



EVROPSKÁ UNIE
Evropský fond pro regionální rozvoj
OP Podnikání a inovace pro konkurenceschopnost



MINISTERSTVO
PRŮMYSLU A OBCHODU



TECHNOLOGICKÉ
CENTRUM AV ČR



ČESKA TECHNOLOGICKÁ
PLATFORMA PLASTY

Technologický foresight výroby a zpracování plastů v kontextu globálního vývoje

Zpracováno ve spolupráci Technologického centra AV ČR a České technologické platformy PLASTY v rámci projektu CZ.01.1.02/0.0/0.0/20_369/0024004 „Technologická platforma PLASTY IV“, podporovaného v rámci OP PIK, programu Spolupráce – Technologické platformy.

Aktualizace únor 2023

Obsah

Obsah	2
Úvod	4
1. Současné megatrendy ovlivňující naši budoucnost.....	5
1.1. Vazby mezi transformačními procesy, aplikačními sektory a technologickým vývojem ..	5
1.2. Klimatická změna a dostupnost zdrojů	6
1.3. Urbanizace	8
1.4. Změna center globální ekonomické síly.....	8
1.5. Demografické a sociální změny.....	9
1.6. Akcelerace technologických změn	9
2. Světový vývoj výroby a zpracování plastů v kontextu chemického průmyslu	11
3. Budoucí vývoj klíčových aplikačních sektorů pro plasty.....	13
3.1. Obaly	13
3.2. Stavebnictví.....	14
3.3. Automobilový průmysl.....	15
3.4. Elektronika	16
3.5. Zemědělství.....	16
3.6. Zdravotnictví	18
4. Budoucí technologie pro výrobu a využití plastů	20
4.1. Úvod	20
4.2. Využití obnovitelných zdrojů	21
4.3. Bioplasty a jejich technologie	22
4.4. Rozvoj vyspělých technologií a plastů se zvýšenou užitnou hodnotou	32
4.5. Plastové obaly	35
4.6. Nanokompozity.....	37

4.7. Materiály pro zdravotnictví	38
4.8. Oxo-biodegradovatelné plasty.....	40
4.9. Plasty se sníženou hořlavostí	41
4.10. Plasty pro dopravní prostředky.....	42
4.11. Recyklace.....	42
5. Závěr	45
Zdroje	47
Zkratky.....	48

Úvod

Tato studie byla zpracována v rámci projektu CZ.01.1.02/0.0/0.0/20_369/0024004 „Technologická platforma PLASTY IV“, podporovaného v rámci OP PIK, programu Spolupráce – Technologické platformy ve spolupráci České technologické platformy Plasty a Technologického centra AV ČR pro účely aktualizace Strategické výzkumné agendy a Implementačního akčního plánu ČTP Plasty.

Cílem studie je identifikovat a popsat hlavní globální megatrendy, které budou ovlivňovat vývoj společnosti v dlouhodobém horizontu (za horizont roku 2030). Současně se studie zaměřuje na popis vybraných vývojových trendů v hlavních aplikačních sektorech pro uplatnění plastů. Pochopení těchto hlavních transformačních procesů je důležitým předpokladem pro identifikaci současných a budoucích výzev technologického vývoje v oblasti výroby a zpracování plastů.

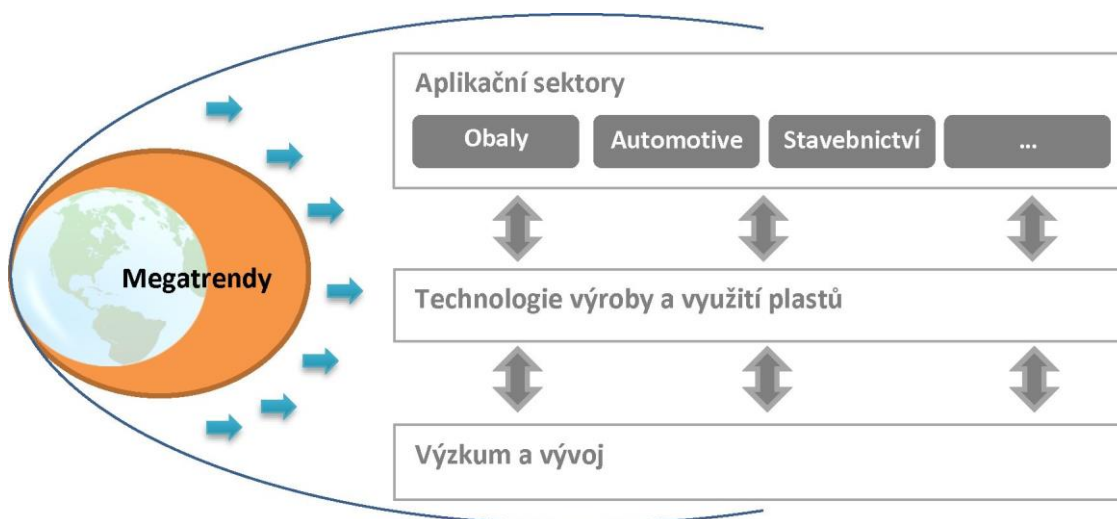
Struktura studie kopíruje proces uvažování od nejobecnějších globálních megatrendů, přes vývojové trendy v aplikačních sektorech po technologické výzvy, před které je odvětví výroby a zpracování plastů postaveno. V první části jsou proto stručně popsány klíčové transformační procesy (megatrendy), které jsou již nyní patrné, a které budou mít zásadní dopad na vývoj společnosti v následujících letech. V další části jsou popsány hlavní hybné síly segmentu výroby a zpracování plastů v kontextu vývoje chemického průmyslu. Třetí část je věnována vývojovým trendům a výhledu vývoje v nejvýznamnějších sektorech tvořících poptávku po plastech. Identifikace megatrendů a hlavních vývojových trendů v aplikačních sektorech je odrazovým můstkem pro určení klíčových budoucích technologických výzev, kterým bude potřeba věnovat pozornost. Tyto technologické výzvy jsou popsány ve čtvrté, závěrečné, části studie.

1. Současné megatrendy ovlivňující naši budoucnost

1.1. Vazby mezi transformačními procesy, aplikačními sektory a technologickým vývojem

Globální megatrendy (GMT) představují významné transformační procesy, které v dlouhodobém časovém horizontu ovlivňují organizaci společnosti a formují novou budoucí realitu na globální úrovni. Představují významný faktor pro strategické rozhodování a mohou být zásadním podnětem k přehodnocení současných forem řízení veřejné politiky, podnikatelských procesů i sociálních systémů. Poznání jejich zákonitostí a schopnost vyhodnotit jejich dopady jsou proto klíčové pro formulaci efektivních politik a dalších strategických dokumentů. Schopnost České republiky (ČR) ovlivnit vývoj globálních megatrendů je omezená, dopad globálních megatrendů na budoucí vývoj ČR je však významný. Proto je jejich vliv nutné zohlednit při přípravě strategických dokumentů na národní, regionální i sektorové úrovni. Viz obrázek 1.

Obrázek 1 Schéma vazeb mezi megatrendy, aplikačními sektory a technologickým vývojem



Zdroj: Technologické centrum AVČR

Na základě existujících studií renomovaných mezinárodních konzultantských společností a nadnárodních organizací (např. PwC, McKinsey či OECD) jsme identifikovali následující klíčové megatrendy, které je účelné zohlednit při tvorbě strategické výzkumné agendy České technologické platformy Plasty.

Situaci zkomplikovala pandemie COVID-19, a tak se stalo, že poprvé od roku 1950 došlo v roce 2020 k poklesu celosvětové produkce plastů o 0,3 % na 367 mil. t. Evropa se podílela 15 %, což představuje 55 mil. t. Spotřeba plastů v Evropě dosáhla 48 mil. tun, a to je o 5 % méně než v roce 2019. Po stagnaci výrob v roce 2020 se celosvětová výroba zvýšila na 390,7 mil. t. v roce 2021.

1.2. Klimatická změna a dostupnost zdrojů

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 uhlí¹.

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 vypočítala, 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

¹ Glasgow Climate Pact [online]. 2021 [cit. 2021-11-23], https://cs.wikipedia.org/wiki/Konference_OSN_o_zm%C4%9Bn%C4%9B_klimatu_2021_v_Glasgow#V%C3%BDstupy_konference

a cukr, jejichž rostoucí spotřeba bude mít obzvlášť významný dopad na dostupnost energie a vody. S růstem populace a ekonomické úrovně se do roku 2030 očekává zvýšení celosvětové poptávky po vodě o 40 % a energie o 50 %.

Blogger na www.icis.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 recyklaci 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. Přejít na alternativní výrobu energií a elektropohonu a vyšší využívání odpadních plastů způsobí pokles spotřeby ropy z necelých 100 mil. barelů/den v rekordním roce 2019 na pětinu v roce 2050 a současně dojde k odstavování nadbytečných rafinerií ropy. K třetinovému poklesu by mělo dojít i ve spotřebě zemního plynu.

Podle nejnovější 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 nerealizovatelné. 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.

1.3. Urbanizace

Zatímco v roce 1800 žilo ve městech pouze 2 % světové populace, v roce 1970 to bylo již 36 % a v roce 2010 více než polovina. V současné době vzroste celosvětově populace v městských aglomeracích každý týden přibližně o 1,5 milionu lidí. Pokračující trend urbanizace znamená, že do roku 2050 bude ve městech žít více než 70 % světové populace. To má samozřejmě významné důsledky nejen pro životní úroveň a kvalitu života ve městech, ale rychlá urbanizace klade rovněž zvýšené nároky na adaptabilitu a flexibilitu městských systémů. Obrovské nároky jsou kladeny především na infrastrukturu, služby, vytváření pracovních míst, klima a životní prostředí.

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.

1.4. 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. 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.

1.6. Akcelerace technologických změn

Současným trendem je neustále se zvyšující dynamika technologické změny, kdy se výrazně zkracuje doba od vývoje nových technologií k jejich uplatnění a obecnému rozšíření ve společnosti. Technologická změna má proto na rozvoj společnosti mnohem rychlejší dopad, než tomu bylo v minulosti. Mezi klíčové faktory současné dynamiky technologické změny patří levnější přístup k technologiím, globalizace technologie, zvýšený komfort života s technologiemi, konkurenční výhoda technologie, multiplikační efekt technologie.

Mezi rozhodující technologický trend, který bude zásadním způsobem ovlivňovat změny současných obchodních modelů i vzorců spotřebitelského chování patří digitalizace a automatizace spojené s uplatněním následujících klíčových technologií: umělá inteligence, rozšířená realita, virtuální realita, internet věcí, robotika, aditivní výroba, blockchain. Levné, spolehlivé, dostupné a hojně využívané senzory společně s téměř neomezenými kapacitami připojení umožní digitálně propojit celou řadu zařízení (Internet of

Everything), což se může projevit ve změně celé řady oblastí: zdravotní péče, letectví, doprava, výroba, domácí služby, vzdělání atp.

Univerzální konektivita vytváří rovněž významný potenciál pro rozvoj nových výrobních a obchodních modelů. Během uplynulého desetiletí mnoho firem investovalo do propojení všech aspektů svého výrobního procesu od návrhu a vývoje až po logistiku. Díky tomu jsou mnohem flexibilnější a adaptabilnější při řešení problémů spojených s výrobou a tím i nákladově efektivnější. Do budoucna lze očekávat další propojení a automatizaci výrobních procesů podél celého produkčního řetězce, což se v důsledku odrazí ve vyšší produktivitě a konkurenceschopnosti. Digitalizace výrobních procesů tedy představuje do budoucna zásadní aspekt fungování firem v jakémkoli odvětví a regionu světa.

