů: Data jsou palivem AI – mnoho českých podniků zatím narazí na roztříštěná či nekvalitní data. Je třeba zavést systémy pro sběr, ukládání a čištění dat napříč procesy (výroba, kvalita, prodej, servis). Firmy by měly mapovat, jaká data generují jejich stroje a systémy, a zajistit jejich dostupnost pro analýzy. Doporučuje se zavádět IoT senzory i tam, kde dosud chybí (např. sledování spotřeby energie, teplot ve skladu granulátu apod.), aby vznikl komplexní digitální obraz provozu. Dále je nutné propojovat dosud oddělené databáze (např. sklady náhradních dílů × záznamy údržby strojů) integrace dat umožní AI nacházet cenné korelace. Správa dat musí zahrnovat i jejich ochranu a řízení přístupu (data governance), aby citlivé informace zůstaly zabezpečeny. Do budoucna může být cestou i sdílení vybraných dat v rámci odvětví – např. výrobci by mohli anonymně sdílet informace o kvalitě recyklátů, čímž by společně vylepšili AI modely pro třídění odpadu.
- Postupná digitalizace každé části hodnotového řetězce: Doporučuje se zvolit si postupný plán digitalizace – začít pilotními projekty v oblastech s rychlou návratností (např. prediktivní údržba jednoho stroje, nasazení jednoduchého chatbota na web) a úspěchy postupně škálovat. Každá firma by měla vyhodnotit, kde ji „bota tlačí“ nejvíce (např. časté prostoje, vysoká zmetkovitost, zdlouhavé nabídky zákazníkům) a tam cílit nasazení AI jako první. Postupně je pak vhodné pokrýt digitalizací veškeré firemní procesy od konstrukce (CAD systémy s generativním navrhováním), přes výrobu (plně propojené linky s MES systémy), logistiku (AI optimalizace tras a zásob) až po prodej a servis (CRM s prediktivní analýzou potřeb klienta). Cílem je, aby do roku 2030 každá významná činnost v plastikářské firmě byla podporována digitálními nástroji a pokud možno i prvky umělé inteligence.
- Řízení rizik a změn: Při zavádění AI je nutné věnovat pozornost rizikům a etice. Firmy by měly vytvořit rámec pro řízení rizik AI – posoudit, jaká rozhodnutí nechají na algoritmech a kde musí vždy rozhodnout člověk (např. u bezpečnostně kritických kontrol kvality). Je třeba připravit se na možná selhání modelů (např. zavést procedury, co dělat, když AI dá chybnou predikci a způsobí problém). Důležité je také komunikovat změny zaměstnancům a zapojit je do transformačního procesu, aby se snížil odpor k novinkám. Vedení by mělo jasně vysvětlit přínosy (méně rutiny, více tvůrčí práce) a nabídnout rekvalifikace pro ty, jejichž role se vlivem AI promění. Při správném přístupu AI nepovede k propouštění, ale k evoluci pracovních pozic například se zvýší poptávka po datech řízených procesními inženýrech, specialistech na správu digitálních dvojčat či technicích údržby vybavených digitálními nástroji. Na makro úrovni by vláda a školy měly podporovat vznik těchto nových kvalifikací.
- Udržení lidského faktoru a inovací: I v roce 2030 bude platit, že AI je nástroj – strategické vedení a inovace musí stále vycházet od lidí. Firmy by proto neměly spoléhat na AI slepě, ale využívat ji jako „partáka“ pro kvalifikovaná rozhodnutí. Bude klíčové pěstovat prostředí, kde se propojuje zkušenost pracovníků s postřehy z dat. Úspěšní budou ti, kdo AI zapojují kreativně

do vývoje nových řešení – např. nabídnou zákazníkům digitální služby kolem svých plastových produktů (monitorování stavu výrobků v reálném čase, optimalizace jejich použití apod.). Český plastikářský průmysl má tradičně silnou inženýrskou základnu a inovátory s pomocí AI mohou tito lidé dosáhnout ještě vyšší produktivity a přijít s průlomovými nápady (např. vývoj 100% recyklovatelných plastových směsí či zavedení cirkulárního obchodního modelu „plast jako služba“ podpořeného digitální platformou).

Závěrem lze říci, že digitalizace a umělá inteligence budou do roku 2030 neoddělitelnou součástí plastikářských technologií. Firmy, které tyto nástroje efektivně osvojí, získají konkurenční náskok v podobě vyšší kvality, nižších nákladů i schopnosti rychle inovovat. České podniky již nyní dokazují, že se umějí přizpůsobit využití AI se meziročně zdvojnásobilo a stát mívá k tomu být v AI lídrem střední Evropy. K naplnění tohoto cíle bude nutná úzká spolupráce průmyslu, akademické sféry a státu, sdílení know-how i odstraňování bariér (legislativních, datových, personálních). Pokud se to podaří, může český plastikářský sektor v digitální éře vzkvétat vyrábět špičkové materiály s minimální ekologickou stopou a pružně reagovat na potřeby trhu. AI tak nebude hrozbou, ale inteligentním motorem inovací, který posune plastikářství do nové dekády pokroku. [mpo.gov.cz](https://mpo.gov.cz)

## **2.5. Expanze obalového průmyslu**

Obalový sektor je jedním z největších spotřebitelů plastů, především díky rostoucí poptávce po lehkých, flexibilních a odolných obalech. Plasty poskytují cenově dostupné a přizpůsobená řešení pro balení potravin, nápojů a spotřebního zboží. Regulace v oblasti jednorázových plastů a změny ve spotřebitelských preferencích však nutí výrobce hledat ekologičtější alternativy. V reakci na vznikající inovativní a udržitelnější obalové materiály se naplno mohou projevit především snahy o volbu správných materiálů a maximální míru sběru a recyklace včetně recyklace chemické.

## **2.6. Udržitelnost a environmentální výzvy**

S rostoucím povědomím o environmentálních dopadech plastového odpadu roste poptávka po udržitelnějších alternativách. Plastikářský průmysl reaguje vývojem biologicky rozložitelných plastů a větším důrazem na recyklaci a oběhové hospodářství. Nové technologie jako chemická recyklace, efektivnější přeměna plastového odpadu na vysoce kvalitní suroviny, které lze využívat bez ztráty jejich vlastností. Značnou roli hraje i využívání biologicky odbouratelných plniv a využití odpadních materiálů z rostlinné a živočišné výroby.

## **2.7. Regulační opatření**

Používání a likvidace plastů podléhá přísným vládním regulacím, zejména u jednorázových plastů. Mnoho zemí zavádí politiku na snížení plastového odpadu, což vede ke změnám ve výrobních postupech i ve spotřebitelském chování. Důležitou roli sehraje i tlak na posílení recyklovatelnosti výrobků např. za pomoci standardů pro recyklovatelné obaly - Recyclclass ([www.recyclclass.eu](https://www.recyclclass.eu)).

Evropská unie postupně zpřísňuje svou environmentální legislativu. Evropská zelená dohoda (EGD) stanovuje přísné cíle vedoucí k uhlíkové neutralitě do roku 2050, což zahrnuje opatření na snižování plastového odpadu a podporu recyklace. Směrnice o jednorázových plastech (SUP Directive) povede k poklesu využívání těchto materiálů a nutnosti hledat alternativy. Mezinárodní dohody a iniciativa OSN na vytvoření jednotných pravidel pro plasty povedou ke sjednocení standardů na globální úrovni. Nařízení o obalech a obalových odpadech (PPWR), oficiálně označené jako Nařízení (EU) 2025/40, bylo

přijato Evropským parlamentem a Radou v prosinci 2024 a zveřejněno v Úředním věstníku EU dne 22. ledna 2025. Cílem legislativy je harmonizovat pravidla pro obaly napříč EU, snížit množství obalového odpadu, podpořit recyklaci a opětovné použití obalů a přispět k oběhovému hospodářství. Nařízení se začne uplatňovat od 12. srpna 2026. Nařízení PPWR vyvolalo značnou odezvu mezi evropskými podniky. Firmy z Itálie, Německa, Francie, Španělska a Rumunska podaly sedm žalob k Soudnímu dvoru EU, ve kterých požadují zrušení celého nařízení nebo alespoň některých jeho ustanovení. Kritizují zejména články 25 a 29 a přílohu V, které podle nich představují nepřiměřené, diskriminační a nedostatečně odůvodněné požadavky. Argumentují také nesprávným právním základem nařízení, které podle nich mělo být přijato na základě environmentální legislativy, nikoli legislativy vnitřního trhu. PPWR představuje zásadní krok směrem k udržitelnému obalovému hospodářství. Do roku 2030 musí být veškeré obaly na trhu EU recyklovatelné, s minimálními požadavky na obsah recyklovaného materiálu (např. 30 % u PET obalů pro potraviny). Nařízení rovněž zakazuje používání PFAS v obalech pro styk s potravinami od srpna 2026. Evropská komise bude postupně vydávat prováděcí akty a metodiky pro hodnocení recyklovatelnosti. Přestože čelí právním výzvám, očekává se, že PPWR bude mít dlouhodobý dopad na design, výrobu a nakládání s obaly v celé EU.

Zvyšování ekologických daní na obtížně recyklovatelné plasty bude dalším stimulem pro investice do udržitelnějších výrobních procesů. Firmy budou muset reagovat na přísnější certifikační požadavky, například v oblasti sledovatelnosti zdrojů a minimální uhlíkové stopy. Kromě toho se očekává zavedení globálních standardů pro plasty, což v krátkodobém horizontu může přinést nejistotu, ale dlouhodobě by to mohlo vést k harmonizaci pravidel výroby plastů na mezinárodní úrovni. Vliv místních regulací bude rovněž hrát důležitou roli. Některé členské státy EU mohou zavádět přísnější pravidla, což zvýší regulační nejistotu a nutnost adaptace výrobců na rozdílné lokální požadavky.

Přísnější regulace, jako je Evropská zelená dohoda nebo omezení jednorázových plastů, povedou k vyšším nákladům na výrobu a větším investicím do udržitelných řešení. Výroba klasických plastů na fosilní bázi se dostane pod stále větší tlak.

Zvýší se požadavky na recyklaci a opakované využití plastů, což vytvoří příležitosti pro investice do nových technologií. Zavedení přísnějších certifikací a ESG standardů může být výzvou pro menší zpracovatele.

## **2.8. Ceny petrochemických surovin a energií**

Protože jsou plasty vyráběné z petrochemických produktů, jejich trh úzce souvisí s cenou ropy a dalších surovin. Výkyvy v ovlivnění petrochemických produktů přímo náklady na výrobu plastů a celkovou tržní dynamiku. Výrobci proto neustále hledají způsoby, jak optimalizovat své výrobní a cenové strategie. Důležitou roli bude sehrávat nutnost snižování uhlíkové stopy a využívání alternativních nefosilních surovin (například z chemické recyklace plastového odpadu).

Rostoucí náklady na energie a geopolitická nejistota budou znamenat pro plastikářský průmysl výzvu v podobě zajištění stabilního přístupu k surovinám a energiím. Plastikářský průmysl se bude muset více zaměřit na obnovitelné a recyklované materiály, aby snížil svou závislost na fosilních zdrojích. Diverzifikace dodavatelských řetězců a snaha o větší soběstačnost v rámci EU bude klíčová pro zajištění dlouhodobé stability.

Výroba závislá na fosilních surovinách bude čelit rostoucím nákladům na energie a geopolitickým rizikům. Diverzifikace surovinových zdrojů a investice do obnovitelných materiálů budou klíčové.

Zpracovatelé budou muset zajistit stabilní přísun recyklovaných materiálů a přizpůsobit se rostoucím nákladům na energie. Přejít na lokální zdroje surovin může snížit rizika dodavatelských řetězců.

## **2.9. Přechod k bioplastům**

Se nacházím důrazem na ekologické řešení roste zájem o bioplasty vyrobené z obnovitelných zdrojů. Tyto materiály nabízejí udržitelnější alternativu ke konvenčním plastům a nacházejí stále širší uplatnění v různých odvětvích. Intenzivní výzkum se zaměřuje především na zvýšení jejich konkurenceschopnosti v oblasti mechanických vlastností a nákladů. Důraz bude kladen na využití odpadních zdrojů z produkce potravin.

## **2.10. Spotřebitelské trendy a preference**

Poptávku po různých typech plastů ovlivňujících měnící se preference zákazníků. Faktory jako ekologický dopad, praktičnost a design hrají klíčovou roli při formování trhu. Vývoj nových plastových materiálů a aplikací často reaguje na aktuální spotřebitelské trendy a požadavky trhu. Roli zde může hrát jak edukační činnost tak i určité modní trendy a návrat k přírodním materiálům.

Rostoucí poptávka po produktech s nižší uhlíkovou stopou a vyšším podílem recyklovaných materiálů bude významným trendem, který ovlivní strukturu nabídky v plastikářském průmyslu. Generace Z a mileniálové hrají v tomto procesu klíčovou roli, neboť upřednostňují ekologické alternativy tradičních produktů. Tento trend představuje příležitost pro inovativní firmy, které dokážou nabídnout udržitelná řešení. Současně však vzniká určitá nejistota ohledně trhu ekologických produktů a jejich standardizace.

Rostoucí tlak veřejnosti a kampaně proti plastovému odpadu povedou k poklesu poptávky po tradičních plastech. Nedostatek technicky kvalifikovaných pracovníků může zpomalit inovace v oblasti chemické recyklace a alternativních materiálů.

Zpracovatelé budou muset investovat do nových dovedností zaměstnanců a úzké spolupráce s akademickým sektorem. Stoupající poptávka po recyklovaných plastech a eko-designu vytvoří nové obchodní příležitosti.

## **2.11. Nárůst používání plastů ve zdravotnictví**

Plastové materiály hrají klíčovou roli ve výrobě lékařského vybavení a sterilních obalů. Díky své odolnosti, lehkosti a hygienickým vlastnostem jsou nepostradatelné v moderním zdravotnictví a jejich využití v tomto segmentu neustále roste. Segment zdravotnictví je jedním z několika kde je role plastů nezastupitelná. Svoji roli i zde sehraje snaha o snižování uhlíkové stopy a možného využívání nefosilních vstupů jako surovin.

### 3. Světový vývoj výroby a zpracování plastů

Data z roku 2024 ukazují další nárůst světové produkce plastů na 413,8 Mt, přičemž podíly jednotlivých regionů naznačují pokračující nárůst výroby plastů v Číně a Asii a současně i jistou pokračující stagnaci produkce plastů v Evropských zemích.

## 5. Výroba polymerů ve světě v mil. tun

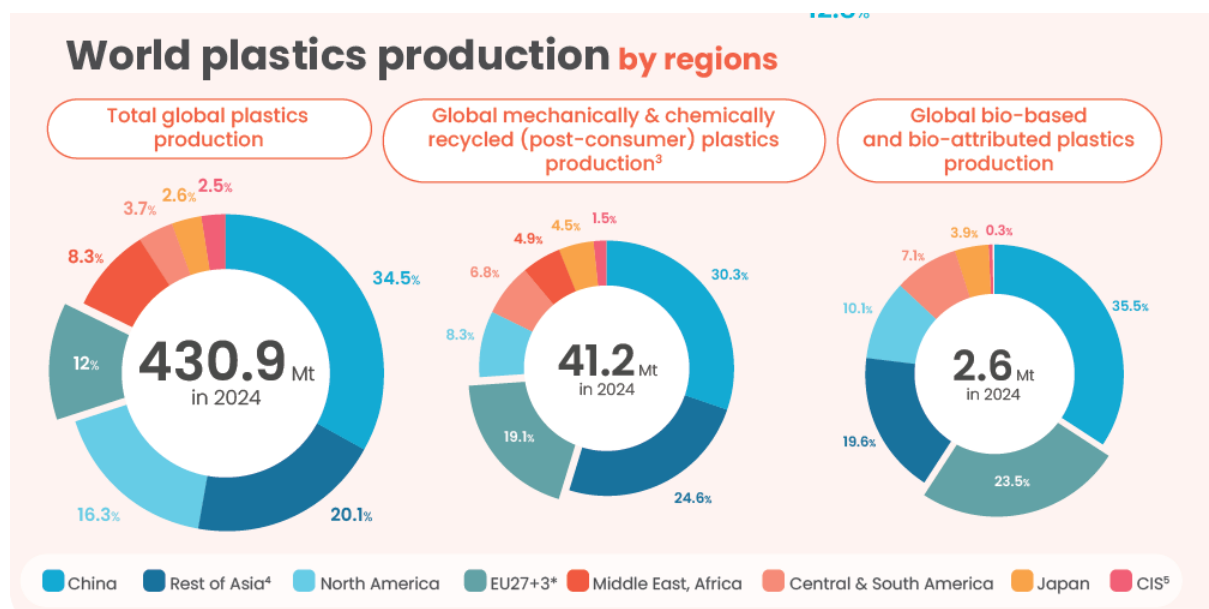
| Rok    | 2017  | 2018 | 2019  | 2020  | 2021  | 2022  | 2023  | 2024  |
|--------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Celkem | 347,4 | 359  | 370,7 | 379,8 | 380,6 | 394,2 | 400,4 | 413,8 |

Zdroj: PlasticsEurope Market Research Group, Statista a Our World in Data

## 6. Výroba polymerů podle typů v jednotlivých letech v %

| Rok                                    | 2018 | 2019 | 2021 | 2022 | 2023  |
|----------------------------------------|------|------|------|------|-------|
| PE-LD                                  | 15,0 | 17,4 | 14,5 | 14,1 | 14,0  |
| PE-HD                                  | 13,0 | 12,4 | 12,4 | 12,5 | 12,2  |
| PP                                     | 17,0 | 19,4 | 19,3 | 18,9 | 19,00 |
| PUR                                    | 7,0  | 7,9  | 5,5  | 5,3  | 5,3   |
| PVC                                    | 9,0  | 10,0 | 12,9 | 12,7 | 12,0  |
| PET                                    | 8,0  | 7,9  | 6,2  | 6,2  | 6,2   |
| PS, PS-E                               | 6,0  | 6,2  | 5,3  | 5,2  | 5,2   |
| Ostatní polymery z fosilních materiálů | 24,0 | 18,8 | 14,1 | 14,2 | 16,6  |
| Bio plasty                             | -    | -    | 1,5  | 1,5  | 0,7   |
| Recyklované                            | -    | -    | 8,3  | 8,3  | 8,8   |

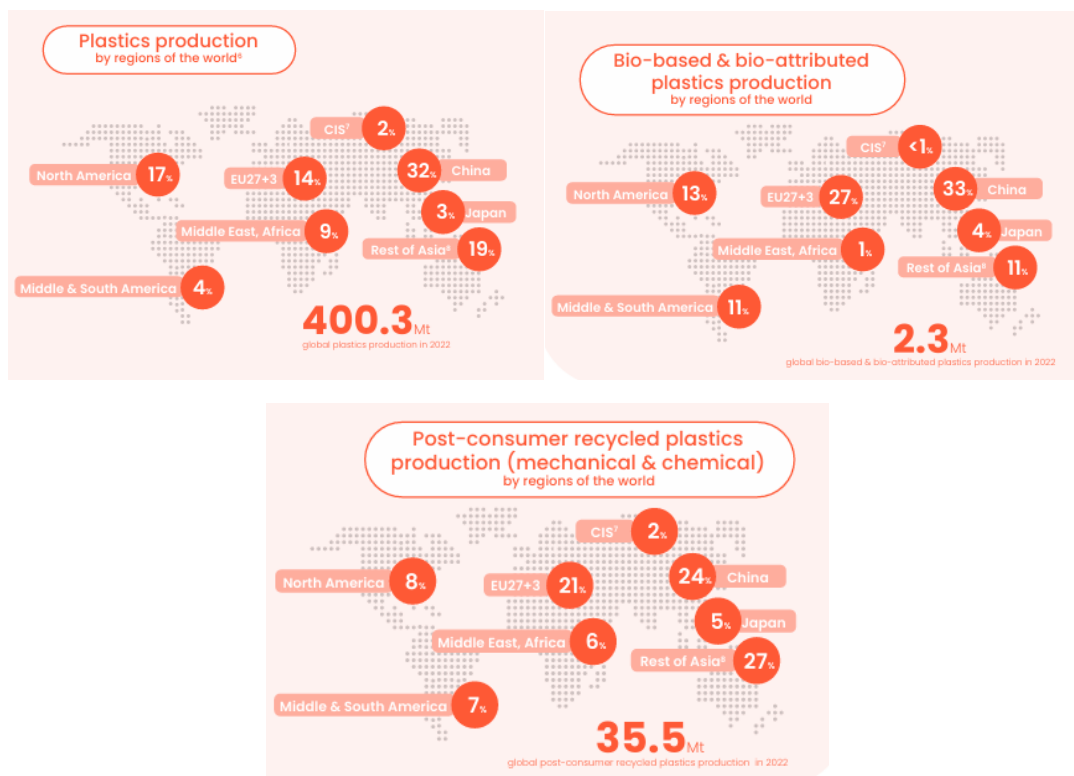
Zdroj: PlasticsEurope Market Research Group



Zdroj: Plastic Europe, The fast fact 2025

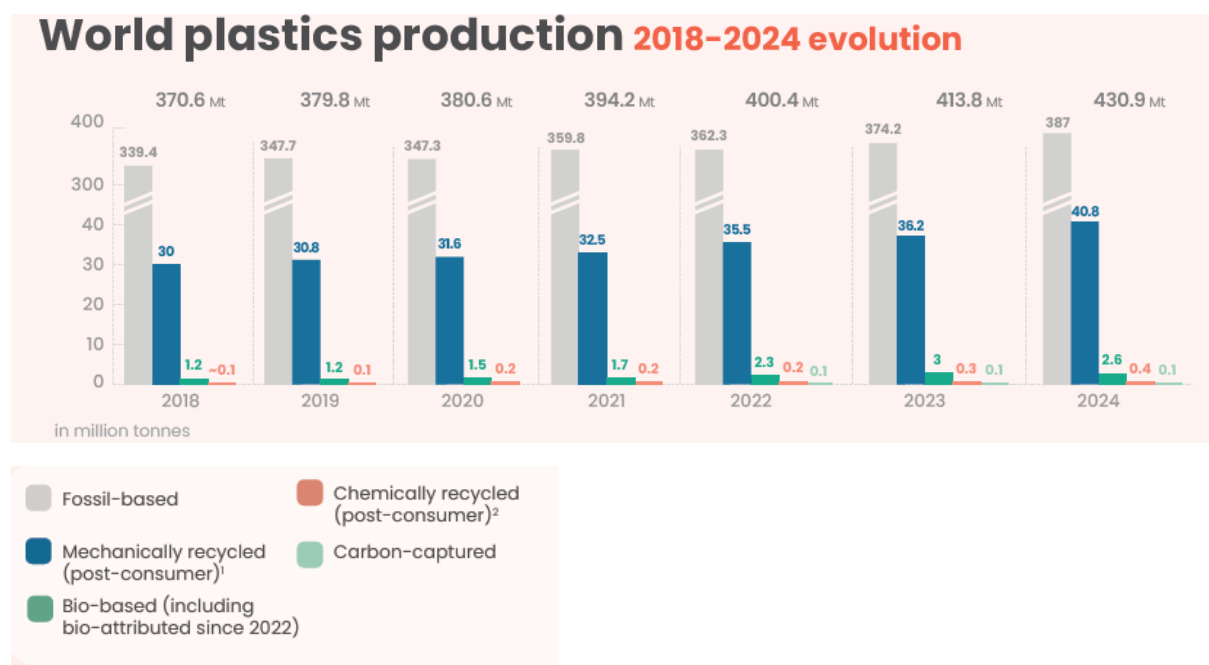
7.



