



**Spolufinancováno  
Evropskou unií**



MINISTERSTVO  
PRŮMYSLU A OBCHODU



**ČESKÁ TECHNOLOGICKÁ  
PLATFORMA PLASTY**

## **Strategická výzkumná agenda**

### **České technologické platformy PLASTY**

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

**Aktualizace říjen 2025**

# OBSAH

|      |                                                                            |    |
|------|----------------------------------------------------------------------------|----|
| 1    | Souhrn .....                                                               | 3  |
| 2    | Úvod .....                                                                 | 4  |
| 3    | Aktuální stav a předpokládaný vývoj .....                                  | 6  |
| 3.1  | Výroba a používání plastů .....                                            | 6  |
| 3.2  | Chemický průmysl .....                                                     | 16 |
| 3.1  | Plastikářský průmysl .....                                                 | 25 |
| 3.2  | Jednorázově používané plasty – nová směrnice v rámci EU (SUPD) .....       | 33 |
| 3.3  | Nařízení o plastových obalech – nové nařízení v rámci EU (PPWR) .....      | 34 |
| 3.4  | Digitalizace a využití AI v segmentu plastů .....                          | 35 |
| 3.5  | Bioplasty .....                                                            | 45 |
| 3.6  | Obnovitelné suroviny a recyklace .....                                     | 55 |
| 4    | Technologie výroby a využití plastů .....                                  | 59 |
| 4.1  | Úvod .....                                                                 | 59 |
| 4.2  | Spotřební výrobky (kosmetika, nátěrové hmoty, textil, obaly a další) ..... | 60 |
| 4.3  | Nanokompozity .....                                                        | 63 |
| 4.4  | Materiály pro zdravotnictví .....                                          | 64 |
| 4.5  | Oxo-degradovatelné a Oxo-biodegradovatelné plasty .....                    | 66 |
| 4.6  | Plasty se sníženou hořlavostí .....                                        | 68 |
| 4.7  | Plasty pro stavebnictví .....                                              | 72 |
| 4.8  | Plasty pro dopravní prostředky .....                                       | 76 |
| 4.9  | Plasty pro obnovitelné zdroje energie .....                                | 80 |
| 4.10 | Polymerní přísady .....                                                    | 84 |
| 4.11 | Plasty pro 3D tisk .....                                                   | 87 |
| 5    | Horizontální otázky .....                                                  | 88 |
| 6    | Závěry .....                                                               | 90 |
| 7    | Seznam použitých zkratk .....                                              | 91 |

# 1 Souhrn

Strategická výzkumná agenda (SVA) vychází z technologického foresightu (viz <https://www.tp-plasty.cz/>), jenž analyzuje a definuje klíčové globální megatrendy, které budou dlouhodobě ovlivňovat vývoj společnosti, a to za horizont roku 2030. Tyto trendy zahrnují například digitalizaci výroby, zvýšený důraz na udržitelnost, snižování ekologické zátěže a rychlý rozvoj inovativních technologií.

Zmíněné trendy zásadně ovlivňují směřování plastikářského průmyslu a vymezují klíčové požadavky na inovace v oblasti polymerních materiálů. Podle údajů Ministerstva průmyslu a obchodu ČR činil obrat českého plastikářského průmyslu v roce 2022 více než 120 miliard Kč, což potvrzuje jeho významnou roli v národním hospodářství.

SVA je zaměřena na vývoj polymerních materiálů s vysokou mírou know-how a s novými funkcionalitami. Hlavním cílem je vytvářet materiály s vlastnostmi přizpůsobenými specifickým aplikacím, například plasty s vyšší tepelnou či chemickou odolností pro automobilový průmysl.

Důležitou součástí je rovněž implementace nových výrobních technologií, které musí být účinné a současně šetrné k životnímu prostředí. Jako příklad lze uvést projekt společnosti Fillamentum, která vyvinula speciální filamenty pro 3D tisk z recyklovaných plastů a bioplastů.

SVA podporuje komercializaci výsledků výzkumu a vývoje. Pokrývá celý životní cyklus výrobku, tedy od vstupních surovin přes výrobu a zpracování plastů až po jejich využití v obalovém průmyslu, stavebnictví, dopravě, elektronice, zemědělství i spotřebním zboží.

V souladu s trendy posledních let je i SVA výrazněji orientována na využití materiálů po skončení jejich životního cyklu. Motivací je rostoucí důraz na ochranu životního prostředí a naplňování strategie EU k cirkulární ekonomice plastů.

V roce 2022 dosáhla míra recyklace plastového odpadu v České republice přibližně 43 %, což převyšuje evropský průměr. Za zmínku stojí systém třídění a recyklace PET lahví společnosti EKO-KOM, díky němuž se v ČR každoročně recykluje více než 80 % PET obalů. SVA pak klade důraz na rozvoj recyklačních technologií a na minimalizaci environmentální zátěže, včetně prevence znečištění plastovým odpadem.

Tradiční chemický průmysl je do značné míry závislý na fosilních surovinách, zejména ropě. Nedostatek těchto zdrojů by znamenal závažné ohrožení výrobních kapacit. Řešení představuje využití obnovitelných surovin, biotechnologických postupů a chemické recyklace směsných plastových odpadů.

V České republice je úspěšně realizováno několik projektů, jejichž cílem je vývoj bioplastů z odpadní biomasy pro výrobu obalových materiálů. Dalším příkladem moderního přístupu k novým zdrojům surovin je výzkum na Vysoké škole chemicko-technologické v Praze, kde jsou vyvíjeny enzymatické postupy pro rozklad plastových odpadů na suroviny použitelné v nových výrobních procesech.

Termochemické a enzymatické konverze biomateriálů umožňují produkci látek s přidanou hodnotou, které mohou nahradit tradiční produkty na bázi ropy, za co možná nejvýhodnějších technologických a energetických podmínek.

## 2 Úvod

Česká technologická platforma PLASTY (ČTPP) vypracovala tuto aktualizovanou verzi svého strategického dokumentu jako základní podklad pro aktualizaci Implementačního akčního plánu.

Posláním ČTPP je sloužit jako komunikační platforma pro výměnu názorů a zkušeností v oblasti výroby, zpracování, využití a recyklace plastů. Za tímto účelem ČTPP podporuje základní i aplikovaný výzkum a experimentální vývoj; rovněž podporuje šíření výsledků těchto činností prostřednictvím výuky, publikací nebo transferu technologií. Dále ČTPP podporuje organizace působící ve prospěch rozvoje plastikářského a souvisejícího zpracovatelského průmyslu v České republice, a to včetně vědeckých, výzkumných, technologických a inovačních aktivit. Zvláštní důraz klade na aktivity zaměřené na ochranu životního prostředí a zlepšování veřejného vnímání plastikářského průmyslu.

Posláním ČTPP je také podpora a prosazování zájmů plastikářského průmyslu na národní i evropské legislativní úrovni.

Za účelem splnění svého poslání ČTPP rozvíjí a bude rozvíjet především následující činnosti:

1. Zvyšování konkurenceschopnosti českého hospodářství v oblasti plastikářského a souvisejícího zpracovatelského průmyslu s důrazem především na malé a střední podniky.
2. Vytváření mostu mezi vědou, výzkumem a průmyslem v oblasti výroby, aditivace, zpracování, využití a recyklace plastů prostřednictvím iniciací a provádění vědecko-technických výzkumů a komerčního využití vědeckých řešení.
3. Výzkum a vývoj.
4. Vzdělávací a školicí činnost, realizace konferencí a seminářů.
5. Propagace inovačních aktivit a vědecko-technického rozvoje v sektoru výroby, zpracování, využití a recyklace plastů.
6. Podpora a rozvoj mezinárodní spolupráce včetně zapojení se do realizace hlavních činností spolupracujících evropských struktur, a to převážně způsobem:
  - a. vypracování a průběžná aktualizace dokumentů Strategické výzkumné agendy a Implementačního akčního plánu v sektoru výroby, zpracování, využití a recyklace plastů
  - b. zpracování vize rozvoje sektoru výroby, zpracování, využití a recyklace plastů
  - c. návrh strategie pro zavádění moderních postupů a technologií
  - d. spolupráce s dotčenými subjekty při vytváření politiky a právních předpisů sloužících k povzbuzení inovačních aktivit

Činnost ČTPP je zaměřena po odborné stránce do tří základních oblastí:

- výroba polymerů a biopolymerů, včetně aditiv
- zpracování polymerů a biopolymerů
- využití plastů po skončení jejich životnosti

Průřezovou (horizontální) oblastí je zaměřen na:

- udržitelnou surovinovou dostatečnost
- průmysl 4.0, včetně digitalizace a využití AI
- technologickou vyspělost technologií
- šetrnost k životnímu prostředí, včetně zavádění principů cirkulární ekonomiky
- prosazování průmyslového designu s ohledem na recyklaci po skončení životnosti

- plasty pro elektromobily a lékařství
- překonávání legislativních bariér

V současné době jsou tyto směry rozšířeny o:

- prevenci zvyšování výskytu odpadních plastů v mořích,
- snižování kontaminace životního prostředí mikroplasty,
- speciální polymery schopné ukládat energii nebo mající samočistící efekty, polymery používané v jaderném průmyslu (polymerní scintilátory), polymery v elektronice, bio-medicinální polymery a další,
- omezování a náhrada jednorázových plastů v obalovém průmyslu
- plasty pro 3D tisk

Tyto nově zařazované oblasti vycházejí z těchto trendů:

Narůstající problémy s odpady a související legislativou vyplývající ze strategie Evropské komise k cirkulární ekonomice a následné legislativy se týkají i České republiky. Na základě zkušeností z období 2009–2024 se ČTPP bude dále odborně profilovat v uvedených (již dříve definovaných a nyní nově zařazovaných) oblastech. Jednou z nových aktivit bude zaměření na výrobce plastů, jejich přepravu ke zpracování, zpracovatele a uživatele a omezení úniku plastových částí do kanalizací, řek a následně do oceánů (Operation Clean Sweep). Další aktivity budou zahrnovat prevenci vzniku odpadních plastů, eco design, zlepšení sběru, třídění a mechanickou a chemickou recyklaci.

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, včetně uhlíkových nanotrubiček pro zvýšení výkonu aplikací plastů pro ukládání energie pro auta. Tepelně vodivé plastové komponenty v geotermálních zařízeních umožňují efektivnější využití geotermální energie v klimatizačních systémech.

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.

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. Mezi další inovační trendy lze heslovitě zařadit:

- snižování hmotnosti plastů, zejména inženýrských vypěňování,
- plastové součásti zejména z kompozitů s využitím digitalizace a AI
- nové plasty pro 3D tisk včetně zvyšování rychlosti 3D tisku až na 10násobek pomocí speciální polymerace kapalné pryskyřice s využitím dvou světelných zdrojů.

## 3 Aktuální stav a předpokládaný vývoj

### 3.1 Výroba a používání plastů

Výroba a používání plastů zásadně přispěly k dosažení současné úrovně kvality života společnosti. Nicméně, plastový průmysl nyní čelí tlaku na změnu stávajících technologických postupů směrem k metodám, které jsou šetrnější k životnímu prostředí, a na zvýšení recyklace plastových výrobků. Přijmeme-li jako fakt, že pouze další rozvoj chemických technologií, technik a vědeckého poznání v oboru chemie a chemického inženýrství může těmto tlakům vyhovět, je třeba postupně dospět k udržitelným technologiím, aniž by byl ohrožen nebo zpomalen společenský pokrok. Cílem je snížit závislost průmyslu na neobnovitelných zdrojích, omezit produkci toxických látek a minimalizovat ekologickou zátěž produktů na konci jejich životního cyklu.

Plasty hrají klíčovou roli v moderním životě. Umožnily vývoj počítačů, mobilních telefonů a mnoha pokroků v moderní medicíně. Plasty díky své lehkosti a izolačním vlastnostem přispívají k úspoře fosilních paliv při vytápění a dopravě. Levné plasty zvýšily životní úroveň a umožnily širší dostupnost různých výrobků. Nahrazením přírodních materiálů plastovými se mnoho produktů stalo levnějšími, lehčími, bezpečnějšími a pevnějšími.

Statistiky výroby plastů v letech 2015–2024 ukazují výrazný růst globální produkce, která v roce 2015 činila zhruba 320 milionů tun a do roku 2024 dosáhne přibližně 414 milionů tun. Meziročně globální výroba rostla průměrně o 3–5%, přičemž největšími producenty jsou Čína (33,3% celosvětové produkce v roce 2024), zbytek Asie (19,7%), Severní Amerika (17,1%) a Evropská unie s 12% podílem na trhu, což však představuje pokles oproti předchozím letům. Výroba plastů v EU v roce 2024 dosáhla zhruba 54 milionů tun, což znamená meziroční pokles o 8,3% a pokles mechanické recyklace plastů o 7,8% na 7,1 milionu tun.

Výroba plastů od roku 2015 do 2024 tedy pokračovala ve výrazném nárůstu, navzdory lokálním poklesům, jako je například ten v EU, které souvisejí s legislativními opatřeními a tlakem na udržitelnost. Vzhledem k týkajícím se environmentálním hrozbám a zpomalování růstu recyklace je trend u výroby plastů ve světě stále klíčovým tématem pro udržitelný rozvoj.

Pouze kolem 8,7% vyrobených plastů je mechanicky recyklováno, chemická recyklace tvoří zatím zanedbatelné procento (0,1%). Plasty na bázi biologických surovin tvoří pouhých 0,7% výroby (asi 3 miliony tun). Celkově tak většina plastů končí v odpadech, což vytváří závažné environmentální problémy.

Na mezinárodní úrovni jsou vedena intenzivní jednání o globální plastové úmluvě, která by měla omezit produkci a znečištění plastů. V srpnu 2025 však jednání v Ženevě ztroskotala kvůli odporu ropných států, které chtějí zachovat produkci plastů jako klíčový ekonomický sektor. Greenpeace a další aktivisté vyzývají k razantnímu omezení výroby plastů o 75% do roku 2040, aby se zamezilo dalším zdravotním a environmentálním dopadům. V současnosti žije přes 50 milionů lidí v rizikovém dosahu závodů na výrobu plastů, což potvrzuje urgentnost problému.

UN Climate Summit 2025 se konal 24. září 2025 v sídle OSN v New Yorku jako přípravná akce před konferencí COP30 v Brazílii. Summit se zaměřil na aktualizaci národních klimatických plánů (NDCs) a posílení globálního úsilí v boji proti klimatické krizi. Diskuse se zaměřila na iniciativu Early Warnings for

All (EW4ALL), jejímž cílem je do roku 2027 zajistit varovné systémy pro každého člověka na planetě. Řešilo se také riziko extrémního tepla a potřeba investic do nízkouhlíkového chlazení, sociální ochrany a městského plánování. Navázání na dohodu z COP29 o navýšení financování pro rozvojové země na 1,3 bilionu USD ročně do roku 2035. Výzva k urychlení přístupu k těmto prostředkům a zapojení soukromého sektoru. Summit proběhl v době návratu Donalda Trumpa do Bílého domu, který označil klimatickou vědu za podvod. Čína představila aktualizaci svého klimatického plánu do roku 2035, včetně očekávaného poklesu emisí dříve, než původně plánováno. Investice do obnovitelných zdrojů dosáhly 2 bilionů USD, což je dvojnásobek oproti fosilním palivům. Summit byl označen jako odrazový můstek pro COP30. Přestože pokrok je pomalý, dochází k pozitivnímu posunu. Summit ukázal, že globální spolupráce je klíčem k dosažení klimatických cílů. Na summitu byla potvrzena politická podpora pro iniciativu Early Warnings for All (EW4ALL) a došlo k dohodě o urychlení její implementace do roku 2027. Dále byla obnovena shoda na cíli navýšit klimatické financování na 1,3 bilionu USD ročně do roku 2035.

Na veletrhu K 2025 v Düsseldorfu byla představena průlomová technologie výroby plastů bez fosilních paliv vyvinutá společností Vioneo, která používá zelený metanol na olefiny (MTO) a může významně snižovat uhlíkovou stopu plastů s udržitelnou integrací do výroby. Tyto inovace naznačují potenciál pro transformaci plastikářského průmyslu směrem k ekologičtější budoucnosti.

Významným tématem v literatuře i praxi jsou i legislativní opatření k omezení jednorázových plastů a podpora cirkulární ekonomiky, kde se recyklují plasty a minimalizuje jejich odpad. Například v EU se plánuje do roku 2030 dosáhnout alespoň 35% recyklace plastových obalů. Nicméně, ačkoliv zájem o udržitelnost roste, stále existují komplikace spojené s ekonomikou a technologickou kapacitou pro recyklaci plastů.

Nařízení o obalech a obalových odpadech (PPWR), oficiálně označené jako Nařízení (EU) 2025/40, bylo přijato Evropským parlamentem a Radou v prosinci 2024 a zveřejněno v Úředním věstníku EU dne 22. ledna 2025. Cílem legislativy je harmonizovat pravidla pro obaly napříč EU, snížit množství obalového odpadu, podpořit recyklaci a opětovné použití obalů a přispět k oběhovému hospodářství. Nařízení se začne uplatňovat od 12. srpna 2026. Nařízení PPWR vyvolalo značnou odezvu mezi evropskými podniky. Firmy z Itálie, Německa, Francie, Španělska a Rumunska podaly sedm žalob k Soudnímu dvoru EU, ve kterých požadují zrušení celého nařízení nebo alespoň některých jeho ustanovení. Kritizují zejména články 25 a 29 a přílohu V, které podle nich představují nepřiměřené, diskriminační a nedostatečně odůvodněné požadavky. Argumentují také nesprávným právním základem nařízení, které podle nich mělo být přijato na základě environmentální legislativy, nikoli legislativy vnitřního trhu. PPWR představuje zásadní krok směrem k udržitelnému obalovému hospodářství. Do roku 2030 musí být veškeré obaly na trhu EU recyklovatelné, s minimálními požadavky na obsah recyklovaného materiálu (např. 30 % u PET obalů pro potraviny). Nařízení rovněž zakazuje používání PFAS v obalech pro styk s potravinami od srpna 2026. Evropská komise bude postupně vydávat prováděcí akty a metodiky pro hodnocení recyklovatelnosti. Přestože čelí právním výzvám, očekává se, že PPWR bude mít dlouhodobý dopad na design, výrobu a nakládání s obaly v celé EU.

Jelikož plasty hrají významnou roli v našich životech, výzkumníci se snaží učinit je bezpečnějšími a udržitelnějšími. Některé inovační firmy vyvíjejí bioplasty z rostlinných plodin namísto fosilních paliv, aby vytvořili látky, které jsou šetrnější k životnímu prostředí než běžné plasty. Jiné pracují na výrobě plastů, které jsou plně biologicky rozložitelné. Další inovace se zaměřují na zefektivnění recyklace a

dokonce i na zdokonalení procesů přeměny plastů zpět na fosilní paliva. Tito inovátoři uznávají, že plasty mají své nedostatky, ale také že jsou důležitou součástí budoucnosti.

Koncem ledna 2019 nabídla Evropská komise k diskusi tři možné cesty, jak do roku 2030 změnit EU, aby byl její rozvoj dlouhodobě udržitelný. Zdůrazňuje potřebu přechodu na cirkulární hospodářství, odstranění nerovnováh v potravinovém systému a potřebu udržitelného zajištění odpovídajících energetických zdrojů, bydlení a dopravní infrastruktury.

Ve dnech 31.10.-12.11.2021 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 2 stupně Celsia.

Na tiskové konferenci dne 1.9.2021 ve Washingtonu při akci časopisu Wall Street Journal: „Getting There: a Global agreement to End Plastic Waste“ požádali prezidenti společností Dow – Jim Fittering a Bob Patel z LyondellBasell vedení OSN, aby při nadcházejícím plenárním zasedání vyzvali zúčastněné státy k vypracování a přijetí globální dohody o odstraňování plastového odpadu z životního prostředí. Měla by mít stejnou závaznost jako Pařížská dohoda o klimatu. Oba mluvili i jménem Americké rady pro chemii (ACC/ a Mezinárodní rady chemických asociací /ICCA/, kterým předsedají.