Vedle toho, že technologické změny budou významně ovlivňovat výrobní procesy ve všech aplikačních oblastech pro výrobu a zpracování plastů a výrobní procesy v odvětví samotném, lze v nově nastupujících technologických trendech spatřovat také příležitost pro uplatnění nových materiálů. Zejména se jedná o nové materiály pro aditivní výrobu, kde se v blízké budoucnosti očekává rychlý rozvoj.

2. Světový vývoj výroby a zpracování plastů v kontextu chemického průmyslu

Podle posledních údajů evropského sdružení chemických výrobců CEFIC zaznamenal obrat chemických výrobků v roce 2020 výše 3,471 miliard Eur, přičemž dominantní postavení má s téměř 40 % Čína, následovaná severní Amerikou a EU (CEIFIC, 2022). Viz obrázek 2.

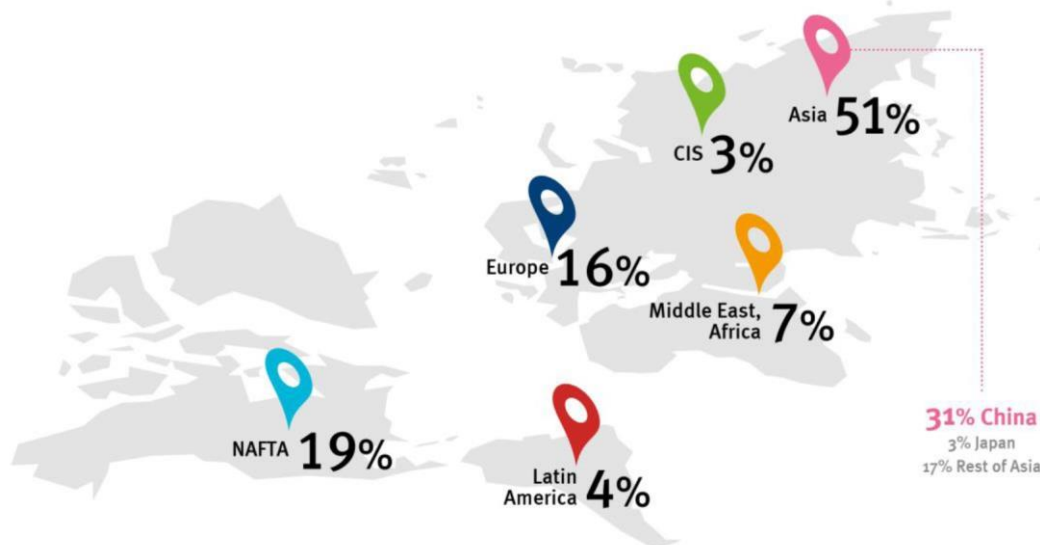
Obrázek 2 Regionální rozložení světového obratu produktů chemického průmyslu v roce 2020



Zdroj: CEFIC (2022)

Výroba plastů v primární formě je spolu s petrochemií integrální součástí chemického průmyslu. Ten zaznamenává nebývalé změny z hlediska surovinové báze, udržitelnosti, která je považována za další průmyslovou revoluci. Plasty hrají signifikantní roli v udržitelném rozvoji, když napomáhají rozvoji společnosti, přispívají k vyšší zaměstnanosti a mají ekologické přínosy. Přibližně 16 % aplikací plastů je natolik inovativních, že je nelze nahradit jinými materiály. Podle údajů z Plastics Europe vzrostla roční světová výroba plastů od roku 2005 z 230 mil. tun na 322 mil. tun v roce 2015 a dále na 368 mil. tun v roce 2019. V Evropě přitom výroba plastů v celém tomto období stagnuje (nebo dokonce mírně klesá) okolo 60 mil. tun s poklesem ze 61,8 mil. tun v roce 2018 na 57,9 mil. tun v roce 2019. Obdobně jako v případě celého chemického průmyslu, také ve výrobě a zpracování plastů má vedoucí postavení Čína, následovaná Severní Amerikou a Evropou. Viz obrázek 3.

Obrázek 3 Regionální rozložení světového obratu plastů v roce 2019

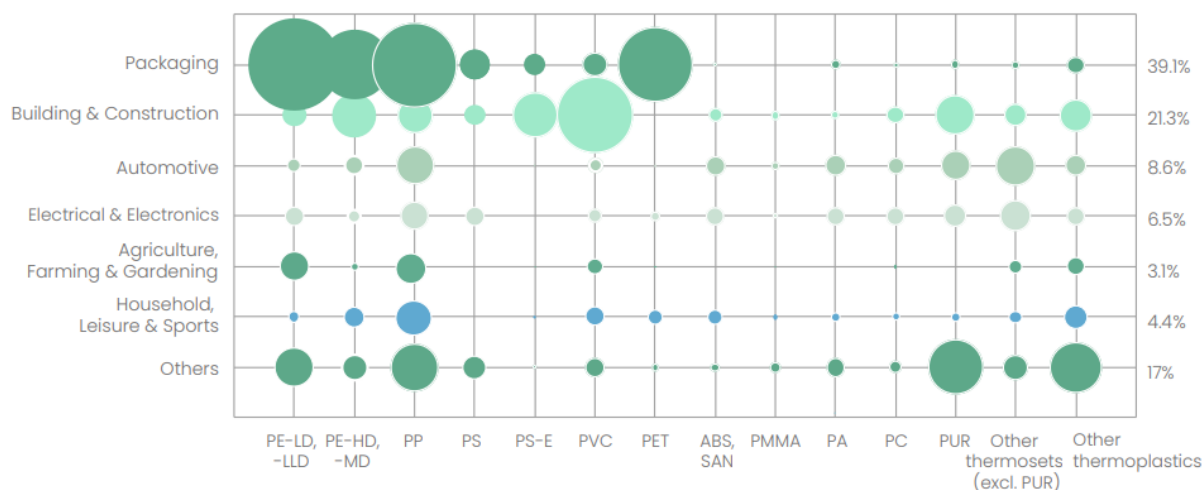


Zdroj: Plastics Europe (2020)

V roce 2020 bylo vyrobeno pouze 375,5 mil. t. plastů, přestože dřívější prognóza pro rok 2020 předpokládala nárůst objemu vyrobených plastů na 400 mil. tun. Po stagnaci způsobené pandemií se globální výroba plastů v roce 2021 opět zvýšila na 390,7 mil. t. V roce 2050 by se mělo jednat již o 700 mil. tun. Výroba plastů v Evropě byla v roce 2021 57,2 mil. tun.

Nejpoužívanější, tzv. komoditní plasty, tj. polyetylen (PE), polypropylen (PP), polyvinylchlorid (PVC), polystyreny (PS, EPS) a polyethylentereftalát (PET) se podílejí z 85 % na světové spotřebě plastů. Největší dynamika se očekává u EPS (5,1 %), PP a PET (oba 5,0 %). Spotřeba inženýrských plastů PC, ABS, PET, PBT, POM, fluoropolymery, má růst do roku 2026 průměrně o 7,4 % ročně. Viz obrázek 4.

Obrázek 4 Spotřeba plastů v Evropě podle segmentů a typu polymerů v roce 2021

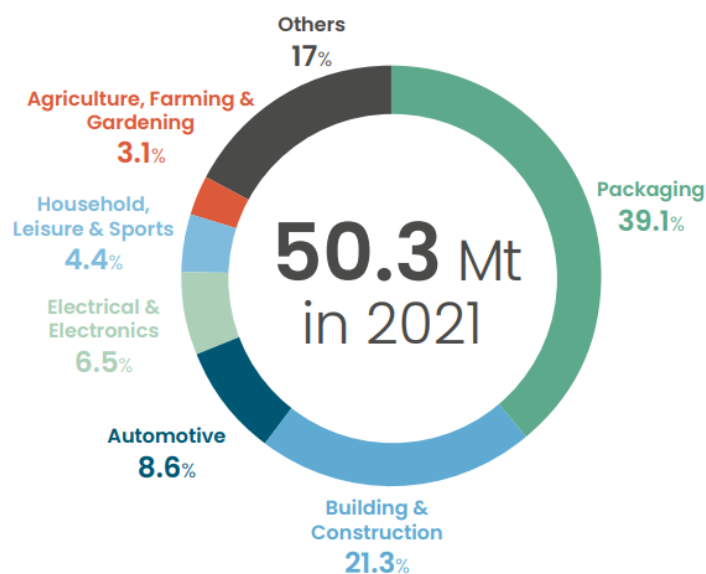


Zdroj Plastics Europe (2022)

3. Budoucí vývoj klíčových aplikačních sektorů pro plasty

Plasty jsou využívány v celé řadě lidských činností. Podle odhadu evropské obchodní asociace Plastics Europe dosahovala v roce 2020 celková spotřeba plastů v Evropě téměř 50 milionů tun. Mezi nejvýznamnější sektory přitom patří obaly (téměř 40 %), stavebnictví (téměř 20 %), automobilový průmysl (téměř 9 %), elektrotechnický průmysl a zemědělství. Z dalších sektorů významných pro uplatnění plastů lze zmínit také zdravotnictví, kde bude v souvislosti se stárnutím populace docházet k rozvoji speciálních zdravotnických pomůcek a materiálů. Viz obrázek 5.

Obrázek 5 Rozdělení produkce plastů v Evropě podle hlavních aplikačních sektorů v roce 2021



Zdroj: Plastics Europe 2022

3.1. 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).

Evropský obalový průmysl je největším konzumentem plastů s podílem 40,5 %. S ohledem na krátkodobou životnost těchto aplikací přispívají plastové obaly nejvíce k tvorbě odpadů. Jenom v roce 2020 vzniklo v EU 29,5 mil. tun plastových odpadů od spotřebitelů (z toho 16 % bylo exportováno mimo EU), z toho 34,6 % bylo recyklováno, v tom 0,2 % chemicky, 22,4 % bylo využito energeticky a 23,4 % skončilo na skládkách.

V ČR se v roce 2018 plastové obaly podílely 36 % na celkové spotřebě plastů ve výši 1,3 mil. tun. Z aplikovaných typů dominoval polypropylen s 42 % podílem, následovaly polyetyleny s 28,8 %, PET s 15,2 %, polystyreny, včetně EPS s 6,9 % a PVC s 0,6 %. Údajů Plastics Europe vyplývá, že v ČR bylo v roce 2020 zrecyklováno 38 % plastového odpadu, 22 % se energeticky využilo a 39 % skončilo na skládkách. V případě plastových obalů bylo v ČR opakovaně použito 55 % materiálů.

Přestože více než 50 % veškerého evropského zboží je baleno do plastů, plasty tvoří pouze 17 % celkové hmotnosti obalů na trhu. Navíc celková váha plastů v obalech se během posledních 10 let snížila o 28 %. Snížení váhy v obalech je důležitým faktorem, který přispívá ke snížení energie potřebné k přepravě výrobků, snížení emisí a snížení přepravních nákladů. Nižší váha obalů samozřejmě snižuje také množství vzniklého odpadu.

Pro spotřebitele budou plastové obaly nadále preferovány díky jasnému označení, snadné otevíratelnosti a použití. Již nyní umožňují plastové obaly integrovat tiskové RFID čipy na bázi vodivých polymerů a poskytovat cenné informace o kvalitě a stavu výrobků. Vedle důrazu na inovativní (inteligentní) obaly je důležitým faktorem ovlivňující využívání plastů v obalech také sílící tlak na biodegradabilitu. S tím souvisí i urgentní snaha o minimalizaci úniku polymerů plastů do vodních toků a následně do oceánů.

