



Spolufinancováno
Evropskou unií



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 Listopad 2024

Obsah

Úvod.....	4
1. Globální „megatrendy“ ovlivňující naši budoucnost	5
1.1. Klimatická změna, dostupnost zdrojů a znečištění plasty.....	5
1.2. Urbanizace.....	7
1.3. Demografické a sociální změny	8
1.4. Změna center globální ekonomické síly	8
1.5. Akcelerace technologických změn	9
2. Obecné trendy v plastikářském průmyslu	10
2.1. Segmentace trhu	10
2.2. Rostoucí globální poptávka	11
2.3. Inovace v plastových technologiích.....	12
2.4. Digitalizace a automatizace výroby	12
2.5. Expanze obalového průmyslu	12
2.6. Udržitelnost a environmentální výzvy	13
2.7. Regulační opatření	13
2.8. Ceny petrochemických surovin a energií	13
2.9. Přechod k bioplastům.....	14
2.10. Spotřebitelské trendy a preference	14
2.11. Nárůst používání plastů ve zdravotnictví	14
3. Světový vývoj výroby a zpracování plastů	15
4. Budoucí vývoj klíčových aplikačních sektorů pro plasty.....	17
4.1. Obaly	17
4.2. Stavebnictví	18
4.3. Automobilový průmysl	18
4.4. Elektronika a elektrotechnika.....	19
4.5. Zemědělství	20
4.6. Zdravotnictví.....	20
5. Budoucí technologie pro výrobu a využití plastů	22
5.1. Úvod	22
5.2. Využití obnovitelných zdrojů	23
5.3. Bioplasty a jejich technologie.....	24
5.4. Rozvoj vyspělých technologií a plastů se zvýšenou užitnou hodnotou.....	32
5.5. Plastové obaly	35

5.6.	Nanokompozity	37
5.7.	Materiály pro zdravotnictví	38
5.8.	Oxo-biodegradovatelné plasty (zemědělství)	40
5.9.	Plasty se sníženou hořlavostí (stavebnictví)	42
5.10.	Plasty pro dopravní prostředky	45
5.11.	Obnovitelné zdroje a recyklace	45
6.	Závěr	49
	Zdroje	51
	Zkratky	52

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 února 2023.

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 CO₂. 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 vypočetla, že v roce 2019 dosáhly světové emise CO₂ výše 36 miliard tun. Při zlepšení současného stavu technologií využívání odpadů by bylo možno ušetřit 2,1 až 2,8 miliard tun exhalací CO₂. 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 obzvláště 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 %.

Bloger na 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 CO₂.

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 odstavení 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 CO₂ 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 CO₂ 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.

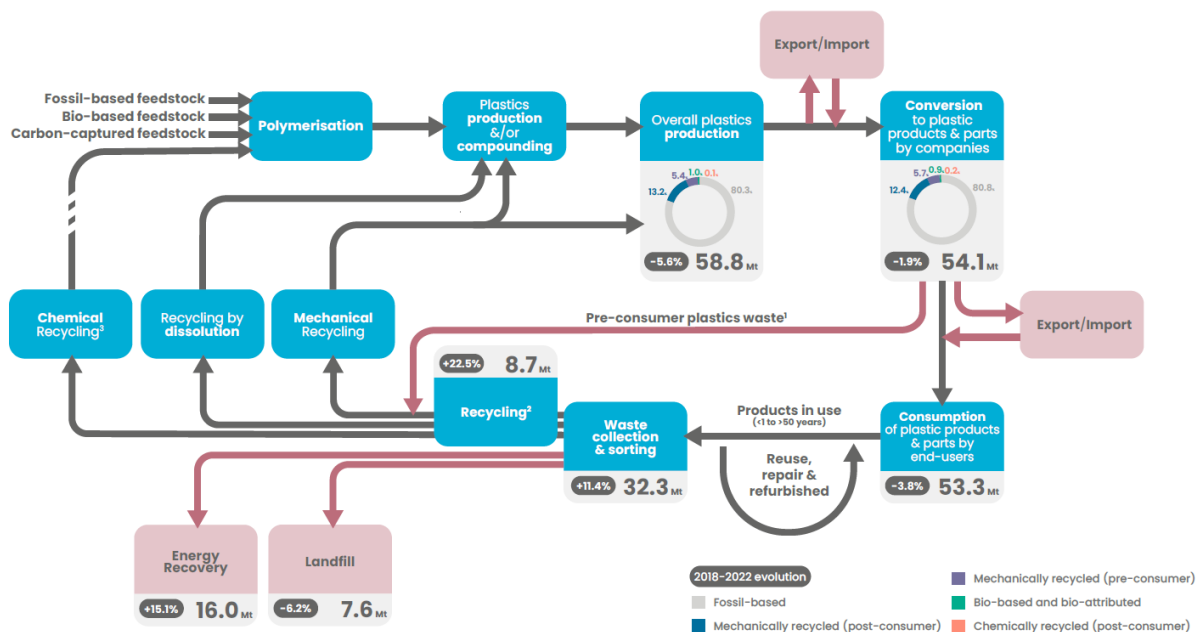
2. Obecné trendy v plastikářském průmyslu

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 výroby 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 **system 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 CO₂) 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 automatizace výroby

Rostoucí využívání digitálních technologií, jako jsou IoT, automatizace a blockchain, umožní zlepšení efektivitu výrobních procesů a transparentnost v celém dodavatelském řetězci. Digitalizace bude hrát klíčovou roli v optimalizaci recyklačních procesů a ve sledování uhlíkové stopy produktů, což podpoří přechod k udržitelnější produkci. Prediktivní modely a virtuální testování produktů pomohou snížit náklady na výrobu a minimalizovat odpady.

Automatizace a umělá inteligence pomohou optimalizovat výrobní procesy, snížit energetickou náročnost a minimalizovat odpad. IoT umožní efektivnější monitoring kvality surovin.

Digitální technologie zlepší řízení dodavatelských řetězců a umožní personalizaci výroby. AI a prediktivní údržba zvýší efektivitu zpracování plastů a sníží provozní náklady.

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).

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. Návrh PPWR (Packaging and Packaging Waste Regulation) zaměřený na zvýšení recyklovatelnosti a podporu opakovaného použití obalů bude motivovat investice do modernizace obalových materiálů.

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 regulatorní 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. Přechod 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.