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

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

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

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

## Výroba polymerů ve světě v mil. tun

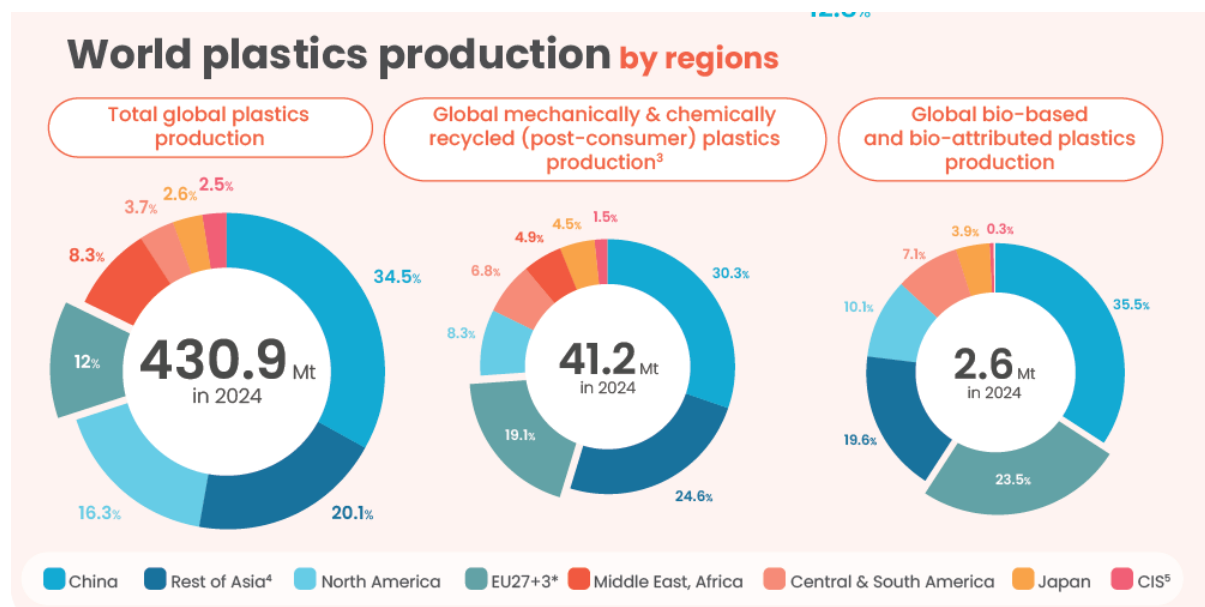
| Rok    | 2017  | 2018 | 2019  | 2020  | 2021  | 2022  | 2023  | 2024  |
|--------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Celkem | 347,4 | 359  | 370,7 | 379,8 | 380,6 | 394,2 | 400,4 | 413,8 |

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

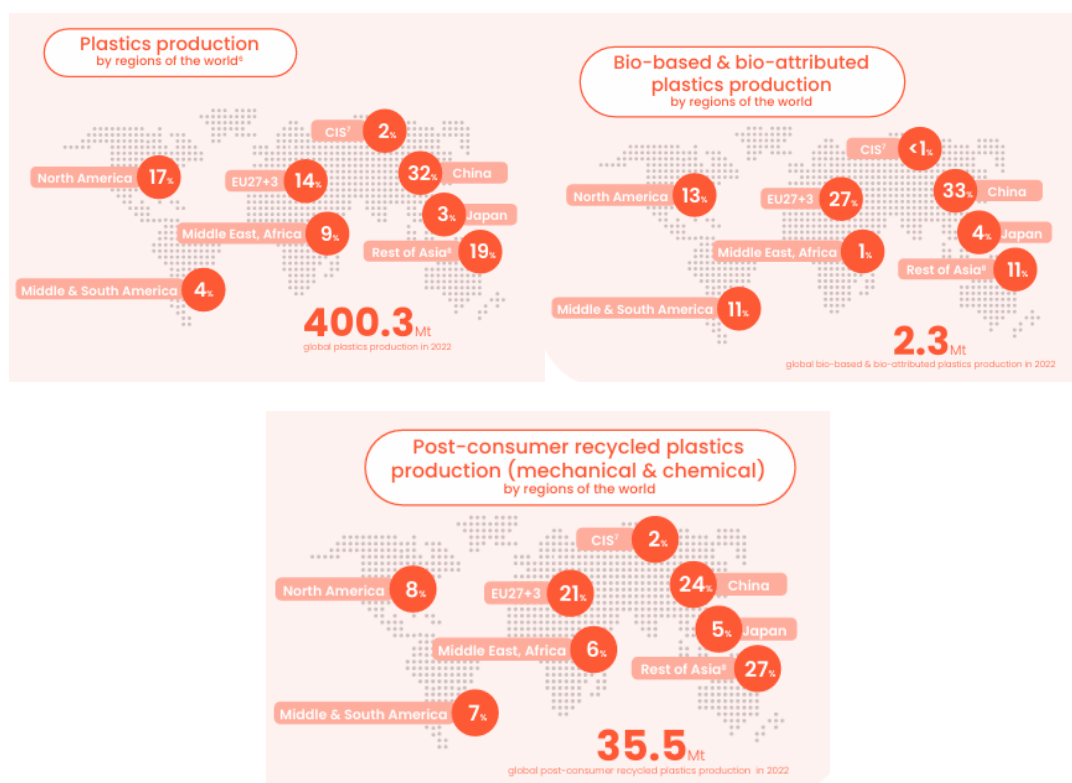
## Výroba polymerů podle typů v jednotlivých letech v %

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

Zdroj: PlasticsEurope Market Research Group

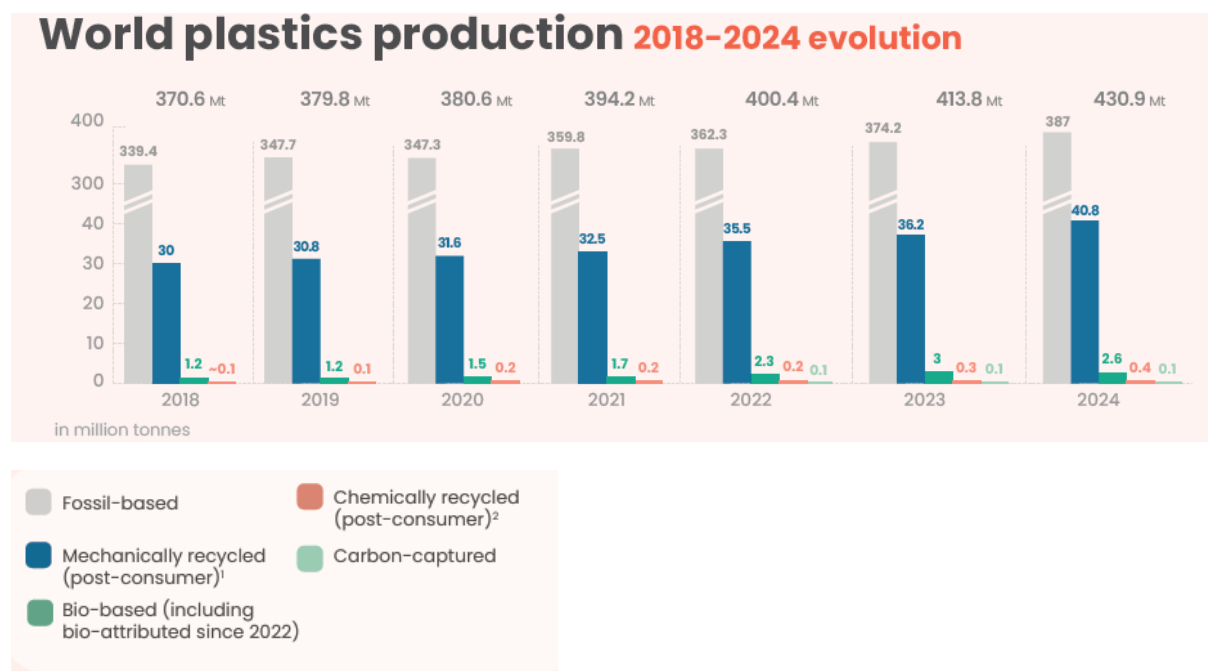


Zdroj: Plastic Europe, The fast fact 2025

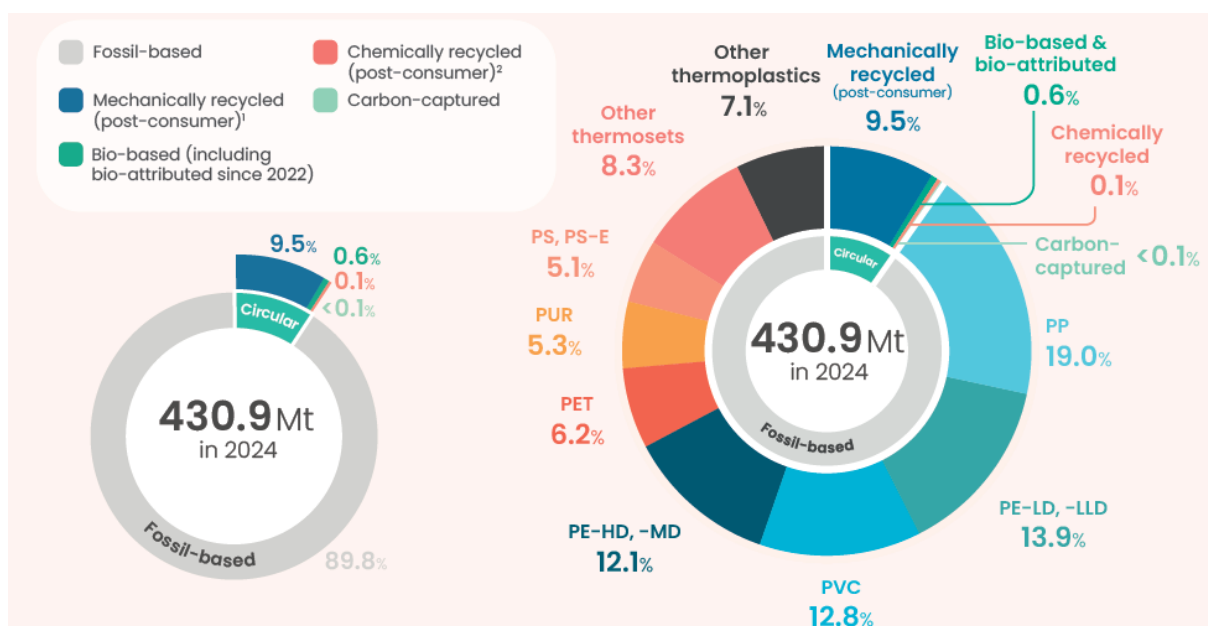


Zdroj: Plastic Europe, The fast fact 2023, 2024

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

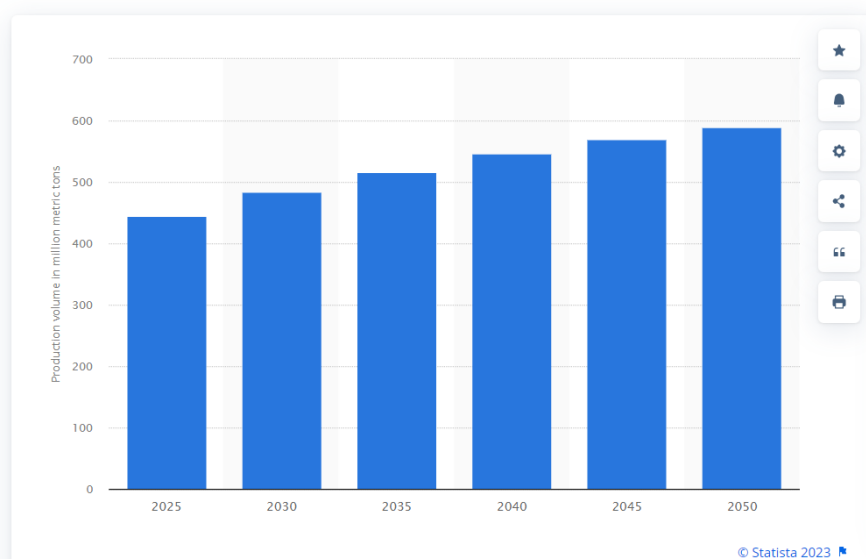


Zdroj: Plastic Europe, The fast fact 2025



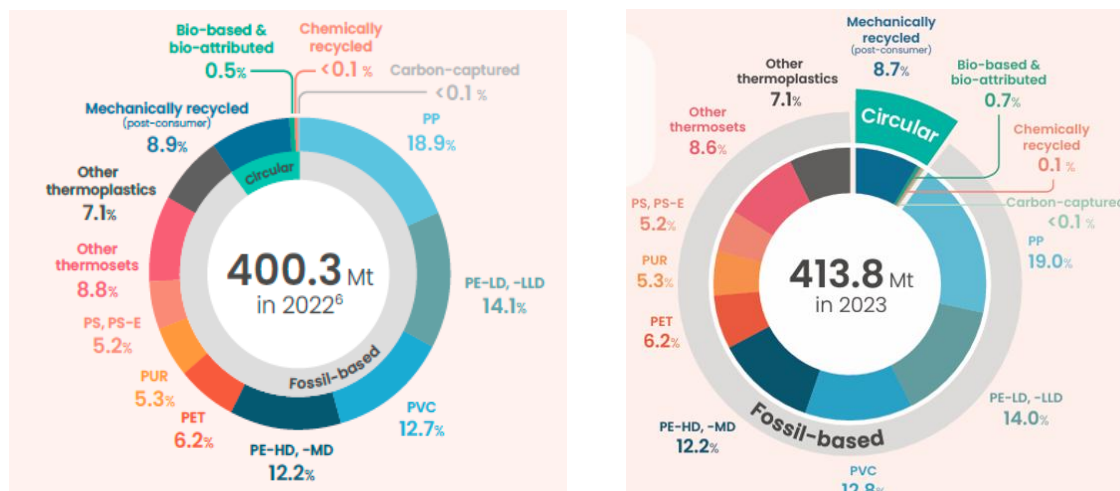
Zdroj: Plastic Europe, The fast fact 2025

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



Zdroj: Statista Research Department, Mar 24, 2023

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

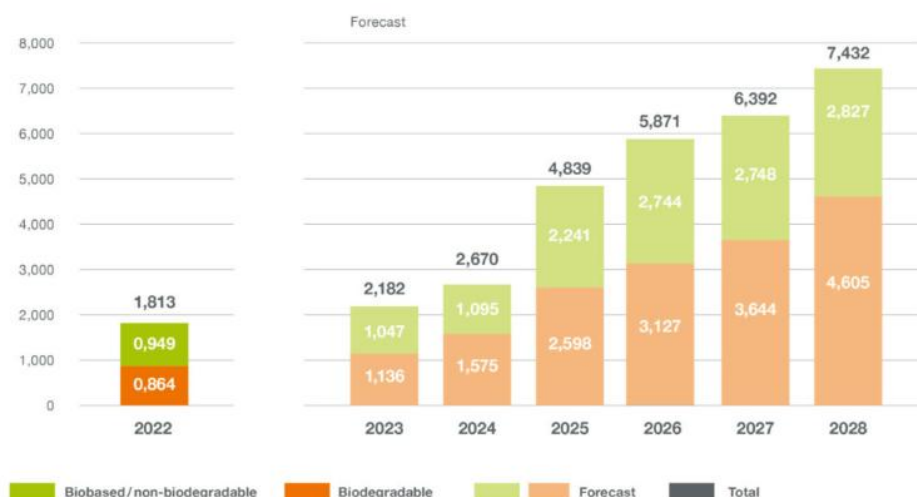


Zdroj: Plastic Europe, The fast fact 2022, 2023, 2024

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

## Global production capacities of bioplastics

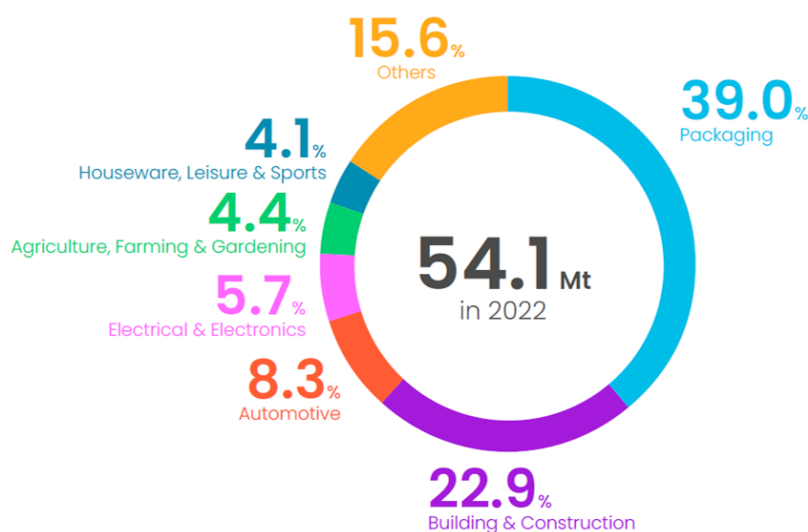
in 1,000 tonnes



Source: European Bioplastics, nova-Institute (2023)

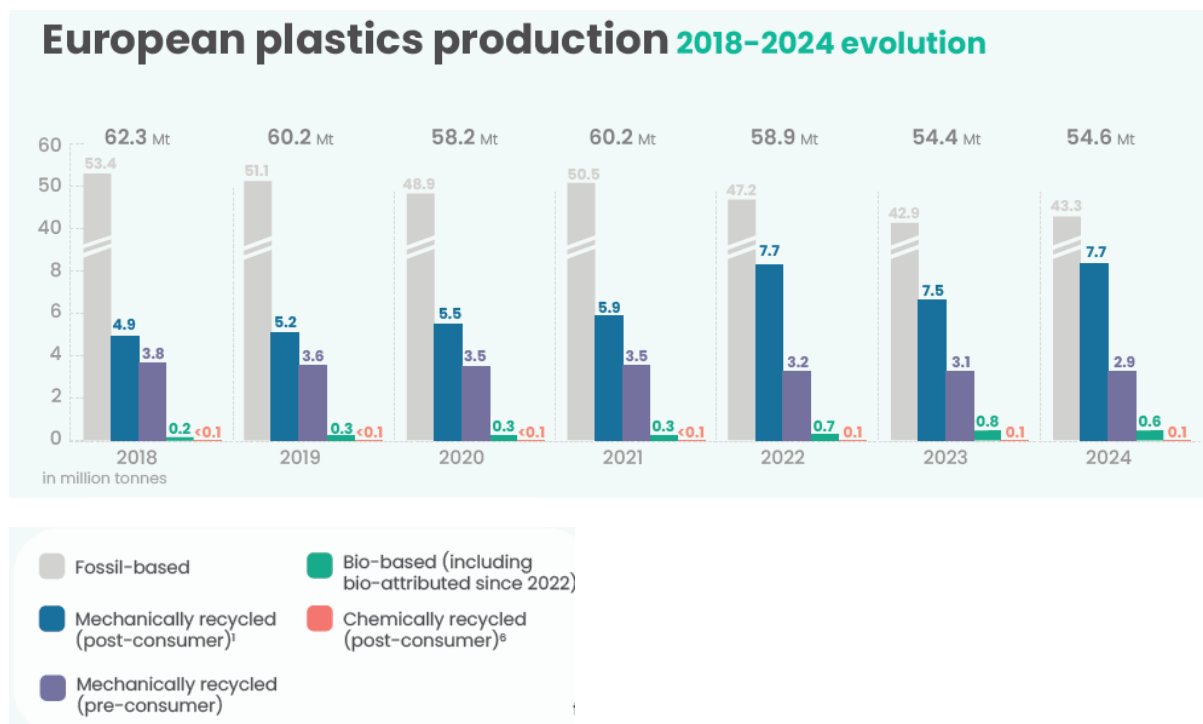
Zdroj: European Bioplastics, 2023

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



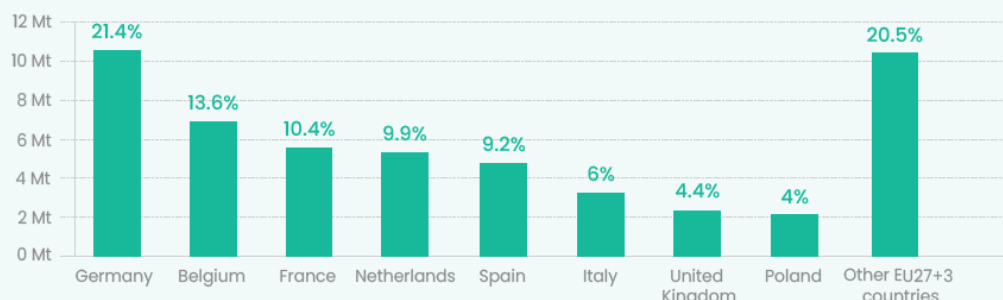
Zdroj: PlasticsEurope (2024): *The Circular Economy for Plastics A European Analysis*.

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



## European plastics production by country

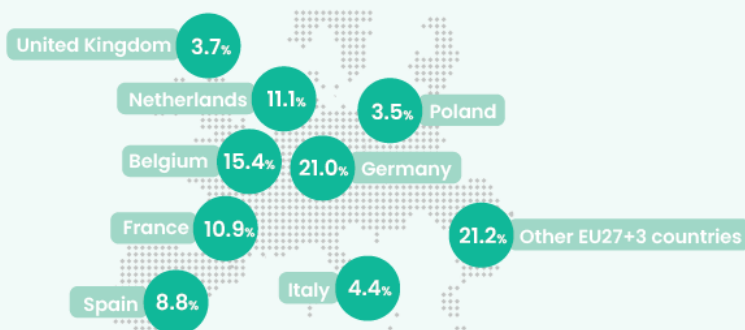
Total plastics production  
**54.6 Mt\***



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

Fossil-based plastics production

**43.3 Mt**



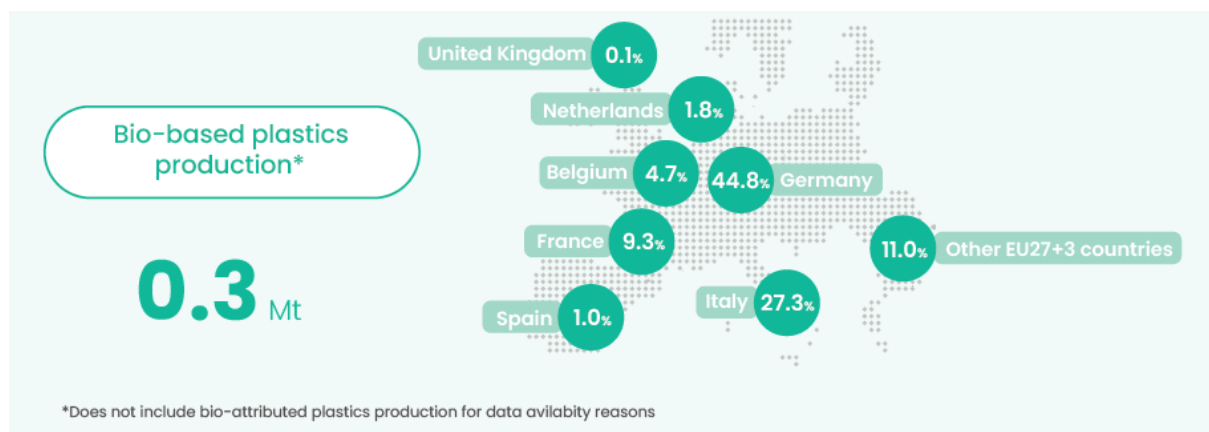
Produkce plastů v rámci Evropy je pak nadále ovlivněna především navýšením cen energií, zhoršením dostupnosti základních surovin a v neposlední řadě i snahou o dodržení cílů stanovených v rámci politických iniciativ Green Deal – klimatické neutrality do roku 2050. Značně je zde tedy posílen vliv zavádění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

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

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

Optimistické scénáře rozvoje chemické recyklace v rámci EU mluví až o 3,4 Mt v roce 2030, což by činilo až 5 % veškerých vyráběných plastů v EU.