3.2. Stavebnictví

V nedávno zveřejněné publikaci „The Great Plastics Distruction“ uvádí autor De Armiste některé zajímavé údaje o plastech. Jestliže roční světová spotřeba materiálů dosáhla 90 miliard tun, z toho jsou tvořeny z 84 % materiály na bázi křemíku, včetně betonu, 9 % tvoří přírodní produkty, včetně dřeva, pak plasty tvoří pouhých 0,4 %. Pokud se týká komunálních odpadů, pak podíl plastů je ještě nižší - 0,3 %. Uvádí, že z LCA analýz vyplývá, že benefit z aplikací plastů je 9 až 15krát vyšší, než představují emise CO₂ z jejich výroby.

V ČR za rok 2020 bylo vykázáno 38,5 milionu tun odpadů, z toho se stavební a demoliční odpad podílel 58,5 %, komunální odpady 14,9 %. Na každého občana připadá necelých 3600 kg ze všech odpadů, což je méně než průměr EU. Na skládkách skončilo 10 % všech odpadů, 4 % bylo využito energeticky a 86 % materiálově. U komunálního odpadu dosáhl průměr na občana 536 kg, což je více než průměr za celou EU. Na skládkách vloni skončilo 48 % komunálních odpadů, materiálově bylo využito 39 % a energeticky 12 % těchto odpadů.

Podle údajů UNEP z roku 2015 potřebuje 40 % světové populace nové udržitelné domovy, když ve městech bude v roce 2050 žít o 2,5 miliardy lidí více. Jenom globální spotřeba izolantů budov má do roku 2027 růst každoročně o 4,7 %. V EU se staví ročně 1 % nových budov s vysokým energetickým standardem, celkem 36 % stávajících budov bude vyžadovat do roku 2030 zateplení stěn, střech a podlah. V ČR pro tyto účely pokračuje dotační program Nová zelená úsporám s alokovanou výší 39 miliard Kč do roku 2030.

Sektor stavebnictví spotřeboval v roce 2020 více než 9,6 milionu tun plastů, což představuje 20,4 % celkové spotřeby plastů v Evropě. Stavebnictví tak představuje druhý nejvýznamnější aplikační sektor pro plasty (po obalech). Stavební průmysl využívá plasty pro širokou škálu, jako jsou např. izolace, potrubí, okenní rámy a interiéry. 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.

Mezi klíčové výzvy pro stavebnictví patří zvýšení energetické efektivity staveb, snížení náročnosti stavebnictví na nové zdroje a důraz na využívání obnovitelných materiálů. Tyto nároky budou přenášeny také na dodavatele materiálů pro stavebnictví, včetně plastů. Z hlediska bezpečnosti staveb bude nadále vytvářen tlak na výrobce plastů ke zvýšení požární bezpečnosti plastů používaných ve stavebnictví.

3.3. Automobilový průmysl

Dalším významným sektorem pro využití plastů je automobilový průmysl. V automobilovém průmyslu jsou plasty oblíbeným materiálem zejména díky jejich pevnosti, lehkosti, odolnosti vůči nárazům či bezpečnosti při použití u záchranných prvků. S ohledem na trend snižování energetické náročnosti dopravy roste důraz výrobců automobilů na uplatnění lehkých a zároveň pevných plastů. Obdobně jako v případě stavebnictví je i zde kladen důraz na požární bezpečnost používaných plastů.

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.

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.

V žádném aplikačním segmentu plastů se nesetkávají plasty s tak příznivým uživatelským hodnocením jako v automobilech. Cení se především jejich příznivé vlastnosti při nízké hmotnosti, což u spalovacích automobilů vede k nižší spotřebě pohonných hmot.

Spotřeba plastů v automobilech na evropském trhu v roce 2019 se podílela 9,8 % na celkové spotřebě plastů. ČR vykázala v roce 2018 podle Plastics Europe téměř dvojnásobný podíl - 18,9 %. Nejpoužívanějším plastem je podle analýzy agentury ICIS polypropylen s 35 % podílem, následuje polyuretan s 19 %, polyamid s 11 % a ABS s 8 %. Více jak polovina spotřebovaných plastů je aplikována v interiérech, následují exteriéry, pod kapotou a v elektronice. Podle studie Markets and Markets spotřeba plastů v automobilech růst do roku 2026 průměrným ročním tempem 7,9 %, když pandemie způsobila v roce 2020 celosvětový pokles prodeje osobních automobilů o 15,9 %, v Evropě téměř o čtvrtinu.

Budoucím megatrendem je elektromobilita. Elektromobily způsobují o 40-50 % méně emisí CO₂ než spalovací auta. Ekologický přínos je závislý na energetickém mixu pro nabíjení baterií (uhlí, plyn, ropa, jádro, obnovitelné zdroje) v příslušném státu. Tyto automobily se skládají z méně součástí než auta se spalovacími motory. Nižší provozní teploty umožňují zvýšit podíl plastů, snížit počet jejich typů, snížit hmotnost dílů a vyšší využití plastů po skončení životnosti recyklováním.

Česká republika je významným producentem komponent pro automobilový průmysl. V letech mezi 2010 až 2019 se produkce zdvojnásobila na 686 miliard Kč, přičemž více než polovina se exportuje. Přibližně 88 % veškerého německého importu automobilových dílů v hodnotě 7 miliard euro pocházelo v roce 2018 od českých výrobců.

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 ekonomiku pro celou skupinu Renault. Bude zahrnovat čtyři vzájemně propojené aktivity:

- Renovace – repase, včetně výroby 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.

3.4. Elektronika

Plasty představují důležitý materiál využívaný v elektronice a elektrotechnickém průmyslu.

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.

3.5. Zemědělství

V zemědělství se využívá široká škála plastů, včetně polyolefinů, polyethylenu (PE), polypropylenu (PP),

kopolymeru ethylen-vinyl-acetátu (EVA), polyvinylchloridu a méně často polykarbonátu, a polymethylmetakrylát (PMMA). Mezi hlavní produkty plastů využívaných v zemědělství patří v současnosti skleníky (kde sklo je nahrazováno právě plasty), fólie pro zadržování vody, nádrže a zavlažovací systémy či 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 v souvislosti s postupujícím trendem klimatické změny, rostoucími nároky na dostupnost vody a omezení negativních dopadů vyprodukovaných odpadů na životní prostředí.

Zemědělství představuje jednoho z nejvýznamnějších přispěvatelů k dobrému zdraví, znečištění životního prostředí, dostatečné výživě a ekonomickému rozvoji. Zpočátku hnací silou pro rozvoj zemědělství na celém světě bylo zvýšení produktivity na jednotku plochy půdy využívané pro rostlinnou produkci a v průběhu let tohoto cíle bylo dosaženo prostřednictvím rozsáhlého používání hnojiv a pesticidů a využívání přírodních zdrojů, jako je půda a voda.

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. S rostoucími vědeckými poznatky se nové polymerní materiály ukazují jako silní a slibní kandidáti pro efektivní řešení některých těchto problémů. Polymery jsou třídou všestranných materiálů, které jsou hojně využívány v zemědělství, jelikož jejich vlastnosti jako např. struktura, funkčnost a biologická odbouratelnost mohou být přizpůsobeny pro konkrétní aplikace. V poslední době začal 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:

- (i) polymerní materiály umožňující řízenou dodávku agrochemikálií,
- (ii) super absorpční polymerní materiály umožňující využití vody,
- (iii) 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 je ještě dlouhá cesta. 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 provádí buď ve sklenících nebo v růstových komorách kvůli složitým a často náročným legislativním procesům v jednotlivých zemích.

Jedna 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 jen málo produktů dostupných na trhu. Jeden z hlavních faktorů ovlivňujících tento proces je nízká úroveň komercializace těchto materiálů.

Nicméně, stejně jako mnoho dalších nově vznikajících technologií, očekává se, že obojí společenské priority a národní politiky se změní. V tomto případě, je pravděpodobné, že se zvýší tlak na snížení

environmentálního dopadu zemědělství, a to může otevřít dveře pro nové, chytré produkty.

3.6. Zdravotnictví

Plasty jsou důležitým materiálem využívaným ve zdravotnictví především pro jednorázové aplikace (stříkačky, nitrožilní krevní vaky, srdeční chlopně atd.). Plasty jsou obzvláště vhodné pro zdravotnické aplikace díky svým výjimečným bariérovým vlastnostem, nízké hmotnosti, životnosti, průhlednosti a kompatibilitě s jinými materiály. S dalším rozvojem zdravotnictví lze očekávat rostoucí význam plastů v cévní chirurgii (např. katetry, umělé cévy a implantáty), v ortopedii (např. ortopedické pomůcky, protézy), v oftalmologii (např. umělé rohovky), v ORL (např. sluchové pomůcky), v stomatologii (např. zubní protézy a náhrady) a dalších oblastech zdravotnické péče.

Důležitou roli hrají plasty také ve farmacii, kde speciální polymery pro plastové kapsle umožňují přesné uvolňování účinných látek při léčbě. Perspektivní oblastí jsou rovněž nové kompozitní materiály s uhlíkovou či polymerní maticí vyztuženou uhlíkovými vlákny pro výrobu kostních a kloubních náhrad a kostních implantátů.

Globálně se zvyšující délka života bude do budoucna zvyšovat nároky na zdravotní péči a na speciální pomůcky pro zvýšení kvality života i v pokročilejším věku. Proto lze ze zdravotnictví do budoucna očekávat další impulsy pro vývoj speciálních plastů s výjimečnými užitnými vlastnostmi.

Plasty i nadále prospívají společnosti nesčetnými způsoby, i když se nedávna pozornost veřejnosti na plasty soustředila především na lidské zdraví a ochranu životního prostředí, včetně vlastností narušujících endokrinní systém a dlouhodobého znečištění. Výhody plastů jsou patrné zejména v lékařství a veřejném zdraví. 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.

Ne všechna současná použití plastů mohou být v budoucnu považována za obezřetná a udržitelná. A to jak z pohledu expozice člověka, tak i vzhledem k problémům vyplývajícím z velkého množství likvidovaných plastů a vyčerpání neobnovitelných ropných zdrojů v důsledku stále rostoucí masové výroby plastových spotřebních předmětů. Na příkladu zdravotnického sektoru se tento přehled soustředí na výhody a nevýhody plastů a příležitosti ke změně složení a postupů likvidace těchto neocenitelných polymerů pro udržitelnější budoucí spotřebu. Trvají snahy o postupné vyřazení potenciálně problematických látek ve zdravotnictví a potravinářském průmyslu a diskutuje se o biologicky rozložitelných možnostech plastových obalů, příležitostech pro snížení plastového lékařského odpadu a recyklaci ve zdravotnických zařízeních ve snaze získat maximum výhod z polymerů bez kompromisů pro lidské zdraví nebo životní prostředí.

Pokud se podíváme na různé typy plastů zdravotnických prostředků na dnešních trzích, vidíme několik kategorií.

- Chirurgické a lékařské přístrojové nástroje: Zahrnuje anesteziologické přístroje, ortopedické přístroje, optické diagnostické přístroje, krevní transfuzní přístroje, injekční stříkačky, hypodermické jehly a katetry.
- Chirurgické přístroje a pomůcky: umělé klouby a končetiny, stenty, ortopedické aparáty,

chirurgické obvazy, jednorázové chirurgické roušky, vodoléčebné přístroje, chirurgické soupravy, gumové lékařské a chirurgické rukavice a invalidní vozíky.