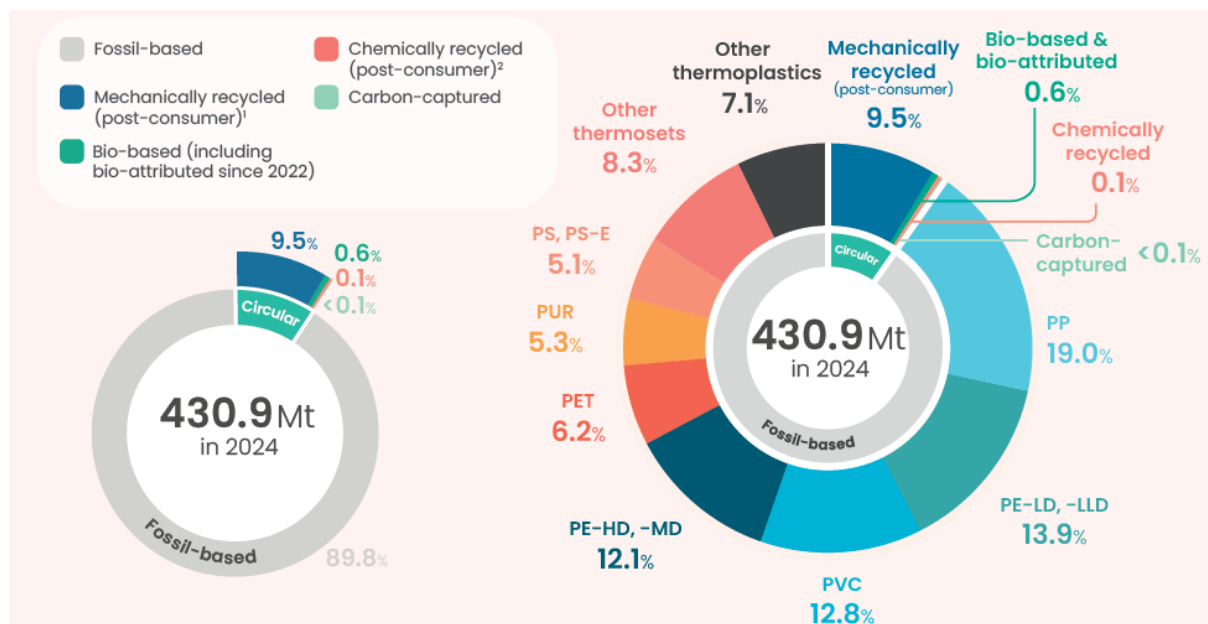


Zdroj: Plastic Europe, The fast fact 2023, 2024

Dominance plastů vyráběných z fosilních zdrojů je nadále rozhodující. Ceny zdrojů a jejich přístupnost bude limitovat stejně jako dnes další růst produkce plastů a investice do nových výroby. V souvislosti s cenami energií jde o jeden z hlavních limitujících faktorů navyšování produkce plastů v Evropě. Mírně se zvyšuje podíl mechanicky recyklovaných plastů a bioplastů.

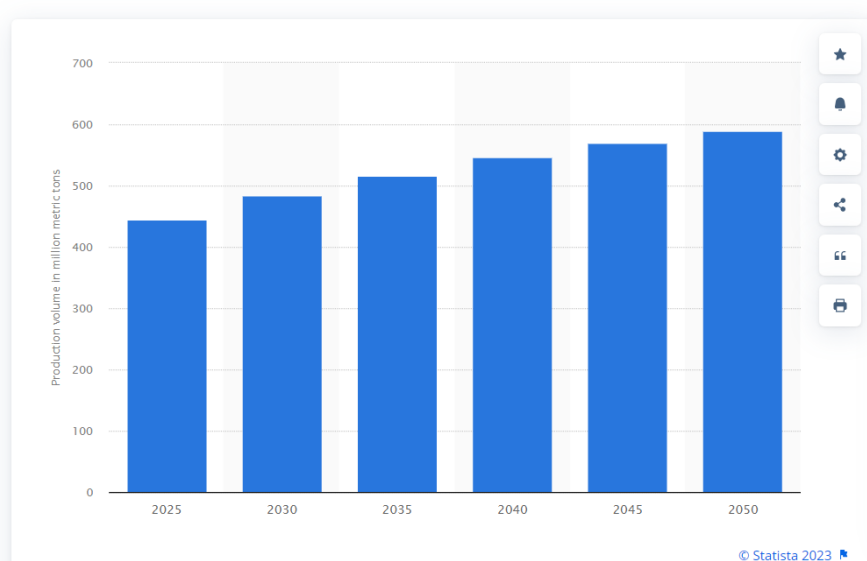


Zdroj: Plastic Europe, The fast fact 2025



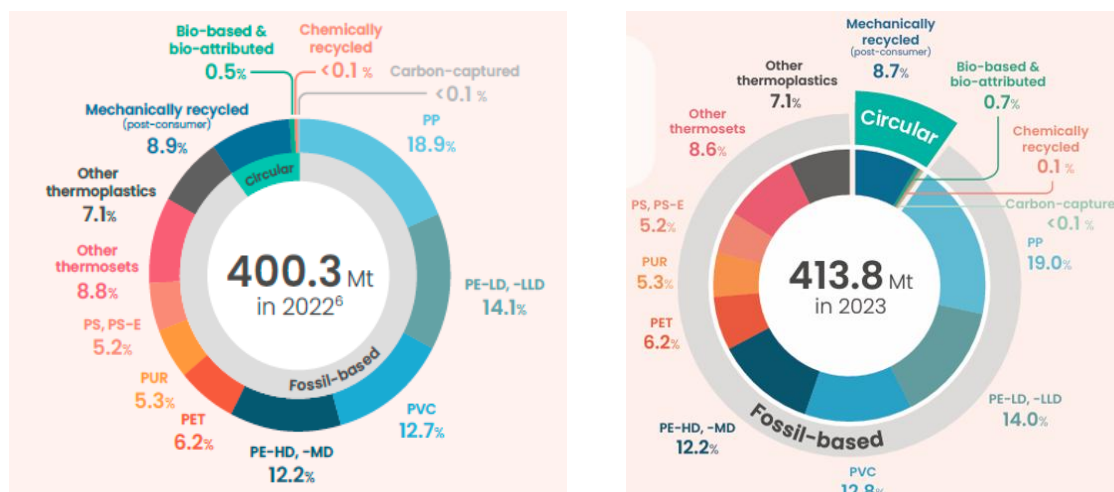
Zdroj: Plastic Europe, The fast fact 2025

Trend postupného nárůstu světové produkce plastů by měl nadále stoupat a dosáhnout v roce 2030 úrovně 460-480 Mt. Pro rok 2050 jsou očekávány objemy až 590 Mt (Mc Kinsey, Statista). Poslední modely využívající k predikci strojové učení a data o aktuálních trendech ve spotřebě plastů dokonce odhadují celkový nárůst objemů spotřebovaných plastů až na 749 Mt (Science) pro variantu, kdy nedojde k zásadním změnám v jejich používání.



Zdroj: Statista Research Department, Mar 24, 2023

Asi nejzajímavější je globální nárůst podílu recyklovaných plastů v roce 2022 a jeho stagnace v roce 2023.

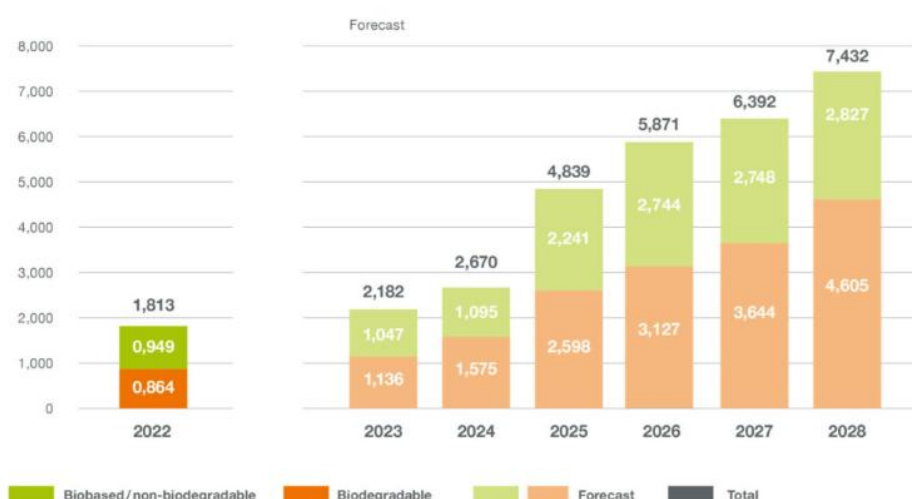


Zdroj: Plastic Europe , The fast fact 2022, 2023,2024

Produkce bioplastů v EU, u nichž se předpokládá poměrně rychlý nástup produkce v souvislosti s cílem omezit spotřebu plastů na bázi fosilních surovin, dlouhodobě stagnuje na objemu do 2 %, a i přes optimistické předpovědi by neměla do roku 2030 přesáhnout tuto hranici. Opět zde hraje roli především ekonomika výroby včetně dostatku vstupních surovin a také politické tlaky na zvyšování podílu použití recyklovaných polymerů. Přesto lze očekávat další postupný růst objemu jejich výroby i s ohledem na dokončování nových výrobních jednotek především v Asii (meziroční nárůst výroby je takřka 7 %).

## Global production capacities of bioplastics

in 1,000 tonnes

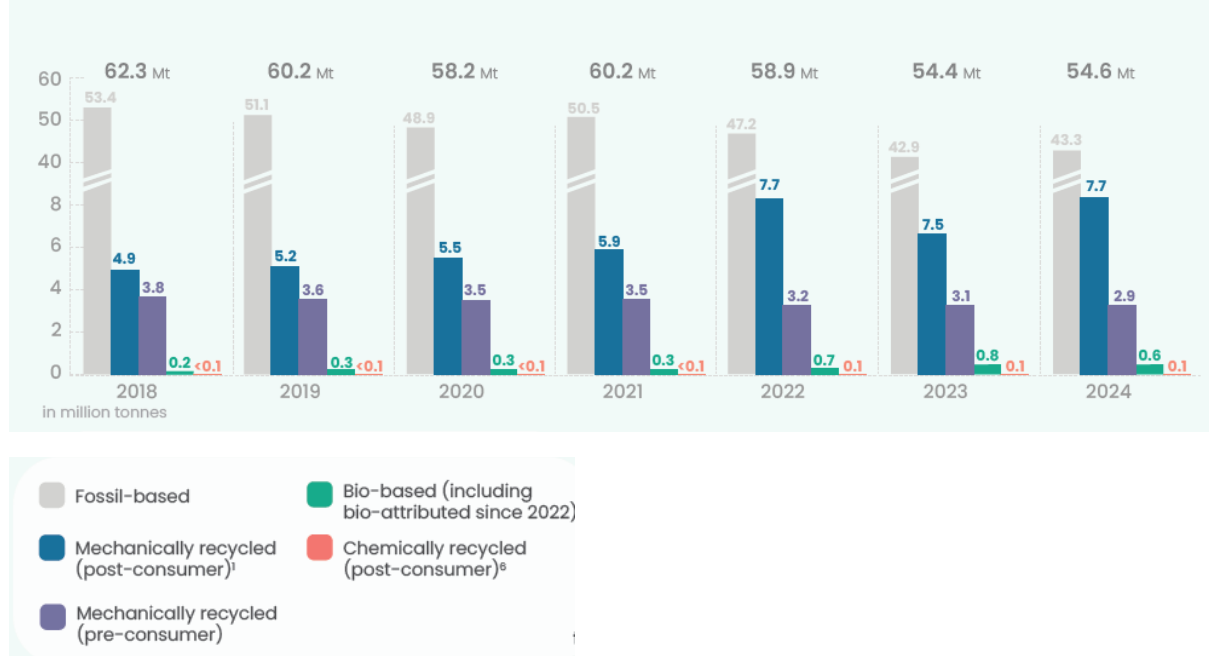


Source: European Bioplastics, nova-Institute (2023)

Zdroj: European Bioplastics, 2023

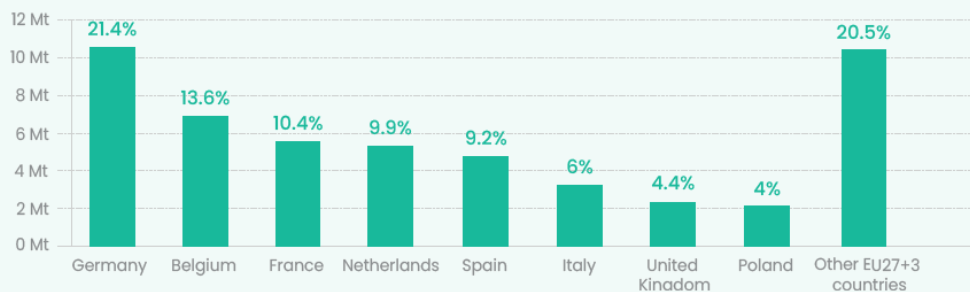
Z posledních dostupných údajů z asociace Plastics Europe vyplývá, že v roce 2024 bylo v Evropě spotřebováno 54,6 mil. tun plastů, což je takřka stejné množství jako v roce 2023. Na této spotřebě se 39 % podílely obalové aplikace, které tvoří stabilně největší segment aplikací.

## European plastics production 2018–2024 evolution



## European plastics production by country

Total plastics production  
**54.6 Mt\***



\* 54.6Mt including 0.3Mt of bio-attributed plastics (which represents ~ 0.6%) that cannot be shown at country level for data availability reasons

Fossil-based plastics production

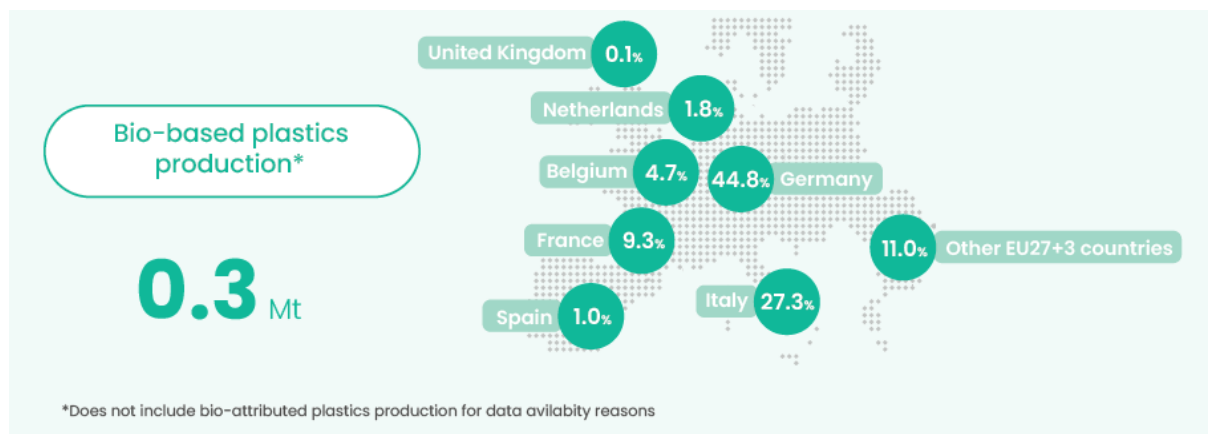
**43.3 Mt**



Produkce plastů v rámci Evropy je pak nadále ovlivněna především navýšením cen energií, zhoršením dostupnosti základních surovin a v neposlední řadě i snahou o dodržení cílů stanovených v rámci politických iniciativ Green Deal – klimatické neutrality do roku 2050. Značně je zde tedy posílen vliv zavádění cirkulární ekonomiky, a to i ve sféře legislativní (povinné množství recyklovaného plastu ve výrobku, uhlíkové clo atd.)

Při zachování podílu Evropské produkce na globálních trendech produkce plastů by se mělo jednat v roce 2030 o cca 67 Mt a v roce 2050 83 Mt plastů. Nepochybně větší pak bude nutně muset být podíl recyklovaných plastů proti plastům na bázi fosilních zdrojů. Napomoci by mělo i zavádění metod chemické recyklace, která rozšíří spektrum recyklovatelného odpadu. Tlak na další zvyšování recyklovaného podílu v struktuře zdrojů surovin bude podporován i legislativními kroky jako mohou být například různá typy daňových zvýhodnění, popř. naopak dodatečné daně při neplnění obsahu recyklovaných vstupů.<sup>1)</sup> Právě legislativní opora a stanovení akceptované metody výpočtu obsahu recyklovaného materiálu z chemické recyklace (mass balance) je zásadním prvkem pro rozvoj chemické recyklace. Při dořešení této legislativní podpory je očekáván dvou až čtyřnásobný nárůst kapacity chemické recyklace celosvětově do roku 2025.<sup>11)</sup> Chemická recyklace je i nezbytným předpokladem pro dosažení cílů na zvyšování podílu recyklovaného k plastu v rámci plánu na využití odpadů v EU, kde pouhá navyšování množství získaného pouze mechanickou recyklací narazí na cca 20% limit množství zpětně získaného odpadu použitelného pro mechanickou recyklaci. Při stávající a nebo i mírně stoupající spotřebě plastů bude jediným řešením její doplnění právě metodami chemické recyklace. Optimistické scénáře rozvoje chemické recyklace v rámci EU mluví až o 3,4 Mt v roce 2030, což by činilo až 5 % veškerých vyráběných plastů v EU.

Ne zcela jasným zůstává rozsah nárůstu segmentu Bioplastů v Evropě, kde především biodegradabilní a kompostovatelné plasty založené na využití odpadů z obnovitelných zdrojů mohou získat na důležitosti při předpokládaném zachování podílu či dokonce růstu spotřeby plastů v segmentu obalů. Situace zde bude ovlivněna i dostupností těchto typů odpadu na trhu, neboť lze očekávat snahu o jejich využití s cílem snižování podílu fosilních paliv v energetice. V tomto segmentu je očekáván i zásadní dopad tlaku na dosažení min 20 % nefosilních zdrojů pro plasty a chemické látky do roku 2030 který by mohl právě biodegradabilní plasty posílit.

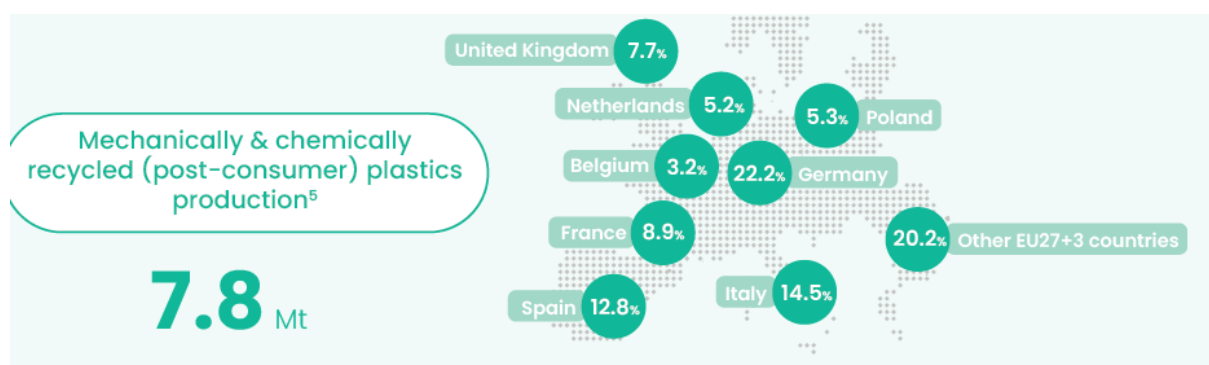


Zdroj: Plastic Europe, The fast fact 2025

<sup>1</sup> Plastic Europe, Chemical Recycling in Spain: Fostering a Circular Future, 2022

Technické polymery typu PVC, které mají velmi specifická využití a u nichž v podstatě neexistuje vhodná technická alternativa např. ve stavebnictví, budou mít i nadále zajištěn nárůst produkce. Lze předpokládat, že se bude jednat o desítky procent. U dalších technických plastů typu POM, PBT, ASA, ABS (s cílovou aplikací především strojírenský, automobilový a elektro průmysl) půjde řádově o jednotky procent.

U těchto typů polymerů je jejich další používání podmíněno i co neúčinnějšími metodami jejich mechanické nebo chemické recyklace. Právě nové technologie chemické recyklace mohou zajistit rozvoj jejich dalšího využití.



Zdroj: Plastic Europe, The fast fact 2025

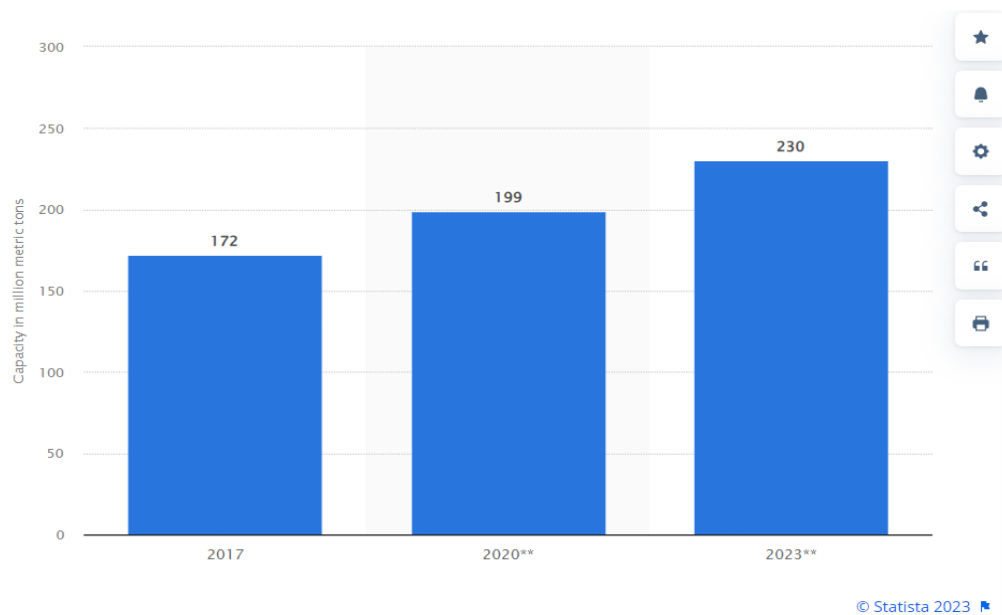
Prozatím nejlépe zvládnutým plastem z hlediska mechanické recyklace je PET. Vlastnosti tohoto materiálu pro použití v obalech jsou prozatím nezastupitelné a je jisté že jeho produkce bude i nadále stoupat, a to i přes zvyšování stupně recyklace. Globálně se odhaduje nárůst produkce do roku 2030 až o 15 %, celkový nárůst produkce rPET a PET tak bude pravděpodobně dosahovat ještě vyšších hodnot.

Segment stavebnictví s vysokými nároky na snižování energetických ztrát také intenzifikuje vývoj dalších recyklačních metod pro plasty typu EPS a XPS. Zde lze očekávat podobně jako u PVC setrvale stoupající objem produkce v souvislosti s rostoucími požadavky na zateplování staveb. Odhadovaný trend růstu meziroční spotřeby např. jen u izolantů staveb je 4,7 %. EPS a XPS plasty jsou v tomto ohledu prozatím nezastupitelnou volbou.

Bohužel některé legislativní kroky mohou produkci plastu ovlivnit i negativně. Týká se to v poslední době značného tlaku na zákaz nebo drastické omezení produkce a použití fluorovaných polymerů a to přesto, že dosud neexistuje vhodná alternativa. Produkce těchto plastů je v současnosti v řádech procent.

V obalovém segmentu se daří pokračovat s uplatněním PS plastů, které se i díky metodám pokročilé mechanické recyklace mohou opět dobře uplatnit a pomoci splnit požadavky cirkulární ekonomiky.