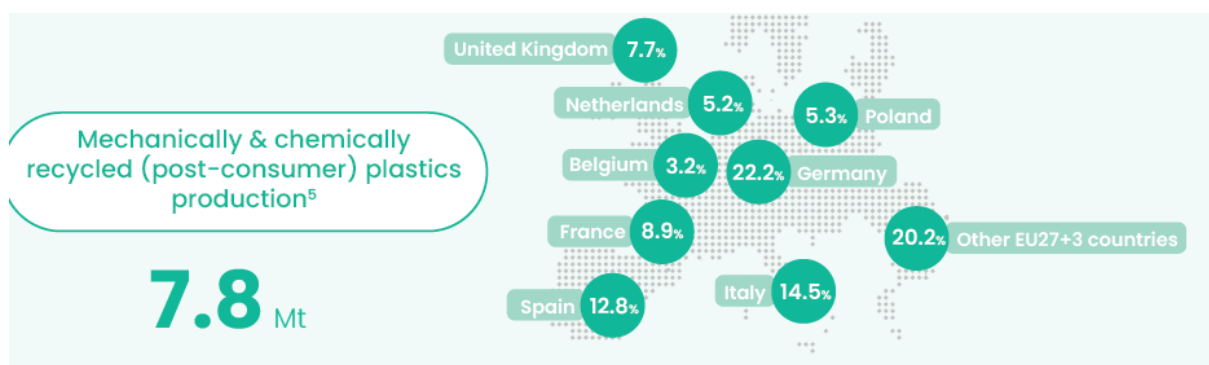
Ne zcela jasným zůstává rozsah nárůstu segmentu Bioplastů v Evropě, kde především biodegradabilní a kompostovatelné plasty založené na využití odpadů z obnovitelných zdrojů mohou získat na důležitosti při předpokládaném zachování podílu či dokonce růstu spotřeby plastů v segmentu obalů. Situace zde bude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



Zdroj: Plastic Europe, The fast fact 2025

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

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



Zdroj: Plastic Europe, The fast fact 2025

Prozatím nejlépe zvládnutým plastem z hlediska mechanické recyklace je PET. Vlastnosti tohoto materiálu pro použití v obalech jsou prozatím nezastupitelné a je jisté že jeho produkce bude i nadále

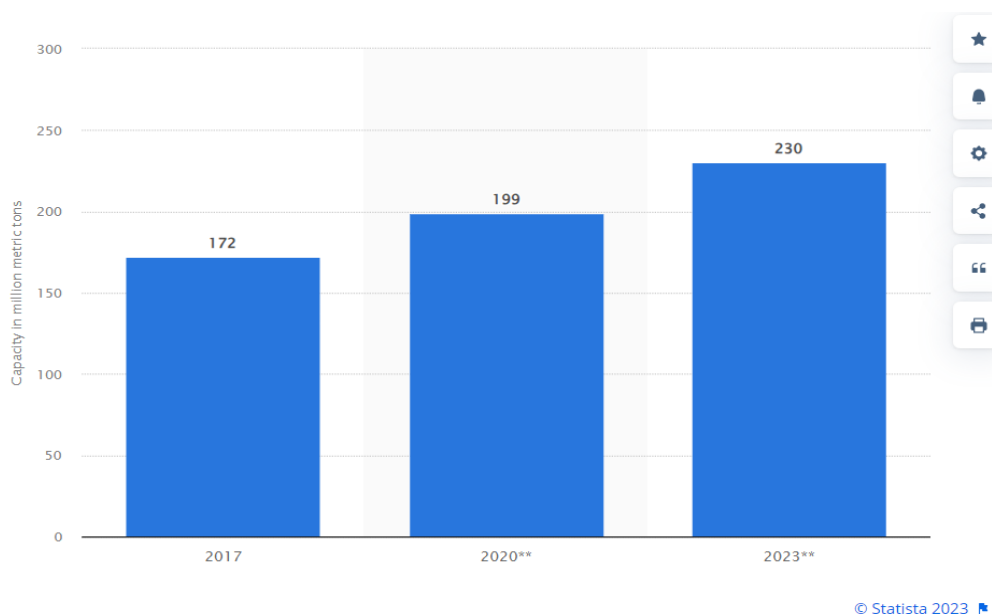
stoupat, a to i přes zvyšování stupně recyklace. Globálně se odhaduje nárůst produkce do roku 2030 až o 15 %, celkový nárůst produkce rPET a PET tak bude pravděpodobně dosahovat ještě vyšších hodnot.

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

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

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

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



Zdroj: Statista Research Department, Mar 24, 2023

### 3.2 Chemický průmysl

Evropský chemický průmysl je nedílnou součástí evropské průmyslové struktury a je zásadní pro ambice Evropy v oblasti klimatické neutrality a cirkulace; ať už se podíváte na dodavatelské řetězce pro

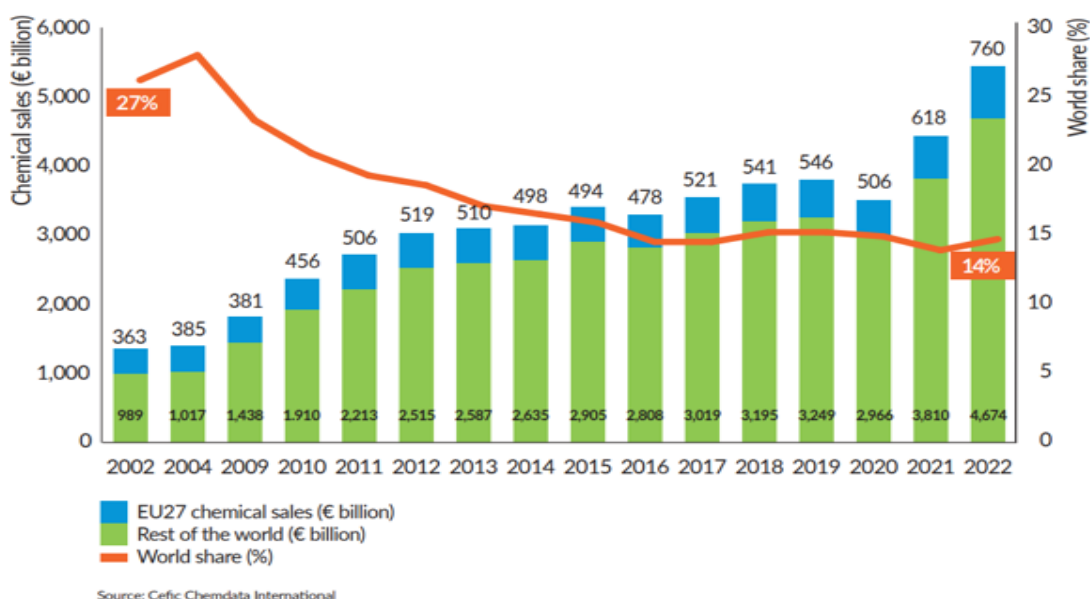
mikročipy, bateriové materiály pro elektrická vozidla nebo léky, všechny z nich silně spoléhají na chemii a chemické produkty. V posledních letech však toto odvětví čelilo značným výzvám. Zvýšená konkurence z regionů jako USA a Čína, nedostatečná poptávka, rostoucí náklady na energii a přísné předpisy, kromě jiných faktorů, přidaly značný tlak, což vedlo k poklesu podílu na evropském trhu i na globální scéně.

Navzdory výzvám zůstává zatím evropský průmysl klíčovým hráčem v oblasti inovací a udržitelnosti. Posledně zveřejněná čísla z evropské chemické asociace CEFIC za rok 2022 ukazují převzetí dominance Čínou, druhé místo pro Evropu a třetí pro USA. Petrochemie, vč. výroby plastů se podílí 46 % na celkových tržbách.

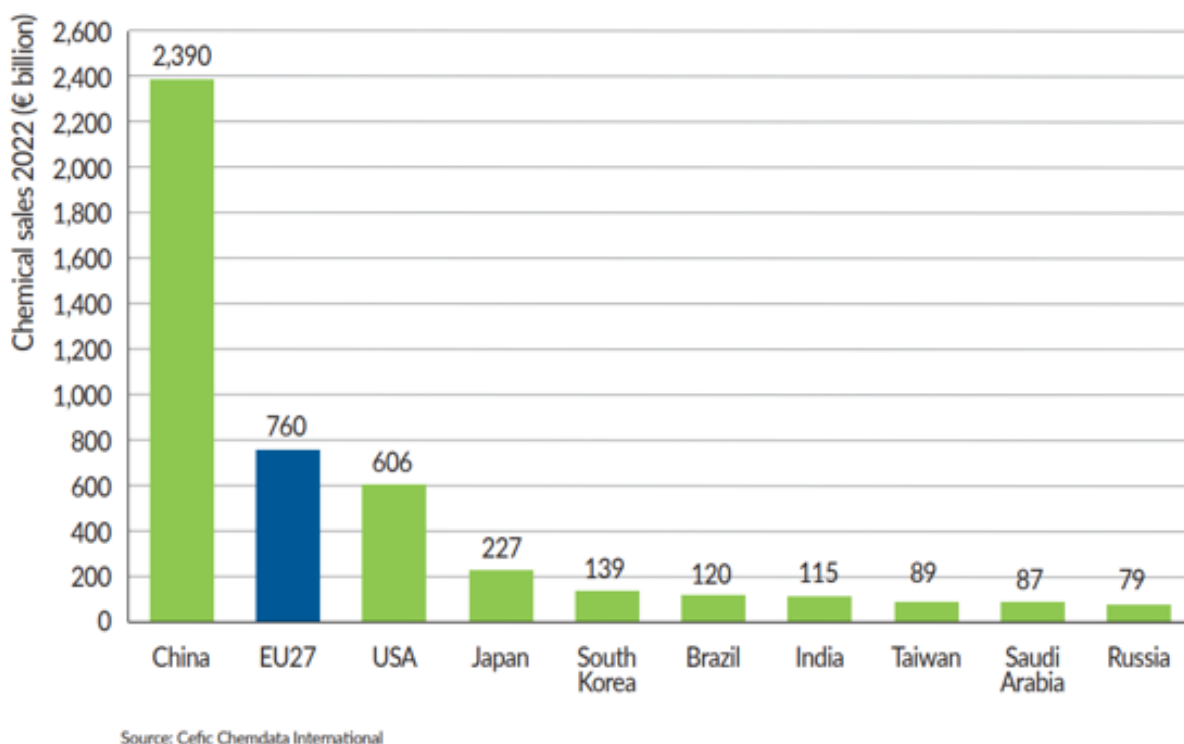
**Obrázek 1** Celosvětový prodej chemikálií v r. 2022 (5 434 miliard EUR)



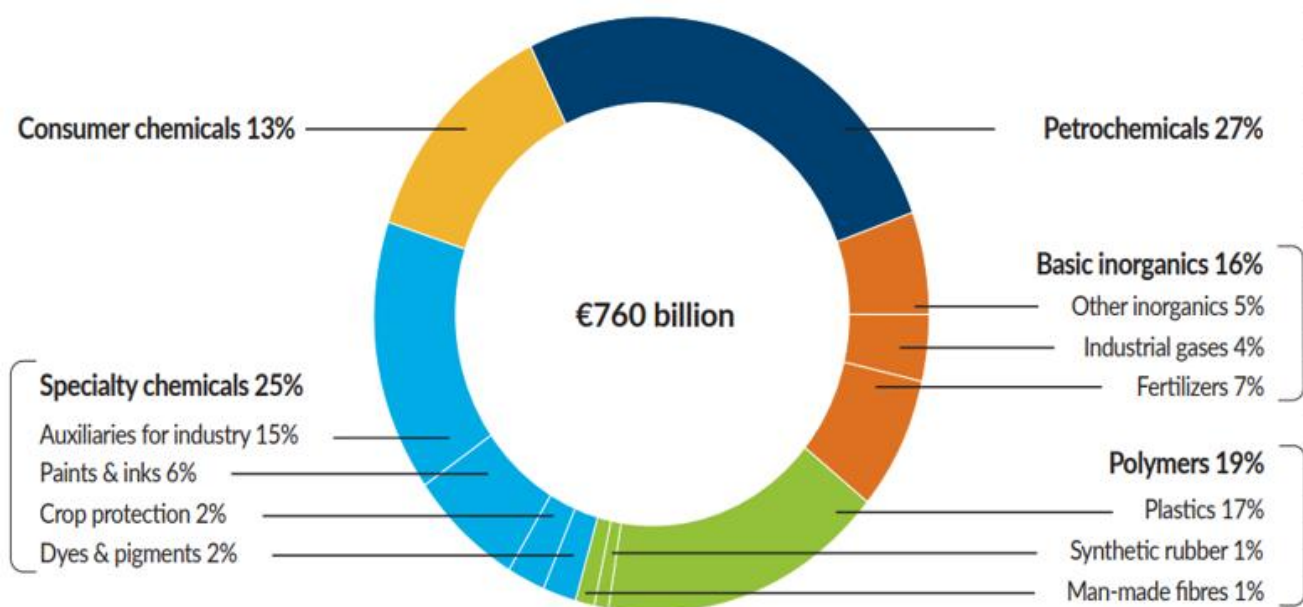
**Obrázek 2** Podíl EU27 na celosvětovém chemickém trhu



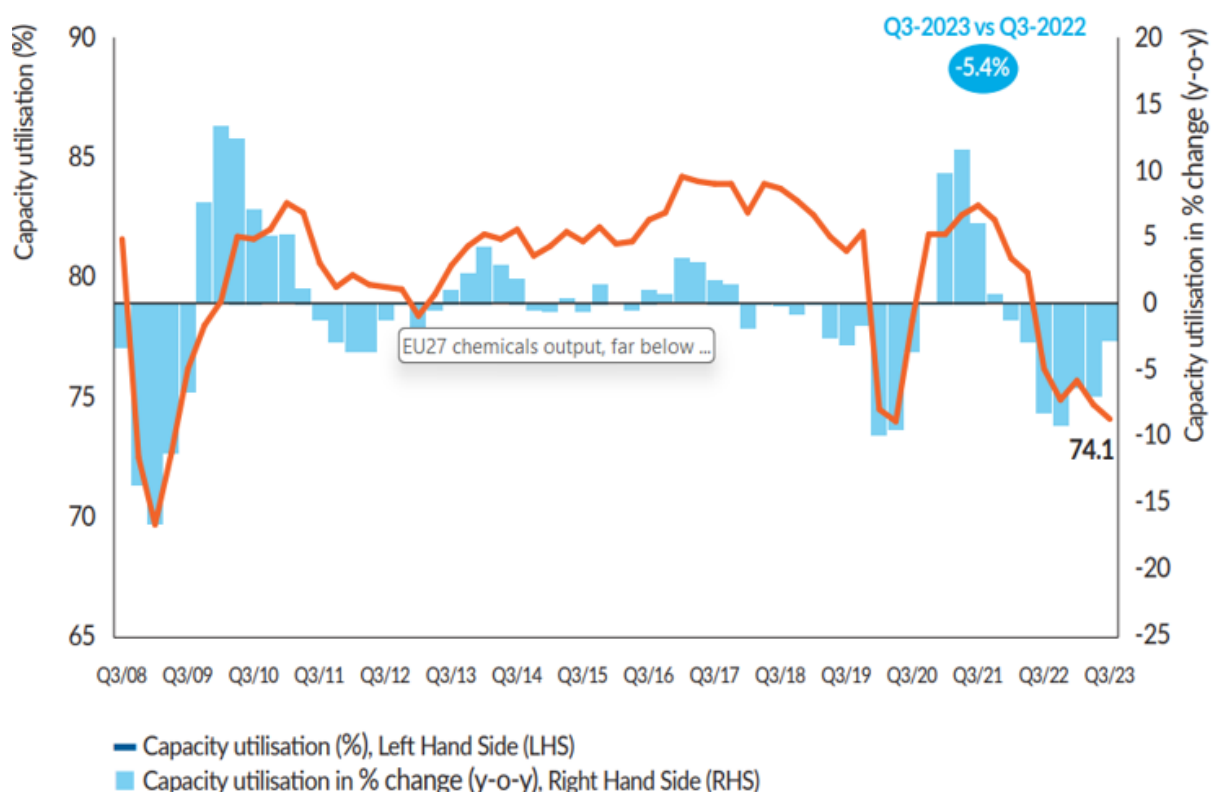
**Obrázek 3** Světový prodej chemikálií: 10 předních zemí



**Obrázek 4** Prodej chemikálií v EU27, 2022 (760 miliard EUR)



**Obrázek 5** Využití výrobních kapacit v EU27 v roce 2023

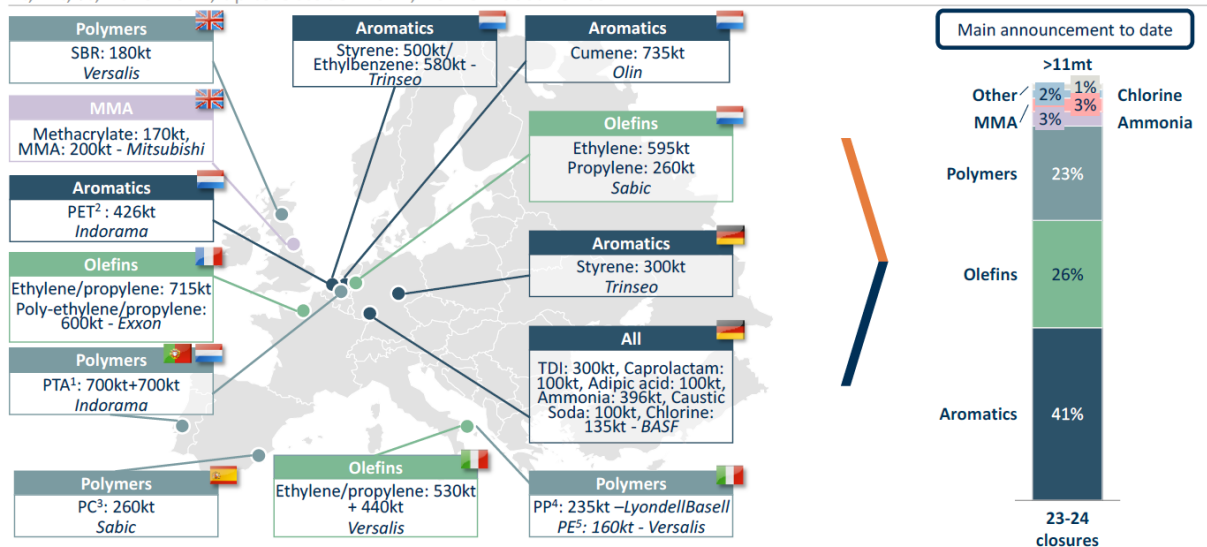


Evropský chemický průmysl, který je již dlouhou dobu základním kamenem prosperity Evropy, je v „bodu zlomu, což ohrožuje jeho budoucnost na kontinentu“. Uzavírání závodů s kapacitou více než 11 milionů tun již probíhá (2023–2025), což se dotkne 21 hlavních evropských výrobních míst. Evropský chemický průmysl zažívá slabou poptávku: průměrné roční objemy výroby v roce 2023 se od roku 2021 snížily o přibližně 14 % (obr. 2) a oživení zůstalo v i roce 2024 slabé.

- Sektor čelí celosvětovému přebytku výrobních kapacit: míra využití je v současnosti (zejména v Evropě, viz obr. 5) pouze kolem 75 %. Navzdory očekávanému celosvětovému nárůstu poptávky v příštích letech je to kompenzováno dodatečnou nabídkou z dalších investic mimo Evropu. To ztěžuje dosažení lepší míry využití, pokud nejsou tyto nadbytečné kapacity uzavřeny.