- Elektrolékařská zařízení: řada napájených zařízení, jako jsou kardiostimulátory, systémy pro sledování pacientů, přístroje MRI, diagnostická zobrazovací zařízení (včetně informačních zařízení) a ultrazvuková skenovací zařízení.
- Aplikace 3D tisku: protetické ruce, nohy a končetiny, 3D reprodukce mechanických částí těla, chirurgické nástroje a implantáty.
- Ozařovací přístroje: Rentgenové přístroje a další diagnostická zobrazovací zařízení, jakož i zařízení pro výpočetní tomografii.
- Stomatologické vybavení a potřeby: vybavení, nástroje a potřeby používané zubními lékaři, dentálními hygienistkami a laboratořemi. Mezi konkrétní produkty patří dentální ruční nástroje, sádky, vrtačky, amalgámy, cementy, sterilizátory a zubařská křesla.

Tyto aplikace 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. S novými technologiemi, výzkumem a aplikacemi, které vycházejí téměř každý týden, je na tomto trhu nyní i v budoucnu spousta optimismu a příležitostí k růstu.

4. Budoucí technologie pro výrobu a využití plastů

4.1. Úvod

V návaznosti na výše uvedené megatrendy a očekávaný vývoj v klíčových sektorech pro využití plastů byly identifikovány následující výzvy v oblasti technologického rozvoje, kterým je potřebné věnovat pozornost při směřování výzkumných a vývojových aktivit. Především jde o vývoj polymerních materiálů s vyšším obsahem know how, s novými funkcionalitami a o vývoj nových technologií, které budou dostatečně efektivní pro nové plasty s vlastnostmi šitými na míru a přátelské k životnímu prostředí při zohlednění celého životního cyklu výrobku od vstupů přes vlastní výrobu plastů, jejich zpracování a aplikace až po recyklaci výrobku se stále výraznějším zaměřením na ukončení životního cyklu těchto materiálů s ohledem na rostoucí důraz na ochranu životního prostředí včetně moří a zákaz jejich skládkování od roku 2030.

Činnost České technologické platformy PLASTY je zaměřena do pěti základních oblastí:

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

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

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

Neustálá miniaturizace elektronických součástek a zvyšování rychlosti signálu vyvolává potřebu nalezení materiálu s nízkým elektrickým odporem, vyšší elektrickou a tepelnou vodivostí. Právě mnohovrstevné 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 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 pohlčení 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 pestré škálu modifikací polymerů, které jsou povětšinou směřovány ke zlepšení jejich vlastností z hlediska fyzikálního pohledu. Jedná se především 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 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 exhalace.

4.2. 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 termochemického 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.

4.3. Bioplasty a jejich technologie

Bioplasty – definice a rozdělení

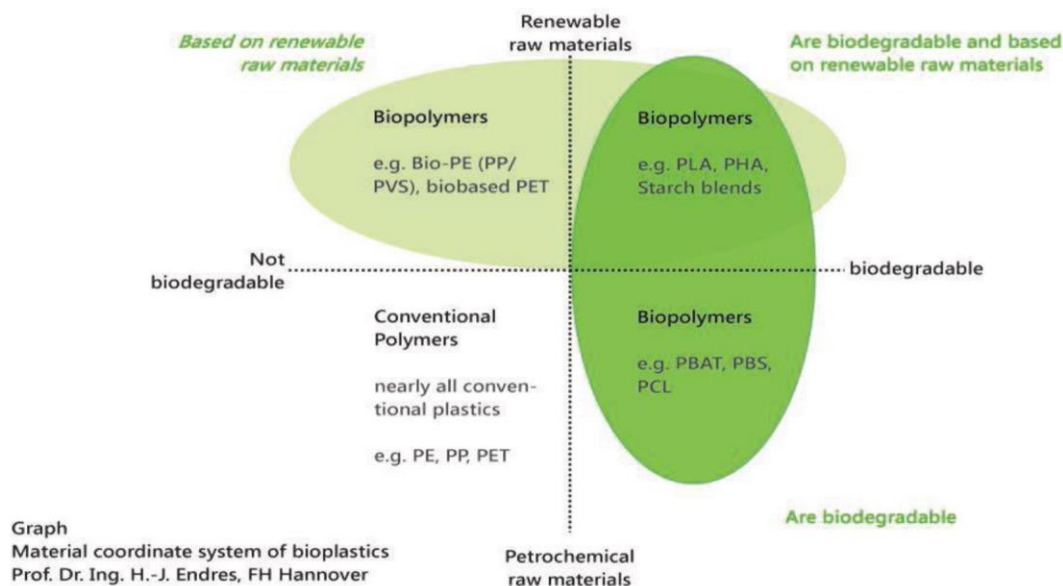
Výraz bioplasty zahrnuje celou rodinu materiálů, které jsou buď založeny na biomateriálech, nebo jsou biodegradovatelné, nebo obojí.

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

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

Organizace European Bioplastics Association (en.european-bioplastics.org) vypracovala pro ilustraci jednoduchý dvouosý model, který zahrnuje všechny typy plastů a jejich možné kombinace. Jak lze vidět na obrázku 6, plasty byly rozděleny do 4 charakteristických skupin. Horizontální osa znázorňuje biodegradovatelnost plastů. Vertikální osa ukazuje, zda je materiál odvozen z petrochemických surovin nebo z obnovitelných zdrojů. Niže je uvedena charakteristika každé skupiny.

Obrázek 6 Klasifikace plastů podle European Bioplastics



- Plasty, které nejsou biodegradovatelné a jsou vyrobeny z petrochemických surovin - tato kategorie zahrnuje klasické, tj. tradiční plasty (i když 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.

Bioplasty – Hlavní typy

Škroby z rostlin jsou potencionálně největším zdrojem pro výrobu bio-plastů. Tyto aplikace jsou rozvíjeny více než 20 let. Bio-plasty lze získat postupy:

- částečnou fermentací škrobu a následným smícháním se změkčovadly, kompatibilizátory a dalšími aditivy a extruzí na finální granule.
- destrukcí škrobu s plastifikátorem na jedno nebo dvoušnekových extruderech na termoplastické škroby (TPS) a eventuální modifikace v mixerech přidáním aditiv nebo fosilních plastů.
- chemickou destrukcí škrobu a následným smícháním s kompatibilizátory a plasty fosilního nebo biologického původu (podíl škrobu 30-80 %).

Výše uvedené blendy mohou nahradit klasické plasty zejména v obalech a v zemědělství (folie). Na trhu je jich přes 15 typů, většinou v biodegradovatelném provedení.

Kyselina polymléčná (PLA) je alifatický polyester. Průmyslově se vyrábí od roku 2003. Výchozí surovinou je cukr nebo škrob, který se konvertuje na cukr. Roztok cukru je fermentován mikroorganismy na dva izomery kyseliny mléčné, které se v druhém stupni chemicky polymerují na makromolekuly. Vlastní polymerace izomerů vede ke směsi 2 typů PLA, z něhož jeden má tepelnou odolnost 60 °C, druhý přes 100 °C. Vzájemné směsi plus přísady různých aditiv umožňují širokou škálu nových typů a aplikací. PLA je biodegradabilní, bezpečný pro potravinářské obaly, mísitelný s konkurenčními plasty a snadno zpracovatelný na stávajících zpracovatelských strojích – extruderech a vstřikovacích strojích. Seriálně se bádá na možnosti nahradit stávající 2. stupeň výroby za použití speciálních bakterií. Taktéž pěnový PLA, vyvinutý nizozemskou firmou Symbra – BioFoam umožňuje zlevnit výrobek díky jeho nízké objemové hmotnosti 25-35 kg/m³. Jako nadouvadlo se používá CO₂ místo pentanu, používaného u EPS, kapacita 5 tis. tun/rok. BASF vyrábí Ecovio

Foam – kombinace petrochemického, biodegradabilního Ecoflexu s Ecovio PLA z kukuřice nebo cukru. Produkt slouží jako pěnové folie pro podnosy na potraviny, ovoce a zeleninu. Předností PLA je možnost smíchání s komoditními i inženýrskými plasty jako je PS, PC nebo ABS a následné aplikace i v technických výrobcích.

Stejně jako PLA jsou polyhydroxyalkanoáty (PHA) alifatické polyestery, které se vyrábějí přímou fermentací odpadů z cukrovky a cukrové třtiny. Vlastnostmi se PHA blíží polypropylenu. Stejně jak o PLA lze PHA snadno zpracovávat vstřikováním, vytlačováním s hlavním aplikačním segmentem v obalovém průmyslu.

Velkou výzvou pro výše uvedené bioplasty je možnost jejich míchání s polypropylen karbonátem (PPC). Tento polymer je znám již 40 let a zajímavostí je, že se vyrábí z CO₂ dokonce přímo ze spalín z komínů cementáren a elektráren. Smícháním PPC se škroby nebo PLA nebo PHA se zlepšují zpracovatelské a uživatelské vlastnosti folií a výrobků, které jsou biodegradovatelné.

Biodegradabilní polyestery jsou polymery vyráběné z diolů z bio-báze a bio-kyseliny jantarové nebo adipové. Vznikají pak Polybutelensukcinát (PBT) nebo Polybutylenadipaterftalát (PBAT) nebo další kombinace. Posledně jmenovaný polymer vyrábí firma BASF z petrochemické báze pod názvem Exoflex a v blendu s PLA se objevuje na trhu pod označením Ecoflex.

Polyetylen tereftalát (PET) patří mezi plasty s nejvyšší dynamikou spotřeby za posledních 11 let, zejména díky rozvoji aplikací v lahvích. Americký koncern Coca-Cola prodává denně 1,6 miliardy lahví, z čehož je 55 % vyrobeno z PET. V posledních letech začal dodávat na trh lahve z částečného bio-PET. Vtip spočívá v tom, že PET se vyrábí polykondenzací monoethylenglykolu (MEG) a kyseliny tereftalové (PTA). První surovina má 30 % a druhá 70 % podíl na výsledném PET. V Brazílii se průmyslově vyrábí MEG z cukrové třtiny přes etanol a etylen. Výsledná láhev je plně mísitelná a recyklovatelná s klasickou PET, má podíl materiálu rostlinného původu 30 %. Plné zavedení dražších lahví z úplného bio-PET se očekává do 20 let.