V tomto segmentu je zásadně zastoupena i nepochybně nejsilnější skupina plastů na bázi polyolefinů (PP+PE). Tyto plasty se dlouhodobě drží na čele produkce a jejich očekávaná spotřeba nadále poroste. Ať už půjde o čisté polymerní materiály nebo široké spektrum polymerních kompozitů lze i díky velmi dobré recyklovatelnosti očekávat navýšení jejich podílu v budoucnu na úkor původních technických plastů. V posledních letech se tak jednalo o navyšování kapacit o cca 10 Mt/rok.

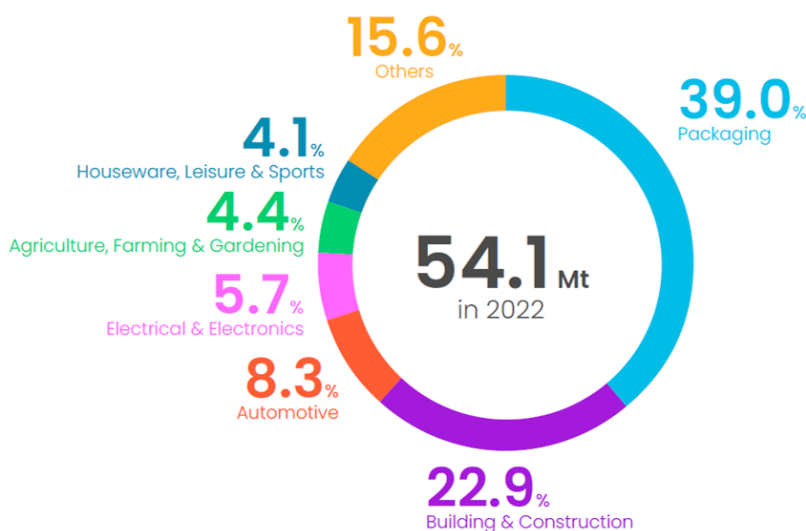


Zdroj: Statista Research Department, Mar 24, 2023

## 8. Budoucí vývoj klíčových aplikačních sektorů pro plasty

Plasty jsou využívány v celé řadě lidských činností. Podle odhadu evropské obchodní asociace PlasticsEurope dosahovala v roce 2022 celková poptávka po plastech v Evropě 54,1 milionů tun. Mezi nejvýznamnější sektory přitom patří obaly (39,0 %), stavebnictví (22,9 %), automobilový průmysl (8,3 %), elektrotechnický průmysl (5,7 %), zemědělství (4,4 %) a spotřební průmysl (4,1 %).

Rozdělení produkce plastů v Evropě podle hlavních aplikačních sektorů v roce 2022



Zdroj: PlasticsEurope (2024): The Circular Economy for Plastics A European Analysis.

### 8.1. Obaly

Oblast obalů patří mezi klíčové aplikační sektory pro segment výroby a zpracování plastů. Význam plastů pro obalový materiál je spojen s vlastnostmi plastů (pružnost, pevnost, lehkost, stabilita, nepropustnost a snadnost sterilizace).

Plastové obaly představují největší aplikační segment plastikářského průmyslu, přičemž v Evropské unii je do plastů baleno přes 50 % veškerého zboží a téměř 40 % celkové produkce plastů se využívá právě v tomto sektoru. Klíčové vlastnosti plastů, jako je jejich nízká hmotnost, mechanická odolnost a možnost flexibilního zpracování, přispívají k jejich dominanci v oblasti obalových materiálů.

V kontextu Evropské strategie pro plasty v cirkulární ekonomice bude do roku 2030 nezbytné, aby veškeré plastové obaly uváděné na trh EU byly recyklovatelné. To vyžaduje nejen implementaci nových výrobních standardů, ale také inovativní technologická řešení vedoucí k efektivnějšímu zpracování a recyklaci plastů.

Dalším významným trendem je snižování hmotnosti plastových obalů při zachování jejich mechanických vlastností, což přispívá ke snižování energetické náročnosti dopravy a emisí skleníkových plynů. Paralelně dochází k implementaci inteligentních technologií, jako jsou senzory a RFID čipy, umožňující monitoring kvality balených produktů.



## 8.2. Stavebnictví

Stavebnictví je druhým největším odběratelem plastových materiálů, s podílem přesahujícím 20 % celkové produkce plastů. Jenom globální spotřeba izolantů budov má do roku 2027 růst každoročně o 4,7 %. V EU se staví ročně 1 % nových budov s vysokým energetickým standardem, celkem 36 % stávajících budov bude vyžadovat do roku 2030 zateplení stěn, střech a podlah. V ČR pro tyto účely pokračuje dotační program Nová zelená úsporám s alokovanou výší 39 miliard Kč do roku 2030.

Obliba využívání plastů ve stavebnictví souvisí především s následujícími vlastnostmi.

- Plasty jsou trvanlivé a odolné proti korozi, což zvyšuje životnost jejich aplikací (trubky, kabely, okenní rámy apod.).
- Plasty poskytují účinnou izolaci před chladem a teplem, zabraňují únikům a umožňují domácnostem šetřit energii a zároveň snižovat hluk.
- Plastové komponenty jsou zpravidla levnější než tradiční materiály.
- Výrobky z plastů se díky své hmotnosti snadno instalují a vyžadují minimální údržbu.
- Plastové trubky umožňují díky svým vlastnostem hygienický transport vody, také podlahové krytiny vyrobené z plastů se snadno čistí a jsou nepropustné.
- Plasty šetří zdroje díky nákladově efektivní výrobě, snadné instalaci a dlouhé životnosti. Navíc plasty mohou být znovu použity, recyklovány nebo přeměněny na energii.

Očekává se, že globální poptávka po plastových produktech ve stavebnictví dosáhne ročně 75 milionů tun. V souladu s klimatickými cíli EU roste význam plastových izolačních materiálů, které přispívají ke snižování energetické spotřeby budov, a nahrazování konvenčních stavebních prvků plastovými alternativami (např. izolační systémy, potrubní systémy, konstrukční prvky).

## 8.3. Automobilový průmysl

Dle studie poradenské firmy PwC se očekává, že mezi roky 2025 a 2035 vzroste počet automobilů v Evropě o 14 milionů, na celkový počet 366 milionů, přitom v závěru této periody budou většina z nich elektromobily. Růst počtu automobilů lze očekávat v celosvětovém měřítku s ohledem na růst populace a globální industrializaci. V automobilovém průmyslu se spotřebovává přibližně 8 % celkové produkce plastů v EU, přičemž plastové komponenty tvoří asi 15 % hmotnosti současných automobilů. Plasty už dlouhodobě nejsou jen pouhou náhradou, levnějším obyčejným materiálem, naopak jsou klíčové pro konstrukci interiéru i exteriéru vozu, a pro jeho funkčnost, aerodynamiku a ekologickou stopu. Aplikace plastů umožní, aby auta byla lehčí, bezpečnější a udržitelnější. Plasty se standardně používají pro výrobu nárazníků, podběhů a jiných částí karoserie, interiérů vozů (sedadla, čalounění vnitřní karosérie, palubní desky, madla a další), světel, elektrických rozvodů a elektronických součástek, krytů externích čidel, obalech pro baterie, apod.

Klíčovým hybatelem pro pokračující expanzi plastů v automobilovém průmyslu je snaha o snížení hmotnosti vozů jako reakce na rostoucí požadavky na snižování emisí CO<sub>2</sub>, zvyšování úspory paliv nebo nově, pro splnění nových emisních limitů (EURO 7). Zintenzivnění tohoto trendu lze očekávat i při současném postupujícím odklonu od automobilů se spalovacími motory směrem k elektromobilům, u kterých pro dosažení dostatečných dojezdových vzdáleností jsou potřebné baterie s vysokou kapacitou, a tedy i vysokou hmotností.

Snahou je využívat vysoce kvalitní termoplasty nebo kompozitní materiály na bázi termoplastů, jejichž výrazně nižší hmotnost v porovnání s ocelovými díly při zachování dobrých funkčních vlastností snižuje

spotřebu paliva, a tím emise CO<sub>2</sub>, nebo zvyšuje dojezd elektromobilů. Jedním z očekávaných trendů bude vývoj nových inženýrských plastů a kompozitů s cílem vyrábět lehčí, tenčí, ale zároveň bezpečnější a designově přitažlivější díly.

Plastové díly budou navrhovány s ohledem na udržitelnost. Půjde o možnost snadné demontáže a třídění s navazující recyklací na konci života automobilu. Poptávka po recyklovaných plastech se neustále zvyšuje, a jejich aplikace, resp. minimální obsah recyklátu při výrobě nových automobilů, je v rámci EU řešena legislativně.

Vytříděné použité plastové díly lze recyklovat mechanickým způsobem. Chemické způsoby recyklací se uplatňují především u starých pneumatik, dále u polyuretanů a směsných plastů. Výzvou pro každou recyklaci je ale dosažení požadovaných vlastností recyklátu v dané aplikaci a její garance, což představuje potřebu významných aktivit aplikovaného výzkumu.

Za průkopníka oběhového hospodářství v automobilovém průmyslu považuje nadace Ellen Mac Arthur společnost Renault. Ta poblíž Paříže založila „RE Factory“ - centrum regenerativní ekonomiky pro celou skupinu Renault. Zahrnuje čtyři vzájemně propojené aktivity:

- Renovace – repase, včetně výrobu unikátních dílů pomocí 3D tisku,
- Re-energy – optimalizace životnosti baterií, uplatnění vodíku,
- Recyklace – demontáž, repasování a recyklace i plastových dílů,
- Restart – výzkum, rozvoj a šíření znalostí o oběhovém hospodářství.

V roce 2019 těmito aktivitami Renault vygeneroval tržby 120 mil. EUR. Dle jejich odhadu by celosvětově takto bylo možno ušetřit množství elektřiny osmi jaderných elektrárn.

Důležitým trendem v automobilovém průmyslu s potenciálem pro rozvoj plastů je využívání aditivní výroby (3D tisku) v oblasti prototypingu jednotlivých dílů. Výhledově lze očekávat, že technologie aditivní výroby může být využívána také při výrobě specializovaných konstrukčních dílů pro omezené série osobních a nákladních automobilů.

## 8.4. Elektronika a elektrotechnika

V elektrotechnickém průmyslu jsou plasty nepostradatelnou součástí elektronické a elektrotechnické produkce díky svým izolačním vlastnostem, flexibilitě a odolnosti vůči mechanickému opotřebení. Tento sektor se vyznačuje dynamickým růstem a roste také důraz na bezpečnost plastových materiálů, zejména jejich odolnost vůči vzplanutí a schopnost zpomalovat hoření.

V evropském kontextu je v tomto segmentu uplatněno přibližně 6 % celkového objemu vyrobených plastů. Plasty se využívají od jednoduchých kabelů až po elektroniku a domácí spotřebiče. Rozsáhlé spektrum využití plastů v tomto odvětví vytváří rozmanité požadavky na vlastnosti plastů. Současně plasty vytváří předpoklad pro zavádění inovací v elektronice a elektrotechnickém průmyslu. Mezi klíčové trendy vývoje elektroniky, které budou ovlivňovat budoucí požadavky na vlastnosti aplikovaných plastů, patří energetická účinnost, snižování hmotnosti a bezpečnost výrobků.

Energetická účinnost produktů bude nadále klást vysoké požadavky na složení a design plastů pro elektroniku. Ty by měly být navrhovány tak, aby zajišťovaly energeticky úspornou funkčnost elektroniky a elektrických spotřebičů. Podle současného vývoje lze očekávat, že tlak na vysokou energetickou účinnost elektroniky a produktů elektrotechnického průmyslu bude spíše sílit.

S požadavkem na energetickou účinnost do určité míry souvisí také druhý trend, kterým je snižování hmotnosti, především malých elektronických zařízení (telefony, přehrávače, sportovní elektronika apod.). Důraz na omezování hmotnosti se odráží v požadavcích na vývoj nových polymerů splňujících požadované vlastnosti (odolnost proti nárazům, pružnost, schopnost izolovat elektřinu apod.) při nižších hmotnostech. Výzvou pro materiálový výzkum je v této souvislosti rovněž produkce materiálů s nízkým elektrickým odporem, a tím vyšší elektrickou a tepelnou vodivostí.

V neposlední řadě roste důraz na bezpečnost výrobků elektrotechnického průmyslu, což z hlediska využití plastů klade především nároky na odolnost vůči vznícení a rozvoj různých materiálů zpomalujících nebo zastavujících hoření.

## 8.5. Zemědělství

V zemědělství se využívá široká škála plastů, včetně polyolefinů, polyethylenu (PE), polypropylenu (PP), kopolymeru ethylen-vinyl-acetátu (EVA), polyvinylchloridu a méně často polykarbonátu, a polymethylmetakrylát (PMMA). Mezi hlavní produkty plastů využívaných v zemědělství patří v současnosti skleníky (kde sklo je nahrazováno právě plasty), fólie pro zadržování vody, nádrže a zavlažovací systémy či izolační fólie pro siláže.

Mezi klíčové aspekty, které determinují poptávku sektoru zemědělství po plastech, patří požadavek na účinné hospodaření s vodou a požadavek na schopnost recyklovatelnost zemědělských plastů. Tyto faktory budou nabývat na významu s tlakem na dostupnost vody a omezení negativních dopadů vyprodukovaných odpadů na životní prostředí.

V reakci na hromadící se dopady v životním prostředí v poslední době, svět začal usilovat o udržitelnější zemědělské postupy pro zlepšení budoucí situace. Některé z aktuálních problémů, kterým nyní čelíme například v globálním zemědělství je potřeba kontrolovat dodávky agrochemikálií a vyrovnat se s degradací půdy, znečištěním vody, klimatickými změnami a neustále se vyvíjejícími rostlinnými patogeny a nemocemi. V poslední době se rozšířil výzkum na míru připravovaných a na podněty reagujících inteligentních polymerních systémů pro různé průmyslové aplikace. Pokračování vývoje těchto technologií a využití pokročilých funkcí uvedených polymerních materiálů společně přispívá ke zlepšení řízených dodávek agrochemikálií, živin, vodní hospodářství, genetické inženýrství a další.

Nejvýznamnějšími směry využití funkčních polymerních materiálů jsou:

- polymerní materiály umožňující řízenou dodávku agrochemikálií,
- super absorpční polymerní materiály umožňující využití vody,
- speciální aplikace polymerů uvnitř rostlin a organismů.

U funkčních polymerů bylo jistě prokázáno, že představují mnoho možností pro zemědělské aplikace, ale k jejich plné implementaci brání relativně hodně faktorů. Největším omezujícím faktorem bude vždy pravděpodobně cena; ačkoli pokročilé polymerní materiály jsou velkým příslibem pro chytré zemědělství. Zvýšená složitost materiálů bude přirozeně zvyšovat výrobní ceny a bránit jejich použití v terénních aplikacích. Většina dosavadních výzkumů se tedy provádí buď ve sklenících nebo v růstových komorách kvůli složitým a často náročným legislativním procesům v jednotlivých zemích.

Jednou z nejvíce zkoumaných aplikací pro polymerní materiály je řízená dodávka agrochemikálií. Navzdory zvýšenému rozvoji systémů polymerních nanonosičů ukazujících velký potenciál pro

udržitelné uvolňování agrochemikálií, existuje ale jen málo produktů dostupných na trhu. Jeden z hlavních faktorů ovlivňujících tento proces je nízká úroveň komercializace těchto materiálů a cena.

## 8.6. Zdravotnictví

Plasty hrají klíčovou roli v moderní medicíně, a to jak v oblasti jednorázových zdravotnických pomůcek, tak i u vysoce specializovaných implantátů. Mezi hlavní oblasti využití patří chirurgické nástroje, ortopedické pomůcky, umělé klouby a oční implantáty. Důležitou součástí farmaceutického průmyslu jsou polymery používané pro kontrolované uvolňování léčiv.

Plasty jsou všestranné, nákladově efektivní, vyžadují méně energie na výrobu než alternativní materiály – jako je kov nebo sklo – a lze je vyrobit tak, aby měly mnoho různých vlastností. Díky těmto vlastnostem se polymery používají v různých zdravotnických aplikacích, jako jsou jednorázové injekční stříkačky a nitrožilní vaky, sterilní obaly na lékařské nástroje a také při kloubních náhradách, tkáňovém inženýrství atd. Plasty tvoří v současnosti 85 % lékařského vybavení pro jednorázové použití.

Plastové materiály hrají klíčovou roli ve výrobě lékařského vybavení a sterilních obalů. Díky své odolnosti, lehkosti a hygienickým vlastnostem jsou nepostradatelné v moderním zdravotnictví a jejich využití v tomto segmentu neustále roste. Souvisí a i nadále bude souviset s rostoucí celosvětovou populací a jejím stárnutím, a s neustálým rozšiřováním a zdokonalováním zdravotní péče do všech regionů světa. Segment zdravotnictví je jedním z několika, kde je role plastů nezastupitelná. Svoji roli i zde sehraje snaha o snižování uhlíkové stopy a možného využívání nefosilních vstupů jako surovin, nicméně lze předpokládat, že tlak na využívání nefosilních vstupů nebo recyklovaných materiálů ve zdravotnictví nebude tak velký jako v jiných aplikačních oblastech.

Perspektivní oblastí jsou pokročilé kompozitní materiály s uhlíkovou nebo polymerní maticí, které jsou využívány při výrobě kostních implantátů a kloubních náhrad. Rostoucí požadavky na biokompatibilitu a šetrnost k životnímu prostředí nadále podporují vývoj inovativních plastových materiálů.

Globální trh s lékařskými plasty by měl podle prognóz společnosti FMI (Future Market Insights, Inc.) z října 2025 vzrůst z 18,8 miliardy USD v roce 2025 na 37,3 miliardy USD v roce 2035, přičemž průměrný roční růst (CAGR) bude činit 7,1 %. Dominantní postavení bude mít polyvinylchlorid (PVC) s 27,9% podílem na trhu, zatímco segmentu konečného použití budou dominovat lékařské díly a komponenty s 42,5% podílem. Hnací momentem bude rostoucí poptávka po jednorázových zdravotnických prostředcích a jednorázových chirurgických komponentách po celém světě, rostoucí využívání minimálně invazivních postupů, rostoucí poptávka po pokročilých biokompatibilních polymerech a rostoucí investice do nemocniční infrastruktury, ambulantních zdravotnických zařízení a vývoje zařízení pro domácí zdravotní péči po celém světě. Ačkoli jsou tato čísla pouze odhady, je jasné, že trhy s výrobou plastů pro zdravotnické prostředky každým rokem rostou rychlým tempem.

## 9. Budoucí technologie pro výrobu a využití plastů

### 9.1. Úvod

S ohledem na výše uvedené trendy a očekávaný vývoj v klíčových sektorech pro využití plastů byly identifikovány následující výzvy v oblasti technologického rozvoje, kterým je třeba věnovat pozornost při směřování výzkumných a vývojových aktivit. Jedná se především o vývoj polymerních materiálů s vyšším obsahem know-how, novými funkcionalitami a o vývoj nových technologií, které budou dostatečně efektivní pro nové plasty s vlastnostmi šitými na míru a přátelské k životnímu prostředí, s ohledem na celý životní cyklus výrobku od vstupů přes vlastní výrobu plastů, jejich zpracování a aplikace až po recyklaci výrobku se zaměřením na ukončení životního cyklu těchto materiálů s důrazem na ochranu životního prostředí, včetně moří, a zákaz jejich skládkování od roku 2030.

Pozornost České technologické platformy PLASTY se zaměřila na těchto pět základních oblastí:

- výroba polymerů včetně aditiv
- zpracování polymerů a biopolymerů
- využití plastů po skončení jejich životnosti
- prevenci zvyšování výskytu odpadních plastů v mořích
- speciální polymery schopné ukládat energii nebo mající samočistící efekty, polymery používané v jaderném průmyslu (polymerní scintilátory), polymery v elektronice, bio – medicíně a další.

Průřezovou oblastí je pak zaměření na udržitelnou surovinovou dostatečnost, technologickou vyspělost, šetrnost k životnímu prostředí a související legislativu. Jednou z nových aktivit by měl být také způsob působení na výrobce granulí, jejich přeprava ke zpracování, zpracovatele a uživatele a omezení úniku plastových částí do kanalizací, řek a následně do oceánů.

Orientace na obnovitelné zdroje energie přináší požadavky na ukládání energií a energetické úspory, kde se v současnosti uplatňují organometalické a fotovoltaické polymerní materiály a polymerní gelové materiály.

Neustálá miniaturizace elektronických součástek a zvyšování rychlosti signálu vyvolává potřebu nalezení materiálu s nízkým elektrickým odporem, vyšší elektrickou a tepelnou vodivostí. Právě mnohvrstevné případně kompozitní materiály skládající se z kombinace kovu a polymeru se zdají být řešením daného problému. Elektronické prvky vyráběné právě jako kombinace těchto rozdílných materiálů jsou výhodné pro svou odolnost vůči mechanickému namáhání, vyšším teplotám ale i chemickému poškození.

Další důležitou problematikou i s ohledem na předpokládaný rozvoj v oblasti jaderné energetiky je detekce ionizujícího záření, kde se s úspěchem uplatňují scintilační polymerní detektory. Ty jsou založeny na vlastnosti některých látek reagovat světelnými záblesky neboli scintilacemi na pohlcení kvant ionizujícího záření; tyto světelné záblesky se pak elektronicky registrují pomocí fotonásobičů.

Mezi hlavní sledované směry makromolekulárních chemiků patří také biomakromolekulární systémy zahrnující polymerní nosiče léčiv, dále polymerní vrstvené systémy pro kontakt s biologickým prostředím, bioanalogické polymery, hydrogely atd. V současnosti je věnována velká pozornost i dynamice a samoorganizaci molekulárních a nadmolekulárních polymerních útvarů, přípravě,

charakterizaci a využití nových polymerních systémů s řízenou strukturou a vlastnostmi apod. Výsledkem jsou nové polymery pro buněčné terapie a regenerace tkání (tkáňové inženýrství). Bioanalogické systémy – aplikace molekulárního a genového inženýrství.

Vývoj a užití nových plastů s vlastnostmi připravovanými na míru je důležitým stimulem rozvoje v řadě průmyslových odvětví. Je to cesta, jak zapojit do řetězce velkých výrobců komoditních plastů firmy zabývající se kompaundováním. Potřeba budoucích technologií se promítá přímo do rostoucích požadavků na nové plasty a materiály s požadovanými vlastnostmi, metod jejich přípravy, nákladovosti výroby a jejich recyklovatelnosti.

Aditiva pro polymerní systémy představují pestrou škálu modifikací polymerů, které jsou povětšinou směřovány ke zlepšení jejich vlastností z hlediska fyzikálního pohledu. Jedná se přede vším o mechanické, uživatelské nebo zpracovatelské vlastnosti. Moderní aditiva jsou vyvíjena za účelem zvýšení stability v daném polymerním prostředí a současně za účelem získání nových tzv. funkčních vlastností. V této souvislosti lze hovořit zejména o těchto oblastech aplikací: ochrana před UV zářením, fotoaktivní samočisticí úpravy, vodivé polymerní systémy a povrchové modifikace.

Byla registrována potřeba zlepšené identifikace příležitostí v úzké spolupráci s průmyslovými partnery a zlepšení koordinace veřejného a soukromého výzkumu k překonání omezených přírodních a finančních zdrojů s cílem zamezit fragmentaci a duplicitám úsilí.