**Obrázek 6** Oznámení o uzavření hlavních evropských kapacit (2023 – 2024)

kt, mt, %, 2023-2024, up to October 2024, non-exhaustive list

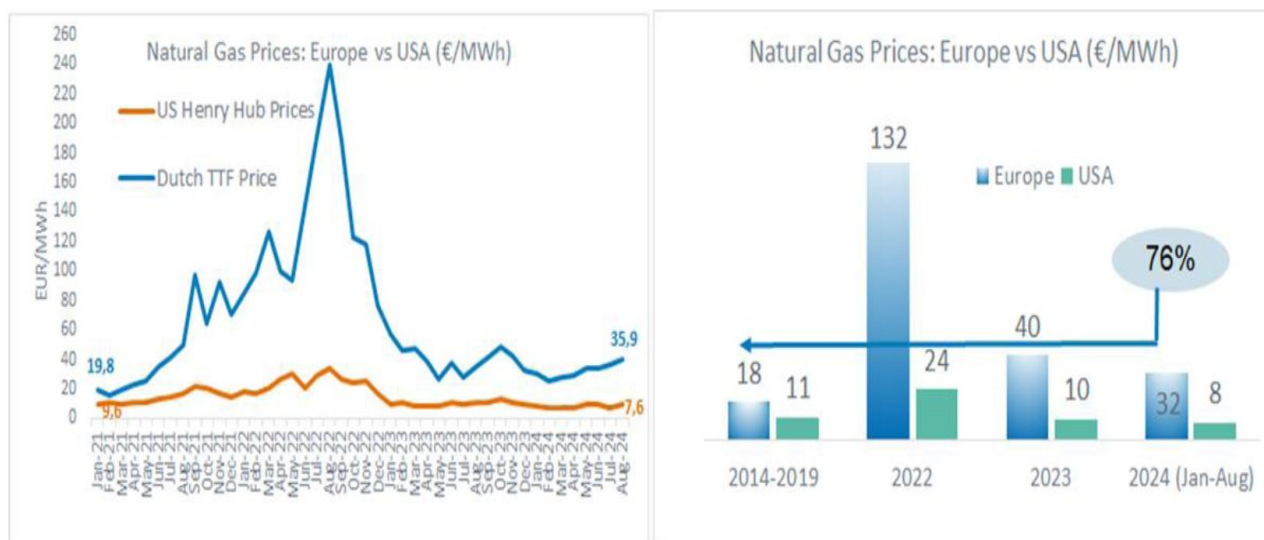


Sources: Companies website, S&P, Chemical Week, Advancy

- Konkurenceschopnost evropského chemického průmyslu je pod tlakem. Evropa je ve značné nevýhodě v cenách energií: Ceny plynu a elektřiny od krize v letech 2021–2023 sice klesly, cena plynu však v současnosti zůstává 4–5krát vyšší ve srovnání s USA a Blízkým východem. Ve střednědobém horizontu se sice očekává pokles, cena však zůstane stále 2–3krát vyšší. Vzhledem k současnému energetickému rámci to znamená konkurenční nevýhodu, při výrobě energeticky náročných základních chemikálií v Evropě na bázi zemního plynu a elektřiny. Pokud jde o energii z ropy ze surové ropy a etanu používaných v organických chemikáliích, mají USA v oblasti ethanu konkurenční výhodu také. Čína a Indie mezitím získaly výhodu tím, že kupují zlevněnou ropu (naftu) z Ruska obcházením sankcí. Evropu také ovlivňují další vyšší náklady na suroviny (bioetanol, cukr, škrob) v důsledku místních dotací a rozdílných celních sazeb.

(Poznámka: Současné ceny plynu v EU (leden – srpen 2024) jsou 76 % nad úrovní před krizí (2014–2019). V porovnání s USA je cena plynu v Evropě (srpen 2024) 4,3krát vyšší a Evropa je tak v konkurenční nevýhodě.)

**Obrázek 7** Vývoj cen zemního plynu evropského chemického průmyslu, zejména ve srovnání se Spojenými státy



Source: ICE Dutch TTF Natural Gas Futures - Investing.com and "National de la Statistique et Etudes Economiques" (INSEE)

- K tomuto konkurenčnímu tlaku se ještě přidávají složitější, nákladnější a více se měnící administrativní a environmentální předpisy, které vedou k dodatečným nákladům a vytvářejí nejistotu pro budoucí investice. V této souvislosti je nutná naléhavá změna (průmyslové) politiky EU. Současná politika:

- 1) je zaměřena hlavně na regulaci spíše než na pobídky,
- 2) nevytváří konkurenční prostředí z hlediska provozních nákladů a
- 3) je příliš složitá ve srovnání s jinými velkými regiony.

Existuje regionální složka toho, jak velkému tlaku jsou firmy vystaveny. Závody v Evropě se v letech 2022 a 2023 potýkaly s problémy s inflací a vysokými cenami energií, což snížilo poptávku a vyvíjelo tlak na chemické marže. V Evropské unii dosáhla inflace v říjnu 2022 maxima 11,5 % ve srovnání s vrcholem v USA 10,1 % v červnu 2022. A vzhledem k tomu, že většina chemických závodů v Evropě čelí cenám zemního plynu o 70 % vyšším než před krizí, region je i nadále nákladově znevýhodněn. Mnohé z těchto společností dále čelily ztrátám v důsledku nižší než očekávané poptávky z Číny. Asijské společnosti byly podobně postiženy nižší poptávkou z Číny a kolísavými cenami LNG.

Z hlediska regionální politiky roste počet opatření a iniciativ zaměřených na podporu místního průmyslu v USA, Číně, Indii a dalších regionech (např. cílené dotace, omezení dovozu/vývozu). Evropské chemické společnosti zároveň čelí zvýšené nekalé konkurenci: odhadem 24 % všech aktivních opatření na ochranu obchodu platných v EU se týká chemikálií. Probíhající antidumpingová opatření se zvýšila. Mezitím společnosti v Evropě čelí rostoucím evropským předpisům, které evropským hráčům ukládají nové, nestlačitelné náklady, kterým neevropští konkurenti nečelí nebo se jim mohou vyhnout. Prosazování právních předpisů EU na hranicích EU postrádá soudržnost. Evropská průmyslová politika se často jeví jako složitá a méně předvídatelná ve srovnání s jejími protějšky. Evropská politika je řízena právními předpisy, nikoli pobídkami, zatímco jiné regiony mají přístup vstřícnější k podnikání a vytvářejí prostředí pro konkurenceschopnější provozní náklady. Tyto negativní faktory konkurenceschopnosti se vyskytují souběžně. Společně mají multiplikační efekt, který vytváří pro evropský chemický průmysl bezprecedentní situaci.

Jak ukazuje předcházející text, evropský chemický průmysl je skutečně na křižovatce. Evropský chemický průmysl čelil prudkému zpomalení, silnějšímu než celková ekonomika, taženému sníženou poptávkou a ohroženou konkurenceschopností. Trend strukturálního převisu nabídky způsobený nadměrnými investicemi se odráží v nízké míře využití průmyslu, která za posledních devět čtvrtletí činila pouze 75 %. Hloubka a trvání zpomalení je bezprecedentní. Konkurenceschopnost Evropy je ovlivněna poměrně vysokými náklady na energie a suroviny a ve srovnání s ostatními zeměmi oslabila, pokud jde o rostoucí regulační a environmentální náklady, stejně jako stále složitější investiční prostředí a nejistější očekávání poptávky.

Bez proaktivních opatření k vytvoření podnikatelského prostředí, které podnikům umožní využít jejich silné stránky a umožní Evropě dosáhnout jejích cílů, hrozí evropskému chemickému průmyslu, že ztratí svou konkurenční výhodu ve srovnání s USA, Čínou a dalšími regiony, zejména v dodavatelských a polymerních a meziprodukty. Narušení horní části hodnotového řetězce může mít dominový efekt na navazující část hodnotového řetězce: méně investic, menší spolehlivost dodávek v důsledku menšího počtu dodavatelů a zvýšené závislosti na dovozu a méně vyškolených pracovníků.

Současná nejistá situace vedla chemické hráče k tomu, aby přezkoumali svou pozici. Již nyní je v Evropě v letech 2023–2024 oznámeno kolem 11 milionů tun odhlášených kapacit, které mají dopad na 21 hlavních lokalit. To odpovídá ztrátě 2–4 % evropského chemického a polymerního průmyslu.

Evropský chemický průmysl čelí dalším rizikům, ale i příležitostem. Obnovení jeho konkurenceschopnosti v krátkodobém horizontu a podpora oživení poptávky jsou zásadní pro udržení jeho pozice a pro podporu další příležitosti růstu, které může využít ve střednědobém horizontu. Bez naléhavých aktivních politických opatření a oživení trhu by mohlo být dále ovlivněno přibližně 8 % přidané hodnoty v chemickém sektoru. Evropský chemický průmysl zároveň hraje klíčovou roli v inovacích a rozvoji udržitelnosti podporujícím dekarbonizaci a přechod na oběhové hospodářství v Evropě. Pokud evropský chemický průmysl znovu získá konkurenceschopnost, bude tyto střednědobé příležitosti nadále využívat.

Evropský chemický průmysl potřebuje „Industrial Deal“, aby obnovil svou konkurenceschopnost a byl v nejlepší pozici pro řešení budoucího růstu. Chemické společnosti aktivně investují a sledují svou stopu, aby řešily budoucí potřeby. Přesto jsou zapotřebí naléhavější a konkrétnější opatření ke zmírnění některých jejich zátěží a dosažení slibného scénáře nové průmyslové dohody. Tato opatření musí zahrnovat dostatečně konkurenceschopnou energii pro energeticky náročné výrobce, jako je chemický průmysl, menší zátěž pro životní prostředí a regulační zátěž, průmyslovou politiku založenou na více pobídkách na podporu investic a inovací.

Stále častěji jsou přijímána opatření na podporu evropské konkurenceschopnosti, která však neodpovídají naléhavosti v chemického odvětví. V únoru 2024 navrhl evropský průmysl 10 kritických bodů na podporu růstu průmyslu v Evropě. Těmito body se také zabývala zpráva Letta a zpráva Draghiho. Z těchto iniciativ bylo identifikováno sedm klíčových akčních pák, které poskytují rámec pro oživení průmyslové konkurenceschopnosti regionu. V nadcházejících měsících vyzývají k těmto akcím: 1) k vytvoření jasné průmyslové politiky na podporu podnikání a výroby v Evropě, 2) snížit administrativní zátěž a současnou nejistotu ohledně politických nákladů s cílem podněcovat budoucí investice, 3) obnovit energetickou konkurenceschopnost a mít konkurenceschopné výchozí suroviny, 4) financovat přechod, inovace a podporovat modernizaci stávajících aktiv, 5) podporovat rovné podmínky ve srovnání s ostatními regiony, 6) podporovat strategickou autonomii, 7) podporovat zákaznická odvětví a poptávku koncových spotřebitelů, zejména po špičkových produktech, s přidanou hodnotou, s nulovou emisí, nízkouhlíkové a cirkulární výrobky.

### **Reakce velkých chemických evropských firem na současný stav:**

Největší světový výrobce chemikálií firma BASF zaznamenala v roce 2023 pokles tržeb o 21 % a zisk propadl o 44 %. V únoru společnost představila program snížení nákladů ve výši 1,1 miliardy dolarů pro své sídlo v Ludwigshafenu v Německu. Tento krok následuje po dvou dřívějších kolech utahování opasků v BASF – jedno v roce 2022 mělo ušetřit více než 500 milionů dolarů a další v roce 2023 mělo vynést 200 milionů dolarů. Tento druhý program vedl k omezení výroby v Ludwigshafenu a k propuštění 700 zaměstnanců. Společnost BASF rovněž provádí dlouhodobé přezkoumání své pozice na trhu.

Firma DOW se optimismem odlišuje od většiny dnešních výrobců chemikálií. Na akci Investor Day v květnu 2023 generální ředitel Jim Fitterling řekl, že si myslí, že nejhorší pokles chemického průmyslu je za ním a že sektor vykazuje známky oživení, a to i v Evropě. Na akci společnost představila plán růstu příjmů o více než 3 miliardy dolarů ročně. Přibližně 2 miliardy dolarů přijdou z projektů, které dokončila nebo v blízké době dokončí. Tyto skromné investice zahrnují rozšíření kapacity alkoxylationu a speciálních aminů. Další 1 miliarda dolarů bude pocházet pouze z jednoho projektu: ethylenového komplexu v

hodnotě 6,5 miliardy dolarů ve Fort Saskatchewan v Albertě. Dow bude používat vodík místo uhlovodíků pro provoz pecí v zařízení. Vodík se bude vyrábět z uhlovodíků a výsledné emise oxidu uhličitého budou zachycovány a skladovány pod zemí. Recyklované plasty budou pro Dow dalším velkým byznysem, který bude zodpovědný za dodatečné příjmy ve výši 500 milionů dolarů, řekl Fitterling. Do roku 2030 společnost plánuje prodávat 3 miliony metrických tun ročně recyklovaných a obnovitelných plastů.

Společnost LyondellBasell Industries vznikla v roce 2007, kdy Basell, významný evropský výrobce petrochemie, koupil Lyondell Chemical se sídlem v Houstonu. Je největším výrobcem polyolefinů v regionu s 18% podílem na trhu. Evropa je v petrochemii ve vážné nevýhodě kvůli vysokým nákladům na energii a suroviny v regionu, takže se tamní velký byznys LyondellBasell stal závazkem. V květnu 2023 společnost zahájila revizi svého majetku, která může vyústit v prodej nebo uzavření některých zařízení. LyondellBasell může také modernizovat některé výroby. Firma vidí budoucnost v Evropě v udržitelných polymerech. Jako místo plánovaného centra pro recyklaci plastů si vybrala německý Knapsack.

Dekarbonizace se pro Linde stala hlavním předmětem podnikání. V květnu podepsal výrobce průmyslového plynu dohodu o výstavbě závodu na separaci vzduchu v hodnotě 150 milionů dolarů, který bude dodávat průmyslové plyny společnosti H2 Green Steel, která staví ocelárnu ve švédském Bodenu. Tato továrna, tvrdí H2 Green Steel, bude mít pouze 5 % emisí oxidu uhličitého než konvenční ocelárny. Technologické oddělení společnosti Linde poskytuje H2 Green Steel adsorpční jednotku s kolísáním tlaku pro zachycování vodíku z pece na výrobu železa s přímou redukcí. Linde také pomáhá chemickému průmyslu dekarbonizovat. Začátkem tohoto roku začala dodávat čistý vodík a zachycený CO<sub>2</sub> společnosti Celanese pro výrobu metanolu v Clear Lake v Texasu. Linde také spolupracuje s OCI na nízkouhlíkové továrně na výrobu amoniaku v Beaumont, Texas. Začátkem tohoto roku dokončily Linde, Sabic a BASF demonstrační závod na elektrickou etylénovou krakovací jednotku v Ludwigshafenu v Německu.

Zatímco ostatní evropští výrobci chemikálií omezují výrobu, Ineos přidává další. Společnost obnovila práce na ethylénové krakovací jednotce v Antverpách v Belgii poté, co jí byla udělena povolení. Ineos bude krakovací zařízení provozovat na etanu vyrobeném v USA, který je mnohem levnější než nafta, primární surovina pro většinu evropských petrochemických výrobců. V prosinci společnost Ineos otevřela továrnu na kumen v německém Marlu. Zařízení je největší svého druhu v Evropě a bude mít o 50 % nižší stopu skleníkových plynů než jiné závody na výrobu kumenu, říká Ineos. V USA společnost Ineos nedávno představila plány na vybudování nízkouhlíkové továrny na výrobu amoniaku se společností Hanwha Corporation. Závod bude mít kapacitu 1 milion metrických tun ročně, z nichž některé plánuje Ineos použít k výrobě akrylonitrilu. Společnost Ineos, věrná svému zvyku nakupovat podniky od svých chemických protějšků, během minulého roku provedla pár malých akvizic. V květnu koupila továrnu na výrobu ethylenoxidu a derivátů v Bayportu v Texasu od LyondellBasell Industries. V prosinci koupila závod Eastman Chemical na výrobu kyseliny octové v Texas City v Texasu.

Společnost Evonik Industries nedávno uzavřela dohodu o prodeji svého podnikání v oblasti superabsorpčních polymerů International Chemical Investors Group. Podnik, který se Evonik snažil prodat od roku 2020, dosáhl v roce 2023 prodeje polymerů používaných v plenkách téměř 1 miliardu dolarů. Stejný kupec soukromého kapitálu koupil v loňském roce pobočky společnosti Evonik v Lüssdoru a Wesselingu v Německu. Chemický podnik Evonik C4 je stále na prodej poté, co ho společnost vyčlenila k likvidaci v roce 2022. Stejně jako ostatní němečtí výrobci chemikálií se Evonik potýkal s problémy a v roce 2023 vytvořil malou ztrátu. V reakci na to společnost zahájila program na zrušení 2 000 pracovních míst, většinou v Německu, ušetřit asi 435 milionů dolarů ročně. Firma ale

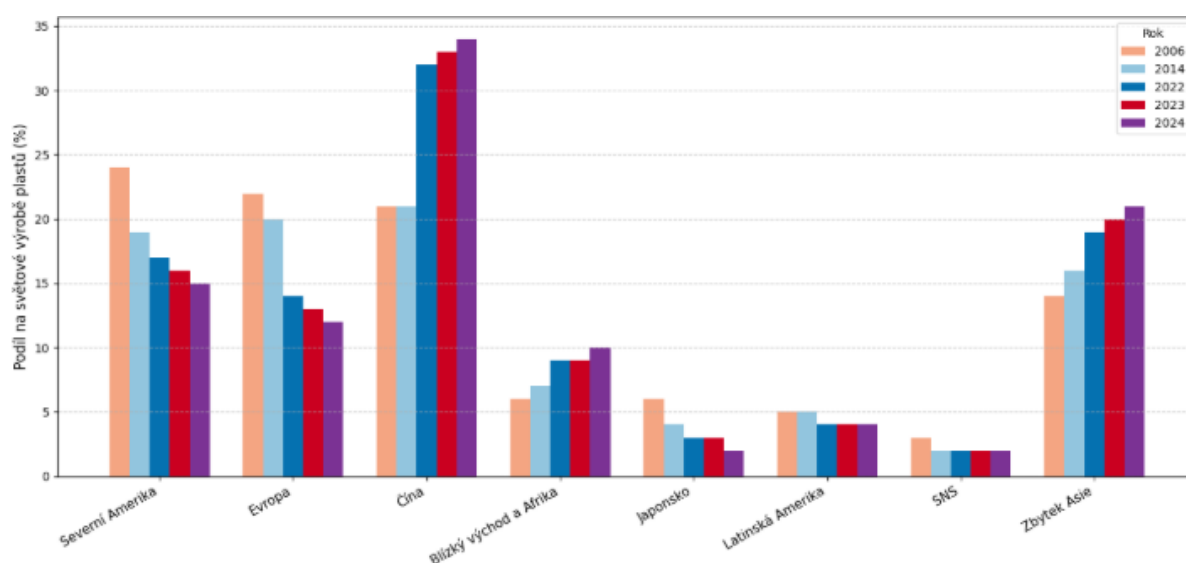
nepřestala investovat. Rozšiřuje výrobu siliky v Charlestonu v Jižní Karolíně o 50 %, aby uspokojila vysokou poptávku ze strany průmyslu pneumatik. Začátkem tohoto roku také začala na Slovensku vyrábět rhamnolipidy, třídu biosurfaktantů.

Arkema má také nákupní ambice. V květnu se francouzský výrobce speciálních chemikálií dohodl na koupi firmy Dow v oblasti laminovaných lepidel pro flexibilní obaly. Podnik má roční tržby kolem 250 milionů \$. V dubnu se dohodla na koupi 78% podílu v Proionicu, rakouském dodavateli iontových kapalin pro vznikající průmyslové aplikace. Proionic měl loni tržby 2,7 milionu dolarů. Arkema také roste organicky. Například vynakládá 135 milionů dolarů na rozšíření výroby dimethyldisulfidu, aditiva používaného v obnovitelných leteckých palivech.

### 3.1 Plastikářský průmysl

Společnost Plastics Europe uvádí ve své zprávě „Plastics – the fast Facts 2024“ aktuální informace o průmyslu plastů a materiálech v Evropě a ve světě. V roce 2023 dosáhla globální produkce plastů 413,8 milionu tun, přičemž Evropa (EU27+3) se podílela 12% (cca 49,7 mil. tun), což je pokles oproti předchozím letům. Největším světovým producentem je Čína (33%), následovaná Asií bez Číny (21%), Severní Amerikou (15%) a Evropou. Evropa tak klesla na čtvrté místo mezi světovými výrobci plastů, což je dáno přesunem výroby do Asie a zpříšňujícími environmentálními regulacemi v EU.

**Obrázek 8.** Podíl Evropy na celosvětové výrobě plastů v letech 2006, 2014 a 2022 - 2024



Poznámky: 1. Evropa=EU25+2 v roce 2006, EU28+2 v roce 2014, EU27+3 v roce 2022-2024.

2. SNS=Společenství nezávislých států: Arménie, Ázerbájdžán, Bělorusko, Kazachstán, Kyrgyzstán, Moldavsko, Rusko, Tádžikistán, Turkmenistán a Uzbekistán.

3. Zbytek Asie=Zahrnuje asijské země (kromě Číny), Oceánii, Turecko a Ukrajinu

Zdroj: Plastics Europe

Obchodní bilance plastů v Evropské unii prochází v posledních letech zásadními změnami. Zatímco v minulosti byla EU významným čistým exportérem plastových surovin i výrobků, v posledních dvou letech se situace obrátila:

- V hodnotovém vyjádření si EU stále udržuje kladnou obchodní bilanci, tedy vývoz plastů je vyšší než dovoz.
- V objemovém (tonážním) vyjádření se však EU stala čistým dovozcem – od roku 2022 u surových plastů, a již od roku 2021 u hotových plastových výrobků.