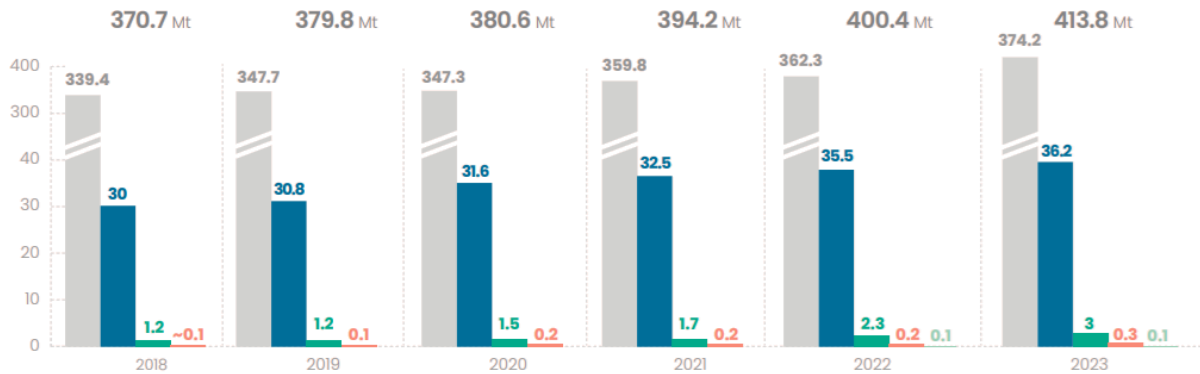
2.11. Nárůst používání plastů ve zdravotnictví

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

Výroba plastů v globálním měřítku dynamicky roste. Zatímco v roce 2005 se na světě vyrobilo 230 mil. tun plastů, v roce 2023 to bylo již přes 413 mil. tun. Do roku 2050 se očekává nárůst produkce celosvětové produkce plastů až na 700 mil. tun ročně. Dominantní podíl z celkové světové výroby plastů tvoří plasty vyráběné z tradičních fosilních zdrojů.

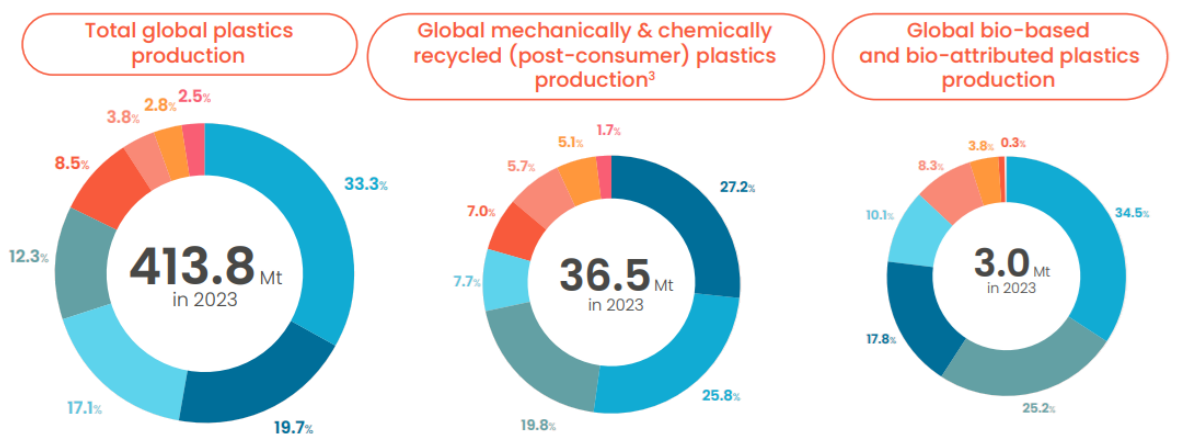
Vývoj celosvětové výroby plastů (mil. tun)



Zdroj: PlasticsEurope (2024): Plastics – the fast Facts 2024.

Obdobně jako v případě celého chemického průmyslu, také ve výrobě a zpracování plastů má vedoucí postavení Čína (třetina celosvětové produkce), následovaná zbývajícími asijskými zeměmi (s výjimkou Číny a Japonska), Severní Amerikou a Evropou. Podíl Evropy je významnější především na výrobě mechanicky či chemicky recyklovaných plastů a bio-plastů. Tyto druhy plastů však stále tvoří necelou desetinu celosvětové produkce plastů.

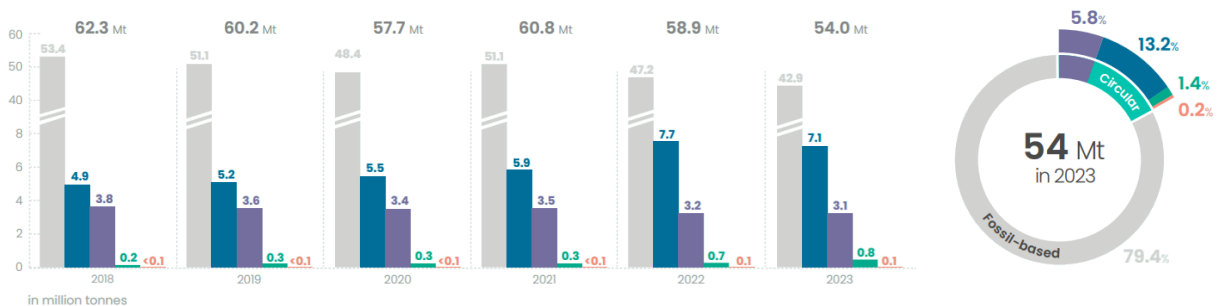
Geografická struktura celosvětové výroby plastů v roce 2023



Zdroj: PlasticsEurope (2024): Plastics – the fast Facts 2024.

V Evropě dochází k postupnému poklesu objemu výroby plastů. Ještě v roce 2018 přesahoval objem výroby plastů v Evropě 62 mil. tun, v roce 2023 to bylo již 54 mil. tun. V ČR se ročně vyrobí přibližně 1,2 mil. tun plastů.

Vývoj výroby plastů v Evropě (mil. tun)



Zdroj: PlasticsEurope (2024): Plastics – the fast Facts 2024.

Severní Amerika (zejména USA) byla v roce 2024 lídrem na globálním trhu s plasty, když se podílela na více než 44 % celkových příjmů. Tento růst podporovala poptávka ze zdravotnického, farmaceutického a elektrotechnického průmyslu. Stále větší důraz na recyklaci plastů vedl k vyššímu využití recyklovaných materiálů v tomto regionu.