Mezi základní tematické cíle v rámci vývoje nových plastů dlouhodobě patří:

- Připravit nové materiály a zajistit nové postupy pro využití obnovitelných a netradičních zdrojů energie.
- Snížit energetickou náročnost provozu budov.
- Vyvinout nové materiály, nové přísady do výrobků jiných odvětví, nové polymery a katalyzátory. Značnou roli hrají v tomto úsilí aditiva pro plasty. Rozvíjet se budou zejména bio- aditiva, ale i retardéry hoření a barviva, včetně nano-TiO<sub>2</sub>.
- vývoj katalytické vnitřní vrstvy obalů potravin pro odstranění zbytkového kyslíku pro skladování potravin.
- Snižovat hmotnost dopravních prostředků a tím i spotřebu pohonných hmot a jejich emise.
- Využití obnovitelných zdrojů, především pak rostlinných a živočišných odpadů
- Možnost využití technologií zachytávání a využití uhlíku (CCU) v kombinaci s biotechnologiemi pro výrobu polymerů

## 9.2. Využití obnovitelných zdrojů

Využití a zapracování obnovitelných zdrojů a biotechnologických procesů do stávajících technologií se nabízí jako jedno z možných řešení v otázce závislosti na ropě či jiných fosilních zdrojích. Z odpadní biomasy a jiných obnovitelných zdrojů lze termochemickými a enzymatickými postupy připravovat látky, které jsou schopny substituovat stávající suroviny z fosilních zdrojů.

Vzhledem k technologiím vhodným ke zpracování biomasy je zpracování biomasy pro chemické látky další možnou variantou přípravy vhodných monomerů a polymerů, kopolymerů a aditiv. Zatímco primární metabolity jsou užívány vesměs pro energetické využití jak už v podobě cukrů pro následnou fermentaci, či jako estery vyšších mastných kyselin pro výrobu FAME, sekundární metabolity mají také své využití. Nastavený trend je však využívat i primární metabolity jako zdroje chemických látek, důvodem je lehká dostupnost a majoritní podíl ve zpracovávané biomase.



Mezi primární metabolity řadíme oleje, cukry, celulózu, hemicelulózu, lignin. Všechny tyto složky jsou v největší míře upravovány na koncový palivový produkt. Tyto metabolity však lze brát v úvahu i jako zdroje chemických látek. Enzymatickým štěpením celulózy a hemicelulózy dostáváme směs cukrů vhodných pro následnou separaci a využití v potravinářském a chemickém průmyslu. Kromě využití cukrů jako zdrojů pro následnou fermentaci se objevují práce na téma hledání alternativních monomerů vyrobených z biomasy. Jde o vytvoření ekvivalentních polymerů vůči klasickým petrochemickým produktům. Řešení se objevuje např. ve vytvoření monomerů furanového základu, oproti benzenovému. Dřevní pojivo lignin, které vypadává v procesu hydrolýzy dřeva, se díky své struktuře může brát jako prekursor vysoce aromatických sloučenin, které se získají za použití vhodného thermochemického procesu.

Gumy, pryskyřice, vosky, terpeny, steroidy, glyceridy, kyseliny můžeme řadit označením jako sekundární metabolity obsažené v biomase. Jejich množství se značně odvíjí od druhu rostlin a jejich částí. V současné době se vyvíjí způsob efektivní izolace a vedlejšího využití těchto metabolitů. Využití sekundárních metabolitů v plastikařském průmyslu spočívá především ve využití jako stabilizátory, plastifikátory, antistatika, polymerační emulgátory apod. Při zpracování sekundárních metabolitů se nabízí i alternativní cesta enzymatické transformace a izolace.

Jde o využití biomasy jako zdroje High Value Chemicals, které v konečném měřítku zvýší celkovou cenu výstupních technologických produktů. Mezi návrhy na budoucí postupy při zpracování těchto typů chemikálií se objevují zejména návrhy na rozvoj separačních metod. Separační metody směřované na zpracování biooleje – produktu pyrolýzy biomasy – se odvíjejí dle typu a vlastností izolovaných látek. Mezi hlavní výhledové separační metody může patřit mj. extraktivní destilace rozvětvených polymerů.

Aplikace environmentálních technologií přesahují i do dalších průmyslových odvětví – papírenský průmysl, textilní průmysl, plasty, kosmetika, mýdla, detergenty.

Základem je změnit pohled na biomasu jako na zdroj paliv bez využití ostatních produktů, které je možné získat jejich úpravou. Nabízí se zde možnost vytvoření několika cílů pro následující výzkumnou agendu právě se zaměřením na vývoj technologií pro získávání chemických látek z biomasy, které se stanou buď částečnou náhradou stávajících, nebo samostatnou novou surovinou především pro výrobu monomerů nebo dalších bio-aditiv potřebných pro výrobu bioplastů.

### 9.3. Bioplasty a jejich technologie

Výraz bioplasty zahrnuje celou rodinu materiálů, které jsou buď založeny na biomateriálech, nebo jsou biodegradovatelné, nebo obojí.

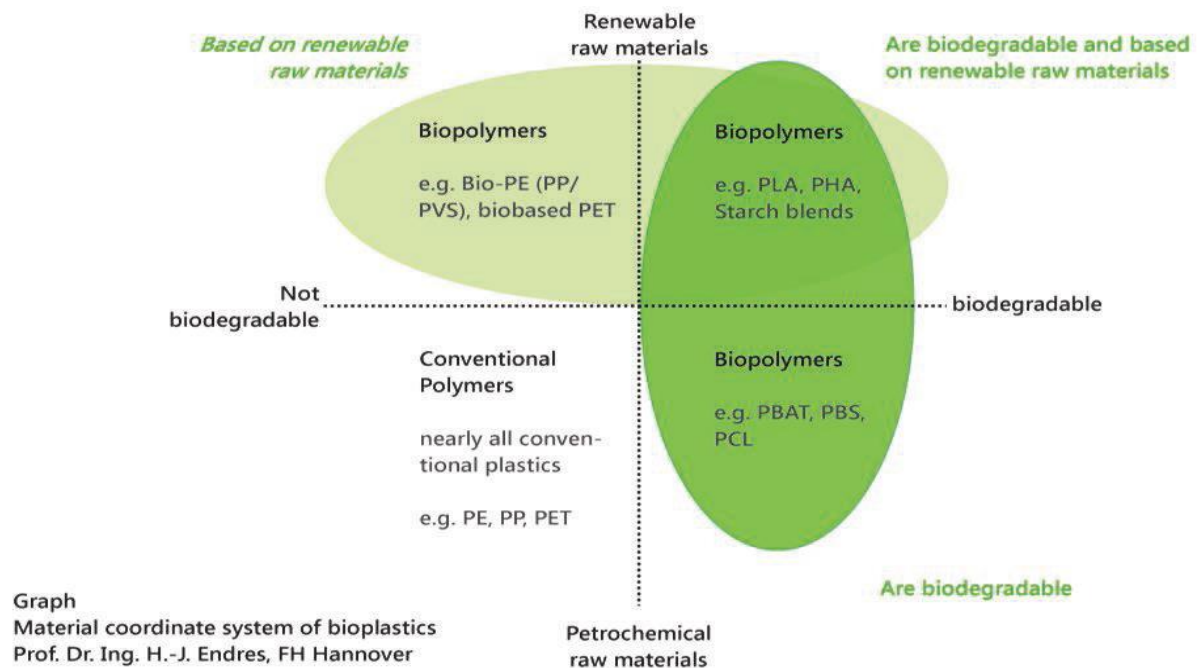
Biobased nebo založené na biomateriálech znamená, že materiál nebo produkt je (částečně) odvozen z biomasy (rostlin). Biomasa používaná pro výrobu bioplastů pochází například z kukuřice, cukrové třtiny nebo celulózy.

Výraz biodegradovatelný popisuje chemický proces, během něhož mikroorganismy, které jsou běžné v životním prostředí přemění materiály na přírodní látky jako je voda, oxid uhličitý a kompost (umělé přísady nejsou potřebné). Proces biodegradace závisí na podmínkách okolního životního prostředí (např. geografická poloha a teplota), na materiálu a aplikaci.

Organizace European Bioplastics Association ([en.european-bioplastics.org](http://en.european-bioplastics.org)) vypracovala pro ilustraci jednoduchý dvouosý model, který zahrnuje všechny typy plastů a jejich možné kombinace. Viz Obrázek 1. Plasty jsou zde rozděleny do 4 charakteristických skupin. Horizontální osa znázorňuje

biodegradovatelnost plastů, přičemž vertikální osa ukazuje, zda je materiál odvozen z petrochemických surovin, nebo z obnovitelných zdrojů.

**Obrázek 1 Klasifikace plastů podle European Bioplastics**



Níže je uvedena charakteristika každé skupiny:

- Plasty, které nejsou biodegradovatelné a jsou vyrobeny z petrochemických surovin – tato kategorie zahrnuje klasické, t.j. tradiční plasty (i když klasické petrochemické plasty představují pouze jednu skupinu plastů, tvoří celkem více než 90 % celosvětové produkce plastů)
- Biodegradovatelné plasty z obnovitelných zdrojů – plasty, které jsou vyrobeny z biomasy a jsou biodegradovatelné.
- Biodegradovatelné plasty z fosilních surovin – plasty, které jsou biodegradovatelné, ale jsou vyrobeny z fosilních zdrojů.
- Nebiodegradovatelné plasty z obnovitelných zdrojů – plasty vyrobené z biomasy, které ale nejsou schopny biodegradovat.



## **Výroba bioplastů a odhady dalšího vývoje**

Bioplasty v současnosti představují zhruba 0,5% z více než 414 milionů tun plastů vyrobených ročně (zdroj: World plastics production 2022, Plastics Europe, 2024). Ale jak roste poptávka a objevují se sofistikovanější materiály, aplikace a produkty, trh již roste velmi dynamicky.

Celková celosvětová produkce plastů nadále stabilně roste. Tento vývoj je poháněn rostoucí poptávkou v kombinaci s nástupem stále sofistikovanějších aplikací a produktů. V souladu s tím se očekává výrazný nárůst celosvětové výrobní kapacity bioplastů z přibližně 2,47 milionu tun v roce 2024 na přibližně 5,73 milionu tun v roce 2029.

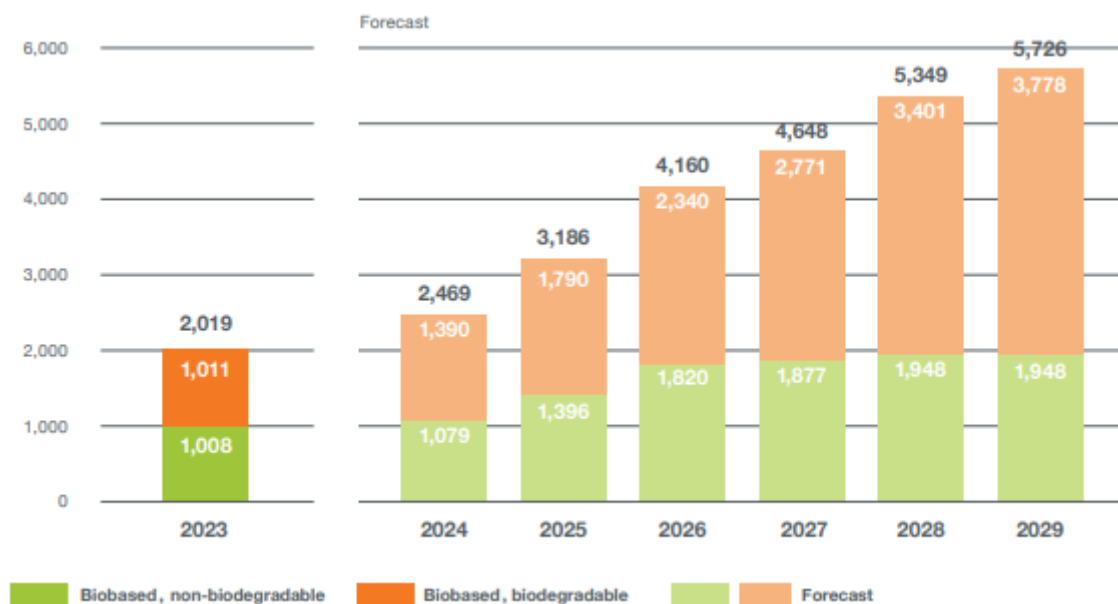
## **Vlastnosti těchto materiálů**

Odolné plasty na biologickém nebo částečně biologickém základě, jako je PE, PP, PET nebo PVC na biologickém nebo částečně biologickém základě, mají vlastnosti, které jsou totožné s jejich konvenčními verzemi. Tyto bioplasty jsou technicky ekvivalentní jejich fosilním protějškům; přesto pomáhají snižovat uhlíkovou stopu produktu. Navíc je lze mechanicky recyklovat ve stávajících recyklačních tocích.

Navíc nové materiály, jako je PLA, PHA, celulóza nebo materiály na bázi škrobu, nabízejí řešení se zcela novými funkcemi, jako je kompostovatelnost a v některých případech optimalizované bariérové vlastnosti. Spolu s růstem různých bioplastových materiálů se výrazně zlepšily vlastnosti, jako je flexibilita, trvanlivost, potiskovatelnost, průhlednost, bariéra, tepelná odolnost, lesk a mnoho dalších.

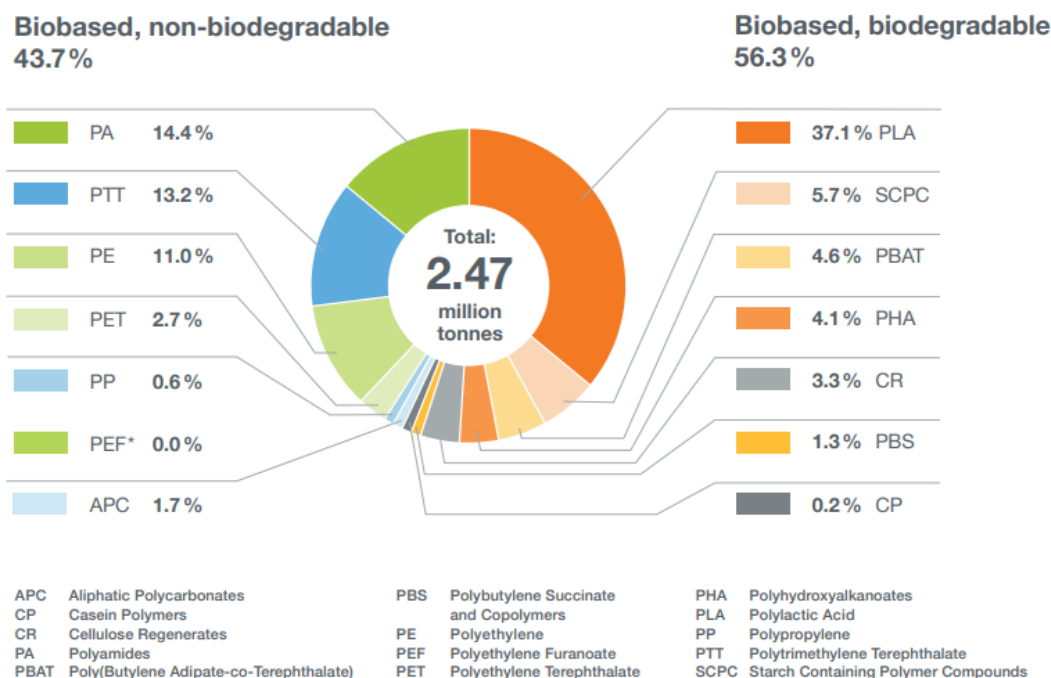
Srovnání výrobních kapacit a skutečné produkce v roce 2024 ukazuje, že odvětví bioplastů vyrábí na téměř 60 % své kapacity. Ačkoli se v některých částech míra využití u jednotlivých polymerů značně liší, pohybuje se od 35 % do 100 %, průměrná míra využití v roce 2024 je 58 % (produkce 1,44 milionu tun oproti výrobní kapacitě 2,47 milionu tun).

**Obrázek 2 Globální výrobní kapacity bioplastů 2024-2029**



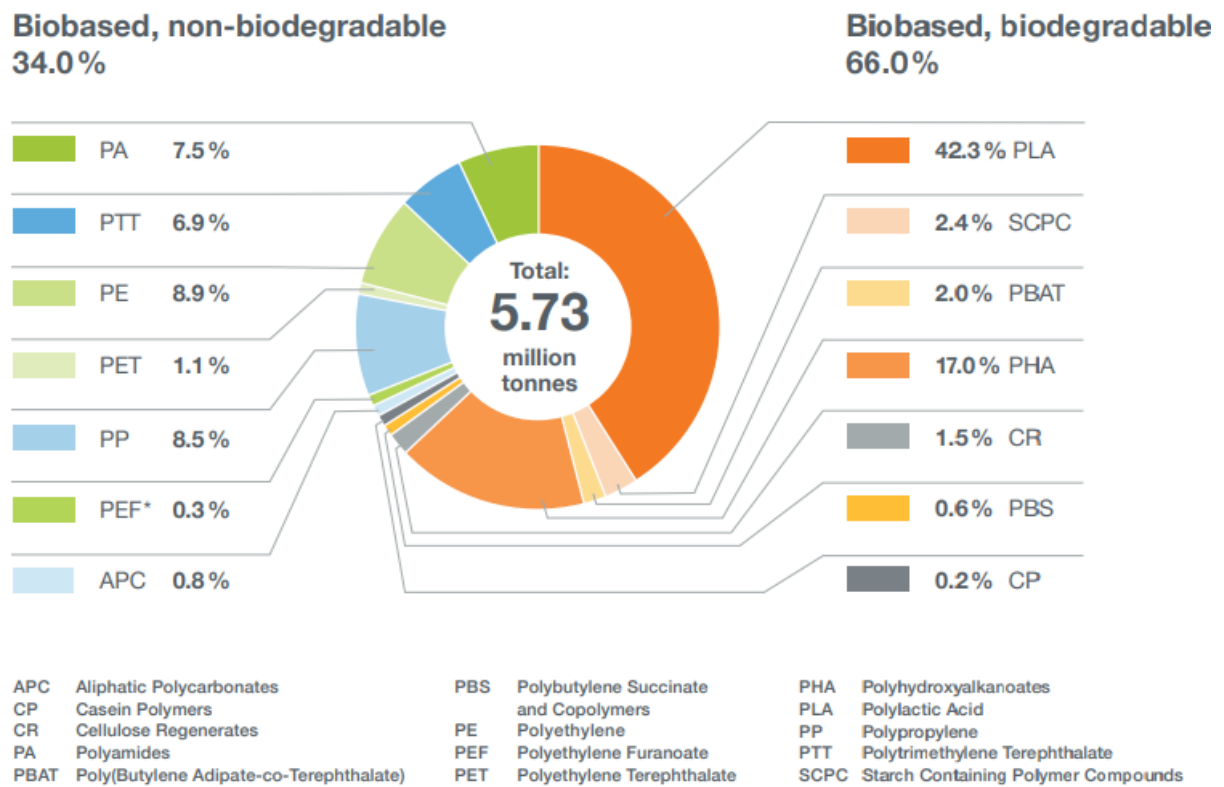
Pro téměř každý konvenční plastový materiál a odpovídající použití existují alternativy bioplastů. Díky silnému vývoji biopolymerů a biodegradabilních polymerů, jako je kyselina polymléčná (PLA) a polyhydroxyalkanoáty (PHA), biopolyethylen (PE), stejně jako neustálý růst biopolypropylenu (PP), budou výrobní kapacity i nadále významně narůstat během následujících 5 let.

**Obrázek 3 Globální výrobní kapacity bioplastů 2024 (podle druhu materiálu)**



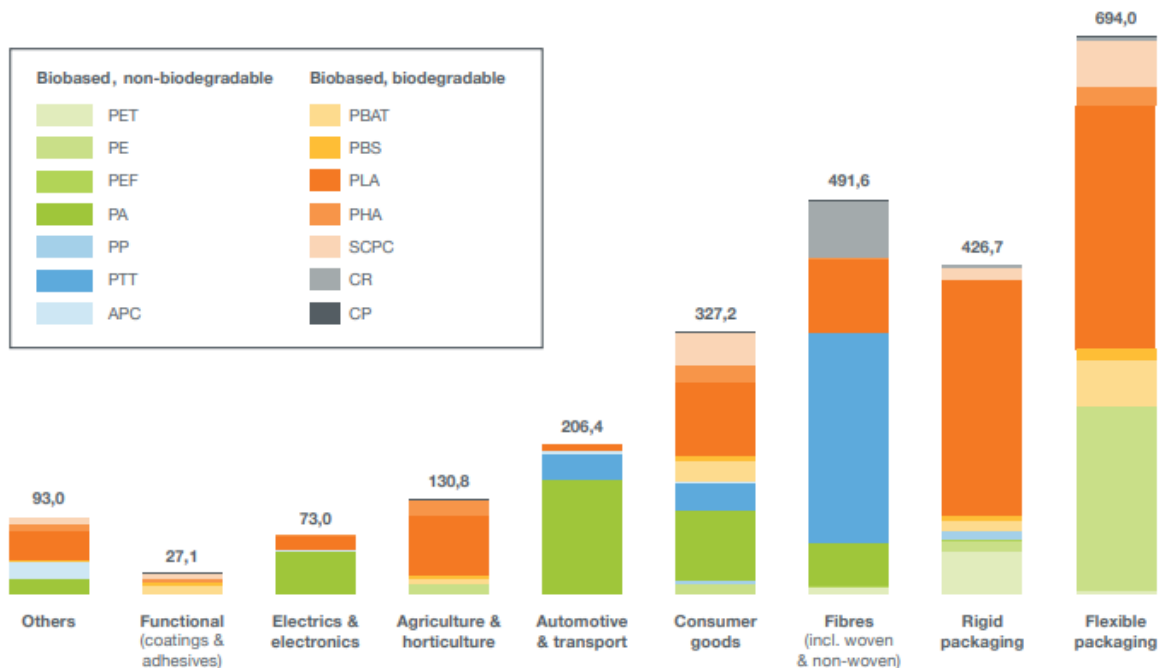
\* PEF available at commercial scale as of 2024

**Obrázek 4 Globální výrobní kapacity bioplastů 2029 (podle druhu materiálu)**



Bioplasty se používají pro stále více různých aplikací, od obalů a vláken až po spotřební zboží, automobilový průmysl a zemědělské produkty. Obaly zůstávají největším segmentem trhu pro bioplasty se 45 % (1,12 milionu tun) celkového trhu s bioplasty v roce 2024.

**Obrázek 5 Globální výrobní kapacity bioplastů 2024 (podle segmentů trhu)**

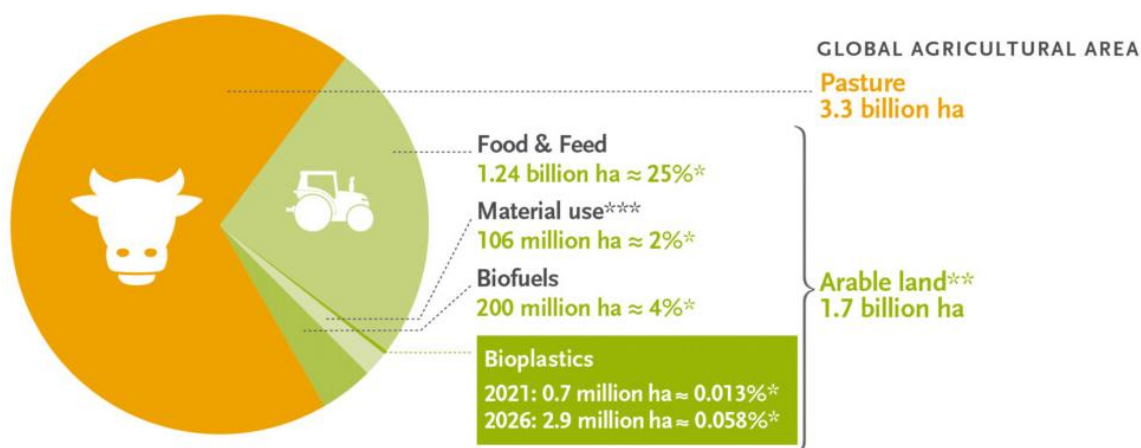


Ze srovnání výrobních kapacit a skutečné produkce v roce 2024 vyplývá, že bioplastový průmysl vyrábí na téměř 60 %. Ačkoli se v některých částech poměrně výrazně liší od jednoho polymeru k druhému, v rozmezí od 35 % do 100 %, průměrná míra využití v roce 2024 je 58 % (1,44 milionu tun produkce vs. 2,47 milionu tun výrobních kapacit).