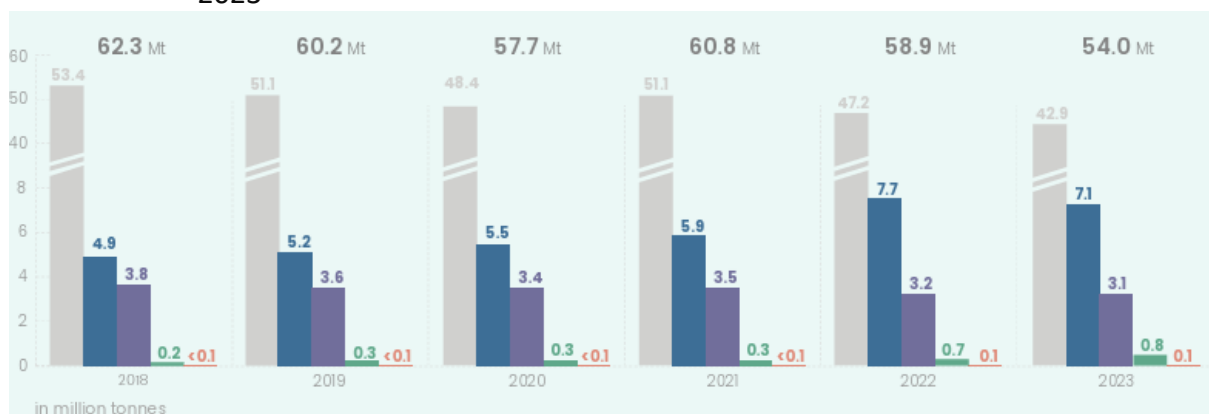
Tento trend je způsoben zejména:

- Rychlým růstem dovozu plastových surovin a výrobků z regionů s méně přísnými environmentálními standardy (zejména Asie).
- Poklesem evropského exportu plastových surovin – mezi lety 2020 a 2023 klesl vývoz o více než 25%.
- Globální nadkapacitou výroby plastů, která tlačí na ceny a zvyšuje konkurenci.

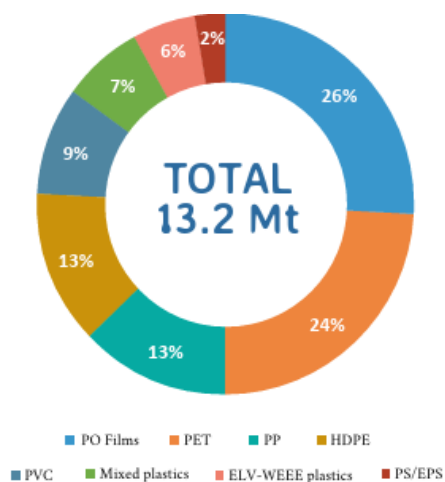
Důsledkem je, že evropský plastikářský průmysl ztrácí konkurenceschopnost, což ohrožuje i rozvoj cirkulární ekonomiky a investice do recyklace. Zároveň se zvyšuje tlak na evropské výrobce, kteří musí splňovat přísnější ekologické normy než jejich mimoevropští konkurenti.

Zpráva „Plastics Recycling Industry Figures 2023“ představuje nejnovější trendy v instalovaných vstupních kapacitách plastových toků v Evropě v roce 2023. Klesající poptávka po recyklovaných materiálech, vysoké výrobní náklady a rostoucí tok dovozu měly v roce 2023 dopad na odvětví recyklace plastů v EU. Pozoruhodné úsilí, které odvětví recyklace plastů v posledních několika letech vynaložilo, je ohroženo kvůli zhoršujícím se tržním podmínkám a klesající poptávce, kterým toto odvětví čelí. Instalovaná kapacita recyklace plastů dosáhla v roce 2023 13,2 milionu tun a zaznamenala meziroční tempo růstu 6%. To ukazuje drastický pokles oproti 17% a 10% tempu růstu, zaznamenanému v letech 2021 a 2022. Odhadovaný obrat se poprvé snížil o 12,5% ve srovnání s rokem 2022 a dosáhl odhadovaných 9,1 miliardy eur. Nové investice se navíc meziročně snížily a v roce 2023 dosáhly 0,5 miliardy eur, oproti 1 miliardě eur v roce 2022. V roce 2023 aktivně recyklovalo plasty v EU27+3 přibližně 850 společností. V roce 2024 došlo k uzavření několika recyklačních zařízení kvůli náročným tržním podmínkám: klesající poptávce, vysokým nákladům na elektřinu a nedostatečné konkurenceschopnosti s primárním a dováženým materiálem ze zemí mimo EU. Odhadovaná instalovaná kapacita chemické recyklace v Evropě činila 150 kilotun, přičemž dominantní technologií byla pyrolýza.

**Obrázek 9.** Evropská spotřeba plastů rozdělená podle zdroje vstupních surovin v letech 2018 - 2023

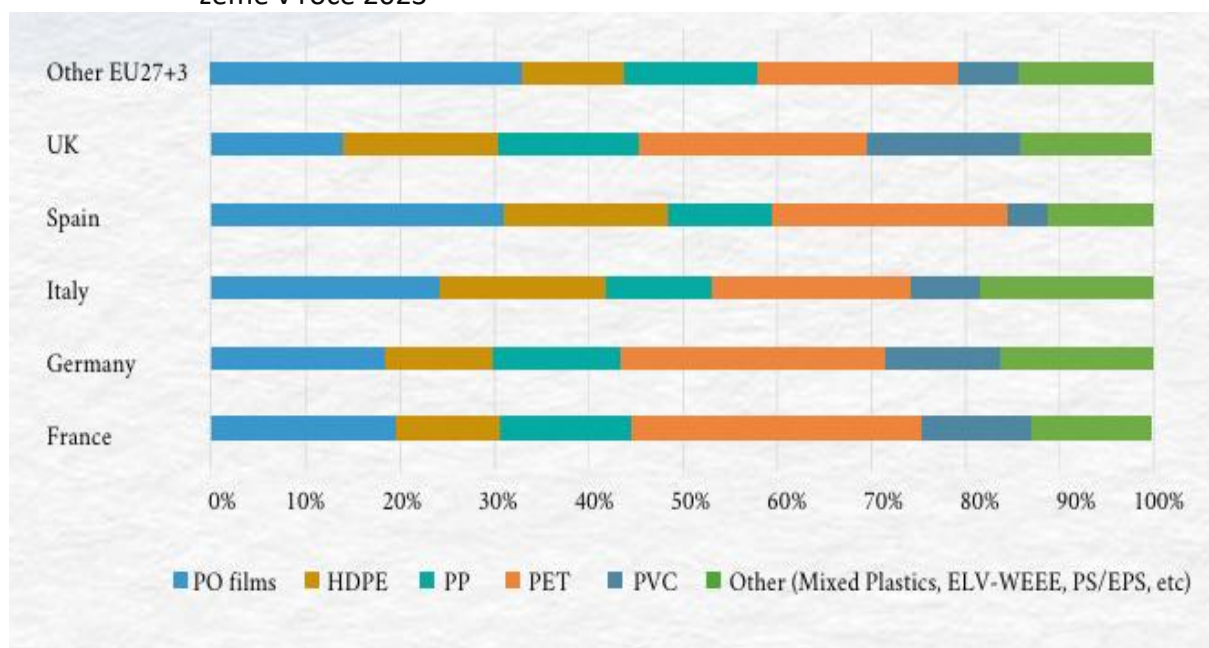


**Obrázek 10.** Podíl instalované recyklační vstupní kapacity v EU27+3 podle typu polymeru v (%) v roce 2023



Polypropylenové fólie dosáhly v roce 2023 instalované recyklační kapacity téměř 3,5 milionu tun, což představuje přibližně 26% z celkové kapacity v zemích EU27+3. Druhým polymerem s největší recyklační kapacitou je PET, který se zvýšil ze 3 na téměř 3,2 milionu tun. Recyklační kapacita HDPE v roce 2023 zůstala stabilní a představovala více než 24% recyklační infrastruktury v Evropě. Instalovaná kapacita recyklace PVC se odhaduje na více než 1,1 milionu tun, přičemž tvrdé PVC tvoří přibližně 70% z celkové kapacity a měkčené PVC zbytek. V rámci skupiny směsných plastů představuje chemická recyklace nyní přibližně 15% celkové kapacity a mechanická recyklace zbývajících 85%. Plasty ELV-WEEE (End-of-Life Vehicles; Waste Electrical and Electronic Equipment) zaznamenaly v roce 2023 růst o 15% a to díky návrhu na zavedení nových cílů pro obsah recyklace v nadcházejících letech a zvýšenému zájmu odvětví, která s těmito polymery pracují. V tomto segmentu je jedna třetina recyklační infrastruktury věnována vozidlům s ukončenou životností (ELV), zejména nárazníkům, zatímco zbývajících dvě třetiny se vztahují na WEEE. Mezi WEEE jsou nejvíce zpracovávány kategoriemi v recyklačních závodech malé domácí spotřebiče (SDA, Small Domestic Appliances) a chladicí a mrazicí spotřebiče (CFA, Cooling and Freezing Appliances), následované IT zařízeními, osvětlovacími zařízeními a dalšími specifickými kategoriemi. Pokud jde o PS, instalovaná kapacita se odhaduje na více než 100 kt, přičemž většina vstupního materiálu pochází z plastových obalů, zejména obalů od mléčných výrobků, jako jsou jogurty a kelímky.

**Obrázek 11.** Celková instalovaná recyklační vstupní kapacita v EU27+3, podle polymeru a země v roce 2023

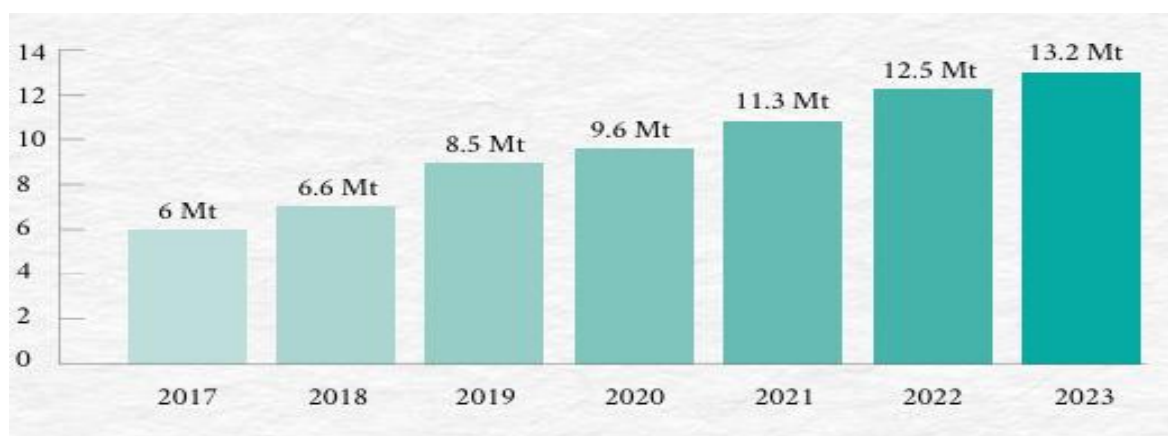


Na úrovni jednotlivých zemí má Německo nejvyšší instalovanou kapacitu recyklace plastů na kontinentu, která se odhaduje na 2 až 2,5 milionu tun, je následované Španělskem s přibližně 2 miliony tun a Itálií, Spojeným královstvím a Francií s kapacitou mezi 1 a 1,5 miliony tun. Těsně za nimi následuje Polsko a Nizozemsko s kapacitou v rozmezí 0,75 až 1 milionu tun a Belgie, která uzavírá první osmičku s přibližně 0,5 milionu tun.

V absolutních hodnotách má Španělsko nejvyšší instalovanou kapacitu pro PO fólie, což částečně souvisí s jeho zemědělským sektorem, který absorbuje značný podíl všech vstupních

materiálů. Následuje Německo a Polsko. Pokud jde o HDPE, Španělsko je opět na vrcholu celkové recyklační kapacity v Evropě následované PP pro Německo, Benelux a Španělsko. Pokud jde o PET plasty, věnovaly Německo, Francie, Itálie, Spojené království i Španělsko mezi 20% až 30% své recyklační kapacity tomuto polymeru. V roce 2023 došlo také k nárůstu v oblasti recyklace zaměřené na výrobu nových lahví z použitých lahví. Německo má největší instalovanou kapacitu pro recyklaci PVC, následované Spojeným královstvím, Beneluxem i Francií.

**Obrázek 12.** Vývoj instalovaných vstupních kapacit pro recyklaci v EU27+3 v letech 2017 - 2023



Vzhledem k současné tržní situaci se tempo růstu odvětví recyklace plastů zpomaluje a v roce 2023 dosáhlo pouze 6%. Pokud budou současné podmínky pokračovat, mohlo by se toto tempo v nadcházejících letech dále zhoršit. Zaplavení dováženými materiály s potvrzením o obsahu recyklovaného materiálu, ohrožuje přežití evropských recyklačních zařízení, která nemohou konkurovat nižším cenám a jsou nucena fungovat se sníženými provozními sazbami. Vývoz plastového odpadu navíc v roce 2023 zvrátil klesající trend a oproti roku 2022 se zvýšil o 18% (Eurostat, EU trade since 1988 by HS2-4-6 and CN8 [DS-045409]). Zavedení přísnějších a harmonizovaných předpisů zaměřených na vytvoření rovných podmínek pro všechny aktéry recyklace, je prvním pilířem pro vybudování solidního oživení a budoucí cesty tohoto odvětví.

Asociace výrobců plastů Plastics Europe se připojila k iniciativě nulových exhalací CO<sub>2</sub> do roku 2050 následující aktivitami:

- do roku 2030 snížit exhalace CO<sub>2</sub> o 66 mil. tun, tj. o 28% oproti současnému stavu,
- do roku 2040 pokračovat ve snižování o dalších 75 mil. tun, tj. o 32%,
- do roku 2050 snížit emise o dalších 93 mil. tun, tj. o 40%.

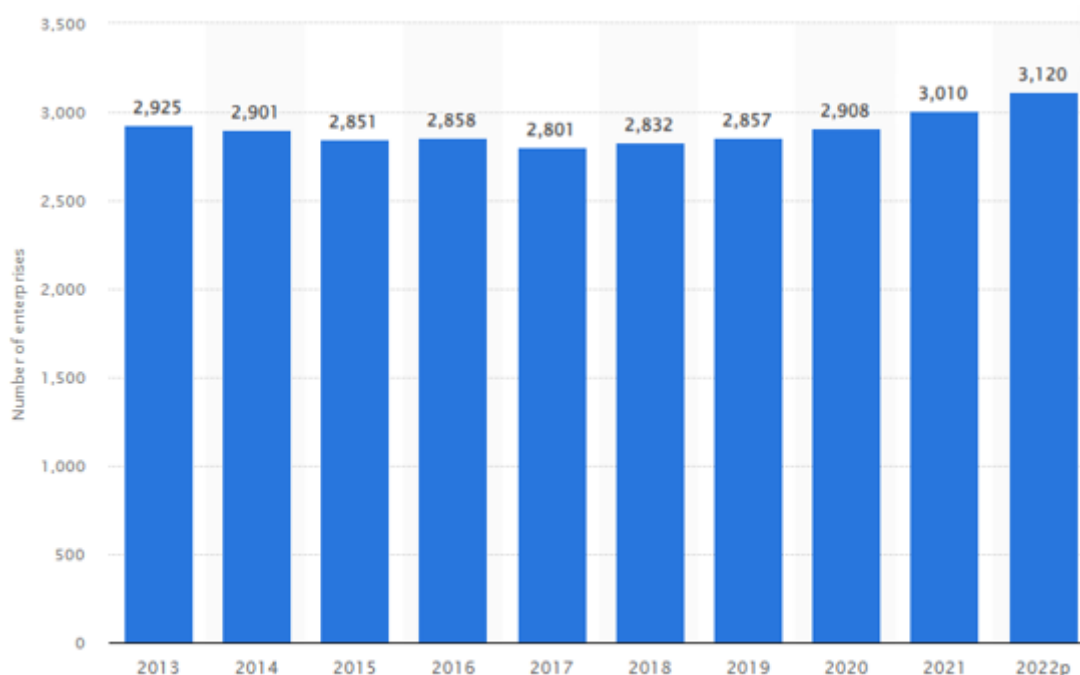
Konkrétní aktivity spočívají zejména ve:

- Snižování spotřeby nových plastů opakovaným používáním.
- Snižování podílu spalování použitých plastových výrobků.
- Vyšším využíváním obnovitelných zdrojů energií ve výrobě primárních plastů při jejich zpracování a mechanických, chemických recyklacích plastových odpadů.
- Zvýšením výroby primárních plastů z bio zdrojů.

Plastikářský a gumárenský průmysl v České republice zaznamenával v posledních letech setrvalý růst díky úzké vazbě na automobilový, elektrotechnický a stavební průmysl. Plastikářský a gumárenský průmysl patří k nejvýznamnějším zpracovatelským odvětvím

vytvářejícím cca 6,5% celkové průmyslové produkce v republice. Problémem je omezený sortiment a výroba hlavně pouze tzv. komoditních druhů plastů: PE, PP, PVC a PS (EPS). Jedná se o sektor, kterému dominují velké a střední podniky. Velké podniky a střední podniky trvale tvoří téměř dvě třetiny výroby a více než čtvrtinu jejich tržeb. V přidané hodnotě je situace podobná. Ohledně zaměstnanosti velké podniky tvoří polovinu a střední podniky až třetinu počtu lidí zaměstnaných v divizi. V odvětví dominuje výroba plastových výrobků – CZ-NACE 22.2. Dominantní je především z hlediska počtu jednotek a počtu zaměstnanců; v ostatních charakteristikách je její převaha nad výrobou pryžových výrobků mírnější. V roce 2022 se počet podniků v průmyslu výroby plastových výrobků v České republice od roku 2021 zvýšil o 110 podniků (+3,65%). S počtem 3 120 podniků tak počet podniků dosáhl nejvyšší hodnoty ve sledovaném období, viz obr. 10).

**Obrázek 10** Počet podniků ve výrobě plastových výrobků v ČR v letech 2013 až 2022

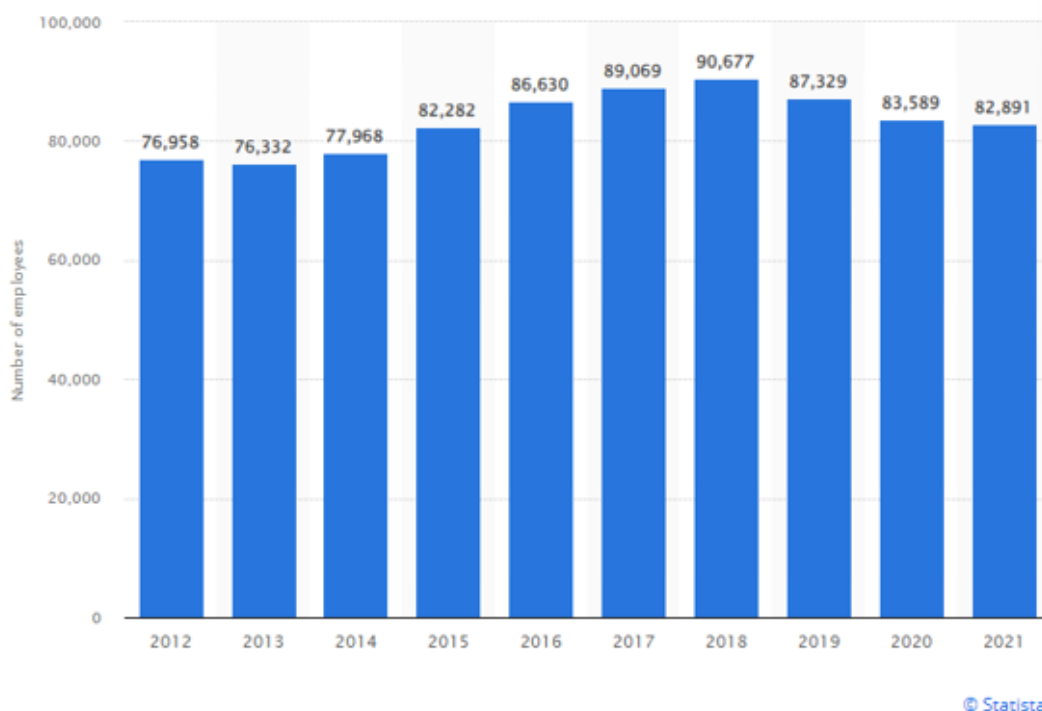


© Statista

Poznámka: V souladu s NAŘÍZENÍM EU (ES) č. 250/2009 jsou zde zahrnuty pouze společnosti, které byly aktivní alespoň po část referenčního období. Zahrnuje také místní jednotky (pobočky), které netvoří samostatný právní subjekt a které jsou závislé na zahraničních podnicích.

Počet zaměstnanců v průmyslu výroby pryžových a plastových výrobků v ČR se v roce 2021 oproti předchozímu roku 2020 výrazně nezměnil a zůstal na zhruba 82 891 zaměstnancích. Rok 2021 přesto znamenal třetí pokles počtu zaměstnanců v tomto odvětví v řadě (viz obr. 11).