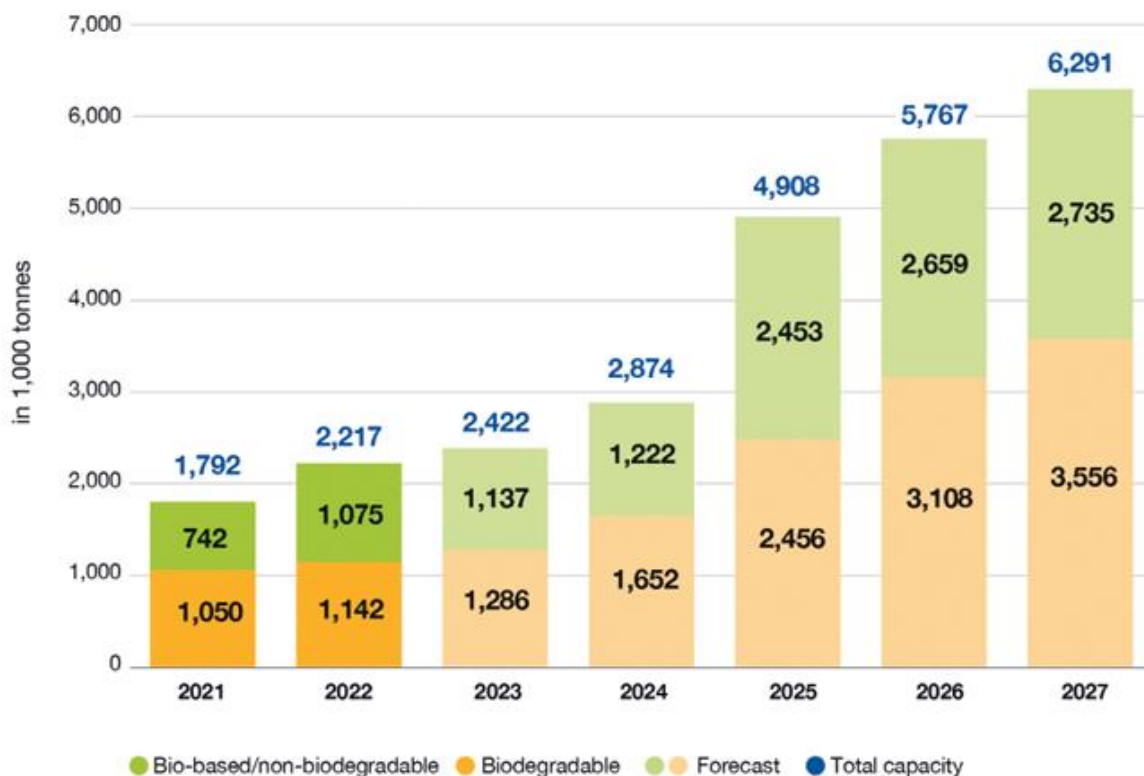
Celulóza má dlouhou historii při aplikacích i jako plast. Tyto polymery jsou vyráběny extrakcí nebo chemickou modifikací přírodní celulózy. Ze tří skupin polymerů na bázi celulózy má největší význam regenerovaná celulóza, z níž se vyrábějí celofán a umělá vlákna. Poprvé byl celofán aplikován jako obalová folie v roce 1924, v padesátých letech nastoupily folie z PE, dnes je patrný mírný návrat celofánu jako bio-plastu.

Polyamidy patří do kategorie inženýrských plastů se světovou spotřebou kolem 3 mil. tun. Ke klasickým produktům jako PA6, vyráběný polykondenzací kaprolaktamu, dále PA66, PA46, PA69 a další se na trhu objevil v roce 2002 produkt firmy Arkem bio-PA11, vyrobený z ricinového oleje. Další bio-typy PA jsou rozpracovány ve výzkumu. Výchozí surovinou je ricinový a řepkový olej. Totéž se týká výroby kaprolaktamu pro PA6 fermentací glukózy.

Výroba bioplastů a odhady dalšího vývoje

Bioplasty v současné době stále představují méně než jedno procento z více než 367 milionů tun plastů vyrobených ročně (World plastics production 2020, Plastics Europe, 2021). Na rozdíl od mírného poklesu celkové celosvětové produkce plastů však trh s bioplasty neustále pokračuje v růstu. Tento vývoj je poháněn rostoucí poptávkou v kombinaci se vznikem sofistikovanějších aplikací a produktů. Globální kapacita výroby bioplastů se má výrazně zvýšit z přibližně 2,2 milionu tun v roce 2022 na přibližně 6,3 milionu tun v roce 2027. Podíl bioplastů na celosvětové produkci plastů tak překračuje poprvé dvě procenta. Viz obrázek 7.

Obrázek 7 Globální výrobní kapacity bioplastů 2022-2027

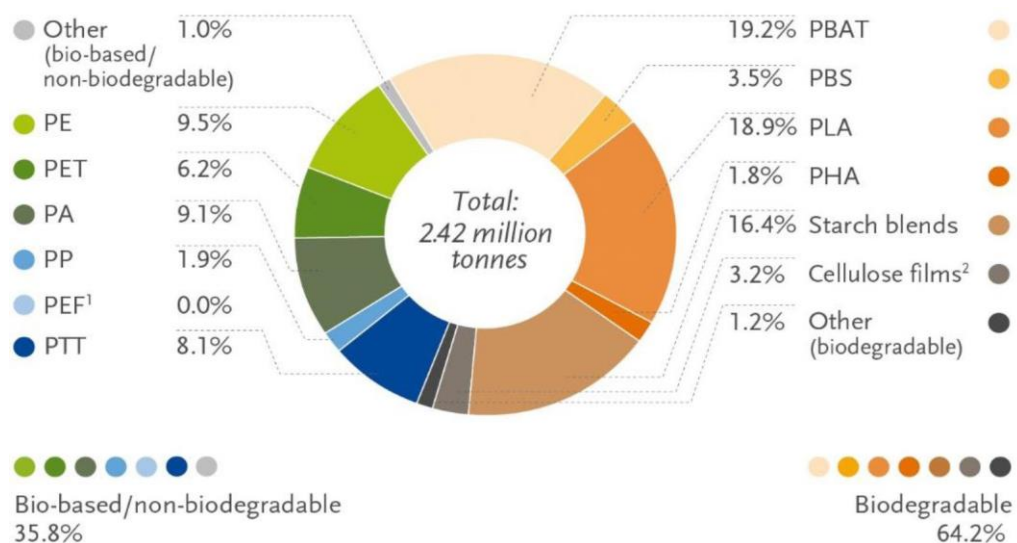


Produkce kyseliny polymléčné (PLA) bude také nadále růst díky dalším investicím do výrobních závodů PLA v Asii, USA a Evropě. Zvýšily se i výrobní kapacity polyolefinů na bio bázi, jako je PE (polyethylen) a PP (polypropylen). V současné době biodegradovatelné plasty dohromady, včetně PLA, PHA, škrobových směsí a dalších, představují více než 64 % (přes 1,5 milionu tun) celosvětových výrobních kapacit bioplastů. Očekává se, že výroba biodegradabilních plastů se v roce 2026 zvýší na téměř 5,3 milionu v důsledku silného rozvoje polymerů, jako je PBAT (polybutylen adipo-tereftalát), ale také PBS (polybutylen sukcinát) a PA (polyamidy), jakož i stálý růst polymléčné kyseliny (PLA).

Biologické, biologicky nerozložitelné plasty dohromady tvoří asi 36 % (více než 866 tisíc tun) celosvětových výrobních kapacit bioplastů. Patří mezi ně také řešení typu drop-in, jako je bio-based PE (polyethylen) a bio-based PET (polyethylentereftalát), stejně jako bio-based PA (polyamidy). Předpokládá se, že jejich podíl bude v roce 2026 dále klesat na lehce přes 30 %. V absolutních číslech se však výrobní kapacity pro biopolymery budou v příštích pěti letech stále zvyšovat na více než 2,3 milionu tun. Zatímco výrobní kapacity pro PET na biologické bázi nadále klesají, pozornost se přesunula na vývoj PEF (polyethylen furanoátu², nového polymeru, který by měl vstoupit na trh v roce 2023. PEF je srovnatelný s PET, ale je 100% založen na biologickém základě a uvádí se, že má vynikající bariérové a tepelné vlastnosti, díky čemuž je ideálním materiálem pro balení nápojů, potravin a nepotravinářských produktů. Globální výrobní kapacity bioplastů (podle druhu materiálu) v roce 2021 a očekávané hodnoty v roce 2026 viz obrázky 8 a 9.

² Přední nizozemská společnost pro udržitelnou chemii, Avantium, spolupracující s Coca-Colou, oznámila vývoj 100% rostlinné láhve vyrobené z PEF – polyethylen furanoátu, který se vyrábí z cukrů. Avantium říká, že jeho láhev je lepší než PET jako nádoba na colu a další produkty a úplně se rozloží za rok v kompostovacím zařízení a za pár let v přirozeném prostředí. "Je to skutečně materiál nové generace, který lidé hledali," řekl generální ředitel Avantium průmyslovému magazínu. Někteří skeptici však tvrdí, že Avantium musí zveřejnit specifiky svého tvrzení, než bude možné jeho technologii považovat za životaschopné řešení. A i když se tato technologie plastů ukáže být tak přínosná, jak společnost tvrdí, společnost by musela rozšířit výrobu, aby nahradila PET, což by trvalo roky.

Obrázek 8 Globální výrobní kapacity bioplastů 2021 (podle druhu materiálu)

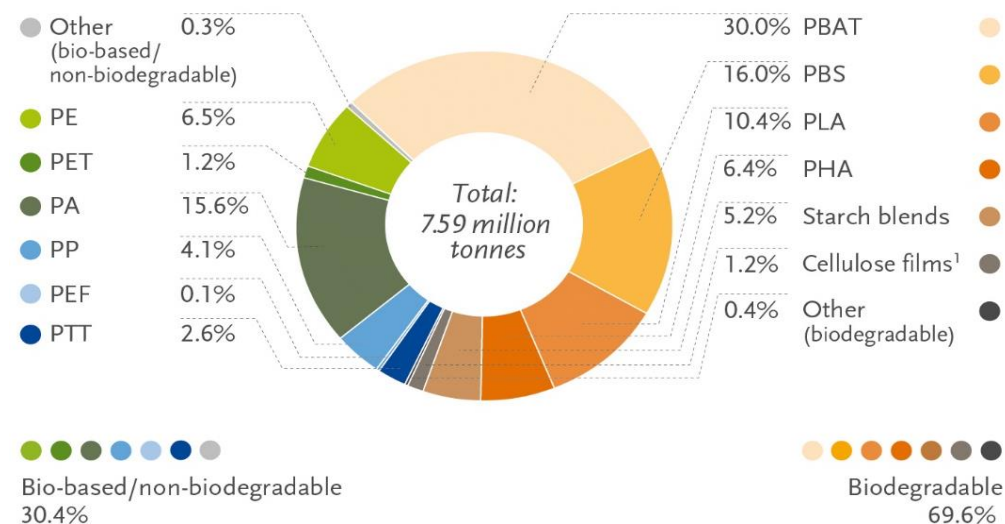


¹PEF is currently in development and predicted to be available at commercial scale in 2023. ² Regenerated cellulose films

Source: European Bioplastics, nova-Institute (2021)

More information: www.european-bioplastics.org/market and www.bio-based.eu/markets

Obrázek 9 Globální výrobní kapacity bioplastů 2026 (podle druhu materiálu)



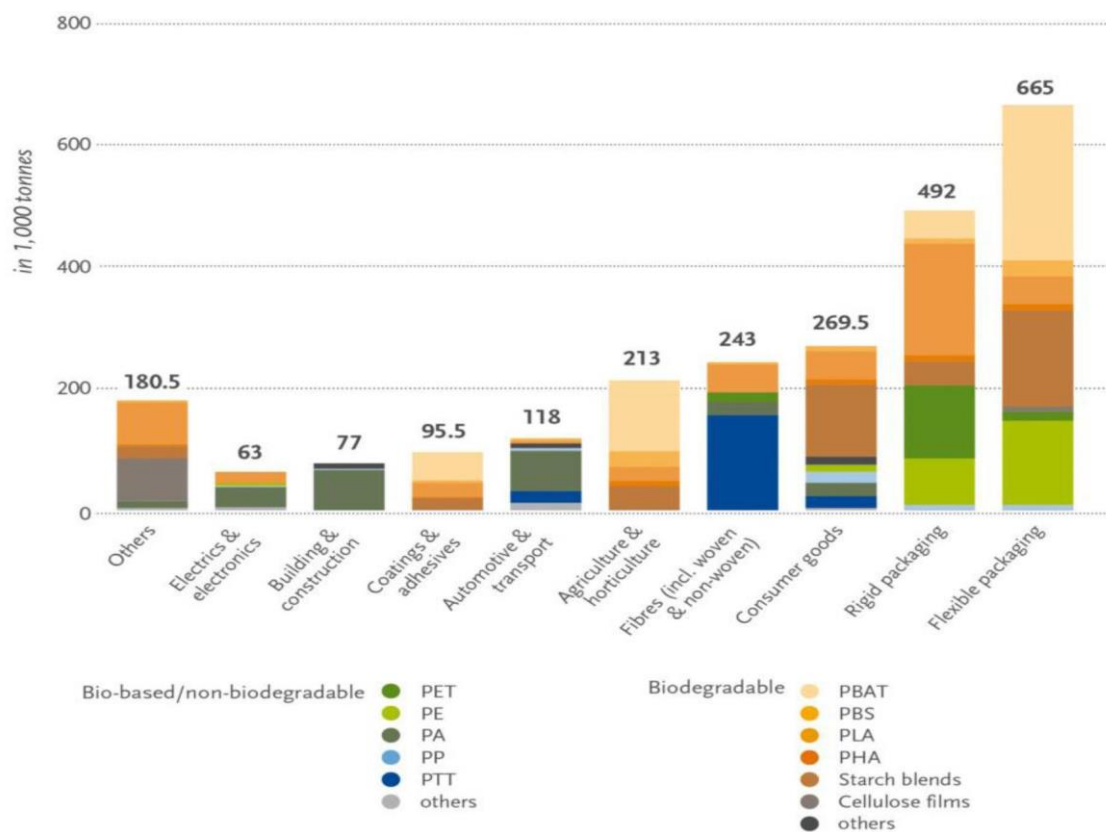
¹ Regenerated cellulose films

Source: European Bioplastics, nova-Institute (2021)