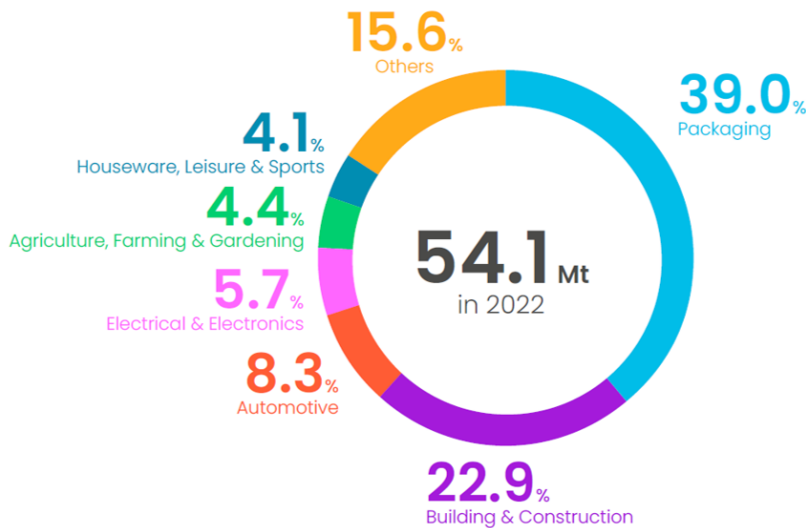
Evropa byla druhým největším trhem, zejména díky silné poptávce z automobilového průmyslu. Největší podíl měl německý trh, zatímco nejrychleji rostoucím byl trh ve Velké Británii. Přestože objem výroby plastů v Evropě v posledních letech klesá, plastikářský průmysl má pro evropskou ekonomiku zásadní význam. Podle PlasticsEurope představuje, výroba surovin pro plastikářský průmysl, samotná výroba a zpracování plastů, jejich recyklace a související výroba strojů pro plastikářský průmysl hodnotový řetězec, který v Evropě zaměstnává více než 1,5 milionu lidí, a to prostřednictvím téměř 52 000 firem (většinou MSP). V roce 2023 tyto firmy dosáhly obratu ve výši více než 365 miliard EUR. V porovnání s rokem 2019 však jistě není bez zajímavosti, že do roku 2023 se počet firem v evropském plastikářském průmyslu snížil o více než 3 000 (tj. přibližně o 6 %).

Asijsko-pacifický region vykazuje nejrychlejší růst s vysokou poptávkou po plastových materiálech v oblasti spotřebního zboží, textilu a výroby hraček. Čína byla největším producentem plastových komponent, zatímco Indie se stala nejrychleji rostoucím trhem.

4. 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.

4.1. 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.

4.2. Stavebnictví

Stavebnictví je druhým největším odběratelem plastových materiálů, s podílem přesahujícím 20 % celkové produkce plastů. Jenom globální spotřeba izolačních materiálů 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).

4.3. Automobilový průmysl

V automobilovém průmyslu se spotřebovává přibližně 8 % celkové produkce plastů v EU, přičemž plastové komponenty tvoří asi 15 % hmotnosti současných automobilů. S rostoucími požadavky na snižování emisí CO₂ a zvyšování palivové úspory se předpokládá další expanze využití plastů v automobilových konstrukcích.

Průměrný automobil obsahuje 120 kilogramů plastů (tj. 15 až 20 % jejich celkové hmotnosti). Snahou v automobilovém průmyslu je využívat vysoce kvalitní termoplasty, jejichž nízká hmotnost při zachování dalších vlastností snižuje spotřebu paliva a tím i negativní vliv dopravy na životní prostředí. S ohledem na sílící tlak na zvýšení energetické účinnosti dopravy a snížení emise CO₂ budou výrobci automobilů klást důraz na nahrazování těžších materiálů (železo, ocel) kompozitními materiály, které jsou zpravidla o 25-35 % lehčí než kovové díly. Tento trend a pravděpodobně i jeho zintenzivnění 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.

Termoplasty se uplatňují zejména díky jejich nízké hmotnosti, vysoké odolnosti a možnosti jejich recyklace. Významné investice do výzkumu a vývoje v automobilovém průmyslu podporují inovace v oblasti plastových materiálů, včetně jejich uplatnění v lehkých konstrukcích a interiérových komponentech.

Dalším 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.

Po opravě, resp. výměně plastových dílů lze tyto recyklovat mechanickým způsobem, pokud se vytřídí dle typů. Chemické způsoby recyklací se uplatňují především u starých pneumatik, dále u polyuretanů a směsných plastů. Nadace Ellen Mac Arthur vyhlásila koncem loňského roku společnost Renault za průkopníka oběhového hospodářství v automobilovém průmyslu.

Poblíž Paříže založila „RE Factory“ - centrum regenerativní ekonomiky pro celou skupinu Renault. Bude zahrnovat 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 vygenerovali tržby 120 mil. EUR. Dle jejich odhadu by celosvětově takto bylo možno ušetřit množství elektřiny osmi jaderných elektráren.

4.4. 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.

4.5. Zemědělství

Vzemědělství se využívá široká škála plastů, včetně polyolefinů, polyethylenu (PE), polypropylenu (PP), kopolymeru ethylen-vinyl-acetátu (EVA), polyvinylchloridu a méně často polykarbonátu, a polymetylmetakrylát (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 folie 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, znečištění 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.

4.6. 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.

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.

Oblast zdravotnických aplikací každým rokem rostou s příchodem nového výzkumu, technologií, materiálů, procesů a aplikací. Globální tržní kapitalizace průmyslu lékařských plastů také každým rokem rychle roste. V roce 2020 měl tento trh hodnotu zhruba 25,1 miliardy dolarů a roční tempo růstu se odhaduje přibližně na 17 %. Mnoho zpráv ukazuje, že tržní kapitalizace dosáhne do roku 2025 33,5 miliardy dolarů, což by představovalo 33% nárůst trhu. Ačkoli jsou tato čísla pouze odhady, je jasné, že trhy s výrobou plastů pro zdravotnické prostředky každým rokem rostou rychlým tempem.

5. Budoucí technologie pro výrobu a využití plastů

5.1. 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 samočisticí 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 součástí 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-TiO₂.
- 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

5.2. Využití obnovitelných zdrojů

Využití a zpracování 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 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. 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.