S ohledem na rozvoj regionálních kapacit Asie dále posiluje svou pozici hlavního výrobního centra s téměř 50 % bioplastů, které se v současnosti vyrábí v tomto regionu. V současné době se téměř čtvrtina výrobní kapacity stále nachází ještě v Evropě. Podíl Evropy a podíl ostatních světových regionů se však během příštích pěti let výrazně sníží. Naproti tomu se předpokládá, že podíl Asie do roku 2026 překročí 70 %.

Podíl využití půdy pro bioplasty se odhaduje na 0,01 % celosvětové zemědělské plochy. Předpokládá se, že půda využívaná k pěstování obnovitelných surovin potřebných k výrobě bioplastů zůstává přibližně 0,70 milionu hektarů v roce 2021. To představuje jen něco málo přes 0,01 % z celosvětové zemědělské plochy s 5,0 miliardami hektarů. Spolu s předpokládaným zvýšením produkce bioplastů v roce 2026 se očekává, že podíl využití půdy bude stále nižší než 0,06 %. V poměru k dostupné zemědělské ploše je tento podíl minimální. Neexistuje tedy žádná konkurence mezi výrobou potravin a krmiv a obnovitelnými surovinami pro výrobu bioplastů. Viz Obrázek 6.

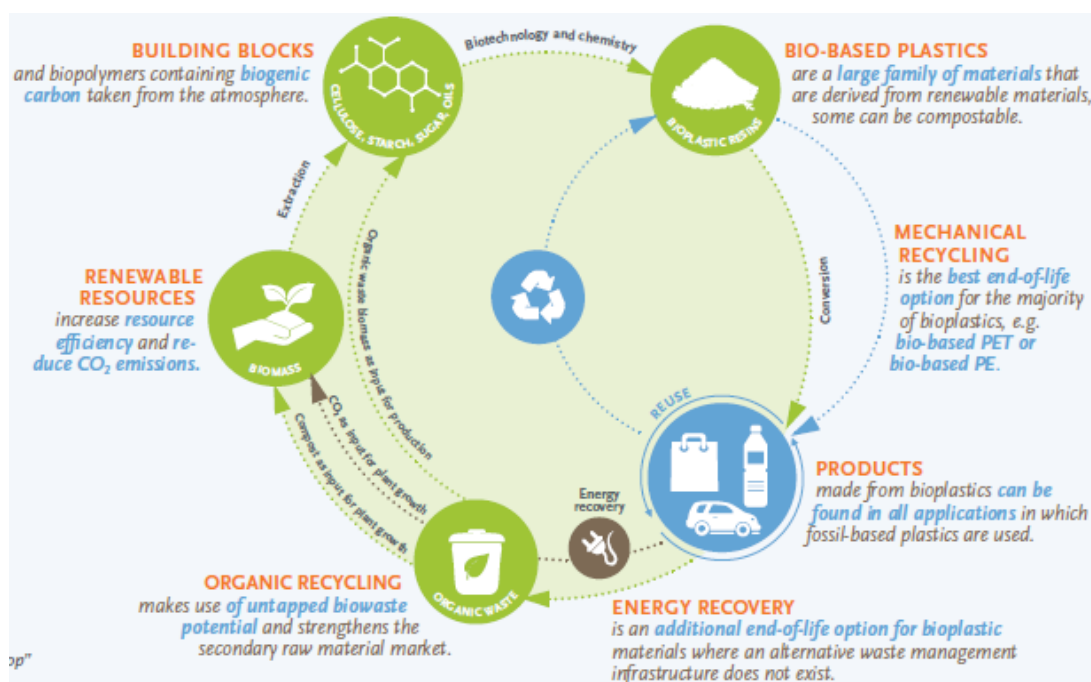
Obrázek 6 Odhad využití půdy pro bioplasty v letech 2021 a 2026



Source: Source: European Bioplastics (2021), FAO Stats (2020), nova-Institute (2021), and Institute for Bioplastics and Biocomposites (2019), University of Virginia (2016). Info: [www.european-bioplastics.org](http://www.european-bioplastics.org)

Budou opravdu bioplasty tak přínosné pro budoucnost?

Obrázek 7 Ideální životní cyklus bioplastového výrobku



Příkladem je projekt firmy Coca-Cola s názvem PlantBottle – nový druh recyklovatelné plastové nádoby, z níž je 30 % vyrobeno z cukrové třtiny a jiných rostlin a zbývajících 70 % je vyrobeno z tradičního plastu na bázi oleje. Společnost uvádí, že obaly PlantBottle nyní tvoří téměř třetinu objemu jejích lahví v Severní Americe a sedm procent celosvětově.

Znamená to že PlantBottle, obří společnost vyrábějící nealkoholické nápoje prolomila jeden z nejzávažnějších ekologických problémů světa, zahlcení světa plasty na bázi ropy, které se nikdy úplně nerozloží a nezmezí? Stěží. Přestože jsou společnosti jako Coca-Cola a Pepsi pod tlakem veřejnosti, aby problém znečištění plasty vyřešily, dosud nebyly schopny najít materiál nebo metodu, která by byla tak levná a účinná jako plast na jedno použití. „Koncept, že bychom to mohli použít, zahodit, a nezáleží na tom, kam to hodíte, a ono to bezpečně zmizí, neexistuje,“ řekl Ramani Narayan, profesor na School of Packaging v Michiganu.

Místo toho se mnozí odborníci domnívají, že řešení plastového odpadu nespočívá především ve vývoji lepších bioplastů, ale v přepracování světové ekonomiky tak, aby se recyklovalo mnohem větší množství plastů, než se v současnosti znovu používá. Právě zveřejněná dvouletá studie nazvaná Breaking the Plastic Wave od Pew Charitable Trusts a SYSTEMIQ zjistila, že navzdory úsilí průmyslu, vlád nevládních organizací se problém plastů v prostředí zhoršuje.

Nedávná studie v časopise Science, jejímž autorem jsou výzkumníci související se zprávou Pew, skutečně odhaduje, že se nyní do oceánů dostane každý rok asi 11 milionů tun plastů – o 3 miliony více, než činily předchozí odhady. Studie uvedla, že pokud bude svět pokračovat ve svém současném kurzu raketově rostoucí spotřeby plastů, množství vyprodukovaného plastového odpadu se do roku 2040 ztrojnásobí. Jediným řešením tohoto narůstajícího problému, uzavírá zpráva Pew, je masivní revize světového plastového systému za 600 miliard dolarů, který znovu používá a recykluje plasty v oběhovém hospodářství, spolu s dalšími změnami menšího rozsahu, včetně bioplastů. Pokud budou přijata jeho doporučení, říká Pew zpráva, mohl by se plastový odpad během příštích dvou desetiletí snížit o 80 %.

Proč tedy bioplasty, propagované jako důležité řešení problému plastů, zdaleka nesplnily svůj slib? Plastové obaly na jedno použití vyrobené z ropy – technicky polyethylentereftalát nebo PET – jsou druhem, ve kterém se prodává většina nápojů a potravin. V mnoha ohledech jde o perfektní obal – pevný, lehký, všestranný, čirý a levný. Mimořádně dobře chrání produkty, udržuje je čerstvé, a dokonce odolává kyselinám a tlaku nealkoholických nápojů, aniž by se během měsíců nebo let rozbil nebo stal propustným.

Společnost Vioneo představila na veletrhu K 2025 v Düsseldorfu průlomovou technologii výroby vysoce výkonných polyethylenových a polypropylenových plastů bez použití fosilních paliv. Technologie „zelený metanol-na-olefiny“ (MTO) umožňuje výrobu panenských plastů se sníženou emisí CO<sub>2</sub> až o 6 kg na kg plastu, které jsou kompatibilní s existujícími výrobními procesy.

V oblasti bioplastů je silný tlak na ekologii i udržitelnost, včetně vývoje materiálů z odpadních surovin a mořských řas, které se rychle rozkládají (do několika týdnů), což zvyšuje možnosti využití v zemědělství i dalších průmyslových oborech. Německé, brazilské a americké týmy potvrzují, že bioplasty jsou zatím křehčí a méně cenově konkurenceschopné než konvenční plasty. Pracuje se proto intenzivně na zdokonalení jejich mechanických vlastností a snížení výrobních nákladů. Výzkum dále směřuje k bioaktivním bioplastům s antibakteriálními a antioxidačními vlastnostmi, které mají potenciál prodloužit životnost výrobků a zlepšit jejich funkční vlastnosti.

Proč tedy bioplasty, propagované jako důležité řešení problému plastů, zdaleka nesplnily svůj slib? Plastové obaly na jedno použití vyrobené z ropy – technicky polyethylentereftalát nebo PET – jsou druhem, ve kterém se prodává většina nápojů a potravin. V mnoha ohledech jde o perfektní obal – pevný, lehký, všestranný, čirý a levný. Mimořádně dobře chrání produkty, udržuje je čerstvé, a dokonce odolává kyselinám a tlaku nealkoholických nápojů, aniž by se během měsíců nebo let rozbil nebo stal propustným.

Bioplast musí tyto funkce replikovat a u některých produktů tomu tak je. Dva nejběžněji používané bioplasty jsou PHA, zkratka pro polyhydroxyalkanoát, obecně vyrobený z cukrů, které se pěstují z řas, a PLA pro kyselinu polymléčnou, která se vyrábí z cukru nacházejícího se v plodinách, jako je kukuřice a cukrová třtina. PLA představuje desetinu ceny PHA, a proto se více používá pro jednorázové přístroje a různé obaly. PHA se používá jako povlak na vnitřní straně papírových kelímků a lékařských aplikací.

Ani jeden z těchto bioplastů se však široce nepoužívá, protože se jednoduše nevyrovnají pevnosti a dalším vlastnostem tradičních plastů a jsou podstatně dražší. Globální trh s plasty má hodnotu 1,2 bilionu dolarů a bioplasty mají tržní podíl 9 miliard dolarů.

Zatímco oba bioplasty, které se nyní používají, mohou být mikroorganismy rozloženy a během krátké doby se znovu stanou součástí přírodního světa, stane se to pouze tehdy, pokud je plast sbírán a kompostován v pečlivě kontrolovaných průmyslových kompostovacích zařízeních s vysokou teplotou — a těch není mnoho, zvláště v rozvojových zemích, kde je problém znečištění plasty nejvážnější.

Pokud bioplasty skončí na skládkách, jak to mnozí dělají, bez dostatečného množství kyslíku k jejich rozkladu, mohou vydržet staletí a uvolňovat metan, silný skleníkový plyn. Pokud jsou vyhozeny do životního prostředí, představují hrozbu podobnou PET plastu. Bioplasty jsou zatím tedy 'falešným řešením', protože jsou na jedno použití a jsou omezené možnosti, jak je kompostovat. Jediným řešením je snížení množství obalů na jedno použití, které používáme."

Odborníci tvrdí, že výzvy spojené s masivním zaváděním bioplastů ukazují, jak těžké bude nahradit miliardy plastových lahví znečišťujících planetu. Dosavadní vývoj představuje malé krůčky ve srovnání s růstem poptávky po plastových obalech, zejména v rozvojovém světě, kde se ročně spotřebují například miliardy lahví. Recyklace tradičních plastových lahví je obrovskou výzvou pro země s nízkými a středními příjmy, z nichž mnohé nemají prakticky žádné systémy recyklace. Až 95 %, které jsou dopravovány řekami do světových oceánů, pochází z 10 řek v Asii a Africe.

Plastová krize je jednou z nejvážnějších ekologických výzev, které se světu dosud nepodařilo vyřešit. Zákaz různých typů jednorázových plastů nemusí nutně představovat efektivní řešení pro plastový odpad a může také vést ke zvýšení úrovně dalšího odpadu, jako je potravinový odpad. Bioplasty mají slibný potenciál nahradit konvenční a méně ekologické plasty. Rychlý přechod z konvenčních a biologicky nerozložitelných plastů na bioplasty a biodegradovatelné bioplasty však není jediným univerzálním řešením, jak snížit nekontrolovatelný plastový odpad. Namísto nahrazování jednoho škodlivého plastu jiným by bioplastický průmysl a akademická obec měly spolupracovat na navrhování nejbezpečnějších a nejudržitelnějších bioplastů, které se mohou rozkládat ve všech myslitelných prostředích. Také uspořádání bioplastů by mělo být formulováno a využíváno pro specifické aplikace. Stejně jako konvenční plasty je nekontrolovaná likvidace bioplastů katastrofou pro životní prostředí. Pokud jsou všechny fosilní plasty nahrazeny bioplasty, ale nebudou provedeny žádné podstatné změny v jejich systému nakládání s odpady; Plastový odpad zůstane kritickým problémem. Nekompostovatelné bioplasty lze snadno zaměnit za kompostovatelné bioplasty. Pouhé označování bioplastů jako kompostovatelné nebo nekompostovatelné proto může spotřebitele uvést v omyl. Aby se zabránilo zmatení spotřebitelů, pokud jde o likvidaci bioplastů, je třeba vyvinout a nařídit informativnější systémy označování na základě kritérií biologické rozložitelnosti a obnovitelnosti. Četné studie zjistily, že bioplasty, jako je PLA, PBS a dokonce i PHA, pokud jsou vyráběny ve specifických tloušťkách, mohou se biologicky rozložit pouze za specifických podmínek průmyslového kompostování. Tento systematický přehled se pokusil zdůraznit, že bioplasty lze vyvíjet tak, aby vyhovovaly potřebám řady průmyslových odvětví, včetně průmyslu balení potravin. Je evidentní, že na trhu potravinářských

obalů dochází k rozsáhlému rozšíření a přijetí bioplastů. Navzdory bezprecedentním příležitostem, které bioplasty poskytují potravinářskému průmyslu, však jejich rozsáhlé zavádění není zdaleka plně realizováno, protože existuje mnoho překážek, které zdržují jejich široké přijetí. V současnosti je většina bioplastů dražší než plasty získané z ropy, což je důležitý důvod současných nízkých výrobních kapacit. S rychlým pokrokem v inženýrství mikrobiálních metabolických drah jsme dnes v mnohem lepším stavu než před dvaceti lety, pokud jde o zvýšení škálovatelnosti bioplastů. Rostoucí cena ropy činí bioplasty na trhu konkurenceschopnější. Vzhledem k tomu, že náklady na ropu rostou a technologie bioplastů se zlepšuje, dojde k přechodu, kdy lze bioplasty prodávat za podobné nebo dokonce nižší ceny než polymery na bázi ropy. Aby bylo možné využít potenciál bioplastů v obalech potravin, je zapotřebí více výzkumu, abychom porozuměli hodnocení jejich toxicity při přímém kontaktu s potravinami a jejich dopadu na životní prostředí. Požadované změny ve vstupních materiálech, surovinách a konstrukci výroby si vyžádají čas a naše závislost na plastech bude v krátkodobém až střednědobém horizontu pokračovat. Vzhledem k neuvěřitelně rychlému tempu průmyslového a technologického rozvoje v plastikářském průmyslu budou bioplasty postupem času i nadále přijímány, prospívají životnímu prostředí a přispívají k uhlíkové neutralitě.

#### 9.4. Rozvoj vyspělých technologií a plastů se zvýšenou užitnou hodnotou

Z hlediska aplikačních možností a postavení na trhu bývají konvenční plastové materiály děleny do třech skupin, a to na komoditní, inženýrské a high-tech.

*Komoditní plasty* (nebo také plasty pro všeobecné použití) dosahují vlastností vhodných pro běžné, méně náročné aplikace. Představují největší objem výroby i spotřeby a současně jsou také významně levnější než materiály z dalších dvou skupin. Do této skupiny patří zejména čtyři základní typy polymerů, a to polyethylen (PE), polypropylen (PP), polystyren (PS) a polyvinylchlorid (PVC). Materiály z této skupiny, hlavně PE, PP a PS představují surovinovou bázi pro výrobu plastových výrobků na jedno použití, jejichž aplikace je již evropskou legislativou zakázána nebo výrazně omezena.

*Inženýrské plasty* jsou polymerní materiály, které jsou určeny především pro konstrukční aplikace a v porovnání s komoditními plasty nabízejí mnohem lepší užitné vlastnosti (mechanickou pevnost, opracovatelnost apod.) a v některých případech také lepší tepelné vlastnosti, hlavně možnost aplikace při vyšších teplotách. Do této skupiny se mj. řadí polyamidy (PA), polymethylmethakrylát (PMMA), polykarbonáty (PC), polyethyltereftalát (PET), polyoxymethylen (POM), ale i speciální typy PP nebo PE, třena polyethylen s ultravysokou molární hmotností (PE-UHMW).

*High-tech plasty* (nebo také speciální polymery) stojí na pomyslném vrcholu pyramidy. Tyto polymery se vyrábí a zpracovávají v malém množství, ale mají unikátní užitné vlastnosti a jsou tak vhodné pro špičkové aplikace. Často vynikají vysokou teplotní či chemickou odolností a stálostí, mají výborné mechanické vlastnosti, vyznačují se ale také vysokou cenou. Do této skupiny patří např. polytetrafluorethylen (PTFE), polyvinylidenfluorid (PVDF) a jiné fluorované polymery, polyimidy (PI), polyetherimidy (PEI), polyetheretherketon (PEEK), polyfenylsulfid (PPS) nebo polyfenylsulfon (PPSU), a jiné, které se vyznačují aromatickými jádry či polycyklickými skupinami v hlavním polymerním řetězci.

Do tohoto dělení se postupně zařazují i nové plasty založené na surovinách z biologických obnovitelných zdrojů, ať už biodegradabilní, kompostovatelné či nikoliv. Je nutno konstatovat, že materiály na bázi obnovitelných zdrojů (škrobů, cukrů apod.) aktuálně představují spíše alternativu ke komoditním



plastům, případně některým typům inženýrských plastů, jako je PET. Nicméně se očekává, že s dalším stupněm poznání a technologickým rozvojem budou jejich aplikační možnosti jistě narůstat.

Vlastnosti polymerů jsou určeny následujícími parametry:

- Chemickým složením makromolekuly (tedy typem monomeru nebo monomerů v případě kopolymerů)
- Molekulární strukturou (tedy tvarem makromolekul – lineární, různě větvené nebo sesíťované, dále takticitou – ataktické, izotaktické, syndiotaktické, také uspořádáním monomerů v kopolymeru - statistické, alternující, blokové, roubované, či molární hmotností a dispersitou)
- Nadmolekulární strukturou (materiály mohou být amorfní, semikrystalické, krystalické, mezi molekulami v nich mohou existovat různé mezimolekulární síly podle chemické struktury – disperzní, indukované či dipólové)

Polymery se při aplikaci obvykle používají ve směsi s aditivy, jinými plasty nebo plnivý, které upravují jejich aplikační vlastnosti. Např. antioxidanty a antiozonanty zlepšují odolnost výrobku proti povětrnostnímu stárnutí, směsí plastů lze dosáhnout houževnatosti křehkého plastu, přídavkem plniv lze zvýšit tvrdost výrobku nebo snížit jeho cenu apod.

Tyto postupy jsou známy a užívané po celou dobu existence výroby a zpracování plastů. Lze ale očekávat, že vzhledem k výzvám a nárokům na plasty v různých aplikacích, jak bylo identifikováno v kapitole 3, bude vývoj nových technologií polymerace, nových typů monomerů, polymerů s řízenou mikrostrukturou, molekulární a nadmolekulární strukturou, s funkčními skupinami, nových aditiv, postupů jejich kompaundace a zpracování i nadále intenzívně probíhat. Primárně bude tento vývoj zaměřen na kategorii speciálních a inženýrských polymerů, ale nevyhne se ani komoditním plastům, kde s ohledem na jejich velké světové spotřeby lze očekávat největší ekonomické i environmentální přínosy.

Požadavek na snižování hmotnosti v automobilech či dopravních prostředcích obecně s sebou přináší vývoj nových polymerů či směsí nebo kompozitních materiálů na jejich bázi se specifickými vlastnostmi, které musí splnit striktní požadavky norem na mechanické a dynamické vlastnosti, únavové zkoušky, teplotní odolnost a další.

Požadavek na snižování tloušťky/hmotnosti obalů a konstrukčních prvků z plastů vyvolaný ekonomickými i environmentálními vlivy lze zajistit pouze při současném neustálém zlepšování mechanických vlastností použitých polymerů a při zachování jejich dostatečně dobré zpracovatelnosti. To vede k potřebě vývoje nových technologií polymerizace a zpracování polymerů/plastů s cílem dosažení vhodné molekulární a nadmolekulární struktury.

Jedním z trendů vývoje plastů jsou kaskádové polymerační technologie pro přípravu multi-modálních polymerů (PE, PP). Tyto pokročilé technologie (např. HOSTALEN ACP pro výrobu vysokohustotního PE) sestávají ze tří (či více) polymeračních reaktorů řazených do série. Polymerační podmínky a složení reakční směsi mohou být v každém reaktoru řízeny nezávisle, což umožní výrobu polymerů s multi-modální distribucí molekulových hmotností a s řízeným obsahem komonomeru v jednotlivých frakcích (např. nízkomolekulární homopolymer + vyšemolekulární kopolymer + ultravysokomolekulární kopolymer). Vlastnosti polymeru tak lze nastavit „na míru“ konkrétní aplikaci. Tyto polymery vykazují vyváženou kombinaci tuhosti, houževnatosti, zvýšené odolnosti proti korozi za napětí a zlepšené zpracovatelnosti, tedy vlastností, kterých nelze v optimální míře dosáhnout jednostupňovou

polymerací. Použití těchto polymerů rovněž znamená úsporu hmotnosti výrobku (tenčí stěna) a zkrácení zpracovatelského cyklu. V případě multimodální technologie pro výrobu izotaktického PP (např. proces BORSTAR 2G) mohou být vyrobeny polymery nejen s optimálně vyváženými zpracovatelskými a mechanickými vlastnostmi, ale i dalšími výjimečnými vlastnostmi – extrémní čistotou (velmi nízký obsah katalytických zbytků), vynikající transparentností, měkkostí a dobrou pevností svarů i po sterilizaci (zdravotnictví – náhrada měkčeného PVC).

Aplikacemi moderních technologií jako jsou nanotechnologie nebo biotechnologie lze získat nové materiály a výrobky s vyšší přidanou hodnotou často při využití obnovitelných zdrojů surovin.

Implementace moderní kontroly potravin a smart obalů umožní lepší management skladování potravin a současně umožní zákazníkům prokazatelně určit kvalitu výrobků. Smart obaly budou fungovat nejenom jako ochrana proti znečištění a proti oxidaci, ale budou fungovat současně jako senzory kvality, což je efektivnější než udávání doby expirace.

Předpokládá se, že do průmyslového měřítka se budou v následujících letech stále více přenášet inovativní vývojové metody polymerizace jako RAFT („Reversible addition-fragmentation chain transfer“ polymerace) nebo ATRP („Atom transfer radical polymerization“) a další. Ty umožňují snadné a efektivní řízení molárních hmotností polymerů, při velmi úzké distribuci, přípravu multiblokových, hvězdicových a jiných typů kopolymerů a řízené zavedení funkčních skupin na polymery. Aplikace směřují např. do polymerů pro optoelektroniku, cílených léčiv nebo reologických aditiv.