**Obrázek 11** Počet zaměstnanců v průmyslu výroby pryžových a plastových výrobků v ČR od roku 2012 do roku 2021



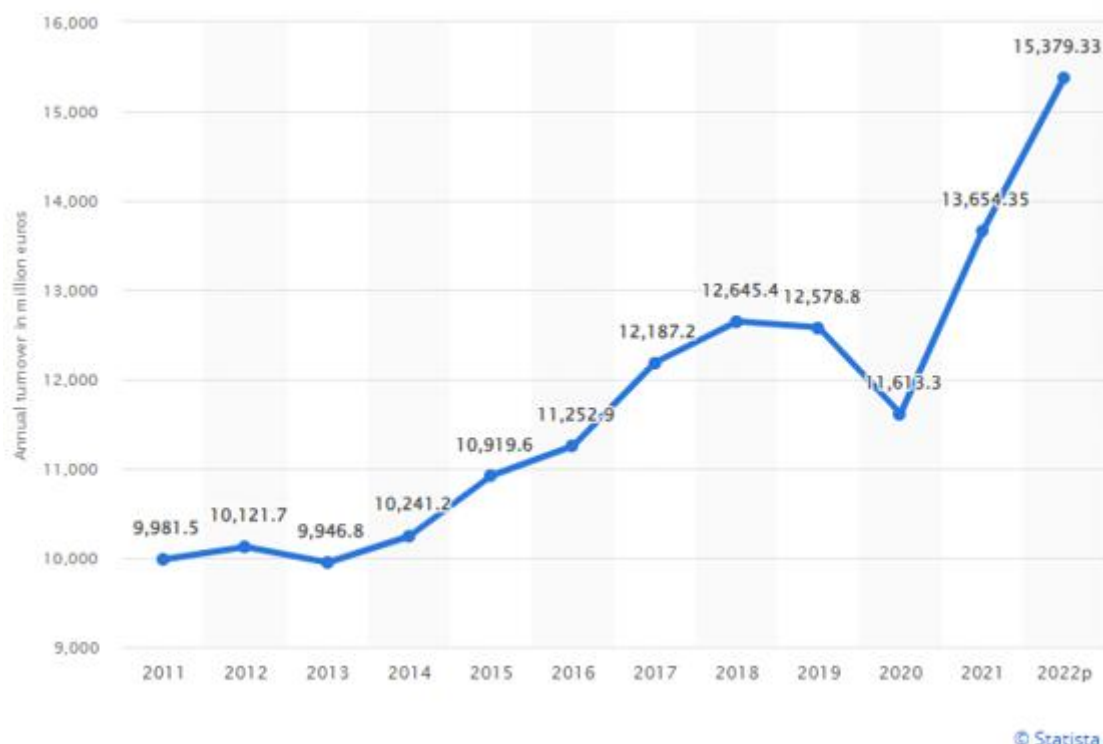
Poznámka: Podle Eurostatu jsou zaměstnanými osobami všechny osoby ve věku 15 let a více, které během referenčního týdne vykonávaly práci, byť jen jednu hodinu týdně, za mzdu, zisk nebo rodinný prospěch nebo nebyly v práci, ale měly zaměstnání nebo podnik, ze kterého pocházely. dočasně nepřítomen například z důvodu nemoci, dovolené, pracovního sporu a vzdělání nebo školení.

Obrat průmyslu výroby pryžových a plastových výrobků v ČR se v roce 2022 zvýšil o 1,7 miliardy eur (+12,63 procenta). S 15,4 miliardami eur tak obrat dosáhl nejvyšší hodnoty ve sledovaném období (obr. 12).

V hodnotě produkce obsazují v současnosti první příčky plasty v primárních formách (polyethylen – 16 mld. Kč, polypropylen – 13 mld. Kč v roce 2022) a syntetický kaučuk (11 mld. Kč). Produkce plastických hmot zaznamenala v posledních třech desetiletích výrazný vzestup. Z agregované hodnoty 421 tis. tun v roce 1993 vystoupala až na 1 524 tis. tun v roce 2022. Hranici milionu tun překročila v roce 2004.

V odvětví výroby pryže a plastů dominují výroba plastových částí pozemních vozidel (40 mld. Kč v roce 2022) a výroba pneumatik (50 mld. Kč), jejichž množství dlouhodobě překračuje 20 milionů kusů ročně.

**Obrázek 12** Roční obrát výroby pryžových a plastových výrobků v ČR od roku 2011 do roku 2022 (v milionech eur)

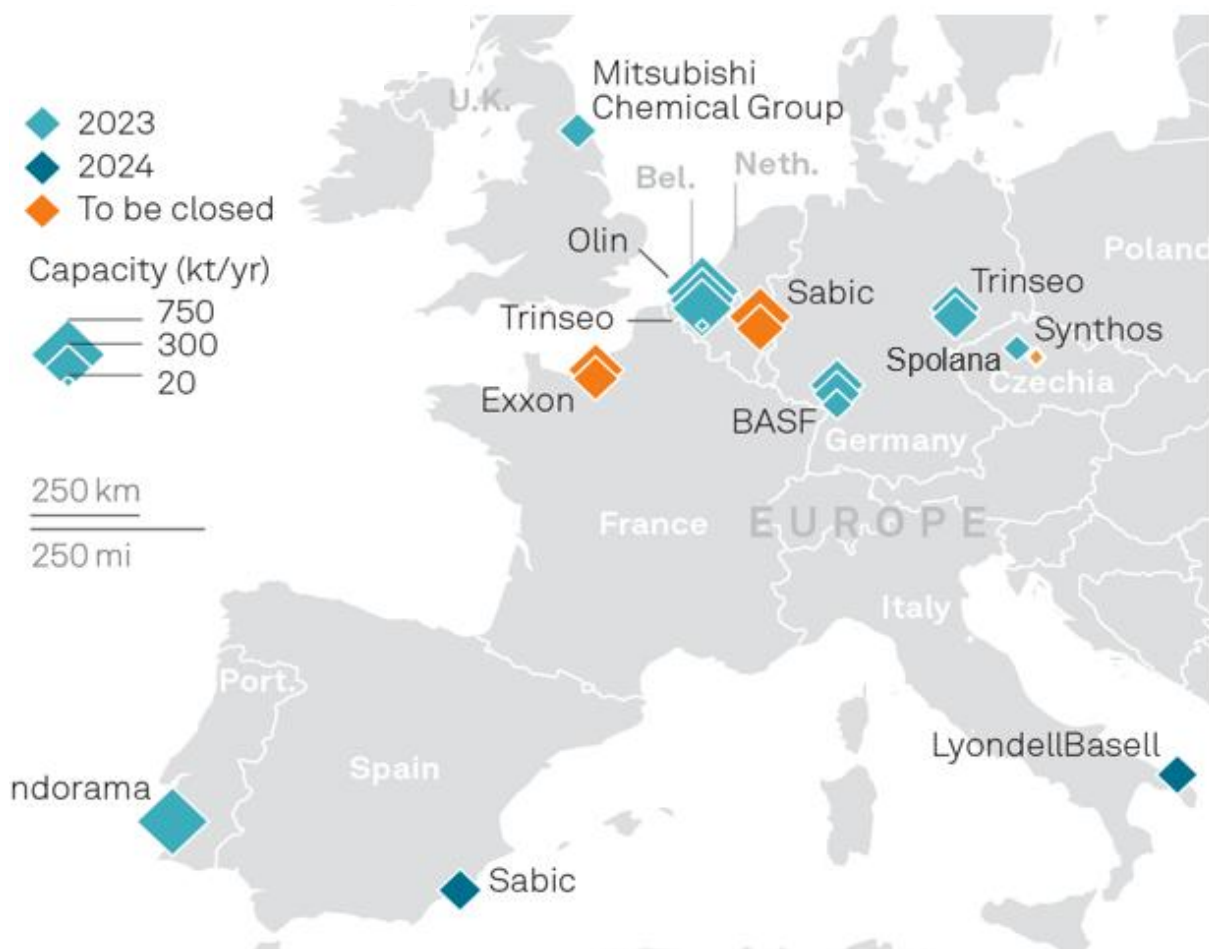


Výkonnost chemického průmyslu, jednoho z nejvýznamnějších průmyslových odvětví v ČR v roce 2023, zaznamenala postupnou stabilizaci a oživení po 1,5 roku trvající pandemii COVID-19, která negativně ovlivnila chemický (NACE 20) a plastikářský průmysl a zpracování pryže (NACE 22) zejména v důsledku výrazného poklesu poptávky ze strany navazujících odvětví a výrazného poklesu cen surovin i chemických derivátů. Od konce roku 2021 byl průmysl navíc ovlivněn výrazným nárůstem cen energií (zemního plynu a elektřiny), který způsobil postupný růst cen s poklesem ziskovosti odvětví.

V současné době se zotavení průmyslu z pandemie a vysoké inflace nedostavilo. Firmy stojí před nutností investovat a země může jít i cestou deindustrializace. Naše země v současnosti řeší, jak se alespoň částečně odpoutat od těsného spojení s klopýtajícím německým průmyslem.

Obě země v tom nejsou samy. Za svými klíčovými ekonomickými rivaly – USA i Čínou – ztrácí celá Evropa. Shrnuje to nedávno publikovaná zpráva, kterou pro Evropskou komisi zpracoval Mario Draghi. Bývalý prezident Evropské centrální banky a italský expremiér v ní popisuje pomalé skomírání EU, zaostávání, ztrátu produktivity. Navrhuje i řešení: ze slabého růstu se masivně proinvestovat. Podle ní by unie měla ročně investovat dodatečných až 800 miliard eur, tedy zhruba 20 bilionů korun, a využít k tomu i společné evropské dluhopisy. V Česku je vidět, jak pozice průmyslu slábne. Jako celek se zcela nezotavil z pandemie, narušených dodavatelských řetězců a vysoké inflace. Jestliže jsou teď investice klíčové, nevypadá to nadějně. Firmy – obzvláště ty malé a střední – si teď další výdaje dvakrát rozmyslí. Česko dlouho konkurovalo levnou pracovní silou, to se ale změnilo. I proto by mezi priority měly patřit investice do automatizace. Firmám pomůže dodávat produkty a služby s vyšší přidanou hodnotou. V prostředí vysokých cen energií (ve srovnání s USA, Čínou či Koreou) to jinak nepůjde.

**Obrázek 13** Uzavřené petrochemické výrobní kapacity v letech 2023 – 2024 (včetně dalších plánovaných uzavření)



Současná situace v plastikářském průmyslu je poznamenána snižující se poptávkou, obavami o životní prostředí, změnami předpisů a politik a absencí vhodné infrastruktury. Očekává se, že odvětví plastů bude i nadále čelit výzvam udržitelnosti a životního prostředí, stejně jako měnícím se preferencím spotřebitelů a měnící se poptávce. Existují však příležitosti pro růst a inovace, zejména ve vývoji nových, udržitelnějších plastových materiálů a přechodu na modely oběhového hospodářství, které umožňuje vhodná infrastruktura. Úspěch tohoto odvětví bude záviset na jeho schopnosti vyvážit hospodářský růst se sociální a environmentální odpovědností.

### 3.2 Jednorázově používané plasty – nová směrnice v rámci EU (SUPD)

Směrnice (EU) 2019/904, známá také jako Směrnice o plastech na jedno použití (SUPD), byla schválena v červnu 2019 a vstoupila v platnost dne 3. července 2021. Jejím cílem je snížit negativní dopad některých plastových výrobků na životní prostředí a podpořit udržitelný přístup k využívání plastů, včetně jejich recyklace.

#### Hlavní body směrnice:

- **Zákazy některých jednorázových plastových výrobků:** Směrnice zakazuje několik jednorázových plastových předmětů, které se nejčastěji nacházejí na plážích, včetně vatových tyčinek (kromě těch pro lékařské použití), příborů, talířů, brček (s výjimkou brček pro lékařské použití), míchadel na nápoje, balónových tyčí a expandovaných polystyrenových (EPS) nádob na potraviny a nápoje.
- **Snížování spotřeby:** Členské státy EU musí přijmout opatření ke snížení spotřeby plastových kelímků a nádob na potraviny na jedno použití.
- **Podpora recyklace:** Směrnice zavádí opatření na podporu recyklace plastových výrobků a omezení jejich používání. Mezi ty nejdůležitější patří povinné recyklační cíle pro PET lahve, které zahrnují minimálně 25% recyklovaného obsahu do roku 2025 a 30% do roku 2030

#### Aktuální stav:

- **Implementace v členských státech:** I když směrnice vstoupila v platnost, ne všechny členské státy EU ji plně implementovaly. To vedlo k neharmonizovanému stavu provádění v celé EU, což způsobuje zmatky mezi spotřebiteli, tvůrci politik a v rámci odvětví.
- **Národní legislativní opatření:** Některé členské státy již zavedly omezení produktů, které směrnice pokrývá, ale produkty, které jsou již na trhu, mohou být prodávány nebo distribuovány i po 3. červenci 2021 bez jakéhokoli termínu. To je i jeden z důvodů, proč stále nacházíme plastová brčka v našich nápojích nebo jídlech s sebou v krabicích z EPS, a to i v členských

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.

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.

Prováděcí nařízení Komise týkající se požadavků na označování nebylo přijato s velkým nadšením ze strany značné části průmyslu, když bylo zveřejněno v prosinci 2020. Nařízení vyžaduje uvedení piktogramů zobrazujících umírající želvy na hygienické vložky, tampony a aplikátory, jakož i na vlhčené ubrousky, tabákové výrobky a kelímky na nápoje, pokud obsahují plasty. Přesná definice toho, co Komise považuje za „plast“, však byla zveřejněna až 31. května 2021 v oficiálních pokynech. To vedlo k ještě větším zmatkům ohledně pravidel: pokud produkt obsahuje PHA nebo PLA, je vyžadováno logo; pokud obsahuje lyocell, není žádné logo potřeba. 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.

Označování kelímků vyvolalo v obalovém průmyslu reakce. Některé z hlavních připomínek zahrnují to, že kelímky nejsou jedny z nejčastějších předmětů nacházejících se na plážích a že štítek neposkytuje informace o možnostech likvidace nebo recyklace. Evropská asociace pro biodegradabilní a kompostovatelné plasty (EUBP) také poukazuje na to, že etikety nerozlišují mezi konvenčními a biodegradabilními/kompostovatelnými plasty a neposkytují doporučení pro jejich ekologickou recyklaci.

### **Specifický dopad SUPD na průmysl bioplastů**

Směrnice (EU) 2019/904 o omezení dopadu některých plastových výrobků na životní prostředí (SUPD) má významný dopad na průmysl bioplastů. Směrnice nerozlišuje mezi konvenčními plasty, bioplasty nebo biodegradabilními a kompostovatelnými plasty. To znamená, že biologicky rozložitelné/kompostovatelné plasty i plasty na biologické bázi jsou považovány za plasty a spadají do působnosti směrnice SUPD.

#### **Hlavní dopady na průmysl bioplastů:**

- **Zákazy některých výrobků:** Talíře vyrobené z kompostovatelných plastů a talíře vyrobené z papíru nebo lepenky s biologicky rozložitelným a kompostovatelným plastovým povlakem jsou zakázány. Opakovaně použitelné talíře nebo talíře vyrobené z papíru/kartonu nebo bagasy bez plastu jsou stále povoleny.
- **Pozitivní výklad některých členských států:** Některé členské státy, jako například Itálie, uznávají výhody biodegradovatelných a kompostovatelných plastů a vypracovaly řadu slibných právních dokumentů. Itálie například transponuje základní omezení SUPD, ale ze zákazů vylučuje kompostovatelné plasty s certifikací EN 13432 s definovaným biologickým obsahem.

## **3.3 Nařízení o plastových obalech – nové nařízení v rámci EU (PPWR)**

Nařízení o obalech a obalových odpadech (PPWR) je nové evropské nařízení, které bylo formálně schváleno Radou EU dne 16. prosince 2024.

Nařízení bylo publikováno v Úředním věstníku EU 22. ledna 2025. Obecná aplikace pak nastává od 12. srpna 2026 (18 měsíců po vstupu v platnost) – většina povinností (recyklovatelnost, minimální obsah recyklátů, zákaz nadměrných obalů).

#### **Hlavní body nařízení:**

- **Snížení produkce obalů:** Členské státy jsou povinny splnit cíle pro snížení produkce obalů ve výši 5 % do roku 2030, 10 % do roku 2035 a 15 % do roku 2040 ve srovnání s úrovní z roku 2018
- **Zálohování nápojových obalů:** Nařízení požaduje, aby členské státy EU zavedly zálohový systém pro nápojové plechovky a plastové lahve tak, aby do roku 2029 zajistily vytrídění 90 % těchto obalů, které budou posílány k recyklaci
- **Opakovaně použitelné obaly:** Hospodářské subjekty v členských zemích EU musí zajistit, aby určité procento jejich obalů uváděných na trh bylo opakovaně použitelné. Například cíl pro opakované použití přepravních obalů je 40 % do roku 2030 a 70 % do roku 2040
- **Recyklace obalů:** Všechny obaly musí být do roku 2030, respektive do roku 2035 recyklovatelné. Plastové obaly mají stanovené cíle pro obsah recyklátu, který se pohybuje podle typu plastu od 10 % do 65 %
- **Zavedení EPR systému v EU:** Rozšířená odpovědnost výrobce bude zajišťována jednotným systémem EU.

Nařízení o obalech a obalových odpadech (PPWR) přináší pro průmysl několik významných výzev. Zde jsou hlavní z nich:

**Recyklovatelnost a nový rámec pro návrh recyklace (DfR):** PPWR stanovuje, že do roku 2030 musí být všechny obaly recyklovatelné podle nových kritérií DfR, která klasifikují obaly do výkonnostních tříd. Obaly s recyklovatelností pod 70 % budou podléhat vyšším poplatkům za rozšířenou odpovědnost výrobce (EPR), což činí nerecyklovatelné obaly finančně neudržitelné.

**Zákaz:** PFAS v obalech pro potravinářství, nadměrné obaly (prázdné místo  $\leq 50\%$  od 2030).

**Obsah recyklátu:** PPWR stanovuje závazné cíle pro obsah recyklovaného materiálu v plastových obalech. Tyto cíle se postupně zvyšují mezi lety 2030 a 2040. Například do roku 2030 musí PET obaly obsahovat 30 % recyklovaného materiálu, zatímco do roku 2040 to bude 50 %

**Zákazy jednorázových plastových obalů:** PPWR zakazuje některé jednorázové plastové obaly do roku 2030, což představuje výzvu pro výrobce, kteří musí najít alternativní materiály a technologie.

**Implementace a dodržování předpisů:** PPWR přináší nové požadavky na správu odpadů, hlášení a návrh obalů, což zvyšuje administrativní zátěž pro podniky.

Aktuálně Evropská komise připravuje 40+ delegovaných/implementačních aktů (normy recyclability, štítky, výpočty). Očekávané jsou postupně do roku 2026.