5.3. Bioplasty a jejich technologie

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

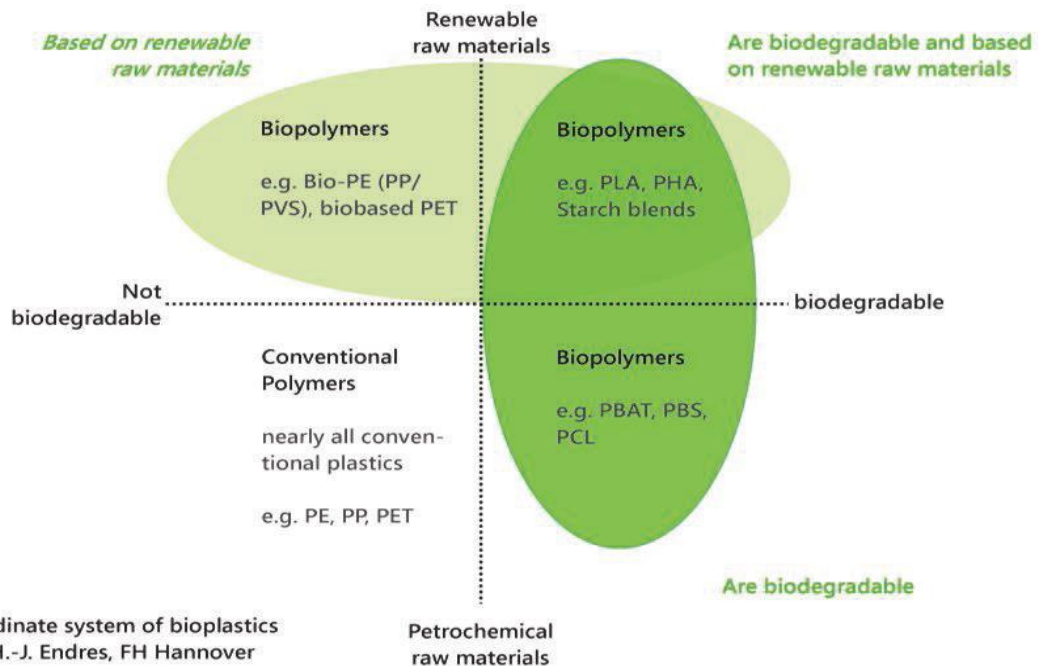
Biobased nebo založené na biomateriálech znamená, že materiál nebo produkt je (částečně) odvozen z biomasy (rostlin). Biomasa používaná pro výrobu bioplastů pochází například z kukuřice, cukrové třtiny nebo celulózy.

Výraz biodegradovatelný popisuje chemický proces, během něhož mikroorganismy, které jsou běžné v životním prostředí přemění materiál 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) 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



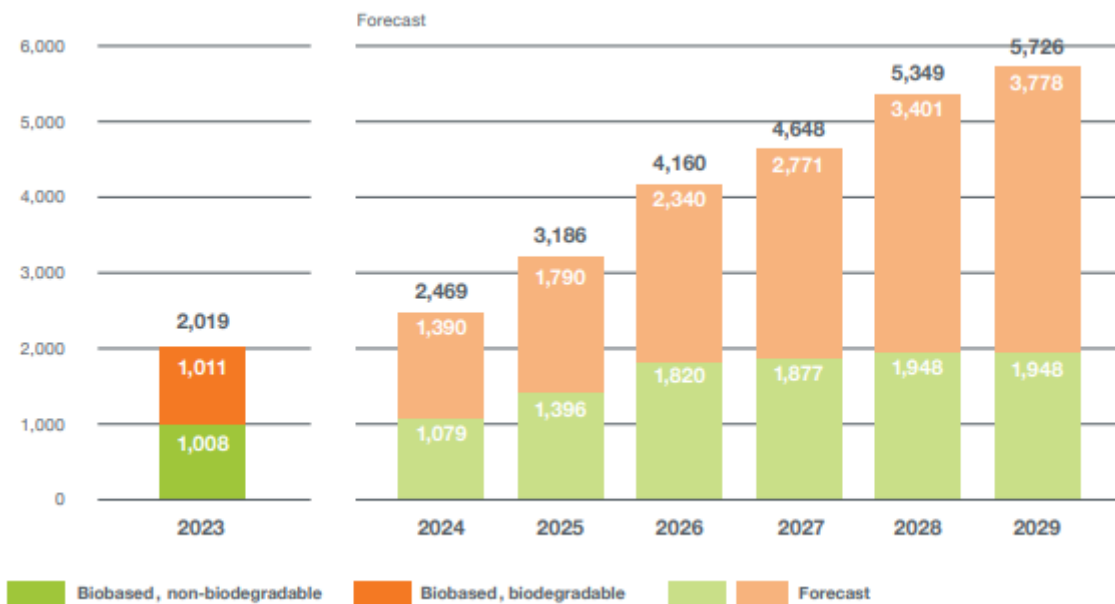
Níže je uvedena charakteristika každé skupiny:

- 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

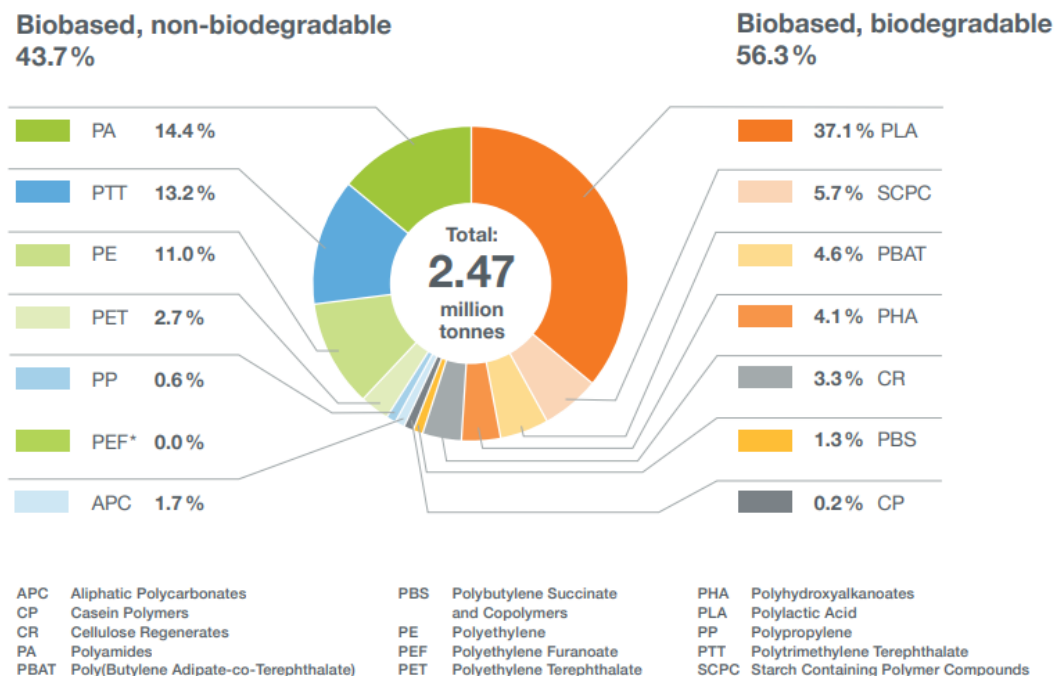
Bioplasty v současnosti představují zhruba půl procenta z téměř 414 milionů tun (World plastics production 2023, Plastics Europe, 2024) ročně vyrobených plastů. Celková celosvětová produkce plastů neustále roste. Tento vývoj je tažen rostoucí poptávkou v kombinaci s vznikem stále sofistikovanějších aplikací a produktů. Globální kapacita výroby bioplastů se má výrazně zvýšit z přibližně 2,47 milionu tun v roce 2024 na přibližně 5,73 milionu tun v roce 2029.