[<https://www.researchgate.net/publication/236255149> RAFT Polymerization and Some of Its Applications]. Očekává se, že s využitím ATRP bude během několika příštích let v USA uvedeno na trh mnoho nových produktů obsahujících polymery vyrobené touto technikou. Hlavními faktory, které omezují komerční použití ATRP, jsou vysoká koncentrace měděného katalyzátoru a speciální manipulační postupy, které jsou nutné k zamezení oxidace katalyzátoru. Na odstranění těchto problémů se intenzívně pracuje. Jedním z možných řešení je nová technologie Ultimate ATRP SM, která má potenciál pro využití v průmyslovém měřítku. [<https://www.researchgate.net/publication/286023945> Adapting Atom Transfer Radical Polymerization to Industrial Scale Production The Ultimate ATRP SM Technology]

Pozornost bude věnována speciálním aplikacím plastů a jejich technologiím. Takovou je např. aplikace plastů v oblasti detekce ionizujícího záření při výrobě scintilačních detektorů. Scintilační detektory mají široké spektrum použití od detekce radioaktivních zdrojů (mýtné brány, recyklace kovů, obrana) přes technické aplikace (detektory výšky hladiny, lékařské aplikace – PET) až po uplatnění ve vědeckých projektech (detekce kosmického záření, neutronů apod.). V současné době jsou hledány jak nové metody přípravy plastových detektorů s využitím technologií pro zpracování plastů (extruze, vstřikování, 3D tisk a další), tak i nové složení (využití speciálních nanoplavin s aktivním povrchem, úpravy složení s cíle zvýšení rychlosti odezvy, emitovaného spektra záření apod.).

Dalším aspektem je vývoj nových anorganických UV absorbérů jak pro kosmetiku, tak pro nátěrové hmoty, plasty a vlákna. Ochrana proti zdraví škodlivému UV záření je jedním z opatření pro zdraví lidí.

Plasty, ať už budou vyrobeny na bázi fosilních nebo obnovitelných zdrojů budou v dalších letech nedílnou součástí materiálového portfolia, které bude lidstvo ve svém následujícím vývoji používat. Vývoj a zavádění vyspělých technologií výroby a zpracování polymerů bude klíčové pro dosažení optimálních užitných, ekonomických i environmentálních cílů. Pro navazující strategickou výzkumnou agendu je třeba identifikovat a definovat vhodné rozvojové trendy v rámci ČR.

## 9.5. Plastové obaly

Plastové obaly a dvojí pohled na ně – mikro a makro trendy v obalech:

O plastových obalech nelze podrobně hovořit, aniž bychom se nejprve zabývali hlavním faktorem, který bude mít na jejich vývoj největší vliv: klimatickými změnami. Naše planeta čelí dosud největší výzvě a každý a každý sektor je zodpovědný za zmírnění škod. Plastové obaly nejsou jiné. I když se mnozí mohou domnívat, že změna klimatu může vést k významným změnám v oblasti obalů, plasty mohou mít také dobrou pozici, aby přispěly pozitivními způsoby. Je to proto, že dopady životního cyklu mnoha plastů jsou již velmi dobré ve srovnání s jinými materiály. Zatímco snižování skleníkových plynů je samozřejmě v centru pozornosti, a to jak při výrobě, tak při následné recyklaci, plasty mají tendenci dobře bodovat proti kovu, sklu a dokonce i papíru. Jednou z hlavních výzev pro plasty je opustit současnou závislost na fosilních zdrojích (většina plastů se vyrábí z ropy) a stále více záviset na obnovitelných surovinách, jako jsou recyklované nebo biologické zdroje.

Druhou stranou mince je to, co se stane s odpadními plasty. Únik těchto materiálů do životního prostředí jako důsledek buď špatného návrhu, špatné odpadové infrastruktury nebo odpadků je obrovským problémem, který vyvolal velkou vlnu odporu proti plastům. Je nutný další výzkum dopadu na biologickou rozmanitost a lidské zdraví, ale první příznaky nejsou dobré. To je také to, na co se zaměřují tvůrci politik, kteří se snaží „motivovat“ průmysl k vývoji nových řešení stanovením konkrétních cílů a potenciálním ukládáním sankcí. Průmysl sice hraje v tomto nesmírně důležitou roli, ale sám nemůže problém vyřešit. Nejlepší vývoj produktů a procesů je k ničemu, pokud spotřebitelé nelikvidují obal rozumným způsobem.

Budoucnost plastových obalů závisí na tom, zda každý přispěje svým dílem: výrobci plastů začlenění do systému více obnovitelných surovin a sníží emise skleníkových plynů; značky a maloobchodníci uvádějící na trh plně recyklovatelné obaly a zajišťující odpovídající infrastrukturu pro jejich sběr a třídění; spotřebitelé jednající zodpovědně a recyklátoři hledající inovativní způsoby, jak zvýšit kapacitu a kvalitu. To představuje hodnotový řetězec fungující v harmonii. To by byla oběhová ekonomika v praxi.

Dokonalé řešení pro tyto výzvy a budoucnost plastových obalů však dosud nebylo nalezeno. Z tohoto důvodu existují různé trendy, které na výše uvedený status quo navazují a dále jej rozvíjejí.

### 1. Life Cycle Assessment

Life Cycle Assessment je nástroj, který umožňuje posoudit a porovnat dopad produktu. Než se dostane na pulty, obalový předmět je výsledkem práce celé řady různých společností. S tolika zapojenými aktéry nemá smysl dívat se pouze na uhlíkovou stopu vlastních procesů. LCA hodnotí životní cyklus výrobku od začátku řetězce až po jeho úplný konec a poskytuje holistický pohled na to, jak je produkt skutečně klimaticky neutrální nebo škodlivý.

### 2. Motivace spotřebitelů

Jak již bylo zmíněno, nejinovativnější a nejlepší procesy k recyklaci jsou k ničemu, pokud spotřebitel nakonec obal zlikviduje nesprávným způsobem. V některých evropských zemích například existují standardizované systémy vracení PET lahví. I další obaly, jako jsou dodávky potravin nebo kelímky na kávu, by měly být v budoucnu propojeny se systémem záloh. Podle mého názoru je to dobrý a důležitý vývoj, který má ale zase silný vliv na výrobu plastových obalů.

### 3. Mono vs. Multi-Material řešení

PET systémy v současné době vykazují jednu z nejvyšších úrovní recyklace. Funguje to tak dobře, protože PET lahve jsou vyrobeny z jednoho materiálu. To je cíl, o který se obecně usiluje v jiných obalech. V současnosti je to však (stále) obtížné realizovat, protože mnoho specializovaných obalů je vyrobeno z různých typů plastů. Z tohoto důvodu by bylo užitečné kromě vývoje monomateriálových řešení vyvíjet řešení pro vícemateriálové produkty.

### 4. Pevná vs. flexibilní řešení

V posledních letech se vyvíjejí stále flexibilnější plastové obaly, jako je například sáček na polévku. Tento vývoj bude v budoucnu obrácen, protože bylo zjištěno, že pevné obaly se snáze recyklují. To ukazuje, že vývoj plastových obalů se již ohýbá a přizpůsobuje zkušenostem a požadavkům z recyklačních procesů. I když to znamená zvrátit vývoj, který již byl zahájen.

### 5. Inteligentní balení

Plastové obaly jsou svou flexibilitou předurčeny pro další vývojový krok obalů: Inteligentní obal, který dokáže informovat spotřebitele o stavu obsahu. Například indikátor na vnitřní straně způsobí, že specifický indikátor změni barvu na vnější straně, pokud s výrobkem bylo nesprávně manipulováno. V budoucnu se toto řešení uplatní u plastových obalů potravin, ale především v lékařství.

### 6. Opakovaně použitelné obaly/rozbalené zboží

Trendem, který je v dnešní době stále více vidět a který vyplývá ze špatné image plastových obalů, jsou výrobky i celé prodejny, které se bez plastových obalů obejdou. Zákazníci používají opakovaně použitelné nádoby, do kterých se plní požadované množství produktu. To již funguje pro základní potraviny, jako je mouka, cukr atd., ale také pro hygienické potřeby, jako jsou šampony a tekuté mýdlo. Ze strany výrobců produktů také rostou ambice dostat takové čerpací stanice do obchodu. Ne všechny problémy však byly vyřešeny: potenciální kontaminace nebo potíže s účtováním naplněného množství v současnosti stále brzdí komerční průlom.

### 7. Odpadní materiál jako vstupní surovina

Významným trendem je použití odpadního materiálu jako vstupní suroviny. To nečiní produkty lépe recyklovatelné, ale znovu využívá již použité materiály k vytvoření nových plastových obalů. Například někteří výrobci používají použitý kuchyňský olej jako surovinu pro plasty, které lze použít k balení.

Nad těmito trendy jsou 3 makrotrendy, které budou mít holistický vliv na celé odvětví:

#### 1. Oběhové hospodářství

Hlavním cílem společnosti musí být dosáhnout oběhového hospodářství: Všechny suroviny a produkty použité ve výrobním cyklu znovu použít k výrobě nových produktů a veškeré emise CO<sub>2</sub> kompenzovat. Toto je zaměření, které by si měl celý plastikářský průmysl osvojit a u všech procesů a inovací si klást otázku, zda je řešení cirkulární či nikoliv.

#### 2. Zaměření na konec životnosti plastu

Perspektiva ve výrobě plastů nebo ve vývoji nových obalů se posouvá. Dlouhá léta se pozornost soustředila na výrobu a použití plastu, nyní se pozornost zaměřuje také na konec životnosti výsledného

produktu: Jak jej lze znovu použít, jaké procesy musí být zavedeny, jak výrobci plastů mohou získat plast zpět jako surovinu pro nové produkty.

### 3. Legislativní vliv

Politika také hraje velkou roli ve vývoji plastů, zejména v Evropě. V EU se v současné době diskutuje o nových specifikacích pro výrobu plastů, ve kterých musí být použito určité procento obnovitelných surovin. Ale také majitelé značek možná budou muset brzy prokázat, že používají recyklovaný plast nebo plast z udržitelných surovin. Pokud tak neučiní, mohou na ně být uvaleny sankce. Lze očekávat, že v příštích několika letech vstoupí v platnost celá řada opatření zaměřených na otázky jako jsou nebezpečné látky, mikroplasty a ekodesign.

Nejdůležitějším trendem je však spolupráce všech zúčastněných stran v rámci dodavatelského řetězce. Konkrétně jde o transparentní komunikaci a vzájemnou osvětu o obsahu plastových obalů, jejich použití a o společné zaměření na přidanou hodnotu do konce životnosti každého obalu.

## 9.6. Nanokompozity

Jednou z aplikací plastů jsou výrobky s vysokou přidanou hodnotou na bázi nanokompozitů. Nanokompozity jsou materiály složené ze dvou nebo více různých složek, z nich alespoň jedna se v materiálu vyskytuje ve formě částic o velikostech jednotek až desítek nanometrů, přičemž často jde o aktivní nanočástice, tj. částice se zajímavými optickými, magnetickými, elektrickými a jinými vlastnostmi rovnoměrně rozptýlené nejčastěji v polymerní matrici. Důvodem použití aktivní látky ve formě nanočástic jsou její kvalitativně odlišné fyzikální vlastnosti oproti běžným plnivům. Vlastnosti nanokompozitů se odvíjejí jednak od složení, ale zároveň od velikosti částic, jejich morfologie a uspořádání. Kompozitní nanomateriály mají velmi široké použití. Například ukládání informací, magnetické chlazení, ferrofluidy, zobrazovací metody v medicíně, různé senzory, elektromechanické a magnetomechanické měniče, antiseptická vlákna, a mnohé další.

Polymerní nanokompozity s anorganickými nanoplňivy (jíly, oxidy, kovy...) mají dnes již poměrně široké průmyslové využití, např. v automobilovém, leteckém a obranném průmyslu. Jednou ze stěžejních otázek přípravy těchto materiálů ale zůstává dispergace nanoplňiva v matrici a jeho adheze k polymeru. Perspektivní jsou plastové konstrukční materiály, které budou mít vyšší pevnost, tvrdost, tvarovou stálost, větší tepelnou stabilitu a menší hořlavost. Polymerní nanokompozity se také uplatňují v případech nátěrových hmot a povrchových úprav. Takto lze použitím nanoplňiv očekávat zlepšení odolnosti proti poškrábání, zlepšení tepelné odolnosti, vzrůst tvrdosti, zlepšení otěruvzdornosti, zlepšení bariérového efektu (nižší plyno- a paropropustnost), zvýšení odolnosti proti UV záření, snížení koeficientu tření na povrchu úpravy, snížení hodnoty expanzního koeficientu, snížení prostupnosti vůči kapalinám, snížení hořlavosti, mikrobiální odolnost, rozměrovou stálost nebo zvýšenou odolnost proti šíření trhlin. Je tak možno ovlivnit nejen životnost, ale tyto změny jsou extrémně důležité i z hlediska konečné aplikace takového materiálu. Vyvíjené nanokompozity naleznou uplatnění zejména při zvyšování kvality plastových, gumárenských a dalších polymerních výrobků.

Stále více se budou používat nanomateriály v otěruvzdorných a korozi-vzdorných povlacích, v nových keramických materiálech pro výrobu vodních trysek, injektorů, opláštění zbraňových systémů či povlékání elektrod v energetických zařízeních. V elektronice se budou nahrazovat současné logické obvody optickými spoji. Nanotrubičky budou využívány pro výrobu pružných obrazovek, displejů a

velkokapacitních paměti. V energetice se trubičky využijí pro uskladňování vodíku pro palivové články. Výzkumné práce budou zaměřeny zejména na přípravu nanočástic, dispergační proces a na studium vlivu modifikujících látek na konečné vlastnosti nanokompozitů.

Mezi nanokompozity lze také zařadit tzv. „chytré, inteligentní“ nátěry a povlaky, pokud jsou založeny na využití různých typů nanočástic. Tyto nátěry mají nové vlastnosti a funkce a jsou schopny reagovat na vnější podněty a interagovat s okolím. V současné době jsou tyto nátěry používány hlavně jako clearcoaty v automobilovém průmyslu a nanostrukturované elektro- nebo opticky aktivní inteligentní povrchy.

Nanokompozity nacházejí reálné aplikace v řadě významných oborů techniky. Tyto materiály často s novými vynikajícími vlastnostmi přinášejí žádoucí inovace a nezachycení těchto trendů může negativně ovlivnit budoucí konkurenceschopnost, např. strojírenství, automobilového průmyslu, stavebnictví a atd. ČR má dobré předpoklady pro efektivní rozvoj aplikací moderních nanokompozitů.

Možný směr vývoje nanokompozitů by mohla být i možnost aplikace nanovláken. Tato vlákna na bázi různých polymerů i anorganických sloučenin ( $\text{TiO}_2$ ,  $\text{ZrO}_2$ ,  $\text{TiN}$ ) jsou v ČR vyvíjena na Technické Univerzitě v Liberci v úzké spolupráci s firmou Elmarco.

Velkou pozornost v oblasti vývoje potenciálních průmyslových aplikací v posledních letech přitahují polymerní nanokompozity s obsahem nanoplňiv na bázi uhlíku, a to uhlíkových nanotubic, jak jednovrstvých (singlewalled carbon nanotubes, SWCNT), tak i vícevrstvých (multiwalled carbon nanotubes, MWCNT), a především na bázi grafenu. Díky své unikátní struktuře propůjčuje grafen nanokompozitu výjimečné vlastnosti mechanické, elektrické, termické, či optické, které nejsou dosažitelné jinými způsoby. Vývoj ekonomicky schůdné a environmentálně akceptovatelné průmyslové výroby grafenu (případně i uhlíkových nanovláken) a jeho aplikací je oblastí, která zasluhuje zvýšenou pozornost.

V nepolední řadě je možným směrem také aplikace nanomateriálů v matricích na bázi recyklovaných plastů. Mechanická recyklace obecně, ale především v případě směsí plastů, vede ke zhoršení vlastností z nich vyrobených produktů. Přídavek malého množství nanoplňiv, především na bázi nanojíhlů nebo MWCNT, může vést k zajímavému zlepšení mechanických, tepelných nebo bariérových vlastností či retardaci hoření, a tím přispět k rozšíření možných aplikačních oblastí výrobků z recyklovaných plastů.  
<https://link.springer.com/article/10.1186/s11671-024-04062-0>.

V souvislosti se stále širším využíváním nanomateriálů je nezbytné zaměřením také na hygienické a environmentální důsledky jejich používání. V současnosti je pozornost odborné i laické veřejnosti také upřena na využívání obnovitelných zdrojů a cirkulární ekonomiku. Potenciálním vývojovým tématem tak mohou být např. nanovlákna na bázi celulózy zabudovaná do matrice na bázi vhodných biodegradabilních polymerů a další.

## 9.7. Materiály pro zdravotnictví

Farmaceutický průmysl a medicína jsou významnými iniciátory inovací jak v materiálové, tak technologické oblasti. Díky tomu již dnes můžeme registrovat řadu aplikací polymerních materiálů ve zdravotnictví. Nové materiály se již nyní uplatňují v neinvazivní medicíně. V oboru nanokompozitů se jedná především o kompozity s uhlíkovou či polymerní matricí vyztuženou uhlíkovými vlákny. Jsou považovány za perspektivní např. pro konstrukci kostních a kloubních náhrad a kostních implantátů. Výsledky materiálového výzkumu budou využitelné ve zdravotnictví především v oborech:

neurochirurgie (umělé náhrady a přemostění defektů), traumatologie (poranění mozku a míchy), neurologie (Parkinsonova choroba, roztroušená skleróza), imunologie (poruchy imunity), pediatrie (vrozené vady, perinatální poškození), ortopedie (náhrady chrupavek a kostí), oftalmologie (náhrady rohovky), otorinolaryngologie, stomatologie (zubní náhrady), plastická chirurgie a dermatologie. V řadě případů se může jednat i o prostředky pro veterinární účely.

Nové materiály (zejména nanomateriály) na jedné straně nabízejí nové vlastnosti, na druhé straně představují i dosud ne zcela prozkoumaná rizika vyplývající zejména z jejich bioaktivity.

Vývoj vhodných materiálů pro zdravotnictví vyžaduje velmi úzkou spolupráci s vědeckými pracovišti ve zdravotnictví.

Chemický průmysl je zdrojem ekonomicky dostupných základních materiálů, jako jsou speciální polymery, biomateriály nebo nanomateriály. Tyto materiály musí respektovat základní požadavky medicíny, a to jak netoxičnost, tak biokompatibilitu. Jedním z příkladů jsou biopolymery, které jsou plně biokompatibilní, zcela netoxické a plně biodegradovatelné a navíc jsou dostupné jako suroviny průmyslově vyráběné v požadované čistotě.

Mezi nejčastěji používané plasty ve zdravotnictví patří polyetylen (např. plastové lahve pro solné nebo irigační roztoky), polypropylen (obaly na chirurgické nástroje, potřeby pro sportovní medicínu, ortopedii, zdravotnické prostředky, dodávky léků, farmaceutickou, kardiovaskulární, neurologickou a diagnostickou medicínu), jejich kopolymery (např. injekční stříkačky) a polyvinylchlorid (např. vaky pro nitrožilní tekutiny, hadičky). Mezi další používané plasty, které mají některé specifické vlastnosti, patří:

*Ultra-vysokomolekulární polyetylen (UHMW-PE)* je plast s vysokou rázovou pevností, dobrou odolností proti opotřebení a oděru, vynikající chemickou odolností a vynikajícími vlastnostmi při nízkých teplotách. UHMW-PE se vyrábí v souladu se specifikací ASTM F648 a mezinárodními normami ISO 5834-1 pro chirurgické implantáty a lékařská zařízení. Základní polymer, práškový UHMW-PE, se vyrábí z panenského homopolymeru ethylenu, a ani ten ani finální výrobky (např. chirurgické implantáty), nesmí obsahovat jakýkoliv stabilizátor nebo pomocné látky. Oblasti použití zahrnují sportovní medicínu, ortopedii, zdravotnické prostředky, dodávky léků, farmaceutickou, kardiovaskulární, neurologickou a diagnostickou medicínu.

*Polymethylmethakrylát (PMMA)* je termoplast lékařské kvality používaný při výrobě lékařských zařízení, přístrojů a lékařských implantátů, jako jsou implantáty nitroočních čoček, kostní cement a lebeční implantáty. Aplikuje se pro přístroje vyžadující rázovou houževnatost, chemickou odolnost, biokompatibilitu a čírost. Oblasti použití zahrnují dodávky léků, farmaceutickou, kardiovaskulární, neurologickou a diagnostickou medicínu. V řadě aplikací, kde se vyžaduje vysoké transparentnosti a současně i vyšší teplotní odolnosti se také využívá *polykarbonát (PC)*.

*Acetalový kopolymer (polyoxymethylen)* je termoplast lékařské kvality s vysokou mechanickou pevností, tuhostí a rozměrovou stálostí. Poskytuje dobré kluzné vlastnosti a vynikající odolnost proti opotřebení a také nízkou absorpci vlhkosti. Má dobrou rozměrovou stabilitu a zvláště dobrou únavovou pevnost, stejně jako vynikající schopnosti obrábění, což z něj činí vysoce univerzální konstrukční materiál, a to i pro složité součásti. Oblasti využití zahrnují sportovní medicínu, ortopedii, lékařské přístroje, dodávky léků, farmaceutickou, kardiovaskulární, neurologickou a diagnostickou medicínu.

*Polyether Ether Ketone (PEEK)* je unikátní technický termoplast, který také nabízí vynikající chemickou kompatibilitu, nízkou náchylnost k praskání pod napětím, klinicky ověřenou biokompatibilitu, vysokou

rozměrovou stabilitu a dobrou elektrickou izolaci. PEEK se snadno obrábí a má vynikající mechanickou pevnost a rázové vlastnosti. Obory využití jsou sportovní medicína, lebeční medicína, ortopedie, lékařské přístroje, aplikace léků, farmaceutická, kardiovaskulární, neurologická a diagnostická medicína.

*Polyfenylensulfid (PPS)* je vysokoteplotní termoplastický polymer, který je velmi chemicky odolný s úžasnou mechanickou pevností i při teplotách nad 200 °C (392 °F), s nízkou náchylností k tečení. PPS se volí pro nízkou absorpci vody, dobrou rozměrovou stabilitu a vynikající elektrické vlastnosti. Mezi oblasti, které pravidelně využívají PPS, patří lékařské přístroje, dodávky léků, farmaceutická, kardiovaskulární, neurologická a diagnostická medicína.

Ve zdravotnictví se používá velké množství jednorázových plastů, což je opodstatněné vzhledem k nutnosti omezit rozvoj a přenos infekcí a udržet sterilitu prostředí. Avšak podobně jako v jiných sektorech, i ve zdravotnictví se objevují snahy zredukovat jejich množství a tím přispět ke snížení uhlíkové stopy tohoto odvětví. Prověřují se možnosti jejich náhrady za alternativní materiály, materiály na bázi udržitelných materiálů, prověřují se možnosti a efektivnost návratu k opakovaně použitelným nástrojům s nutností sterilizace a uvažují se možnosti recyklace (Reduce – Reuse – Recycle [C. Rizan, F. Mortimer, R. Stancliffe, M. F. Bhutta: *Plastics in healthcare: time for re-evaluation*, Journal of the Royal Society of Medicine: 2020, Vol. 113(2) 49 – 53]).