More information: www.european-bioplastics.org/market and www.bio-based.eu/markets

Bioplasty se používají pro stále více různých aplikací, od balení až po produkty pro elektroniku, automobilový průmysl a textilní průmysl. Obaly však nadále zůstávají největším segmentem trhu bioplastů se 48 % (1,15 milionu tun) z celkového trhu s bioplasty v roce 2021. Viz obrázek 10.

Obrázek 10 Globální výrobní kapacity bioplastů 2021 (podle segmentů trhu)

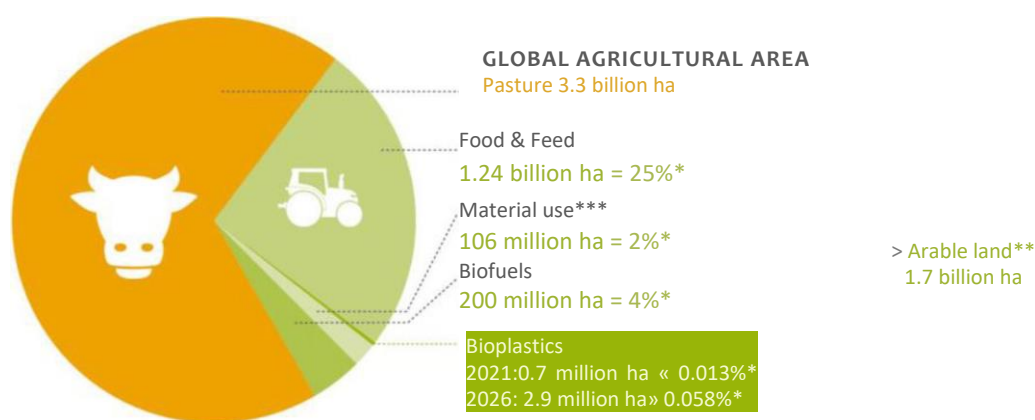


Source: European Bioplastics, nova-Institute (2021). More information: www.european-bioplastics.org/market and www.bio-based.eu/markets

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 procenta 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 11.

Obrázek 11 Odhad využití půdy pro bioplasty v letech 2021 a 2026



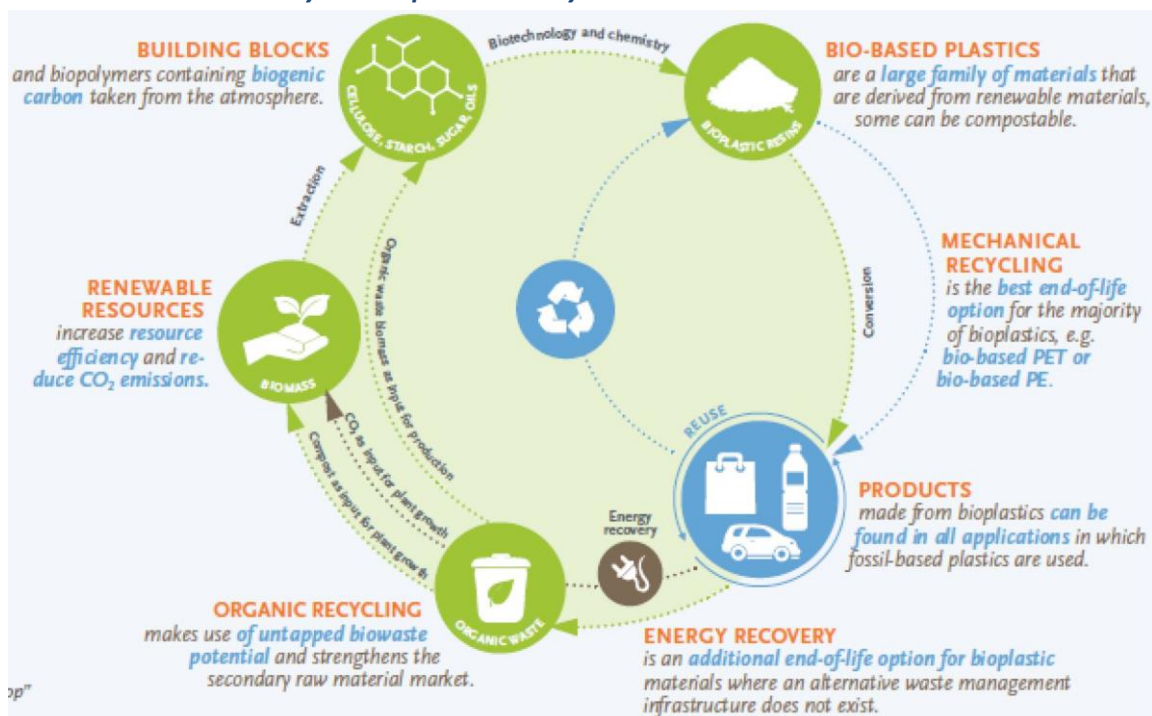
Source: Source: European Bioplastics (2021), FAO Stats (2020), noua-Institute (2021), and Institute ^{4m} for Bioplastics and Biocomposites (2019), University of Virginia (2016). Info: www.european-bioplastics.org

bhpUnna » pan aftha 2% mauaol al.

Budou opravdu bioplasty tak přínosné pro budoucnost?

Ideální životní cyklus bioplastového výrobku je znázorněn na obrázku 12.

Obrázek 12 Ideální životní cyklus bioplastového výrobku



Příkladem využití bioplastů 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 jejich 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. Dvouletá studie nazvaná Breaking the Plastic Wave od Pew Charitable Trusts a SYSTEMIQ zjistila, že navzdory úsilí průmyslu, vlád i nevládních organizací se problém plastů v prostředí zhoršuje.

Nedávná studie v časopise Science, jejímiž autory jsou výzkumníci související se zprávou Pew, 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, mohlo by se množství nevyužitého plastového odpadu 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, zpravidla 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 polymlečnou, která se vyrábí z cukru nacházejícího se v plodinách, jako je kukuřice a cukrová třtina. PLA představuje desetinu ceny PHA, a proto se více používá pro jednorázové přístroje a různé obaly. PHA se používá jako povlak na vnitřní straně papírových kelímků a lékařských aplikací.

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

Zatímco oba bioplasty, které se nyní používají, mohou být mikroorganismy rozloženy a během krátké doby se znovu stanou součástí přírodního světa, stane se to pouze tehdy, pokud je plast sbírán a kompostován v pečlivě kontrolovaných průmyslových kompostovacích zařízeních s vysokou teplotou — a těch není mnoho, zvláště v rozvojových zemích, kde je problém znečištění plasty nejvážnější. Pokud bioplasty skončí na skládkách, jak to mnozí dělají, bez dostatečného množství kyslíku k jejich rozkladu, mohou vydržet staletí a uvolňovat metan, silný skleníkový plyn. Pokud jsou vyhozeny do životního prostředí, představují hrozbu podobnou PET plasty. Bioplasty tedy mohou být falešným řešením, pokud 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 znečišťující 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 % plastových odpadů, které jsou dopravovány řekami do světových oceánů, pochází z 10 řek v Asii a Africe.

Směrnice pro jednorázově používané plasty

I když Směrnice (EU 2019/904) o snižování dopadu některých plastových výrobků na životní prostředí, známější jako Směrnice o plastech na jedno použití neboli SUPD, byla schválena v červnu 2019 a vstoupila v platnost dne 3. července 2021, ještě ne všechny členské státy EU směrnici implementovaly. Nelze z toho vinit jen tyto státy, protože ze strany EU došlo ke značnému zpoždění v poskytování potřebných dokumentů. Výsledkem je neharmonizovaný stav v EU, což vede k nejasnostem v rámci odvětví a k ohrožení fungování vnitřního trhu EU.

Nejvýraznějšími rysy SUPD jsou jistě zákazy několika jednorázových plastových předmětů, které se nejčastěji nacházejí na plážích, včetně:

- Vratné tyčinky, kromě těch pro lékařské použití
- Přístroje (vidličky, nože, lžíce, hůlky)

- Talíře
- Brčka, s výjimkou brčka pro lékařské použití
- Míchadla na nápoje
- Balónové tyče
- Expandované polystyrenové (EPS) nádoby na potraviny, plastové nádoby na nápoje a kelímky

Vzhledem k tomu, že tato omezení produktů ponechávají členským státům malý prostor pro odchylky, v několika zemích již platí. Produkty, které jsou již na trhu, však mohou být prodávány nebo distribuovány i po 3. červenci 2021 bez jakéhokoli termínu. To je důvod, proč stále nacházíme plastová brčka v našich nápojích nebo jídla s sebou v krabicích z EPS, a to i v členských státech, kde již omezení platí.

Méně přísné nařízení je uvedeno v článku 4 o snižování spotřeby. Členské státy přijmou opatření ke snížení spotřeby plastových kelímků a nádob na potraviny na jedno použití. Tato opatření dosáhnou „měřitelného kvantitativního snížení“ do roku 2026 ve srovnání s rokem 2022. Opatření mohou zahrnovat vnitrostátní cíle snížení spotřeby, podporu opakovaně použitelných alternativ nebo marketingová omezení. Členské státy budou muset opatření oznámit EU a podat zprávu o jejich dodržování. Stále chybí slibné – a zejména nadnárodní – příklady k dosažení těchto cílů na úrovni členských států.

Prováděcí nařízení Komise o požadavcích na označování také nebylo přijato s velkým nadšením velkou částí průmyslu, když bylo zveřejněno v prosinci 2020. Vyžaduje tisk piktogramů umírajících želv na hygienické vložky, tampony a aplikátory a také na vlhčené ubrousky, tabákové výrobky a kelímky na nápoje, pokud obsahují plasty. Co Komise považuje za „plast“, se však s jistotou dalo vědět až od 31. května 2021, kdy byla definice oficiálně zveřejněna v pokynech. Díky tomu byla pravidla ještě více matoucí: Pokud produkt obsahuje PHA nebo PLA, je potřeba logo. Pokud obsahuje lyocell, není potřeba žádné logo. Důvodem je, že viskóza a lyocell jsou považovány za přírodní polymery, které nebyly chemicky modifikovány, zatímco PHA je považován za přírodní polymer, který byl chemicky modifikován, a proto je definován jako plast.