Obrázek 2 Globální výrobní kapacity bioplastů 2024-2029



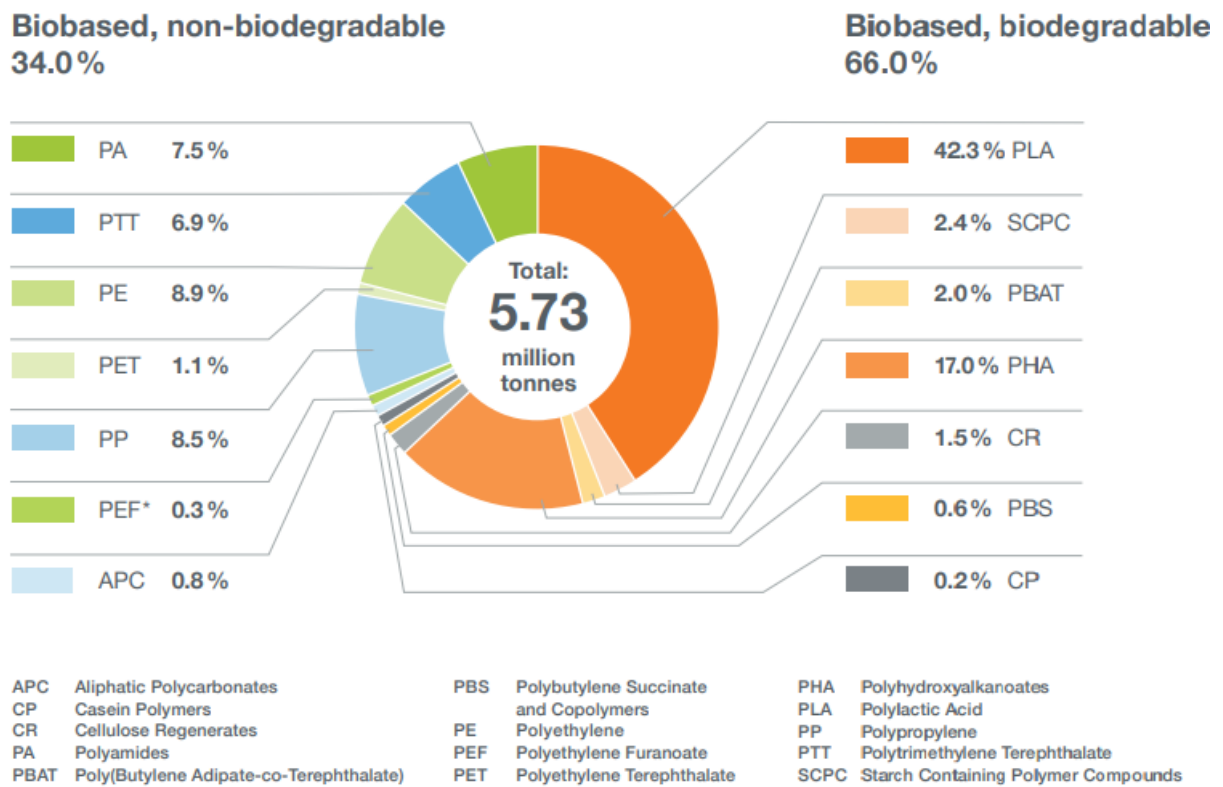
Pro téměř každý konvenční plastový materiál a odpovídající použití existují alternativy bioplastů. Díky silnému vývoji biopolymerů a biodegradabilních polymerů, jako je kyselina polymléčná (PLA) a polyhydroxyalkanoáty (PHA), biopolyethylen (PE), stejně jako neustálý růst biopolypropylenu (PP), budou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

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



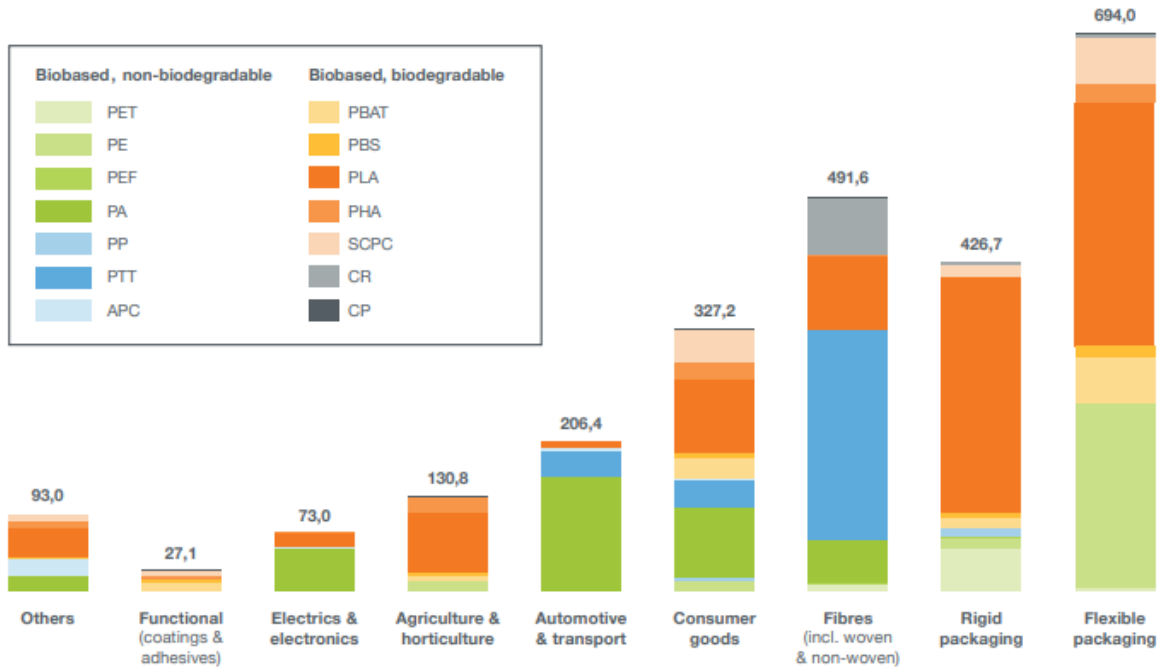
* PEF available at commercial scale as of 2024