## 9.8. Oxo-biodegradovatelné plasty (zemědělství)

Oxo-biodegradovatelné plasty mohou vyhovět požadavku na biodegradovatelnost plastového výrobku, aniž by bylo nezbytné vytvářet novou polymerní strukturu jako náhradu dosavadně používaných polymerů. Vzhledem k tomu, že problematika bioakceptovatelnosti je orientována především do segmentu obalových materiálů, jedná se především o polyolefiny a ještě specifičtěji o LDPE, LLDPE ev. HDPE. Princip fungování oxo-degradovatelného polyolefinu je následující: Standardně stabilizovaný komerční materiál je nadopován sloučeninami (obvykle formou masterbatche) se silným pro-oxidačním účinkem, který se spustí v momentě, kdy dojde ke spotřebování původního stabilizačního systému. Princip je to zdánlivě jednoduchý a logický. Know-how však spočívá ve výběru pro-oxidantu (musí přežít zpracovatelskou fázi) a vybalancování rovnováhy antioxidant/pro-oxidant, která určuje servisní dobu života výrobku. Opticky se sice takto vyrobený obal rozloží, avšak použité těžké kovy a zbytky rozloženého polymeru příliš ekologické nejsou. Navíc tyto typy plastů působí při smíchání s klasickými plasty v rámci mechanických recyklací destruktivně. Řešení by mělo být zaměřeno na vývoj nových typů přísad neškodných životnímu prostředí.

Začátkem listopadu 2017 již Ellen MacArthur Foundation zveřejnila prohlášení 150 organizací požadujících celosvětový zákaz oxo-degradovatelných plastových obalů vzhledem k dopadům fragmentace na životní prostředí vedoucí k většímu znečištění mikroplasty a propagující myšlenku, že materiály a produkty by měly být navrženy v souladu se zásadami oběhového hospodářství.

Podle pracovního dokumentu útvarů, který doprovází sdělení o „Evropské strategii pro plasty v oběhovém hospodářství“, se takzvané oxo-degradabilní plasty biologicky nerozkládají v otevřeném prostředí. Tyto materiály je třeba považovat spíše za fragmenty na malé kousky, což zhoršuje akumulaci mikroplastů v půdě. Neexistuje žádný důkaz o schopnosti oxo-degradovatelných plastů biodegradovat v mořském prostředí. Použité přísady pouze napodobují biodegradaci. Tyto přísady usnadňují a urychlují proces fragmentace, aniž by vedly k biologickému rozkladu. Někteří komentátoři označili



potenciální toxické účinky jakýchkoli zbytkových přísad na půdu za problém. Je však zapotřebí dalšího výzkumu na toto téma.

Dne 28. května 2018 předložila Evropská komise návrh směrnice o „snížování dopadu některých plastů na životní prostředí“, která definovala řadu konkrétních opatření pro předcházení vzniku odpadů včetně zákazu uvádění určitých výrobků na trh, ale původní návrh Komise nezmiňoval oxo-degradovatelné nebo oxo-biodegradovatelné plasty, tudíž žádný zákaz. 27. března 2019 Evropský parlament odhlasoval zákaz určitých plastů na jedno použití, čímž prakticky schválil směrnici Evropského parlamentu a Rady č. 2019/904, do níž byl na poslední chvíli přidán i úplný zákaz uvádění na trh oxo-degradovatelných plastů, což firmy, které je vyvinuly a vyrábějí, vnímají jako politicky motivovaný krok. V jejich postoji je navíc utvrzuje i skutečnost, že Evropská chemická agentura (ECHA) souběžně realizovala Evropskou komisí požadované šetření dopadu oxo-degradovatelných plastů na životní prostředí, k jehož dokončení a předložení výsledků však nedostala příležitost.

Diskuse kolem skutečné biodegradovatelnosti oxo-biodegradovatelných plastů se táhne již řadu let. Existují mezinárodní standardy, např. ASTM D-6954-18 nebo BS8492, podle kterých se biodegradovatelnost těchto plastů hodnotí. Výrobci, např. Wells Plastics, dodává pro svá aditiva certifikáty, které biodegradovatelnost vybraných plastů s aditivou potvrzují. Výrobci upozorňují, že jejich aditiva skutečně zajišťují oxo-biodegradovatelnost, tedy, že rozklad plastu probíhá ve dvou krocích – oxidací v přítomnosti aditiva se rozštípnou polymerní řetězce na krátké úseky, které obsahují oxidované funkční skupiny, a tyto jsou v druhém kroku schopny podlehnout běžným biodegradačním procesům. Přitom se nemají tvořit nebezpečné mikroplasty. Nejedná se tedy o oxo-degradovatelné materiály, které pouze podléhají prvnímu oxodegradačnímu procesu a jejichž použití je směrnicí EU zakázané. Pro účely vysvětlování environmentálních dopadů oxo-biodegradovatelných plastů byla založena nezisková organizace The Oxo-biodegradable Plastics Association (OPA), která sdružuje přes 1600 členů z řad výrobců, obchodníků i konečných zpracovatelů těchto plastů.

Nařízení REACH čl. 69-73 (zákaz oxo-degradovatelných plastů) bylo napadeno Symphony Environmental u Evropského soudu v Lucemburku. O případu bylo rozhodnuto 31. ledna 2024 a přitáhl velkou pozornost k technologii d2w společnosti Symphony. Symphony se již více než deset let snaží vysvětlit institucím EU, že způsob, jak snížit problém znečištění, není zakázat plasty, které jsou skutečně tím nejlepším materiálem pro určité aplikace, ale zlepšit nakládání s odpady a vyrobit plasty oxo-biodegradabilní, takže se rychle biologicky rozloží, pokud se dostane do otevřeného prostředí. Při zvažování směrnice o plastech na jedno použití si Výbor pro životní prostředí Parlamentu nebyl vědom (nebo nepochopil), že oxo-degradace a oxo-biodegradace jsou dvě velmi odlišné věci. Pokud jde o technické posouzení uvedené technologie, soud potvrdil, že „nemá-li EU přijímat svévolná opatření, která nelze legitimizovat ani zásadou předběžné opatrnosti, musí orgán veřejné moci zajistit, aby veškerá opatření, která přijme, a to i preventivní, byla založena na co nejdůkladnějším vědeckém hodnocení rizik.“ A „vědecké hodnocení by mělo být založeno na nejlepších dostupných vědeckých údajích. EU toto však neprovedla. Nicméně soudu se nepodařilo vyřešit zmatek, který na trhu v této oblasti panuje. Nikdo si nepřál zakázat plasty, které se správně biologicky rozkládají, což snižuje množství znečištění životního prostředí mikroplasty, a které přináší prokázaný přínos pro životní prostředí.

Oxo-degradovatelné a oxo-biodegradovatelné plasty prošly v posledních dvou letech zásadním vývojem, přičemž hlavním rysem je jejich definitivní zákaz v Evropské unii. Výrobci oxo-plastů tento zákaz zpochybňovali žalobou u Soudního dvora EU, avšak ten na začátku roku 2025 potvrdil platnost

zákazu. Oxo-plasty jsou proto v EU prakticky vyřazeny z legálního trhu, což znamená výrazný krok v oblasti regulace plastů s potenciálně negativním dopadem na životní prostředí.

Namísto oxo-plastů legislativa EU podporuje kompostovatelné plasty, které se za správných podmínek plně biologicky rozloží, což je skutečně ekologičtější řešení. Zákaz oxo-degradovatelných plastů je součástí širšího přístupu EU k drastickému omezení jednorázových plastů a podpoře udržitelných materiálů a cirkulární ekonomiky.

## 9.9. Plasty se sníženou hořlavostí (stavebnictví)

Masovou aplikaci hořlavých polymerních materiálů (PE, PP, PS a další) doprovází snaha zvýšit požární bezpečnost používaných plastů především v místech, kde dochází k shromažďování většího počtu lidí. Evropská legislativa vyvíjí tlak na výrobce plastů ve smyslu přechodu na typy retardérů hoření, které zaručují vyšší bezpečnost plastů během požárů. Vedle legislativních kroků, vydávání směrnic a nařízení vlád vznikají nové evropské normy, které reflektují tyto důrazné požadavky na vyšší požární bezpečnost používaných materiálů.

Světová spotřeba retardérů hoření dosáhla před pár lety 2 milionů tun s očekávaným ročním růstem o cca 5%. Trh je rozdělen mezi bromované retardéry (dominují z hlediska obrátu), organické fosfáty, kysličník antimonitý a hydroxid hlinitý.

Úlohou retardérů hoření je zpomalit proces hoření a nebo jej úplně přerušit. Retardace hoření může probíhat v plynné a v kondenzované fázi, a to buď fyzikální retardací (odvod tepla, ochranná vrstva) a nebo chemickou retardací (zabránění vzniku volných radikálů). Dále rozdělujeme retardéry podle svého chemického složení na

- halogen obsahující
- bezhalogenové (HFFR – halogen-free flame retardants).

První skupinu tvoří především látky obsahující bróm a nebo chlór. Druhou skupinu tvoří hydroxidy  $[Mg(OH)_2, Al(OH)_3]$ , jejichž rozšíření je největší, dále pak sloučeniny na bázi fosforu, dusíku, zinkboráty. V literatuře je popisovaná rovněž synergie hydroxidu hořečnatého a nanomateriálů.

**Tabulka 1:** Nejčastěji používané halogenové retardéry hoření do plastů

| Označení       | Chemický název                                                                                                                      |
|----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| DBDPE          | Deka-bromdifenyl ethan                                                                                                              |
|                | Bromovaný polystyren                                                                                                                |
| BEO            | Bromovaný epoxy polymer                                                                                                             |
| Deka-BDE       | Deka-bromdifenyl ether                                                                                                              |
| DDO            | Deka-bromdifenyloxid                                                                                                                |
| BPADP          | Bisfenol A-difenylofosfát                                                                                                           |
| EBP            | 1,2-bispentabromfenyl                                                                                                               |
| EBTBP          | Etylen-bis(tetrabromftalimid)                                                                                                       |
| BrPBPS         | Bromovaný polymerní retardér hoření                                                                                                 |
| Deriváty TBBPA | tetrabrombisfenol-bis(2,3-dibrompropyl ether)<br>tetrabrombisfenol A-bis(2-hydroxyethyl ether)<br>tetrabrombisfenol-bis(allylether) |

|       |                                                        |
|-------|--------------------------------------------------------|
|       | tetrabrombisfenol-bis(2,3-dibrom-2-methylpropyl ether) |
| BTBPE | 1,2-bis-(2,4,6-tribromofenoxy)ethan                    |
| TDBPP | Tris(2,3-dibromopropyl) fosfát                         |

**Tabulka2:** V současnosti zakázané retardéry hoření

| Označení  | Chemický název                          |
|-----------|-----------------------------------------|
| TCPP      | Tris (1,3-dichlor-2-propyl) fostát      |
| TBB       | 2-ethylhexyl-2,3,4,5- tetrabrombenzoát  |
| TBPH      | Bis-2-ethylhexyl-2,3,4-tetrabrom fosfát |
| TBBPA     | Tetrabrombisfenol A                     |
| PBB       | Polybromovaný bifenylyl                 |
| PBC       | Polychlorovaný bifenylyl                |
| Penta BDE | Penta – bromdifenylyl ether             |
| Octa BDE  | Okta-bromdifenylyl ether                |
| HBCD      | Hexabromcyklododekan                    |
| TCEP      | Tris(2-chlorethyl)fosfát                |

Typickými představiteli retardérů hoření jsou halogenované parafíny, halogenované alifatické a aromatické sloučeniny a halogenované polymery. V současnosti je známo přibližně 75 různých komerčních bromovaných zpomalovačů hoření (BFR)<sup>2</sup>. BFR jsou rozděleny do tří podskupin v závislosti na způsobu zabudování těchto látek do polymerů: monomery, reaktivní a aditivní přísady.

**Bromovaný monomer** (bromovaný styren nebo bromovaný butadien) se používá při výrobě bromovaných polymerů, které jsou pak smíchány s nehalogenovanými polymery před polymerací, což vede k polymeru, který obsahuje jak brom, tak monomer.

**Reaktivní látky**, jako je například tetrabrombisfenol A (TBBPA), jsou chemicky vázány na plasty. Tetrabrombisfenol A (TBBPA) je reaktivní retardant hoření a jeho světová spotřeba dosahuje 210 000 tun, z toho 15 % v Severní Americe a 75 % v Asii. Většina TBBPA se používá jako reaktivní meziprodukt při výrobě epoxidových pryskyřic pro výrobu tištěných spojů. Zbývajících 10 % TBBPA je transformováno do derivátů, které slouží jako retardér hoření pro papír, textilní lepidla a nátěrové hmoty.

I přes jeho nízkou rozpustnost ve vodě se ukazuje, že je akumulován v sedimentech, půdě i biologických matricích po celém světě<sup>3</sup>. Do životního prostředí se dostává z výluhů skládek, kam se ukládají produkty obsahující TBBPA<sup>4</sup>. Zvýšená koncentrace TBBPA byla však zjištěna i v čistírenských kalech<sup>5</sup>. V současné

<sup>2</sup> Alae M., Arias P., Sjödin A., Bergman A.: An overview of commercially used brominated flame retardants, their applications, their use patterns in different countries/regions and possible modes of release, Environ. Int. 29, 683-689 (2003).

<sup>3</sup> Shi T., Chen S. J., Luo X. J., Zhang X. L., Tang C. M., Luo Y., Ma Y. J., Wu J. P., Peng X. Z., Mai B. X.: Chemosphere 74, 910 (2009).

Harrad S., Abdallah M. A. E., Rose N. L., Turner S. D., Davidson T. A.: Environ. Sci. Technol. 43, 9077 (2009).

Tanabe S., Ramu K., Isobe T., Takahashi S.: J. Environ. Monit. 10, 188 (2008).

<sup>4</sup> Osako M., Kim Y. J., Sakai S. I.: Chemosphere 57, 1571 (2004).

<sup>5</sup> Lee H. B., Peart T. E.: Water Qual. Res. J. Can. 37, 681 (2002).

době je již tato sloučenina, zařazená na seznam SVHC (látky vzbuzující mimořádné obavy) v systému REACH a je zakázáno používat ji při výrobě panenských samozhášivých plastů.

**Aditivní látky** zpomalující hoření (např. polybromovanédifenylethery (PBDE), chlorované fosfáty) jsou prostě smíchány s již vytvořenými polymery.

Většina kongenerů (příbuzných látek) polybromovanýchdifenyletherů je lipofilní, odolná vůči kyselinám, zásadám, teplu, světlu, redukčním i oxidačním reakcím a představuje značné riziko pro životní prostředí, kde se akumulují. Tyto organohalogenové aromatické sloučeniny lze dále rozdělit do tří skupin podle počtu vázaných bromových skupin: penta-, okta-, deka-bromovanédifenylethery (BDE). Penta-BDE se vyrábělo v Izraeli, Japonsku, USA a EU. Nejuniverzálnějším bromovaným retardérem je deka-BDE neboli BDE-209. V roce 2001 deka-BDE představoval více než 83 % celosvětové poptávky po PBDE. Polybromovanédifenylethery byly první skupinou bromovaných zpomalovačů hoření, které byly detegovány v životním prostředí<sup>6</sup>. Jejich schopnost akumulace v životním prostředí byla doložena v dalších studiích<sup>7</sup>. Hlavní severoamerický výrobce penta- a okta-BDE ukončil jejich produkci v prosinci 2004 jako důsledek prokázané toxicity těchto látek<sup>8</sup>. Prudký růst úrovně PBDE byl uveden ve zprávě o nebezpečných vlastnostech PBDE<sup>9</sup>, což vedlo k zákazu používání některých PBDE. Evropská unie se rozhodla zakázat používání dvou tříd zpomalovačů hoření, polybromovanýchdifenyletherů (PBDE) a polybromovaných bifenyliů (PBB) v elektrických a elektronických zařízeních v roce 2003 vydáním směrnice Evropského parlamentu<sup>10</sup>. Na mezinárodní úrovni byly v květnu 2009 na základě Stockholmské úmluvy o perzistentníchorganických látkách (POPs) zařazeny penta-BDE a okta-BDE do kategorie POP látek<sup>11</sup>. Jako náhrady penta-BDE byly ve spolupráci vládních, nevládních organizací a chemického a nábytkářského průmyslu doporučeny látky trifenylyfosfát, tribromoneopentyl alkohol a dalších 12 patentovaných chemických látek<sup>12</sup>.

Chlorované retardéry s fosforem (např. tris(2-chlorethyl)fosfát) jsou aktivní především v pevné fázi. Nicméně tato sloučenina má také mechanismus působení v plynné fázi, a to přes uvolněný chlor. Původně našel uplatnění v polyuretanových pěnach, v současnosti ho ale nahradily jiné látky. Nyní se používá jako retardant hoření pro plasty, textil a střešní izolace. Na základě dostupných dat byl fosfát identifikován jako látka toxická pro reprodukci s významným nepříznivým potenciálem na plodnost<sup>13</sup>. V roce 2009 vydala Evropská unie zprávu o rizicích tris(2-chlorethyl)fosfátu. Byla potvrzena karcinogenita, chronická toxicita a vliv na plodnost<sup>14</sup>. Jeho výroba a distribuce zatím omezena není.

---

<sup>6</sup> de Carlo V. J.: Ann. N. Y. Acad. Sci. 320, 678 (1979).

<sup>7</sup> Law R. J., Allchin C. R., de Boer J., Covaci A., Herzke D., Lepom P.: Chemosphere 64, 187 (2006).

de Wit C. A.: Chemosphere 46, 583 (2002).

<sup>8</sup> Lorber M.: J. Expo. Sci. Environ. Epidemiol. 18, 2 (2008).

<sup>9</sup> EHC-152. Polybrominated biphenyls. International Program on Chemical Safety, World Health Organization, Geneva, Switzerland, 1994, <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc152.htm>.

<sup>10</sup> Directive 2002/95/EC of the European Parliament and of the Council of 27 January 2003 on the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2003:037:0019:0023:EN:PDF>.

<sup>11</sup> Carr H. S., Rosenkranz H. S.: Mutat. Res., Fundam. Mol. Mech. Mutagen. 57, 381 (1978).

<sup>12</sup> Stockholm Convention to list nine new persistent organic pollutants SC-4/18. Reference: C.N.524.2009. <http://chm.pops.int/Convention/ThePOPs/TheNewPOPs/tabid/2511/Default.aspx>.

<sup>13</sup> Beth-Hübner M.: Int. Arch. Occup. Environ. Health 72, M17 (1999).

<sup>14</sup> European Union Risk Assessment Report. Tris(2-chloroethyl)phosphate, TCEP. CAS 115-96-8 (2009) [http://ecb.jrc.ec.europa.eu/DOCUMENTS/ExistingChemicals/RISK\\_ASSESSMENT/REPORT/tcepreport068.pdf](http://ecb.jrc.ec.europa.eu/DOCUMENTS/ExistingChemicals/RISK_ASSESSMENT/REPORT/tcepreport068.pdf).

## Budoucnost retardérů hoření

Zvýšený zájem o životní prostředí vedl v posledních letech k výzkumům týkajících se životního cyklu již používaných chemických látek. Použití látek zpomalujících hoření je na základě výzkumů přehodnocováno. Využití této technologie má však zásadní význam pro požární bezpečnost, a proto se hodnotí jak výhody, tak rizika. Všeobecně používané halogenované retardanty hoření se sice vyznačují vysokou účinností a univerzálností při snižování nebezpečí požáru, ale jejich bioakumulace a potenciální toxicita vedla ke zvýšení regulace a omezení jejich výroby a použití. Spolu s předpisy sílí tlak spotřebitelů proti halogenovaným sloučeninám obecně, včetně těch, u kterých prozatím důkazy o nepříznivých účincích na životní prostředí a na zdraví nebyly prokázány. Postupně jsou halogenované retardanty nahrazovány nehalogenovanými alternativami. Anorganické přísady, jako hydroxid hlinitý a hořečnatý byly navrženy jako alternativy šetrné k životnímu prostředí. Nicméně, jejich použití je omezeno, protože k účinnému samozhášení je třeba k materiálu přidat až 70 % anorganického retardantu. Jedním z preferovaných mechanismů je v současnosti kombinace dusíkatých látek zpomalujících hoření a sloučenin fosforu. Dalšími alternativami jsou nanomateriály. Firma GRAFE Advanced Polymers (Německo) vyvinula nové masterbatche pro polykarbonáty a polyetylentereftaláty (PET), které neobsahují halogeny ani fosfor, a přesto dosahují vysoké třídy hořlavosti UL94-V0 při nízkém dávkování (~10%). Tyto retardéry také minimalizují negativní účinky na mechanické vlastnosti plastů a současně jim zvyšují houževnatost, což je zásadní pro elektronické aplikace a automobilový průmysl (<https://www.plasticportal.cz/clanky/efektivni-retarder-horeni-pro-polykarbonaty-a-polyetylentereftalaty-od-grafe>).

Pokračuje vývoj retardérů hoření pro pokročilé kompozity, například epoxidové kompozity vyztužené uhlíkovými vlákny, je to aktivní směr vědeckého výzkumu, který přináší nové typy sloučenin s lepší účinností a nižší toxicitou. Výzkum a inovace této oblasti směřují také k bio-aditivům a retardérům s nanočásticemi, které mohou nabídnout lepší mechanické a požární vlastnosti plastů.

## 9.10. Plasty pro dopravní prostředky

V žádném aplikačním segmentu plastů se nesetkávají plasty s tak příznivým uživatelským hodnocením jako v automobilech. Cení se především jejich přínos pro snížení hmotnosti, což u spalovacích automobilů vede k nižší spotřebě pohonných hmot a principiálně stejný efekt platí i pro vozidla elektrická. Opomenout nelze ani přínosy pro zvýšení jízdního komfortu a bezpečnosti, ale také významný příspěvek pro design celého automobilu.

Udržitelná mobilita automobilů se stává světovým megatrendem. V prognózách do roku 2025 se kalkuluje s globálním provozováním 2,5 miliard aut a roční produkcí 110 mil. aut při postupném zvyšování podílu elektroaut. Agentura Bloomberg prognózuje 35% podíl elektromobilů na globálním trhu nových aut v roce 2035, v roce 2050 již dokonce dvě třetiny. Dominantní postavení ve výrobě a inovacích zaujímá Čína, ČR zaujímá přední postavení ve výrobě na obyvatele.

S rozvojem nových typů plastů se aplikace v automobilech prudce rozvíjely s cílem zlepšit design a snížit hmotnost aut. V šedesátých letech byl aplikován první plastový nárazník namísto ocelového. Dalším impulzem pro inovace byla ropná krize v sedmdesátých letech, začaly se aplikovat nové inženýrské a speciální plasty a jejich modifikace (slitiny, nadouvadla a plniva). V té době se podílely plasty cca 5 % na hmotnosti automobilu. V roce 2000 to bylo 105 kg, v roce 2010 již 170 kg a dnes více než 250 kg. Snížení hmotnosti vozidla o 10 % přispěje ke snížení spotřeby paliva o 6–8 % a snížení emisí CO<sub>2</sub>.

Podle Plastics Europe se spotřeba plastů v automobilovém průmyslu na evropském trhu v roce 2020 podílela 8,8 % na celkové spotřebě plastů ve výši 49,1 mil. tun. V roce 2022 to bylo 8 % z celkové spotřeby 54 mil. tun. ČR vykázala v roce 2018 podle Plastics Europe téměř dvojnásobný podíl – 18,9 %. Nejpoužívanějším plastem je podle analýzy agentury ICIS polypropylen s 35 % podílem, následuje polyuretan s 19 %, polyamid s 11 % a ABS s 8 %. Více jak polovina spotřebovaných plastů je aplikována v interiérech, následují exteriéry, pod kapotou a v elektronice. Podle studie Market and Markets má spotřeba plastů v automobilech růst do roku 2026 průměrným ročním tempem 7,9 %, když pandemie způsobila v roce 2020 celosvětový pokles prodeje osobních automobilů o 15,9 %, v Evropě téměř o čtvrtinu.