Zejména označování kelímků mělo za následek negativní odezvu v obalovém průmyslu. Některé z hlavních stížností jsou, že kelímky by nebyly pod nejméně zaneřádněnými předměty na plážích a že štítek nedává žádné doporučení o možnostech likvidace nebo recyklace. Kritiku podporuje i EUBP, protože etikety nerozlišují mezi konvenčními a biodegradabilními/kompostovatelnými plasty, ani nedávají doporučení pro jejich likvidaci, tedy organickou recyklaci.

Zásadní však je, že SUPD konečně obsahuje zákaz výrobků vyrobených z oxo-degradovatelných plastů. Ty jsou definovány jako „plastové materiály, které obsahují přísady, které prostřednictvím oxidace vedou k fragmentaci plastového materiálu na mikrofragmenty nebo k chemickému rozkladu“. Oxo- rozložitelné plasty se však ve skutečnosti biologicky nerozkládají a členské státy zakáží jejich uvádění na trh.

Specifický dopad SUPD na průmysl bioplastů

Celá směrnice nerozlišuje mezi konvenčními plasty, bioplasty nebo biodegradabilními a kompostovatelnými plasty.

Komise EU ve svém dokumentu s pokyny a v odpovídající části otázek a odpovědí objasňuje, že biologicky rozložitelné/kompostovatelné plasty i plasty na biologické bázi jsou považovány za plasty, a spadají tedy do působnosti směrnice SUPD. To znamená, že např. jsou zakázány talíře vyrobené z kompostovatelných plastů a zakázány jsou také talíře vyrobené z papíru nebo lepenky s (biologicky rozložitelným a kompostovatelným) plastovým povlakem. Opakovaně použitelné talíře nebo talíře vyrobené z papíru/kartonu nebo bagasy bez plastu jsou stále povoleny.

Některé členské státy však uplatňují pozitivnější výklad evropského nařízení. Uznávají výhody biodegradovatelných a kompostovatelných plastů a vypracovaly řadu slibných právních dokumentů. Např. Itálie na jedné straně transponuje základní omezení SUPD, ale na druhé straně ze zákazů vylučuje kompostovatelné plasty. Kompostovatelné plasty s certifikací EN 13432 s definovaným biologickým obsahem mohou být uváděny na trh za předpokladu, že není možné používat opakovaně použitelné alternativy k předmětům přicházejícím do styku s potravinami.

V poslední době jsou bioplasty jedním z nejinnovativnějších materiálů, které jsou často biologicky rozložitelné a jsou vyrobeny z odpadu, biomasy a obnovitelných zdrojů, jako je jackfruit, odpadní banánové slupky, organický odpad, zemědělský odpad, novinový odpad, prázdný trs palmy, cukrová třtina, kukuřičný škrob, bramborový škrob, rýžová sláma, řepkový olej, rostlinný olej, celulóza z rostlin, škrobu, bavlny, bakterií a někdy z několika nanočástic, jako jsou sacharidové řetězce (polysacharidy).

Velké chemické firmy investují značné prostředky do výzkumu, vývoje a nových technologií z přírodních zdrojů. Po bioplastech 1. generace (samostatné produkty), nastoupila 2. generace, která využívá směsi (blends) bioplastů vzájemně, s aditivami, ale i s konvenčními fosilními plasty. Cílem je využít dosavadních technologií zpracování plastů, snížit uhlíkovou stopu výrobků a přitom pro účely výroby bioplastů maximálně omezit využití potenciálních zdrojů potravy. Mikrobiologové spolu s chemiky uvažují o bioplastech 3. generace, které by měly vzejít z využití řas a odpadních produktů. Je zřejmé, že vývoj a průmyslové aplikace výroby a zpracování bioplastů budou v dalších letech významně posilovat.

Ruku v ruce s vývojem nových biodegradovatelných bioplastů a technologií jejich výroby by tak musí být pozornost stejně zaměřena i na výzkum podmínek jejich odbourání po skončení jejich životnosti, tedy na stanovení správného postupu nakládání s nimi jako s odpady. Přitom je potřeba rozvinout nástroje informování odpovědných úřadů, firem zabývajících se zpracováním plastových odpadů i široké veřejnosti o zvláštních způsobech recyklace a nakládání s odpady na bázi bioplastů. Možné environmentální problémy a dopady bioplastů ještě nebyly zcela prozkoumány a pochopeny. Proto je zapotřebí další studie k překonání omezených dostupných zdrojů, zvýšení účinnosti zdrojů a omezení problémů životního prostředí. Navíc některé bioplasty modifikované z bakteriálního polymeru PLA jsou biologicky odbouratelné pouze za určitých podmínek teploty a vlhkosti, protože vlastnosti těchto materiálů jsou pouze zafixovány na rozložitelnost. Toto omezení musí být překonáno, aby bylo zajištěno, že bioplasty mohou být degradovány v jakémkoli stavu na skládkách.

4.4. 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), polyethylentereftalát (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 užité 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), polyfenylensulfid (PPS) nebo polyfenylensulfon (PPSU), a jiné, které se vyznačují aromatickými jádry či polycyklickými skupinami v hlavním polymerním řetězci.

Do tohoto dělení se postupně zařazují i nové plasty založené na surovinách z biologických obnovitelných zdrojů, ať už biodegradabilní, kompostovatelné či nikoliv. Je nutno konstatovat, že materiály na bázi obnovitelných zdrojů (škrobů, cukrů apod.) aktuálně představují spíše alternativu ke komoditním plastům, případně některým typům inženýrských plastů, jako je PET. Nicméně se očekává, že s dalším stupněm poznání a technologickým rozvojem budou jejich aplikační možnosti jistě narůstat.

Vlastnosti polymerů jsou určeny následujícími parametry:

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

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

Tyto postupy jsou známy a užívané po celou dobu existence výroby a zpracování plastů. Lze ale očekávat, že vzhledem k výzvám a nárokům na plasty v různých aplikacích, jak bylo identifikováno v kapitole 3, bude vývoj nových technologií polymerace, nových typů monomerů, polymerů s řízenou mikrostrukturou, molekulární a nadmolekulární strukturou, s funkčními skupinami, nových aditiv, postupů jejich kompaundace a zpracování i nadále 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 měkčeného PVC).

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

Implementace moderní kontroly potravin a smart obalů umožní lepší management skladování potravin a současně umožní zákazníkům prokazatelně určit kvalitu výrobků. Smart obaly budou fungovat nejenom jako ochrana proti znečištění a proti oxidaci, ale budou fungovat současně jako senzory kvality, což je efektivnější než udávání doby 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 měďného 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, neutrin 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 nanoplniv 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 environmetálních cílů. Pro navazující strategickou výzkumnou agendu je třeba identifikovat a definovat vhodné rozvojové trendy v rámci ČR.

4.5. 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.

1 když se mnozí mohou domnívat, že změna klimatu může vést k významným změnám v oblasti obalů, plasty mohou mít také dobrou pozici, aby přispěly pozitivními způsoby. Je to proto, že dopady životního cyklu mnoha plastů jsou již velmi dobré ve srovnání s jinými materiály. Zatímco snižování skleníkových plynů je samozřejmě v centru pozornosti, a to jak při výrobě, tak při následné recyklaci, plasty mají tendenci dobře bodovat proti kovu, sklu a dokonce i papíru. Jednou z hlavních výzev pro plasty je opustit současnou závislost na fosilních zdrojích (většina plastů se vyrábí z ropy) a stále více záviset na obnovitelných surovinách, jako jsou recyklované nebo biologické zdroje.

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

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

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

1. Life Cycle Assessment

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

2. Motivace spotřebitelů

Jak již bylo zmíněno, nejinnovativnější 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.

4.6. 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 matici. 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 matici 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 nanoplniv 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 i hlediska konečné aplikace takového materiálu. Vyvinuté nanokompozity naleznou uplatnění zejména při zvyšování kvality plastových, gumárenských a dalších polymerních výrobků.

Stále více se budou používat nanomateriály v otěruvzdorných a korozivzdorných 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 pamětí. 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.

4.7. 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 nejsnáze používaných materiálů, kterým důvěřují zdravotníci po celém světě.

Ultra-vysokomolekulárnípolyetylén (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, obrobitelnost a schopnost 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.

Polyfenylensulfid (PPS) je vysokoteplotní termoplastický polymer, který je velmi chemicky odolný s úžasnou mechanickou pevností i při teplotách nad 200 °C (392 °F), s nízkou náchylností k tečení. 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.

4.8. Oxo-biodegradovatelné plasty

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

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

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

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

Diskuse kolem skutečné biodegradovatelnosti oxo-biodegradovatelných plastů se táhne již řadu let. Existují mezinárodní standardy, např. ASTM D-6954-18 nebo BS8492, podle kterých se biodegradovatelnost těchto plastů hodnotí. Výrobci, např. Wells Plastics, dodává pro svá aditiva certifikáty, které biodegradovatelnost vybraných plastů s aditivou potvrzují. Výrobci upozorňují, že jejich aditiva skutečně zajišťují oxo-biodegradovatelnost, tedy, že rozklad plastu probíhá ve dvou krocích – oxidací v přítomnosti aditiva se rozštěpí polymerní řetězce na krátké úseky, které obsahují oxidované funkční skupiny, a tyto jsou v druhém kroku schopny podlehnout běžným biodegradacním procesům. Přitom se nemají tvořit nebezpečné mikroplasty. Nejedná se tedy o oxo-degradovatelné materiály, které pouze podléhají prvnímu oxodegradacnímu 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.

4.9. Plasty se sníženou hořlavostí

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. Hodnocení hořlavosti materiálů podle nových norem se provádí metodami, které se poměrně značně liší od stávajících testů. Nové normy zohledňují konečnou aplikaci výrobku, tzn. tvar, rozměry a četnost výskytu na určitou plochu při konečné aplikaci v praxi. Dále jsou tyto normy zaměřeny na sledování parametrů, které popisují proces hoření a které ovlivňují chování materiálů během požáru. Zcela specifický je požadavek na sníženou hořlavost a současně zvýšenou UV-stabilitu (např. u PP matrice) pro aplikace plastů ve venkovním prostředí.

Možných technologií pro výrobu plastových dílů je celá řada. Další rozvoj se bude orientovat na speciální typy a na různé kompozity (nanokompozity, plněné směsi, vodivé kompozity apod.). U polymerních směsí jsou zaznamenány vývojové trendy u následujících kombinací: PS/PE, PS/PP, PS/PETF, PS/Silicon, PS/PC a PS/TPE.

V oblasti polyolefinů lze zaznamenat trendy:

- a) napěňovací technologie (uhlovodíky, nověji N₂, CO₂), aplikace využívající lehčené /napěňované PE, PP (z 950 g/l až na cca 20 g/l), obalové rohože, krycí folie, tvarovky, výplně (např. auta),
- b) použití metallocenových katalyzátorů pro nastavení požadovaných vlastností,
- c) kopolymery hexen, okten, terpolymery, norbornen. typu s použitím metallocenových katalyzátorů.

Eviduje se rostoucí poptávka po zařízeních, jako jsou vícedutinové a neurologické katetry, které vyžadují velmi tenké stěny a inovační design. Zaznamenáváme nárůst začínajících firem v oboru lékařských trubic, způsobený pokrokem v materiálové sféře a požadavky na méně invazivní zákroky. K tomu všemu se přidaly inovační metody k začlenění biologických činidel do trubic. Pro výrobu lékařských hadiček se používají hlavně PVC a TPE (termoplastické elastomery), olefiny (PP a PE), uretany, polyamidy (PA), fluoropolymery (FEP a PTFE) a silikon. Silikonové trubičky se používají např. pro peristaltická čerpadla, chirurgické drenáže, katetry a intravenózní dodávku léků.