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)

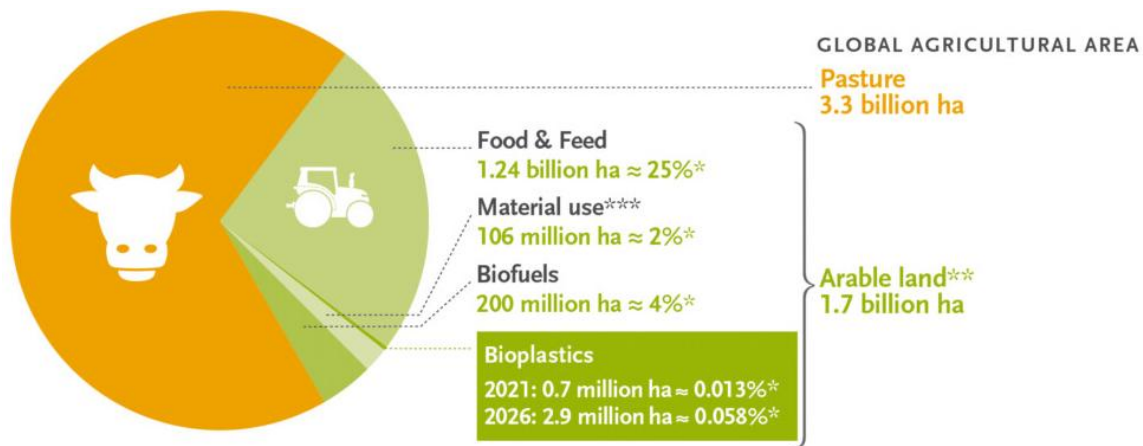


Ze srovnání výrobních kapacit a skutečné produkce v roce 2024 vyplývá, že bioplastový průmysl vyrábí na téměř 60 %. Ačkoli se v některých částech poměrně výrazně liší od jednoho polymeru k druhému, v rozmezí od 35 % do 100 %, průměrná míra využití v roce 2024 je 58 % (1,44 milionu tun produkce vs. 2,47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

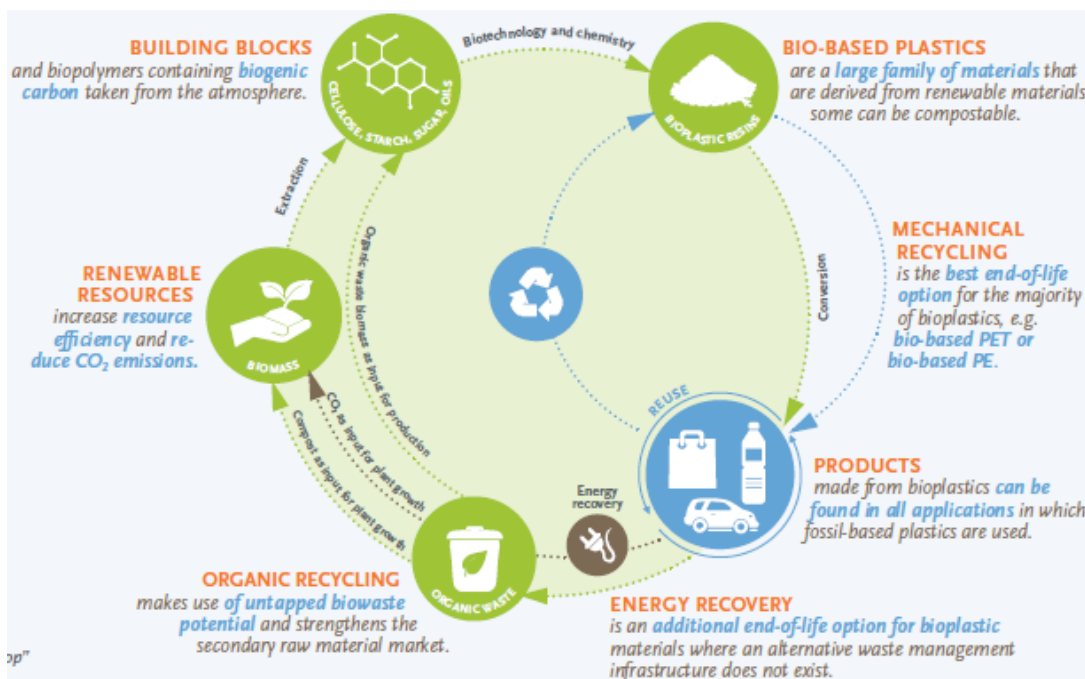


Source: Source: European Bioplastics (2021), FAO Stats (2020), nova-Institute (2021), and Institute for Bioplastics and Biocomposites (2019), University of Virginia (2016). Info: www.european-bioplastics.org *In relation to global agricultural area, **Including approx. 1% fallow land, ***Including approx. 1% fallow land, ****Land-use for bioplastics is part of the 2% material use

Budou opravdu bioplasty tak přínosné pro budoucnost?

Ideální životní cyklus bioplastového výrobku viz Obrázek 7.

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 PlantBottle, že obří společnost vyrábějící nealkoholické nápoje prolomila jeden z nejzávažnějších ekologických problémů světa, zahlcení světa plasty na bázi ropy, které se nikdy úplně nerozloží a nezmizí? 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 inováčních 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.

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 nejzávažnější.

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 nejnáročnějších 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.

5.4. 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, třeba 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 amorfni, 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 plnivými, které upravují jejich aplikační vlastnosti. Např. antioxidanty a antiozonanty zlepšují odolnost výrobku proti

povětrnostnímu stárnutí, směsí plastů lze dosáhnout houževnatosti křehkého plastu, přidávkem plniv lze zvýšit tvrdost výrobku nebo snížit jeho cenu apod.

Tyto postupy jsou známé 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 intenzivně 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 + výšemolekulární 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 měkkého 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 respirace.

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, neutron 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 nanoplňiv 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.

5.5. Plastové obaly

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

0 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 začlení 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 změní 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 CO₂ kompenzovat. Toto je zaměření, které by si měl celý plastikařský 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.

5.6. 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 následujících vlastností: odolnosti proti poškrábání, zlepšení tepelné odolnosti, vzrůst tvrdosti, zlepšení oděruvzdornosti, 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, antimikrobiální vlastnosti, rozměrovou stálost, zvýšenou odolnost proti šíření trhlin. Je tak možnost ovlivnit nejen životnost, ale tyto změny jsou extrémně důležité z hlediska konečné aplikace takového materiálu. Vytvořené nanokompozity naleznou uplatnění zejména při zvyšování kvality plastových, gumárenských a dalších polymerních výrobků.