### 3.4 Digitalizace a využití AI v segmentu plastů

#### Umělá inteligence pro vývoj nových polymerních materiálů

Evropská unie i Česká republika kladou důraz na přechod k oběhovému hospodářství plastů, například cílem EU je do roku 2030 dosáhnout, aby veškeré plastové obaly na trhu byly opětovně použitelné nebo recyklovatelné. To vyžaduje vývoj zcela nových typů polymerů a formulací, které budou splňovat funkční požadavky a současně umožní recyklaci či biologickou rozložitelnost. Tradiční vývoj polymerů je však zdoluhavý (nový materiál obvykle trvá roky vývoje a testování). Umělá inteligence (AI) se proto stává klíčovým akcelerátorem, který může vývoj výrazně urychlit a zefektivnit, což je nezbytné pro udržení konkurenceschopnosti plastikářského průmyslu. Podle odborných vizí má AI v chemickém

průmyslu vůbec největší potenciál způsobit disruptivní změny v hodnotových řetězcích a urychlit inovace. [suschem.org](https://suschem.org)

AI umožňuje rychlejší objevování nových materiálů a lepší rozhodování díky analýze obrovského množství dat a zkušeností, které lidé nedokáží manuálně zpracovat. Například strojové učení dokáže vyvodit vztahy mezi strukturou polymeru a jeho vlastnostmi (mechanickými, tepelnými, bariérovými aj.) a na základě toho navrhnout slibné nové receptury. Tím se zásadně zkrátí cyklus *nápad–vývoj–uvedení na trh*. AI rovněž umožňuje pružněji reagovat na poptávku trhu, nové požadavky zákazníků lze digitálně promítnout do návrhu materiálu a rychle najít optimální řešení. V neposlední řadě AI usnadňuje zapracování environmentálních kritérií už ve fázi návrhu. [sciencedirect.com](https://www.sciencedirect.com)

### Datová infrastruktura a standardizace

Základním předpokladem úspěšného využití AI je kvalitní datová základna o polymerech. Je nezbytné budovat rozsáhlé databáze zahrnující struktury polymerů, jejich vlastnosti (mechanické, tepelné, reologické aj.), podmínky zpracování, údaje o stárnutí a degradaci, a to v standardizovaném formátu. Dnes jsou taková data roztříštěná mezi různé zdroje a často nejsou kompatibilní. Prioritou je proto sdílení a normalizace dat, definice jednotných ontologií a protokolů, aby údaje byly strojově čitelné a využitelné pro ML modely. Příkladem je japonská databáze PolyInfo, která obsahuje přes půl milionu datových bodů o polymerech a díky využití ontologií a normalizace byla celá převedena do strojově čitelné podoby. [tandfonline.com](https://tandfonline.com) Podobné iniciativy by měly vznikat i v Evropě s aktivní účastí českých pracovišť. Důležité je také aplikovat principy FAIR (Findable, Accessible, Interoperable, Reusable) pro data o polymerech. Vedle samotných databází je výzvou i standardizace reprezentace struktury polymerů, na rozdíl od malých molekul jsou polymerní řetězce složité (polydisperzita, kopolymery). Vyvíjejí se však “jazykové” modely pro chemické zápisy polymerů (např. formát BigSMILES či model polyBERT využívající přístupů NLP) umožňující jednotně popsat a předvídat strukturu a vlastnosti polymerů. Investice do datové infrastruktury zahrnují nejen IT nástroje, ale i systematickou digitalizaci experimentů, sběr dat z laboratorních testů a výrobních procesů přímo do elektronických databází včetně metadat (podmínek měření atd.). Tento směr je nezbytným základem pro všechny další AI aplikace (bez kvalitních dat nemůže ML poskytovat dobré výsledky). [nature.com](https://www.nature.com)

### Generativní návrh a prediktivní modely vlastností

Druhým pilířem je vývoj generativních a prediktivních AI modelů, které dokáží na základě získaných dat navrhnout nové polymery a předpovídat jejich vlastnosti. Jde o naplnění paradigmatu strukturálně-funkčních vztahů (S–V–Z), kdy modely pochopí, jak chemická struktura a složení polymeru ovlivňují výsledné vlastnosti a užité hodnoty. Moderní algoritmy strojového učení (včetně hlubokých neuronových sítí a grafových modelů) již prokázaly, že umí předpovědět klíčové vlastnosti polymerů z jejich struktury např. teplotu skelného přechodu, pevnost, rozpustnost apod. s překvapivě vysokou přesností. [andrewbusch.com](https://www.andrewbusch.com) Nástroje jako *PolyID* (využívající neuronové sítě) dokáží dokonce procházet miliony možných strukturních variant polymerů a rychle vytipovat ty nejperspektivnější kandidáty. Generativní modely inspirované například hlubokými generativními sítěmi nebo posíleným učením mohou navrhnout zcela nové polymerní sloučeniny (monomery, kopolymery, přísady) tak, aby splnily zadaná kritéria. Generativní AI již v praxi vyvíjí nové polymery rekordní rychlostí, mimo jiné i s ohledem na začlenění recyklátů. Využití takových modelů znamená, že namísto tradičního zdoluhavého experimentování lze tisíce kandidátních polymerů otestovat virtuálně během zlomku času. [plasticstoday.com](https://www.plasticstoday.com) Modely poskytnou predikci, jaké vlastnosti daná navržená makromolekula či

směs bude mít, ještě než je skutečně syntetizována. To výrazně redukuje počet reálných experimentů potřebných k dosažení požadovaného materiálu výzkumníci se mohou soustředit jen na úzký výběr nejslibnějších variant. Například u vývoje pružného, ale pevného elastomeru pro 3D tisk AI model vygeneroval sadu nejlepších receptur a vyloučil neperspektivní možnosti, čímž ušetřil vývojářům spoustu času a peněz. [cmu.edu](https://cmu.edu) Prediktivní simulace také usnadňují ladění receptur, lze předem zkoumat, jak drobná změna (např. délky řetězce, typu přísady, poměru kopolymeru) ovlivní výsledné parametry, a tím cíleně vést chemika k optimální struktuře. Do budoucna (po roce 2030) se očekává, že AI bude stále více schopna autonomně navrhovat nové materiály, tedy nabídne návrhy vylepšení či zcela nových molekul, které člověka by třeba ani nenapadly. [suschem.org](https://suschem.org) Úlohou expertů pak bude tyto návrhy posoudit a realizovat nejperspektivnější z nich v praxi.

### **Screening a optimalizace bio-surovin a materiálů z chemické recyklace**

Další prioritní oblastí je aplikace AI při hledání udržitelných zdrojů polymerů, ať už obnovitelných bio-surovin, nebo intermediátů získaných pokročilou recyklací plastů (pyrolýza, depolymerizace apod.). Cílem je rozšířit portfolio polymerních materiálů tak, aby byly méně závislé na fosilních zdrojích a lépe zapadaly do cirkulární ekonomiky. Problémem však je obrovský prostor možností: biomasa může poskytnout stovky potenciálních chemických látek, rovněž produkty chemické recyklace tvoří složité směsi. AI nástroje jsou ideální pro rychlý screening těchto možností. Například platformy jako Citrine dokážou vzít sadu nových “zelených” přísad (např. biopolymerní aditiva, recyklované monomery) a během několika měsíců vyhodnotit tisíce kombinací, zda z nich lze vytvořit polymer splňující požadované vlastnosti. V praxi bylo ukázáno, že zákazník požadující materiál s určitými tepelnými vlastnostmi z nových bio-složek obdržel díky AI řešení během 5 měsíců, přičemž algoritmus prohledal přes 2400 kandidátních polymerů a vytypoval několik nejlepších, místo aby firma musela zkoušet všechny možnosti v laboratoři. Podobně v oblasti recyklátů AI pomáhá optimalizovat směsi s obsahem druhotných surovin. Recyklované plasty mívají proměnlivé složení (molekulová hmotnost, znečištění jinými polymery, zbytky barviv či plniv), což ztěžuje jejich opětovné použití. AI dokáže zohlednit variabilitu těchto vstupů – vytvoří *profil* dané šarže recyklátu a navrhne, jaké složení nové směsi (s panenskou surovinou a aditivu) zajistí požadované vlastnosti. Příkladem je ABS s 20% obsahem nového recyklátu, kde model pomohl najít formulaci dosahující předepsané houževnatosti (rázové pevnosti), čímž se podařilo splnit jak výkonové, tak ekologické cíle. Tyto metody označované někdy jako agilní reformulace umožňují výrobcům pružně modifikovat složení polymerů podle dostupných cirkulárních surovin. Výsledkem je širší využití bio-polymerů (např. ze škrobu, celulózy, kyseliny mléčné) a recyklovaných komponent v nových materiálech, aniž by utrpěla kvalita. AI tak urychlí přechod od lineárních řetězců k cirkulárním, pomůže identifikovat vhodné náhrady problematických konvenčních látek (např. nahrazení neobnovitelných nebo toxických komponent bezpečnější bio-alternativou). Jde v souladu s evropskou strategií i konceptem „Safe-and-Sustainable-by-Design“, kdy se již při návrhu materiálu zvažuje dopad zdrojů a konec životnosti. [plasticstoday.com](https://plasticstoday.com)

### **Digitální validace: kombinace simulací, experimentu a LCA**

Posledním, ale zásadním směrem je integrace AI do komplexního procesu validace materiálů tzv. *in silico* (digitální) ověřování, které propojuje simulace, laboratorní experimenty a hodnocení životního cyklu (LCA). V praxi to znamená budovat digitální dvojčata laboratorních procesů: AI model navrhne materiál a zároveň simuluje jeho chování (molekulární simulace, predikce zpracovatelnosti apod.), následně jsou vybrané varianty skutečně syntetizovány a otestovány a získaná data se vrací zpět do modelu pro jeho zpřesnění. Tento cyklus se opakuje, dokud materiál nesplňuje všechny cíle. Příkladem

je kombinace automatizované laboratoře a AI, kde model iterativně doporučuje experimenty a chemici je provádějí, takto se podařilo dosáhnout optimálního polymeru (silného a současně pružného) v podstatně menším počtu iterací, než by bylo třeba klasicky. Klíčové je, že digitalizace umožňuje zavést do procesu i kritéria udržitelnosti. Už ve fázi počítačového návrhu lze materiál posoudit z pohledu LCA, tedy vypočítat např. uhlíkovou stopu výroby, energii potřebnou na zpracování, možnosti recyklace či biodegradace. AI tak pomáhá integrovat celoživotní uvažování přímo do vývoje produktu. To, co dříve bylo hodnoceno až dodatečně (když byl materiál vyvinut), se nyní hodnotí paralelně a návrh lze upravit, aby výsledný materiál nebyl jen výkonný, ale i environmentálně přívětivý. Digitální validace rovněž urychluje dosažení vyšších stupňů připravenosti technologie (TRL) díky simulacím lze odhadnout chování materiálu v různých podmínkách, a tím odhalit případné problémy dříve, než se přejde k drahým prototypům či poloprovozům. Celý R&D cyklus se tak zkrátí a zlevní. Do roku 2030+ se očekává rozmach konceptu „self-driving labs“ (plně automatizovaných laboratoří řízených AI), které budou kombinovat robotické syntézy s okamžitou analýzou dat a návrhy dalšího postupu. V takovém režimu by vývoj nových polymerů mohl probíhat nepřetržitě v automatizovaných cyklech, což dále zvýší produktivitu výzkumu a sníží náklady.

## **Využití umělé inteligence v procesu výroby a aplikací polymerních materiálů**

### **Výzkumné a vývojové priority**

Klíčovými oblastmi výzkumu a inovací v této doméně jsou následující:

- **Adaptivní řízení vstřikování, extruze a vyfukování:** AI umožňuje *data-driven* optimalizaci nastavení výrobních strojů v reálném čase. Pokročilé řídicí systémy sledované senzorikou dokáží průběžně upravovat parametry procesu (tlaky, teploty, rychlosti) tak, aby každý výrobek vyhovoval specifikaci. Například v oblasti vstřikování plastů již existují AI asistenti, kteří monitorují proces a navrhuji úpravy nastavení v průběhu cyklu, čímž zajišťují stabilní kvalitu výlisků. To výrazně snižuje výskyt vad a zmetků a minimalizuje potřebu dodatečných oprav, což zvyšuje plynulost produkce. U extruzních linek na fólie byly na veletrzích předvedeny systémy, které jedním tlačítkem automaticky nastaví linku na cílovou tloušťku fólie během desítek sekund s minimální odchylkou bez zásahu obsluhy. Adaptivní řízení tak zkracuje čas potřebný na seřizování, eliminuje lidské chyby při nastavování strojů a udržuje proces v optimálních mezích i při kolísání vstupních podmínek. Cílem výzkumu je dále rozvíjet uzavřené regulační smyčky (closed-loop control) poháněné AI, které směřují k výrobě s nulovou zmetkovitostí [mdpi.com](https://www.mdpi.com), [rjginc.com](https://www.rjginc.com), [plasticsmachinerymanufacturing.com](https://www.plasticsmachinerymanufacturing.com)
- **Prediktivní údržba zařízení:** Namísto plánované údržby podle pevných intervalů se prosazuje *prediktivní údržba* řízená AI modely. Stroje vybavené čidly (vibrace, teplota, tlak hydrauliky, proudové odběry aj.) průběžně generují data, která algoritmy strojového učení analyzují a včas rozpoznají příznaky opotřebení či poruchy ještě před selháním. Výrobce tak může naplánovat servisní zásah proaktivně, čímž se minimalizují neplánované odstávky. Studie potvrzují, že tato strategie výrazně zvyšuje dobu provozu strojů (MTBF) a snižuje dobu oprav (MTTR), protože závada je identifikována v raném stádiu. Například AI systémy v moderních vstřikolisech již dnes monitorují kritické součásti formy a stroje, umí detekovat odchylky vedoucí k vadám dílů a zároveň predikovat, kdy bude potřeba údržba formy či výměna dílu stroje. Prioritou výzkumu je zdokonalení predikčních modelů (např. využití pokročilých neuronových sítí) tak, aby spolehlivě pokryly co nejvíce typů zařízení v plastikářské výrobě.

Úspěšné zavedení prediktivní údržby povede ke zvýšení využitelnosti strojů a celkové efektivity výroby. [rjginc.com](http://rjginc.com) [midstatemold.com](http://midstatemold.com)

- **In-line kontrola kvality:** Zařazení automatické kontroly kvality přímo **do toku výroby** (tzv. *in-line*) je nezbytné pro včasné zachycení vad a udržení stabilní úrovně kvality. Moderní systémy využívají strojové vidění s AI, vysokorychlostní kamery snímají každý výrobek a algoritmy neuronových sítí hodnotí např. povrchové vady, úplnost tvaru, barvu či rozměry s přesností, jaké lidská kontrola nemůže dosáhnout. Kamerové inspekční systémy poháněné umělou inteligencí kontrolují výrobky konzistentně stejným způsobem, bez únavy a subjektivity, čímž výrazně přispívají ke snížení zmetkovitosti. Nasazení těchto technologií umožňuje dosahovat skoro nulového podílu vadných kusů, neboť defektní výrobek je odhalen a vyřazen ještě před dokončením výrobního cyklu. Kromě kamer se využívají i další senzory, například akustická emise nebo vibrační čidla, které odhalí vnitřní vady či odchylky procesu (typicky u vyfukování nebo svařování plastů). AI následně vyhodnocuje signály ze senzorů společně s procesními daty a prediktivně odhaduje výslednou kvalitu produktu. Výzkumnou výzvou je propojit in-line kontrolu s adaptivním řízením tj. aby stroj na základě detekované odchylky sám okamžitě upravil nastavení a zabránil vzniku dalšího zmetku. První studie tímto směrem jsou slibné, například byl vyvinut AI řízený systém povrchové kontroly výlisků s automatickým doladováním procesu, který dosáhl zlepšení kvality povrchu o 85 % a snížení zmetkovitosti o 20 %. In-line kontrola kvality obohacená o AI tak zvyšuje spolehlivost výroby a umožňuje plnit přísné požadavky například v automobilovém či zdravotnickém průmyslu. [blog.processminer.com](http://blog.processminer.com) [mdpi.com](http://mdpi.com)
- **Energetická optimalizace výrobních linek:** Vzhledem k rostoucím nárokům na snižování uhlíkové stopy je zásadní snižovat spotřebu energie na jednotku produkce (kWh/kg) a emise CO<sub>2</sub>e na tunu výrobku. AI přispívá k energetické efektivitě výrobních linek několika způsoby. Zaprvé, udržováním stabilního procesu, kolísání podmínek často vede k energeticky náročným korekcím či vzniku odpadu (který pak znamená promarněnou energii). AI řízená výroba minimalizuje množství defektních cyklů a odstávek, takže energie je využita účelně. Zadruhé, AI může v reálném čase optimalizovat nastavení ohřevů, chlazení a pohonů strojů tak, aby pracoval efektivně vzhledem k aktuálnímu zatížení. Například prediktivní model může doporučit snížení teploty v topných zónách extruderu, pokud analýza dat ukáže, že nižší teplota stále zaručí požadované vlastnosti taveniny tím se ušetří energie. Třetí rovina je na úrovni celého provozu: systémy pro sběr a analýzu dat (tzv. MES s AI prvky) sledují v reálném čase spotřebu všech zařízení a umí identifikovat úzká místa či neefektivní úseky. Provoz pak lze optimalizovat, například lépe rozkládat zatížení strojů v čase nebo automaticky přepínat stroje do úsporného režimu během prostojů. Výsledkem je nejen úspora nákladů, ale také přínos k udržitelnosti snížením energetické náročnosti a emisí skleníkových plynů na jednotku produkce patří k měřitelným ukazatelům, kde AI může pomoci dosáhnout cílů vytyčených evropskou zelenou dohodou. Výzkumné aktivity se soustředí na zdokonalení algoritmů, které v komplexním provozu identifikují optimální režimy s ohledem na energii a zároveň zohledňují například využití recyklovaných surovin (které mohou měnit energetické požadavky procesu). [rjginc.com](http://rjginc.com) [mdpi.com](http://mdpi.com)

### Očekávané přínosy a metriky

Zavedení umělé inteligence do výroby a zpracování plastů slibuje výrazné zlepšení výkonnosti napříč řadou ukazatelů. Mezi hlavní očekávané přínosy (a s nimi související měřitelné metriky) patří:

- **Snížení zmetkovitosti:** Díky preciznímu řízení procesů a automatické kontrole kvality dochází ke znatelnému poklesu zmetkovitosti. AI systémy udržující stabilní parametry a odhalující vady v reálném čase mohou snížit podíl defektních výrobků o desítky procent. V praxi byl například zaznamenán pokles míry vadných kusů z 2,7 % na 1,93 % (o 0,77 p.b.) po zavedení prediktivní údržby a dalších opatření ve výrobě plastů. Jiná studie uvádí snížení zmetkovitosti o 20 % díky nasazení AI pro povrchovou inspekci výlisků. Tyto pokroky znamenají nejen úsporu materiálu, ale i menší objem plastového odpadu, což podporuje cirkulární cíle. [mdpi.com](https://www.mdpi.com)
- **Zvýšení celkové efektivity zařízení (OEE):** OEE kombinuje dostupnost strojů, výkon a kvalitu. AI pozitivně ovlivňuje všechny tři složky – zvyšuje disponibilitu (méně neplánovaných odstávek díky prediktivní údržbě), zlepšuje výkon (optimalizací cyklů a rychlejším seřizováním) a zvyšuje kvalitu (méně zmetků). Dosažené výsledky v pilotních projektech jsou velmi přesvědčivé: u jedné linky na výrobu plastových obalů se po zavedení TPM a strojového učení zvýšilo OEE z původních ~62 % na ~81 %. Tato téměř 20procentní absolutní (tj. ~30% relativní) zlepšení bylo dáno zkrácením prostoje strojů a poklesem zmetků. Obecně platí, že nasazením AI ve výrobě plastů lze očekávat nárůst OEE o desítky procent v závislosti na výchozí úrovni automatizace. Vyšší OEE přímo znamená více kvalitních produktů vyrobených za jednotku času a lepší využití investic do strojního vybavení. [mdpi.com](https://www.mdpi.com)
- **Nižší energetická náročnost:** Optimalizované procesy spotřebovávají méně energie na jednotku produkce. Stabilní výroba bez častého ladění a odstávek eliminuje plýtvání energiemi při opětovných rozjezdech či výrobě braku. Vylepšením efektivity procesů lze dosáhnout *nižší spotřeby elektřiny v kWh na kg výstupu* – často uváděné cílové zlepšení je v řádu jednotek až desítek procent. Zároveň se snižuje uhlíková stopa, měřená například v tunách CO<sub>2</sub> ekv. na tunu produktu. AI přispívá i nepřímo: prediktivní řízení zajišťuje, že stroje nebudou zbytečně mimo optimální režimy, a systémy umí identifikovat energeticky nejnáročnější úseky výroby a navrhnout úsporná opatření. Výsledkem je úspora nákladů a splnění přísnějších environmentálních limitů. Například některé platformy digitálního dohledu již sledují v reálném čase výkonové ukazatele energie a uhlíkové stopy každé výrobní linky, aby management viděl pokrok v energetické účinnosti. Tento důraz na energetickou optimalizaci je v souladu s Evropskou zelenou dohodou a přispěje k udržení konkurenceschopnosti odvětví při rostoucích cenách energií. [rjginc.com](https://www.rjginc.com)  
[plasticsmachinerymanufacturing.com](https://plasticsmachinerymanufacturing.com)
- **Delší doba mezi poruchami a kratší doba oprav (MTBF/MTTR):** Prediktivní údržba podporovaná AI vede k prodloužení střední doby provozu mezi poruchami (MTBF), protože zařízení jsou servisována *před* kritickým selháním. Naproti tomu nenadálé havárie a přerušení výroby jsou méně časté. Pokud přeci jen dojde k poruše, AI může pomoci zkrátit střední dobu opravy (MTTR), například tím, že diagnostické systémy již předem identifikují pravděpodobnou příčinu poruchy a navrhnou postup odstranění, případně automaticky objednájí náhradní díl. V souhrnu tak chytré údržbové systémy maximalizují provozuschopnost strojního parku. Výrobní linky mohou běžet s menším počtem neplánovaných odstávek, což opět zvyšuje produktivitu a OEE. Například zavedení systému

sledujícího vibrace a teploty ložisek extruderu umožní detekovat postupné opotřebení, údržba se naplánuje na vhodný čas a předejde se havárii, která by jinak mohla zastavit linku na mnoho hodin. Takovéto inteligentní přístupy pomohly v jedné studii snížit prostoj způsobený poruchami o desítky procent, což se promítlo do celkového růstu efektivity výroby. [mdpi.com](https://www.mdpi.com)

- **Menší variabilita kvality výstupů:** AI napomáhá dosahovat velmi úzké tolerance a opakovatelnost výroby. Variabilita mezi jednotlivými šaržemi či kusy se snižuje, což lze kvantifikovat například poklesem směrodatné odchylky klíčových rozměrů či mechanických vlastností výrobků. V praxi to znamená vyšší procesní schopnost (Cp, Cpk), proces s AI řízením má užší rozptyl a bezpečně splňuje požadované tolerance. V ideálním případě se přibližujeme stavu „six sigma“ kvality (méně než 3,4 vad na milion výrobků). Jako ilustraci lze uvést příklad, kdy strojové učení dokázalo predikovat průměr výrobku s přesností 99,8 %, což fakticky eliminuje odchylky mimo toleranci. Rovněž kamerové AI systémy, které posuzují kvalitu stále stejným metrem, vedou k *konzistentnější kvalitě* oproti lidské kontrole, jež může kolísat. Nižší variabilita má za následek méně neshodných produktů u zákazníka, lepší reputaci výrobce a často i možnost zpřesnění specifikací (vyrábět díly s menšími tolerancemi než dříve, protože proces to nyní umožňuje). [mdpi.com](https://www.mdpi.com) [plasticportal.cz](https://plasticportal.cz)
- **Zkrácení času potřebného na seřízení linky:** AI významně urychluje náběh výroby při změně produktu či po odstávce. Tradičně mohl proces seřízení (např. výměna formy a doladění parametrů vstřikování) trvat i hodiny, během nichž se vyrobilo množství neshodných kusů. Nasazením metod, jako je SMED (Single-Minute Exchange of Die) spolu s učením z dat, se podařilo zkrátit časy výměny a nastavení forem o desítky procent. Konkrétně v jedné případové studii z plastikářství došlo ke zkrácení času výměny formy z 4,82 h na 2,49 h (o 48 %) při současném mírném zlepšení zmetkovitosti díky stabilnějšímu rozjezdu AI asistenti dokáží operátorovi doporučit optimální nastavení na základě předchozích provozních dat („recepty“ pro daný produkt), případně se seřídí zcela automaticky jako ve zmíněném příkladu extruze fólie (za 20 sekund připravena na cílovou tloušťku). Kratší časy seřízení zvyšují výrobní kapacitu (méně prostojů) a umožňují pružněji reagovat na změny poptávky, což je důležité zejména po roce 2030, kdy se očekává větší individualizace produktů a tím častější přeseřizování linek. Zkrácení seřizovacích časů také zlepšuje OEE (vyšší dostupnost) a snižuje náklady spojené s výrobou zkušebních sérií a laděním kvality. [mdpi.com](https://www.mdpi.com) [plasticsmachinerymanufacturing.com](https://plasticsmachinerymanufacturing.com)

## Umělá inteligence v obchodě a zákaznických službách plastikářského průmyslu

### Kontext a strategický význam

Digitální transformace obchodu a servisu je klíčovým fenoménem budoucího rozvoje i v plastikářství. Evropská unie proto stanovila ambiciózní cíle na rok 2030 např. 75 % firem má do roku 2030 využívat cloud, AI nebo Big Data. Současně EU posiluje cirkulární ekonomiku: *Plastics Strategy* je integrální součástí Zelené dohody, která do roku 2030 usiluje o oběh plastů a zvýšení využití recyklátů. Pandemická krize a geopolitické posuny dále vedou k relokizaci výroby a zkracování dodavatelských řetězců. To vytváří příležitost pro české firmy: digitální technologie a AI mohou zefektivnit obchodní procesy, zrychlit nákupní a dodací cykly a umožnit rychlé reakce na změny trhu. Na úrovni vztahu k zákazníkům pak AI umožňuje hlubší personalizaci a analýzu dat o kupujících (tzv. *data-driven*

marketing). Například e-shopy i průmyslové B2B platformy využívají AI pro doporučování produktů na základě chování zákazníků, což vede ke zvýšení konverze a loajality zákazníků.