Hlavními typy plastů, které se uplatňují v automobilním průmyslu, jsou polypropylen, polyethylen, polyuretan a polykarbonát, nicméně celé portfolio je podstatě širší. Uplatnění nacházejí stále více kompozitní materiály, u kterých je možno nastavit vlastnosti na míru dané aplikaci. Typické aplikace plastů v automobilech jsou na obrázku níže.



Budoucím megatrendem je elektromobilita. Elektromobily způsobují o 40–50 % méně emisí CO<sub>2</sub> než spalovací auta. Ekologický přínos je závislý na energetickém mixu pro nabíjení baterií (uhlí, plyn, ropa, jádro, obnovitelné zdroje) v příslušném státu. Tyto automobily se skládají z méně součástí než auta se spalovacími motory. Nižší provozní teploty umožňují zvýšit podíl plastů, snížit počet jejich typů, snížit hmotnost dílů a vyšší využití plastů po skončení životnosti recyklováním.

V roce 2019 odsouhlasila EK tzv. Green Deal s hlavním cílem snížit emise skleníkových plynů do roku 2030 nejméně o 55 % ve srovnání s rokem 1990. Pro osobní automobily a dodávky je vytýčen cíl snížit přímé emise o 55 % a od roku 2035 je zakázán prodej nových aut se spalovacími motory. I když aktuálně Green Deal podléhá silné kritice a požadavkům na revizi z různých stran, včetně výrobců automobilů, jeho základní teze a cíle stále platí v nezměněné podobě. Do roku 2030 plánuje EU finančně podpořit realizaci 3 milionu dobíjecích stanic pro elektromobily. Další úkoly v zavádění elektromobilů se týkají:

- Zvýšení dojezdové vzdálenosti.
- Cenové zpřístupnění těchto aut pro širší veřejnost.
- Vybavení servisů pro údržbu, včetně proškolení autoopravářů.

- Zajištění recyklací, zejména autobaterií.
- Posílení důvěry a návyků spotřebitelů.

Studie PwC Digital Auto Report 2023 odhaduje, že počet osobních aut na Evropském trhu do roku 2035 oproti 2023 vzroste z 352 milionů na 366 milionů, přitom 96 % nových prodejů v roce 2035 budou tvořit elektrické vozy a 7 % budou plně autonomní auta. Dále se odhaduje, že v Číně a USA, kde nebude platit zákaz prodeje osobních aut se spalovacími motory, bude i tak podíl elektromobilů na celkovém prodeji nových vozů v roce 2035 činit 81 resp. 58 %. Zatímco u prodejů osobních aut by měly dominovat elektro vozidla, u těžké silniční dopravy by měl být klíčem k dekarbonizaci vodík, jehož podíl by ve spotřebě energií by v roce 2050 měl růst na 10-24 %. Americká agentura pro životní prostředí /EPA/ spočítala, že automobil s benzinovým motorem vypouští do ovzduší 202,0 g CO<sub>2</sub> na kilometr jízdy. U naftového pohonu se jedná o 180,8 g CO<sub>2</sub>/km. Elektromobil při přepočtu na nabíjení z průměrného zdroje výroby elektřiny se podílí 69,9 gCO<sub>2</sub>/km, v případě nabíjení ze solárního zdroje se hodnota významně sníží na 11,1 g CO<sub>2</sub>/km. Průměrný benzinový motor vyprodukuje za rok 4 000 kg CO<sub>2</sub>.

Česká republika je významným producentem komponent pro automobilový průmysl. V letech mezi 2010 až 2019 se produkce zdvojnásobila na 686 miliard Kč, přičemž více než polovina se exportuje. Přibližně 88 % veškerého německého importu automobilových dílů v hodnotě 7 miliard euro pocházelo v roce 2018 od českých výrobců. Bohužel z vývoje v posledních letech je patrné, že rychlost prodeje elektromobilů a nástupu elektromobility zaostává za vytyčenými plány a výroba automobilů v Evropě se dostává do krize. To negativně ovlivňuje výkonnost průmyslu v ČR obecně, potažmo i výkonnost produkce plastových komponent pro automobilový sektor, neboť ten je na evropský, respektive německý automobilový průmysl úzce navázán.

V červenci 2023 Evropská Komise po přezkumu navrhla nové Nařízení o vozidlech s ukončenou životností (Návrh ELV). V souladu s Evropskou zelenou dohodou a akčním plánem pro oběhové hospodářství tento návrh staví na dvou stávajících směrnicích a nahrazuje je: směrnicí 2000/53/ES o vozidlech s ukončenou životností a směrnicí 2005/64/ES o schvalování typu motorových vozidel z hlediska jejich opětovné použitelnosti, recyklovatelnosti a využitelnosti. Podle těch musí kategorie vozidel M1 a N1 být vyrobena tak, aby byla nejméně z 85 % (na hmotnostní bázi) znovu použitelná nebo recyklovatelná a minimálně z dalších 10 % alespoň energeticky využitelná. Návrh ELV pro oblast plastů dále definuje, že minimálně 25 % všech plastů použitých při výrobě vozidel musí být recyklovaných a z nich zase alespoň 25 % musí pocházet z recyklace vozidel s ukončenou životností. Tímto návrhem jsou dána poměrně jasná kritéria, která budou směřovat vývoj v oblasti plastů pro dopravní prostředky v dalších letech. Vedle vývoje průlomových produktů se zvýšenou přidanou hodnotou lze očekávat zaměření na ekodesign plastových dílů, nutný pro zajištění recyklovatelnosti, vývoj nových účinnějších recyklačních technologií a postupů a vývoj nových materiálů z obnovitelných zdrojů.

Za průkopníka oběhového hospodářství v evropském automobilovém průmyslu je dle Nadace Ellen MacArthur považována společnost Renault [<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-examples/groupe-renault>]. Koncem roku 2020 skupina Renault založila a v průběhu let 2021 až 2024 rozvíjela Re-Factory, první evropskou továrnu zaměřenou na oběhové hospodářství pro vozidla a mobilitu. Nachází se nedaleko Paříže a bude novým centrem pro aktivity skupiny Renault v oblasti cirkulární ekonomiky. Re-Factory je průmyslový a komerční ekosystém vytvořený skupinou Renault, otevřený start-upům a partnerstvím. Jeho cílem je podporovat iniciativy, rozvíjet inovace ve službách oběhového hospodářství a přispět k ambici skupiny Renault dosáhnout uhlíkové neutrality ve svých průmyslových areálech v Evropě v roce 2040

[<https://www.renaultgroup.com/en/magazine/sustainable-development/re-factory-the-flins-site-enters-the-circle-of-the-circular-economy>]. Strategie zaměřená na recyklované materiály, cirkulární ekonomiku a snižování emisí uhlíku se uplatňuje např. ve výrobě zcela nového elektrického Renault Scénic E-Tech, rodinného vozu představeného v roce 2022, který je až z 24 % recyklovaný (hliníkový šrot, plastové lahve, a další) a z 90 % recyklovatelný (hmotnostně včetně baterie) v průmyslových tocích, například k výrobě nových automobilů.

### 9.11. Obnovitelné zdroje a recyklace

Podle Petrochemicals Europe je 95 % veškerého vyrobeného zboží jako jsou obaly, elektronika, nábytek, spotřebiče, přístroje pro zdravotnictví, textil a dalších založeno na petrochemii. Evropský chemický průmysl zpracovává každoročně 80 mil tun surovin, z nichž pouze 10 % tvoří obnovitelné zdroje. Cíl EU pro rok 2030 je zvýšit podíl obnovitelných zdrojů na 25 %. EU zpracovala již v roce 2012 strategii a akční plán v koncepci chemického průmyslu směrem k bioekonomii. V roce 2017 byla strategie inovována.

Vzhledem k technologiím vhodných ke zpracování biomasy je zpracování biomasy pro chemické látky další možnou variantou přípravy vhodných monomerů a polymerů, kopolymerů a aditiv. Zatímco primární metabolity jsou užívány vesměs pro energetické využití jak už v podobě cukrů pro následnou fermentaci, či jako estery vyšších mastných kyselin pro výrobu FAME, sekundární metabolity mají také své využití. Nastavený trend je však využívat i primární metabolity jako zdroje chemických látek, důvodem je lehká dostupnost a majoritní podíl ve zpracovávané biomase.

#### Primární metabolity

Mezi primární metabolity řadíme oleje, cukry, celulosu, hemicelulosu, lignin. Všechny tyto složky jsou v největší míře upravovány na koncový palivový produkt. Tyto metabolity však lze brát v úvahu i jako zdroje chemických látek. Enzymatickým štěpením celulosy a hemicelulosy dostáváme směs cukrů vhodných pro následnou separaci a využití v potravinářském a chemickém průmyslu.

Kromě využití cukrů jako zdrojů pro následnou fermentaci se objevují práce na téma hledání alternativních monomerů vyrobených z biomasy. Jde o vytvoření ekvivalentních polymerů vůči klasickým petrochemickým produktům. Řešení se objevuje např. ve vytvoření monomerů furanového základu, oproti benzenovému.

Dřevní pojivo lignin, které vypadává v procesu hydrolýzy dřeva, se díky své struktuře může brát jako prekursor vysoce aromatických sloučenin, které se získají za použití vhodného termochemického procesu.

#### Sekundární metabolity

Gumy, pryskyřice, vosky, terpeny, steroidy, glyceridy, kyseliny můžeme řadit označením jako sekundární metabolity obsažené v biomase. Jejich množství se značně odvíjí od druhu rostlin a jejich částí. V současné době se vyvíjí způsob efektivní izolace a vedlejšího využití těchto metabolitů. Využití sekundárních metabolitů v plastikářském průmyslu spočívá především ve využití jako stabilizátory, plastifikátory, antistatika, polymerační emulgátory apod. Při zpracování sekundárních metabolitů se nabízí i alternativní cesta enzymatické transformace a izolace.

Jde o využití biomasy jako zdroje High Value Chemicals, které v konečném měřítku zvýší celkovou cenu výstupních technologických produktů. Mezi návrhy na budoucí postupy při zpracování těchto typů chemikálií se objevují zejména návrhy na rozvoj separačních metod.



Separční metody směřované na zpracování biooleje – produktu pyrolýzy biomasy – se odvíjejí dle typu a vlastností izolovaných látek. Mezi hlavní výhledové separační metody může patřit mj. extraktivní destilace rozvětvených polymerů.

Aplikace environmentálních technologií přesahují i do dalších průmyslových odvětví – papírenský průmysl, textilní průmysl, plasty, kosmetika, mýdla, detergenty.

Základem je změnit pohled na biomasu jako na zdroj paliv bez využití ostatních produktů, které je možné získat jejich úpravou. Nabízí se zde možnost vytvoření několika cílů pro následující výzkumnou agendu právě se zaměřením na vývoj technologií pro získávání chemických látek z biomasy, které se stanou buď částečnou náhradou stávajících, nebo samostatnou novou surovinou.

V současnosti vzniká ve světě každý rok desítky milionů tun polymerních odpadů. Naprostá většina z nich je spálena nebo skládkována. V průměru se globálně údajně recykluje pouze necelých 30 % plastových odpadů. Recyklace plastů je v současnosti mimo jiné aspekty bohužel především obchod. Ten ovšem zažívá horší roky, přičemž na vině je hlavně velké množství odpadů na trhu (po změně s obchodováním v Číně) a v neposlední řadě také neefektivní systém třídění odpadů.

Vytríděný plastový odpad se může dále zpracovávat, nebo recyklovat v závislosti na složení, jak běžnými plastikářskými technologiemi (vytlačování, vstřikování, vyfukování atd.), tak i speciálními recyklačními technologiemi. Tyto technologie lze rozdělit například následovně :

| <b>ASTM D7209-06<br/>standardní definice</b> | <b>Ekvivalent ISO 15270<br/>standardní definice</b> | <b>Jiné ekvivalentní termíny</b> |
|----------------------------------------------|-----------------------------------------------------|----------------------------------|
| Primární recyklace                           | Mechanická recyklace                                | Recyklace v uzavřené smyčce      |
| Sekundární recyklace                         | Mechanická recyklace                                | Downgrading*                     |
| Terciální recyklace                          | Chemická recyklace                                  | Recyklace na vstupní suroviny    |
| Kvartérní recyklace                          | Obnovení energie                                    | Energetické zhodnocení           |

\*zbytkový materiál zůstávající po vytrídění – semele se a používá na výrobu druhořadých nevzhledných plastů

Chemická recyklace plastových odpadů využívá technologické postupy, při nichž probíhají chemické reakce. V průběhu procesu chemické recyklace jsou plastové odpady podrobovány působení zvýšené teploty, a to buď v přítomnosti, či nepřítomnosti kyslíku, případně za přídavku vodíku nebo jiných látek. Makromolekulární látky se štěpí na nízkomolekulární sloučeniny s jednoduššími řetězci často podobné ropným frakcím. Tepelné krakování plastového odpadu se provádí zpravidla pyrolýzou nebo zplyňováním. Získané uhlovodíky jsou podle své kvality (složení) využívány jako zdroj tepla pro různé procesy nebo surovina v petrochemickém průmyslu.

Odpady, které v současnosti lidstvo produkuje představují obrovskou zátěž pro životní prostředí. Polymery, které jsou známy pro svou velmi dlouhou a obtížnou degradovatelnost v prostředí, patří mezi hlavní odpadní materiály, jimž společnost věnuje zvýšenou pozornost. Snaha po recyklaci polymerů sebou ovšem nese celou řadu rizik. Hlavní rizika lze shrnout do následujících kategorií:

- Vysoká heterogenita odpadních polymerů přítomných v odpadech (velké problémy s jejich tříděním).
- Přítomnost různých chemických přísad v polymerech a jejich negativní vliv na životní prostředí (tyto přísady mohou být v určitých případech toxické, mohou způsobovat korozi zpracovatelských zařízení, podporovat rozklad polymerů na mikroplasty a podobně).
- Ekonomické hledisko recyklace polymerů (vysoká energetická náročnost recyklačních procesů, nestabilní hospodářský trh pro tyto komodity, nedostatek finančních pobídek).
- Ekologická legislativa (časté změny zákonů, problematická kontrola a její vymáhání).

V případě prvního bodu lze říci, že v současné době neexistuje v průmyslovém měřítku úplně spolehlivá technologie ke třídění plastů podle jednotlivých druhů. Vždy je nutno počítat s kontaminací v případě komoditních plastů pocházejících z komunálních odpadů (PE, PP, PS, PVC, PET) jinými druhy polymerů nebo sebou navzájem. Asi největší čistoty po vytrídění v současnosti dosahuje PET z nápojových obalů, který je vzorem pro třídění ostatních plastů. Trochu lepší nicméně také neuspokojivá je situace u třídění odpadů v elektrickém, elektrotechnickém průmyslu a automobilovém průmyslu. Hlavním důvodem je použití řady technických, ale i speciálních plastů, které ještě více třídění znesnadňují.

Přítomnost různých chemických příměsí v polymerech zmíněná představuje velkou výzvu pro všechny recyklační techniky. Přidaná aditiva jsou značně různorodá a mohou být dokonce na polymer navázána chemicky. To velmi znesnadňuje jejich odstranění z polymerů a v mnohých případech recyklaci úplně znemožňuje. Nejhorší je přítomnost dnes již zakázaných látek, kvůli kterým je podle legislativních požadavků některé materiály zakázáno úplně recyklovat (například těžké kovy v případě PVC nebo expandovatelný polystyren s hexabromocyklododekanem). Velmi důležité jsou tedy přísady typu retardérů hoření obsahující halogenové prvky. Tato aditiva se vyskytují ve větším množství především ve stavebních výrobcích, elektrickém, elektrotechnickém zboží a automobilech, kde si je žádá požární legislativa. V obalovém průmyslu není jejich výskyt žádoucí, nicméně se lze setkat v minulosti i s výjimkami, například obalový expandovatelný polystyren pro ochranu průmyslového zboží (televize, bílé zboží) mohl v minulosti také obsahovat retardér hoření hexabromocyklododekan. V posledních cca 10 letech došlo u těchto halogenových polymerních přísad ke snižování jejich použití, a to hlavně z ekologických důvodů. Všude tam, kde to bylo možné, byly nahrazovány alternativními retardéry hoření, nejčastěji oxidy nebo hydroxidy kovů.

Výhodou chemické recyklace je možnost vyrábět polymery stejné kvality, včetně materiálů použitelných pro styk s potravinami, jako při použití fosilních surovin. Ekonomické hledisko následného zpracování polymerních odpadů vychází pro řadu průmyslových technik v současnosti bohužel negativně. Jednoznačně lze říci, že recyklované polymery, produkty pyrolýzy, a podobně jsou cenově srovnatelné s panenskými plasty nebo jinými ropnými produkty, nebo je jejich cena dokonce vyšší. Vzhledem k tomu, že tyto výrobky nebývají, jak již bylo naznačeno výše, prvotřídní kvality, nelze se divit, že řada výrobců nebo zpracovatelů tyto suroviny odmítá, protože jim při výrobě způsobují problémy. V současné době se tedy často stává, že není problém plasty zrecyklovat, ale co dělat s recyklovanými výrobky. Bez cílené podpory tohoto typu výrobků je jejich využití velmi problematické.

Velkým problémem současnosti se stává také legislativa a to zejména ekologická. Řada zákonů není mezi jednotlivými státy koordinována, zákony jsou často nejednoznačné a jejich vymáhání velmi problematické.

## 10. Závěr

Výroba plastů v primární formě představuje spolu s petrochemií klíčový segment chemického průmyslu, který aktuálně prochází zásadními změnami v oblasti surovinového zabezpečení, udržitelnosti a globální distribuce produkce. Plasty nacházejí široké uplatnění v celé řadě odvětví – od obalové techniky, stavebnictví, automobilového a elektrotechnického průmyslu, až po zemědělství a zdravotnictví. Prognózy předpokládají, že celosvětová produkce plastů poroste minimálně do roku 2050, přičemž dynamiku vývoje budou určovat současné globální trendy i výzvy spojené s udržitelným rozvojem.

S rostoucí světovou populací a pokračující urbanizací čelí společnost zásadním otázkám udržitelné výroby a spotřeby, které by neměly dále akcelerovat negativní dopady ekonomických aktivit na životní prostředí a klimatické podmínky. Pro budoucí technologický rozvoj plastikářského průmyslu je proto klíčovým tématem recyklace plastů a integrace environmentálních aspektů napříč celým životním cyklem plastových výrobků. Výzkum a vývoj se bude orientovat zejména na alternativní suroviny, inovace výrobních a zpracovatelských procesů, nové aplikační oblasti i efektivní recyklaci po ukončení životnosti produktů. Významný impuls přináší rovněž regulační opatření v oblasti nakládání s odpady (např. zákaz skládkování) i mezinárodní důraz na minimalizaci úniku škodlivých látek z plastů do mořského prostředí.

Rozvoj nových materiálů je nezbytný zejména pro ta odvětví, kde plasty představují zásadní ekologickou výzvu. Klíčová bude také implementace dosud nedostatečně využívaných metod, jako je chemická recyklace, která umožňuje rozklad plastů na základní složky a jejich následné opětovné použití, což může významně zvýšit recyklovatelnost bez ztráty užitečných vlastností.

Znečištění prostředí odpadními plasty, patrné jak na souši, tak v oceánech, je přímým důsledkem vysoké odolnosti současných materiálů. Nelze však opomíjet, že plasty jsou zároveň nezbytné pro dosažení cílů udržitelného rozvoje, například při výrobě lehkých dopravních prostředků, membrán pro čištění vody, vysoce výkonné elektroniky, ke snižování potravinových ztrát, v tepelných izolacích nebo ve zdravotnických zařízeních typu vaků, stříkaček a katetrů.

Kromě environmentálních aspektů ovlivní další vývoj digitalizace výrobních procesů a zavádění aditivních technologií, což představuje nový impuls pro materiálový výzkum i inovativní způsoby zpracování v průmyslové praxi.

Nepřímý vliv na směřování technologického pokroku lze spatřovat též v demografických trendech, jako je stárnutí populace zejména v rozvinutých regionech a s tím spojený nárůst požadavků na zdravotní péči. Tato skutečnost otevírá prostor k vývoji speciálních plastů splňujících vysoké nároky na čistotu a biokompatibilitu pro aplikace ve zdravotnictví.

Dlouhodobým cílem je dosažení plně recyklovatelných nebo rozložitelných plastových výrobků. To vyžaduje systematické změny v technologiích, legislativě, sociálních postojích, lidském chování, ekonomikách i v samotném výzkumu nových materiálů a produktů. Je nezbytné zajistit budoucnost plastových materiálů bez negativních dopadů na životní prostředí, aniž by došlo ke ztrátě jejich zásadních benefitů.

Tato foresightová studie se pokusila popsat hlavní transformační procesy, které budou ovlivňovat vývoj společnosti v dlouhodobém horizontu (tzv. globální megatrendy), vytipovat současné a budoucí výzvy technologického vývoje pro výrobu, zpracování a recyklaci plastů a nastínit možný vývoj aplikačního

potenciálu plastů. Snahou bylo přispět k pochopení širšího kontextu budoucího vývoje ve výrobě, zpracování a recyklaci plastů a upozornit na technologické výzvy (a s nimi související příležitosti), které mohou tento vývoj v budoucnu determinovat. Skutečnost, že studie vznikala v úzké souvislosti s aktualizací Strategické výzkumné agendy České technologické platformy Plasty, je dobrým předpokladem pro zohlednění uvedených závěrů ve strategickém směřování výzkumu a technologického rozvoje v této oblasti v ČR.

## Zdroje

Plastics - the Facts 2021, An analysis of European plastics production, demand and waste data, Plastics Europe, 2021.

A Circular Economy for Plastics - Insights from research and innovation to inform policy and funding decisions, European Commission, Directorate-General for Research and Innovation, 2019.

Evropská strategie pro plasty v oběhovém hospodářství, COM/2018/028 final.

Sustainable Plastics Strategy, Edition 2, SusChem, December 2020.

Strategic Innovation and Research Agenda - Innovation Priorities for EU and Global Challenges, SusChem, 2020.

Plastics Strategic Research and Innovation Agenda in a Circular Economy, SusChem, 2018.

[Goldsberry, C.](#): The megatrends that are reshaping food and beverage packaging. [Packaging Sustainability, Recycling, Business, Materials](#), May 03, 2017.

PwC (2016): Megatrends: 5 global shifts changing the way we live and do business. PricewaterhouseCoopers, 2016.

PwC (2017): The World in 2050. PricewaterhouseCoopers 2017 (February).

PlasticsEurope (2024): The Circular Economy for Plastics A European Analysis.

European Bioplastics (2021), [www.european-bioplastics.org](http://www.european-bioplastics.org).

## Zkratky

|          |                                         |
|----------|-----------------------------------------|
| ABS      | terpolymer akrylonitril-butadien-styren |
| ČTPP     | Česká technologická platforma Plasty    |
| EPO      | Evropský patentový úřad                 |
| EPS      | Expandovatelný / expandovaný polystyren |
| EVA      | ethylen-vinyl-acetát                    |
| HBCDD    | Hexabromcyklododekan                    |
| HFFR     | halogen-free flame retardant            |
| IPFs     | international patent families           |
| PA       | polyamid                                |
| PC       | polykarbonát                            |
| PE       | polyetylen                              |
| PEEK     | polyetheretherketon                     |
| PEI      | polyetherimid                           |
| PET      | polyetylentereftalát                    |
| PI       | polyimid                                |
| PMMA     | polymethylmethakrylát                   |
| POM      | polyoxymethylen                         |
| PP       | polypropylen                            |
| PPS      | polyfenylsulfid                         |
| PPSU     | polyfenylsulfon                         |
| PS       | polystyren                              |
| PTFE     | polytetrefluorethylen                   |
| PVC      | polvinylchlorid                         |
| PVDF     | polyvinylidenfluorid                    |
| TC AV ČR | Technologické centrum Akademie věd ČR   |