Stále více se budou používat nanomateriály v otěruvzdorných a koroziuvzdorných 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.

V souvislosti se stále širším využíváním nanomateriálů je nezbytné zaměřením také na hygienické a environmentální důsledky jejich používání.

Nanokompozity jsou reálnou aplikací v řadě významných oborů techniky, včetně plastů. Tyto materiály často s novými vynikajícími vlastnostmi přinášejí do řady odvětví 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 (TiO_2 , ZrO_2 , 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 nanoplniv na bázi uhlíku, a to uhlíkových nanotrubic, 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 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.

5.7. 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 maticí 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), otolaryngologie, 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 by mohl být 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.

Ačkoli mnoho termoplastů má hodnotu pro lékařskou, biomedicínskou a farmaceutickou oblast, zde je šest nejnásobně používaných materiálů, kterým důvěřují zdravotníci po celém světě.

Ultra-vysokomolekulární polyetylén (UHMW-PE) je lékařský plast s vysokou rázovou pevností, dobrou odolností proti opotřebení a oděru, vynikající chemickou odolností a vynikajícími vlastnostmi při nízkých teplotách. Inženýři volí UHMW-PE, protože se vyrábí z prémiových pryskyřic v souladu se specifikací ASTM F648 a mezinárodními normami ISO 5834-1 pro chirurgické implantáty a lékařská zařízení. Trhy zdravotní péče, které pravidelně používají UHMW-PE, zahrnují sportovní medicínu, ortopedii, zdravotnické prostředky, 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. Inženýři volí PEEK, protože se snadno obrábí a má vynikající mechanickou pevnost a rázové vlastnosti. Mezi trhy zdravotní péče, které pravidelně využívají PEEK, patří páteř, sportovní medicína, lebeční medicína, ortopedie, lékařské přístroje, aplikace léků, farmaceutická, kardiovaskulární, neurologická a diagnostická medicína.

Akryl, obecný název pro *polymethylmethakrylát (PMMA)*, je termoplast lékařské kvality používaný při výrobě lékařských zařízení a lékařských implantátů, jako jsou implantáty nitroočních čoček, kostní cement a lebeční implantáty. Inženýři volí akrylát pro lékařské přístroje vyžadující rázovou houževnatost, chemickou odolnost, biokompatibilitu a čírost. Trhy zdravotní péče, které pravidelně používají akryláty, zahrnují dodávky léků, farmaceutickou, kardiovaskulární, neurologickou a diagnostickou medicínu.

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. Inženýři zvolili acetalový kopolymer kvůli jeho dobré rozměrové stabilitě, a zvláště dobré únavové pevnosti, stejně jako vynikající schopnosti obrábění, což z něj činí vysoce univerzální konstrukční materiál, a to i pro složité součásti. Trhy zdravotní péče, které pravidelně

používají acetalový kopolymer, zahrnují páteř, sportovní medicínu, ortopedii, lékařské přístroje, dodávky léků, farmaceutickou, kardiovaskulární, neurologickou a diagnostickou medicínu.

Polypropylen (PP) je termoplast vyrobený katalytickou polymerací propenu. PP jsou univerzální standardní plasty lékařské kvality s dobře vyváženými vlastnostmi, které poskytují vynikající chemickou odolnost, vysokou čistotu, nízkou absorpci vody a dobré elektrické izolační vlastnosti. Inženýři volí polypropyleny lékařské kvality, protože nabízejí také vynikající rozměrovou stabilitu, obrobiteľnosť a schopnosť odolat sterilizaci z parního autoklávu. Trhy zdravotní péče, které pravidelně využívají PP, zahrnují páteř, sportovní medicínu, ortopedii, zdravotnické prostředky, dodávky léků, farmaceutickou, kardiovaskulární, neurologickou a diagnostickou medicínu.

Polyfenylsulfid (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. Inženýři volí PPS kvůli jeho nízké absorpci vody, dobré rozměrové stabilitě a vynikajícím elektrickým vlastnostem. Mezi lékařské trhy, které pravidelně využívají PPS, patří lékařské přístroje, dodávky léků, farmaceutická, kardiovaskulární, neurologická a diagnostická medicína.

5.8. 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 „snižování 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 rozstípnou 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.

Aktuálně je tedy hlavní výzvou v této oblasti vývoj materiálů, které se v životním prostředí zcela rozkládají bez tvorby nebezpečných mikroplastů.

5.9. 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.

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) tetrabrombisfenol A-bis(2-hydroxyethyl ether) 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

Označení	Chemický název
T CPP	Tris (1,3-dichlor-2-propyl) fosfát
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 – bromdifenyl ether
Octa BDE	Okta-bromdifenyl 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)¹. 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 světě². Do životního prostředí se dostává z výluhů skládek, kam se ukládají produkty obsahující TBBPA³. Zvýšená koncentrace TBBPA byla však zjištěna i v čistírenských kalech⁴. V současné 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. polybromované difenylethery (PBDE), chlorované fosfáty) jsou prostě smíchány s již vytvořenými polymery.

Většina kongenerů (příbuzných látek) polybromovaných difenyletherů 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-bromované difenylethery (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. Polybromované difenylethery byly první skupinou bromovaných zpomalovačů hoření, které byly detegovány v životním prostředí⁵. Jejich schopnost akumulace v životním prostředí byla doložena v

¹ 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).

² 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).

³ Osako M., Kim Y. J., Sakai S. I.: *Chemosphere* 57, 1571 (2004).

⁴ Lee H. B., Peart T. E.: *Water Qual. Res. J. Can.* 37, 681 (2002).

⁵ de Carlo V. J.: *Ann. N. Y. Acad. Sci.* 320, 678 (1979).

dalších studiích⁶. Hlavní severoamerický výrobce penta- a okta-BDE ukončil jejich produkci v prosinci 2004 jako důsledek prokázané toxicity těchto látek⁷. Prudký růst úrovně PBDE byl uveden ve zprávě o nebezpečných vlastnostech PBDE⁸, což vedlo k zákazu používání některých PBDE. Evropská unie se rozhodla zakázat používání dvou tříd zpomalovačů hoření, polybromovaných difenyletherů (PBDE) a polybromovaných bifenyliů (PBB) v elektrických a elektronických zařízeních v roce 2003 vydáním směrnice Evropského parlamentu⁹. Na mezinárodní úrovni byly v květnu 2009 na základě Stockholmské úmluvy o perzistentních organických látkách (POPs) zařazeny penta-BDE a okta-BDE do kategorie POP látek¹⁰. Jako náhrady penta-BDE byly ve spolupráci vládních, nevládních organizací a chemického a nábytkářského průmyslu doporučeny látky trifenylofosfát, tribromoneopentyl alkohol a dalších 12 patentovaných chemických látek¹¹.