Budovy celosvětově spotřebovávají 40 % energie a produkují více než třetinu skleníkových plynů. Úsilí o udržitelné budovy vede k realizaci zateplování aplikací izolantů. Tento segment trhu má zaznamenávat průměrný roční růst 8,2 %. Týká se EPS, XPS, PUR, PE, PP a PVC.

Ke snížení hořlavosti se od roku 1960 průmyslově používal hexabromcyklododekan (HBCDD). V roce 2011 zařadila ECHA HBCDD do přílohy XIV s tím, že po udělení výjimky mohl být HBCDD používán nejdéle do roku 2017. Staré ekologické zátěže z demolic lze likvidovat pouze spalováním nebo technologií PolystyreneLoop (fyzikálně-chemická technologie). Nová technologie byla uvedena do provozu v roce 2022 v nizozemském Terneuzenu. Na financování výstavby technologie se podíleli výrobci a zpracovatelé expandovatelného polystyrenu, včetně ČR. Jako náhrada byl vyvinut a je používán vysoce molekulární bromovaný retardér hoření Polymeric FR, nicméně v budoucnu lze očekávat ataky ekologů proti bromovaným retardérům hoření všeobecně.

4.10. 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. Vybíjí se nové aplikace komoditních plastů (PP) s přídavkem 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).

4.11. Recyklace

Zelená dohoda EU cílí na vyšší podíly recyklátů ve výrobcích z plastů. Evropská chemická asociace Cefic usiluje, aby EU uznala chemickou recyklaci (zahrnující procesy jako jsou solvolýza, depolymerace, pyrolýza a zplyňování) jako plnohodnotný proces materiálové recyklace vhodně doplňující možnosti mechanické recyklace.

Z globálního hlediska jsou Evropa a USA předními inovátory v oblasti recyklace plastů a alternativních technologií plastů, uvedla to nová studie s názvem „Patenty pro plasty zítřka: Globální inovační trendy v recyklaci, kruhovém designu a alternativních zdrojích“, kterou zveřejnil Evropský patentový úřad (EPO). Evropa a USA představovaly v letech 2010 až 2019 celosvětově 30 % patentové činnosti každá v těchto odvětvích, resp. 60 % dohromady. V rámci Evropy vykázalo nejvyšší podíl patentové aktivity v oblasti recyklace plastů a technologií bioplastů Německo (8 % celosvětově), zatímco Francie, Spojené království, Itálie, Nizozemsko a Belgie vynikají vyšší specializací v těchto oborech.

Studie zdůrazňuje, že ze všech recyklačních technologií dosáhly ve sledovaném období oblasti chemických a biologických metod recyklace nejvyšší úrovně patentové aktivity. Tyto metody představovaly v letech 2010-19 celkem 9 000 IPF, což je dvojnásobek počtu podaných pro mechanickou recyklaci (4 500 IPF), což je v

současnosti nejběžněji používané řešení pro přeměnu plastového odpadu na nové produkty.

Zatímco patentování standardních chemických metod dosáhlo vrcholu v roce 2014, nově vznikající technologie, jako jsou biologické metody využívající živé organismy (1 500 IPF) nebo recyklace plastů na monomer (2 300 IPF), nyní nabízejí nové možnosti degradace polymerů a výroby plastů podobných virům. Pokud jde o budoucnost, studie zdůrazňuje významný potenciál v nových designech plastů pro snadnější recyklaci, oblast alternativních plastů, která se v posledních letech exponenciálně rozvinula, s průměrným ročním tempem růstu 10 % od roku 2010. Tyto technologie mají potenciální využití v letectví, stavebnictví, doprava, větrných turbínách i mikroelektronice.

Ropné společnosti budou pod tlakem výrobců elektroaut a značkových společností postupně omezovat rafinérské provozy, a svoje aktivity budou směřovat na zelené zdroje a recyklaci materiálů.

Globální společnosti jako Coca Cola, Unilever atd. si vytyčily za své cíle zvyšovat podíl recyklátu pro své výroby až do 15-50 % do roku 2025. Do stejného roku si Evropská komise vytyčila za cíl posílit trh o 10 mil. tun recyklátu. Tyto cíle lze považovat za nereálné, pokud by se používaly pouze stávající metody mechanických recyklací.

Podle studie Markets and Markets se předpovídá extrémní růst zachycování CO₂ a jeho využití do roku 2025 v průměru o 17 % ročně. Proces využití CO₂ vyvinula již před několika společnost Covestro pro výrobu polyurethanů. Další společnosti jako Shell, Mitsubitsi, Exxon a BASF na využití CO₂ pracují.

Samostatnou kapitolou je využívání odpadních plastů v ČR. Vykazujeme, že 50 % evidovaných plastových odpadů skládkujeme. Přitom 9 zemí EU již dnes sládkuje max. 1–3 % odpadních plastů. Ročně zakopáváme odpadní plasty v hodnotě 10 miliard Kč. Od roku 2030 bude skládkování plastů zakázáno ve všech státech EU. Efektivní využití odpadních plastů je velkou výzvou pro výzkum a malé a střední firmy. Polymery s vyšší přidanou hodnotou se prakticky nevyrábějí a musí se dovážet, takže i při vyrovnané výrobě a spotřebě kolem 1 mil. tun plastů je obchodní bilance pasivní.

Stále více firem se snaží využívat vlastní odpadní plasty nebo dokonce nahrazovat část vstupních surovin recyklovanými materiály. Pro úspěšnou recyklaci je třeba odpadní plasty co nejlépe vytrídít. Čím čistější je odpad na vstupu do procesu, tím kvalitnější bude s největší pravděpodobností recyklát na výstupu, a tím snadnější bude jeho další využití.

Mnohostrannost plastů se odráží v jejich možnostech znovuvyužití. V zásadě jsou možné tři odlišné postupy:

- mechanická materiálová recyklace
- chemická surovinová recyklace
- energetické využití.

Materiálová recyklace vyžaduje odpadní plasty jednoho druhu, čisté a vznikající ve velkém množství na nemnoha místech. Typické jsou odpady z výrobních nebo zpracovatelských provozů. Jejich materiálová recyklace je už dlouho úspěšná. Materiálová recyklace směsí odpadních plastů je již méně účinná. Ještě složitější se jeví materiálová recyklace heterogenních směsí odpadních plastů, z části dokonce s příměsí nebezpečných látek, s nejrůznějšími podíly jiných materiálů. Materiálová recyklace může poskytnout jen dílčí řešení, které je účelné pro maximálně 20 % odpadních plastů. Rozhodující je především schopnost trhu využít recykláty, nikoli kapacita zpracovatelských zařízení.

Spalování odpadních plastů s energetickým využitím je nepochybně metodou použitelnou, pokud se vyskytují další podíly plastů, které nelze účelně recyklovat. K nim náležejí např. plasty, vůči kterým jsou

povážlivé výhrady z hlediska pracovní hygieny nebo ochrany prostředí, nebo plasty spojené s jinými materiály (kompozity). Takovými jsou často plasty v automobilovém nebo elektro-průmyslovém odvětví. Spalování s využitím energie se pro takové plasty zdá být rozumným způsobem využití, je však obtížně přijatelné pro bojovníky proti změně klimatu.

Postupy surovinové recyklace umožňují látkově znovu využít velká množství odpadních plastů. Za tím účelem se použité plasty štěpí na výchozí látky nebo na chemické nebo petrochemické suroviny, které lze znovu použít k výrobě nových plastů nebo jiných výrobků. Takto získané produkty nepodléhají žádným omezením použití. Zejména organizace Cefic a Plastics Europe zdůrazňují nutnost využít chemickou recyklaci jako plnohodnotný nástroj pro materiálové využití odpadních plastů a pro plnění ambiciózních cílů EU a zdůrazňují přednosti chemické recyklace, která dává hodnotu jinak nepoužitelnému plastovému odpadu, umožňuje vyrábět plasty stejné kvality jako původní surovina, které lze použít ve vysoce náročných aplikacích, jako je kontakt s potravinami a balení potravin, snižuje použití fosilních surovin pro výrobu nových plastů a vykazuje podstatně nižší uhlíkovou stopu ve srovnání s energetickým využitím.

5. Závěr

Výroba plastů v primární formě je spolu s petrochemií integrální součástí chemického průmyslu, který zaznamenává nebyvalé změny z hlediska surovinové báze, udržitelnosti a regionálního rozložení produkce. Plasty jsou využívány v celé řadě lidských činností, přičemž mezi nejvýznamnější bezesporu patří obaly, stavebnictví, automobilový průmysl, elektrotechnický průmysl, zemědělství či zdravotnictví. Také do budoucna (v horizontu roku 2050) se očekává, že produkce plastů celosvětově poroste. Specifické směry vývoje v oblasti výroby plastů však budou do značné míry ovlivňovány současnými globálními trendy vývoje společnosti a souvisejícími výzvami udržitelného rozvoje.

V návaznosti na růst světové populace a pokračující trend urbanizace čelí globální společnost kritickým výzvám z hlediska udržitelného modelu výroby a spotřeby, který nebude dále prohlubovat negativní vliv ekonomické aktivity populace na nevratné změny životního prostředí a klimatu. V této souvislosti je pro budoucí technologický rozvoj výroby plastů a plastikářský průmysl obecně důležitým tématem recyklace plastů a zohlednění environmentálních aspektů celého životního cyklu plastových výrobků. Nové směry výzkumu a technologického rozvoje se proto budou soustředit na alternativní primární zdroje pro výrobu plastů, proces jejich samotné výroby a zpracování, možné aplikace a recyklaci po skončení jejich životnosti. V této souvislosti jsou významným impulsem i 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 obzvláště obtížné problémy. Součástí toho bude prozkoumání nedostatečně prozkoumaného konceptu chemické recyklace, kdy se plasty rozkládají na základní složky a ty se znovu používají. To by umožnilo více recyklačních smyček pro stejné plasty, aniž by byly ohroženy jejich užitečné vlastnosti.

Znečištění odpadními plasty, viditelné po celém světě na souši i v oceánech, je přímým důsledkem mimořádné odolnosti současných plastů. Plasty jsou však také životně důležité pro splnění cílů udržitelného rozvoje OSN. Používají se v lehké dopravě pro větší účinnost paliva, membrány na čištění vody, vysoce výkonná elektronika, snížení plýtvání potravinami, účinná izolace a v nezbytných lékařských zařízeních, jako jsou vaky, stříkačky a katetry.

Kromě environmentálních aspektů výroby a zpracování plastů bude výzkum a technologický vývoj stimulován také akcelerující digitalizací výrobních procesů a zavádění nových procesů aditivní výroby do produkčního řetězce. To vytváří důležitý impuls pro materiálový výzkum a nové 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 recyklovány 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) a na jejich základě vytipovat současné a budoucí výzvy technologického vývoje pro výrobu, zpracování a recyklaci 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).

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
OP PIK	Operační program Podnikání a inovace pro konkurenceschopnost
PA	polyamid
PC	polykarbonát
PE	polyetylen
PEEK	polyetheretherketon
PEI	polyetherimid
PET	polyetylentereftalát
PI	polyimid
PMMA	polymethylmethakrylát
POM	polyoxymethylen
PP	polypropylen
PPS	polyfenylensulfid
PPSU	polyfenylensulfon
PS	polystyren
PTFE	polytetrefluorethylen
PVC	polvinylchlorid
PVDF	polyvinylidenfluorid
TC AV ČR	Technologické centrum Akademie věd ČR