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 plodnost¹². V roce 2009 vydala Evropská unie zprávu o rizicích tris(2-chlorethyl)fosfátu. Byla potvrzena karcinogenita, chronická toxicita a vliv na plodnost¹³. Jeho výroba a distribuce zatím omezena není.

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

⁶ 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).

⁷ Lorber M.: *J. Expo. Sci. Environ. Epidemiol.* 18, 2 (2008).

⁸ EHC-152. Polybrominated biphenyls. International Program on Chemical Safety, World Health Organization, Geneva, Switzerland, 1994, <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc152.htm>.

⁹ 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>.

¹⁰ Carr H. S., Rosenkranz H. S.: *Mutat. Res., Fundam. Mol. Mech. Mutagen.* 57, 381 (1978).

¹¹ 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>.

¹² Beth-Hübner M.: *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 72, M17 (1999).

¹³ 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.

přidat až 70 % anorganického retardantu. Jedním z preferovaných mechanismů je v současnosti kombinace dusíkatých látek zpomalujících hoření a sloučenin fosforu. Dalšími alternativami jsou nanomateriály.

5.10. Plasty pro dopravní prostředky

Celosvětové úsilí o snižování emisí CO₂ se dotýká i dopravních prostředků. V rámci jednotlivých kontinentů jsou předepisovány přísnější limity pro spotřebu a tedy i exhalace CO₂ z pohonných hmot. To se projevuje ve vývoji nových, lehčích konstrukcí exteriérů a interiérů dopravních prostředků s využitím plastů. Vyvíjejí se nové aplikace komoditních plastů (PP) s přidavkem ztužujících vláken, dále aplikace inženýrských a speciálních plastů. Využití nabízejí i pěnové a strukturní pěnové plasty. S ohledem na vysokou produkci automobilů v ČR je zapojení výzkumu a vývoje do procesu aplikací nových plastů i způsobu zpracování (3D tisk) velkou výzvou. Rostoucí důležitost mají způsoby spojování plastů s jinými materiály (a to nejen pro automotive).

Výroba a prodej elektromobilů se zvyšují výrazným tempem, což významně ovlivní chemický průmysl. Dojde ke snížení počtu rafinérských zařízení pro výrobu pohonných hmot a na druhou stranu stoupne poptávka po inženýrských plastech. To bude znamenat nutnost změny výrobních sortimentů a také surovinové základny (využití zelených surovin a materiálových recyklací).

5.11. 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 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.

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.

Vytříděný 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 :

ASTM D7209-06 standardní definice	Ekvivalent ISO 15270 standardní definice	Jiné ekvivalentní termíny
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 vytřídění – semele se a používá na výrobu druhořadých nevhledných 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 známé 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 vytřídění 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 hexabromocyklohexanem). 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 přísah 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.

6. Závěr

Výroba plastů v primární formě je spolu s petrochemií důležitou součástí chemického průmyslu, který prochází změnami v oblasti surovin, udržitelnosti a regionální distribuce produkce. Plasty se používají v mnoha oblastech, jako jsou obaly, stavebnictví, automobilový průmysl, elektrotechnický průmysl, zemědělství a zdravotnictví. Očekává se, že celosvětově bude produkce plastů nadále růst až do roku 2050. Specifické směry vývoje výroby plastů budou ovlivněny současnými globálními trendy a výzvami udržitelného rozvoje.

V návaznosti na růst světové populace a pokračující trend urbanizace čelí globální společnost klíčovým výzvám v oblasti udržitelného modelu výroby a spotřeby, který nebude dále prohlubovat negativní vliv ekonomické aktivity na nevratné změny životního prostředí a klimatu. V této souvislosti je pro budoucí technologický rozvoj výroby plastů a plastikářský průmysl obecně zásadním tématem recyklace plastů a zohlednění environmentálních aspektů celého životního cyklu plastových výrobků. Nové směry výzkumu a technologického rozvoje se proto zaměří na alternativní primární zdroje pro výrobu plastů, proces jejich samotné výroby a zpracování, možné aplikace a recyklaci po skončení jejich životnosti. Mimořádným impulsem jsou rovněž regulace pro nakládání s odpady (zákaz skládkování) a globální požadavek na minimalizaci úniku škodlivých látek z plastů do moří.

Je nutné pracovat na vývoji nových materiálů pro použití v těch odvětvích plastů, která představují zásadní problémy. Součástí toho bude rozvoj dosud nedostatečně technicky využitého konceptu chemické recyklace, kdy se plasty rozkládají na základní složky a ty se znovu používají. To by umožnilo zásadně navýšit recyklovatelnost plastů, aniž by byly ohroženy jejich užitečné vlastnosti.

Znečištění odpadními plasty, které je patrné na souši i v oceánech po celém světě, je přímým důsledkem vysoké odolnosti současných plastových materiálů. Plasty jsou však nezbytné pro dosažení cílů udržitelného rozvoje OSN. Používají se například v lehkých dopravních prostředcích pro zvýšení účinnosti paliva, membránách na čištění vody, vysoce výkonné elektronice, k omezení plýtvání potravinami, účinné izolaci a v nezbytných lékařských zařízeních, jako jsou vaky, stříkačky a katétry.

Kromě environmentálních aspektů výroby a zpracování plastů bude výzkum a technologický vývoj podpořen také akcelerující digitalizací výrobních procesů a zaváděním nových procesů aditivní výroby do produkčního řetězce. To představuje významný impuls pro materiálový výzkum a inovativní způsoby zpracování plastů v průmyslové výrobě.

Nepřímý vliv na technologický rozvoj v plastikářském průmyslu lze spatřovat také ve vazbě na trend stárnutí populace (zejména v Evropě, severní Americe a dalších ekonomicky vyspělých oblastech) a s ním související nárůst požadavků na zdravotní péči. To vytváří příležitost pro technologický rozvoj speciálních plastů pro zdravotnické účely, které budou splňovat vysoké požadavky na čistotu a biokompatibilitu.

Důležitým cílem je dosažení stavu, kdy budoucí výrobky z plastů budou plně recyklované nebo v konečném důsledku rozložitelné. K dosažení tohoto cíle bude zásadní vyvíjet zásahy ke změně technologie, práva, sociální politiky, lidského chování a ekonomiky, stejně jako prototypování nových materiálů a produktů. Je nutné pro plasty zajistit budoucnost, která nebude mít negativní vliv na životní prostředí, aniž bychom ztratili mnoho výhod, které plasty poskytují.

Tato foresightová studie se pokusila popsat stěžejní 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 nastítnit 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.

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