V plastikářském odvětví tak AI podporuje digitalizaci obchodních procesů i marketingu. Díky analýze historických a externích dat umožňuje předvídat poptávku a optimalizovat výrobu, což zkracuje dodací lhůty. AI navíc pomáhá porozumět potřebám zákazníků a vytvářet na míru šitá řešení ať už v podobě doporučení alternativních (např. recyklovaných) materiálů, nebo cílených obchodních nabídek. Celkově lze říci, že využití AI v obchodní a zákaznické oblasti podporuje konkurenční výhodu firem (zrychlení procesů, úspory nákladů, vyšší spokojenost odběratelů) a je v souladu jak s evropskými strategiemi digitalizace, tak s oběhovými cíli v plastikářství [environment.ec.europa.eu](https://environment.ec.europa.eu).

### **Klíčové oblasti aplikace AI v obchodních a zákaznických procesech**

Klíčové oblasti aplikace AI v obchodních a zákaznických procesech plastikářských firem zahrnují zejména:

- **Prediktivní analýzy poptávky:** Strojové učení z historických dat i externích faktorů (sezónnost, trendy, makroekonomika) umožňuje modelovat budoucí poptávku s vyšší přesností než tradiční metody. To pomáhá optimalizovat plán výroby a zásob, přičemž studie ukazují výrazné úspory např. snížení objemu zásob o čtvrtinu a 15 % úspora nákladů na pracovní sílu. Přesnější prognózy navíc vedou k menšímu plýtvání materiálem a vyšší spokojenosti zákazníků díky spolehlivějším dodávkám [digitaldefynd.com](https://digitaldefynd.com) [smartindustry.com](https://smartindustry.com).
- **AI při cenotvorbě a dynamickém pricingu:** Analýza tržních dat a vzorců poptávky umožňuje nastavovat ceny flexibilně podle podmínek trhu. V odvětví s vysokou volatilitou (chemické suroviny, plasty) může AI prognózovat pohyby cen vstupů a navrhnout optimální cenovou strategii pro různé segmenty. Tato technologie dává firmám konkurenční výhodu, rychleji reagují na změnu tržní situace a maximalizují zisky. Např. průmyslový dodavatel využívá AI k predikci vývoje komoditních cen a automatickému přizpůsobení svých nabídkových cen tak, aby zůstal konkurenceschopný [simon-kucher.com](https://simon-kucher.com).
- **Digitální obchodní asistenti a konfiguratory produktů (B2B platformy):** Interaktivní online portály vybavené AI pomáhají zákazníkům s výběrem produktů a procesem objednávky. Patří sem inteligentní vyhledávání, doporučovací systémy či konfiguratory na míru složitých dílů/plastových výrobků. Např. velcí distribuční hráči staví na AI podpoře vyhledávání a doporučování, systémy zajišťují *relevance* vyhledávaných položek a cílí nabídky podle historie zákazníka. Tím se zkracuje nákupní cyklus a zvyšuje spokojenost odběratele. [digitalcommerce360.com](https://digitalcommerce360.com)
- **Chatboti, samoobslužné portály a automatizovaný zákaznický servis:** AI-chatboti umožňují 24/7 servis pro jednoduché dotazy (dostupnost materiálů, status objednávek, FAQ atd.) a odlehčují lidskému týmu. Automatizované portály pomáhají řešit běžné požadavky rychle a konzistentně. To vede ke zkrácení doby odezvy a dostupnosti informací v reálném čase. Studie upozorňují, že firmy integrující AI-chatboty dosahují efektivity v řešení rutiních dotazů a sbírají cenná data o zákaznických preferencích. [businessinfo.cz](https://businessinfo.cz) [digitaldefynd.com](https://digitaldefynd.com)
- **AI pro personalizaci obchodní nabídky a design produktů:** Analýza dat o zákaznících a trhu umožní generovat na míru šité nabídky – například doporučit konkrétní plastový materiál či

alternativu. S ohledem na oběhovou ekonomiku AI může také navrhovat využití recyklovaných komponent nebo kombinovat různé recykláty pro vznik kvalitnějších produktů. Tato personalizace pomáhá udržet a rozvíjet klientské vztahy (vyšší konverze) a podporuje udržitelné materiálové varianty v souladu s evropskými ekologickými cíli. [cirkularnidotace.cz](http://cirkularnidotace.cz)  
[engineering.washu.edu](http://engineering.washu.edu)

Pro ilustraci potenciálu AI v plastikářské výrobní praxi lze uvést příklady z různých aplikačních sektorů:

- **Automotive (výroba plastových dílů pro automobily):** V automobilovém průmyslu jsou nároky na kvalitu a přesnost dílů extrémně vysoké – například bezpečnostní komponenty v interiéru či exteriéru vozů nesmí vykazovat žádné vady. AI se zde uplatňuje zejména při vstřikování plastů v lisovnách. Běžnou aplikací jsou **kamerové systémy kontroly kvality** na výstupu vstřikolisu: neuronové sítě vycvičené na vzorcích vad dokáží okamžitě odhalit např. nedolítky, deformace, povrchové škrábance nebo barevné odchylky na dílech [plasticportal.cz](http://plasticportal.cz). To umožňuje zachytit vadný výlisek ještě před expedicí a zabránit tomu, aby se dostal do montáže automobilu. AI navíc může využívat *data fusion* – zkombinovat obrazová data s procesními (tlak v dutině formy, čas plnění apod.) – a **předpovědět vznikající defekt** dříve, než je pouhým okem viditelný. V automotive výrobě se také uplatňuje prediktivní údržba strojů: výpadek vstřikovacího lisu v prostředí just-in-time montáže automobilů by mohl způsobit drahá zpoždění, proto velcí dodavatelé instalují AI systémy sledující stav vstřikolisu, robotů a forem, aby předešli poruchám. Díky AI tak mohou automobilové lisovny dosahovat vyšší dostupnosti strojů a zároveň stabilně špičkové kvality bez zmetků – to se odráží i ve zlepšení ukazatelů, jako je schopnost dodržet **PPM limity** pro vadné díly (požadováno např. <20 ppm). V neposlední řadě AI pomáhá i s **trasovatelností**: pokročilé systémy dokáží každému vyrobenému kusu přiřadit datový záznam (tzv. digitální pas), který obsahuje všechny relevantní parametry procesu. To usnadňuje analýzu v případě reklamace a je stále častěji vyžadováno automobilkami.
- **Obaly (fólie a plastové obalové materiály – extruzní linky):** Ve výrobě obalů z plastů, jako jsou fólie, laminační vrstvy či lahve, se AI zaměřuje na **zvýšení produktivity a snížení materiálových ztrát**. Příkladem je již zmíněná extruze vícevrstevných fólií: italská firma Colines představila virtuálního AI asistenta MasterMind pro linky na stretch fólie, který **automaticky řídí tloušťku fólie a nastavování ploché hlavy** bez zásahu člověka [plasticsmachinerymanufacturing.com](http://plasticsmachinerymanufacturing.com). Operátor jednoduše zvolí požadovanou tloušťku a AI během okamžiku upraví teploty a tlak v extruderu i nastavení šterbiny hlavy tak, že výstupní fólie má rovnoměrný profil v celém řezu. Tím se dramaticky zkracuje doba seřizování při rozjezdu výroby i při změně sortimentu – linka najede na stabilní stav během sekund místo desítek minut odladění. Zároveň se minimalizuje množství nevyhovující fólie vyrobené při náběhu (odpadu). AI asistenti také **kompensují výkyvy** při výrobě: například rozpoznají tendenci k tzv. „neck-in“ efektu (zúžení fólie) a automaticky upraví nastavení, aby fólie měla konstantní šířku [plasticsmachinerymanufacturing.com](http://plasticsmachinerymanufacturing.com). V obalářství se rovněž řeší zapojení recyklovaných plastů – AI může pomoci *optimalizovat recepturu* v extruzi dle kvality recyklátu (která je proměnlivá). Pokročilé linky vybavené AI dnes dokáží **rozpoznat vlastnosti vstupního materiálu** v reálném čase a upravit poměry dávkování primární vs. recyklované suroviny či teplotní profily extruze tak, aby výsledný produkt měl stále požadované parametry. To je klíčové pro splnění cílů cirkulární ekonomiky, protože umožňuje zvýšit podíl

recyklátu v obalech bez zhoršení kvality. Případové studie prokazují, že využití AI a monitoringu na extruzních linkách vedlo ke snížení zmetkovitosti a **úspoře suroviny** (díky přesnější regulaci tloušťky fólie lze cílovou tloušťku snížit o několik mikrometrů a ušetřit materiál, aniž by hrozilo kolísání pod mezní hodnoty). To vše přispívá i k ekonomické efektivitě – méně odpadu a rychlejší výrobní cykly znamenají nižší náklady na jednotku produkce.

- **Stavebnictví (profilové a potrubní linky):** V stavebních aplikacích plastů, jako jsou PVC okenní profily, trubky, izolační panely apod., je důraz kladen na **rozměrovou přesnost a konzistenci** výrobků, protože i drobná odchylka může zkomplikovat montáž (např. netěsnící okenní rám). Výrobní linky na profily typicky běží kontinuálně ve velkých objemech, takže každá nevyhovující šarže představuje značné materiálové ztráty. AI se zde uplatňuje v kombinaci s precizní měřicí technikou: za extrudérem bývají instalovány laserové skenery nebo kamerové systémy, které nepřetržitě měří průřez profilu či tloušťku stěny trubky. Umělá inteligence vyhodnocuje tato data a **detekuje trend** směřující k vybočení rozměrů mimo tolerance – například vlivem opotřebení kalibrační vložky, kolísání teploty materiálu nebo změny šarže suroviny. V reakci na to může AI **automaticky upravit** řízení: mírně pozměnit tahovou rychlost, teplotu chlazení nebo tlak ve vakuové kalibraci, aby profil zůstal v požadovaném rozměru. Pokud změna parametrů nestačí (např. opotřebení nástroje), systém vygeneruje upozornění pro operátora k provedení údržby. Tento chytrý dohled zvyšuje výtežnost výroby profilů – podíl prvovýrobků spadajících do tolerančního pole se maximalizuje a zmetkové délky (např. na začátku výroby nebo při odchylce) se minimalizují. U rozsáhlých trubkových extruzí se testuje i nasazení akustických senzorů, které naslouchají proudění taveniny a vibracím – AI z těchto signálů dokáže nepřímo určit homogenitu a viskozitu taveniny a podle toho optimalizovat otáčky šneku pro rovnoměrnou tloušťku stěny. Ve stavebním plastikářství, kde často panuje tlak na cenu, pomáhá AI **šetřit materiál** (např. přesným držením rozměrů lze zeslabit stěnu profilu o desetiny mm proti dřívějším bezpečným naddimenzováním) a také zvyšovat průběžnou kvalitu (méně reklamací na netěsnosti či prasklé díly). To posiluje konkurenceschopnost výrobců stavebních plastových komponent.
- **Elektrotechnika a přesné technické díly:** V segmentech, jako je elektroprůmysl, telekomunikace či lékařská technika, se používají plastové díly s velmi úzkými tolerancemi a vysokými požadavky na **stabilitu procesů**. Příkladem mohou být konektory, mikrofluidní čipy, kryty elektroniky nebo optické komponenty – zde je jakákoli variabilita v kvalitě nepřijatelná. AI proto proniká i do těchto výrob jako nástroj k dosažení mimořádné přesnosti a opakovatelnosti. Již ve fázi vývoje formy či procesu mohou inženýři nasadit strojové učení: existují algoritmy, které z historických dat a simulací doporučí optimální design vstřikovací formy a procesní okna pro co nejmenší rozptyl rozměrů výlisků. Ve výrobní fázi pak AI pomáhá udržet proces *ve středu tolerančního pole*. Například pokročilý monitorovací systém s teplotními a průtokovými senzory ve formě dokázal pomocí neuronové sítě predikovat **kritický rozměr výlisku s 99,8% přesností**, čímž zásadně zlepšil kontrolu kvality rozměrů [mdpi.com](https://www.mdpi.com). To v praxi znamená, že každý kus z formy má předpokládané rozměry téměř totožné s nominální hodnotou, bez odchylek, a odpadá namátková kontrola pomocí měření – systém sám garantuje správnost. V elektrotechnice je také důležitá **dokumentace a sledovatelnost** kvality: AI může automaticky vyhodnocovat výsledky každého cyklu (tlakový

průběh, teplotní křivky) a pokud i nepatrně překročí interní kontrolní meze, díl vyřadí nebo označí pro důkladnější přezkoumání. To zajišťuje, že zákazník obdrží jen díly splňující přísné normy (např. pro automobilovou elektroniku či medicínské přístroje). U extrémně citlivých výrob (např. plastové optické čočky nebo součásti vysokonapěťových izolátorů) se zkoumá zavedení digitálních dvojčat procesů, která by dokázala předem simulovat a optimalizovat podmínky tak, aby finální díl byl bez vad způsobených vnitřním pnutím či smrštním. Celkově AI v tomto sektoru přináší **vyšší výtežnost špičkové kvality** – minimalizuje se výskyt dílů mimo toleranci a zvyšuje stabilita procesů, což je pro výrobce klíčové z hlediska reputace i snížení nákladů na brakování a přepracování.

- **Nasazení AI pro obchod:** Jako ilustrační případ lze uvést například **Cirplus** (DE) – online platformu pro nákup recyklovaných plastů. Cirplus využívá AI k vyhledávání vhodných recyklátů v rozsáhlé databázi a k zefektivnění nákupního procesu. Firma popisuje, že právě inteligentní automatizace a konzistentní data „zkracují cestu od objevení materiálu ke skutečnému zisku“ [cirplus.com](https://www.cirplus.com). Platforma umožňuje okamžité získání nabídky a transparentní vyjednávání ceny, čímž posiluje efektivitu nákupu a partnerů na dodavatelském řetězci [cirplus.com](https://www.cirplus.com).
- **Nasazení AI pro zákaznický servis:** Dalším příkladem je **ARBURG** (DE), výrobce vstřikovacích lisů, který ve svém portálu *arburgXworld* nabízí AI-chatbota „Ask ARBURG“. Tento virtuální asistent odpovídá na technické dotazy zákazníků (např. nastavení stroje či optimalizace cyklu) prohledáváním rozsáhlé databáze znalostí o výrobních procesech. Díky tomu zákazníci i zaměstnanci řeší problémy rychleji a úsporněji [arburg.com](https://www.arburg.com). Takový nástroj je příkladem AI na průsečíku zákaznické podpory a servisních aplikací v oboru.

Závěrem, využití umělé inteligence v plastikářském průmyslu představuje strategický směr, který povede ke zefektivnění výroby, zvýšení kvality, snížení energetické náročnosti a lepší udržitelnosti tohoto odvětví. Po roce 2030 lze očekávat další prohlubování těchto trendů továrny na plasty budou stále více autonomní, řízené digitálními systémy v reálném čase, a budou schopny ekonomicky využívat recyklované a bio-based materiály díky chytrému řízení procesů. Včasným zaměřením výzkumu a inovací na AI a související technologie si české firmy zajistí vyšší konkurenceschopnost na globálním trhu, splnění nastupujících ekologických regulací i schopnost pružně reagovat na nové výzvy a příležitosti budoucí dekády.

### 3.5 Bioplasty

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

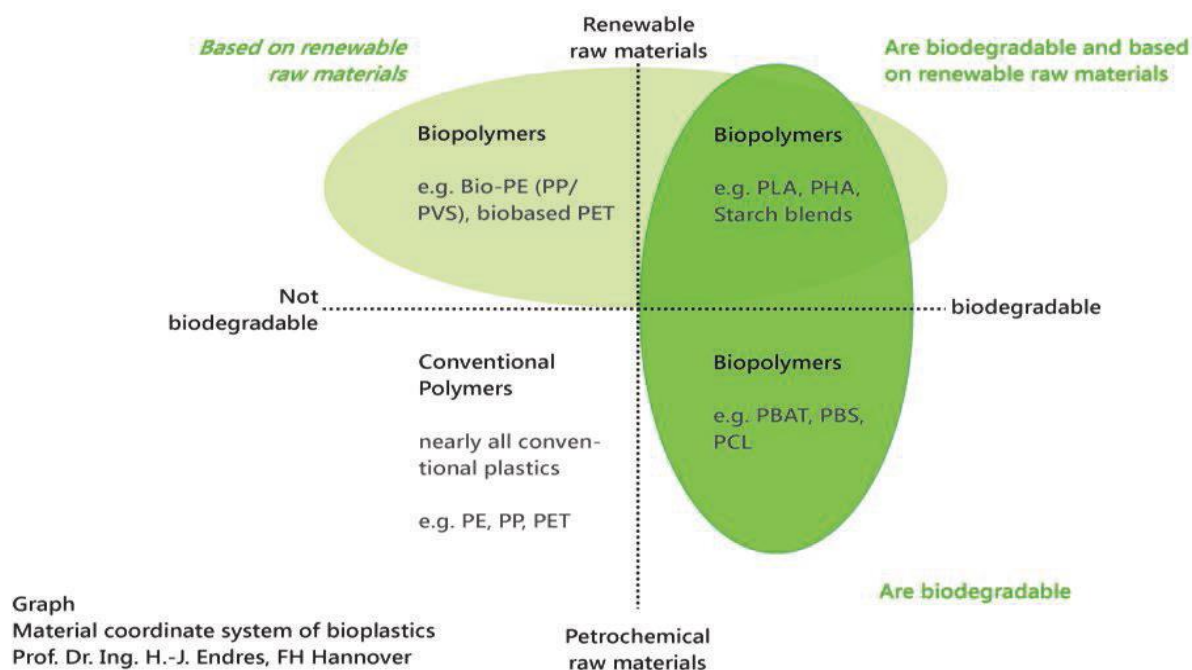
Biobased nebo založené na biomateriálech znamená, že materiál nebo produkt je (částečně) odvozen z biomasy (rostlin). Biomasa používaná pro výrobu bioplastů pochází například z kukuřice, cukrové třtiny nebo celulózy.

Výraz biodegradovatelný popisuje chemický proces, během něhož mikroorganismy, které jsou běžné v životním prostředí přemění materiály na přírodní látky jako je voda, oxid uhličitý a kompost (umělé

přísady nejsou potřebné). Proces biodegradace závisí na podmínkách okolního životního prostředí (např. geografická poloha a teplota), na materiálu a aplikaci.

Organizace European Bioplastics Association ([en.european-bioplastics.org](http://en.european-bioplastics.org)) vypracovala pro ilustraci jednoduchý dvouosý model, který zahrnuje všechny typy plastů a jejich možné kombinace. Viz Obrázek 2. Plasty jsou zde rozděleny do 4 charakteristických skupin. Horizontální osa znázorňuje biodegradovatelnost plastů, přičemž vertikální osa ukazuje, zda je materiál odvozen z petrochemických surovin, nebo z obnovitelných zdrojů.

**Obrázek 2 Klasifikace plastů podle European Bioplastics**



Níže je uvedena charakteristika každé skupiny:

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

## Výroba bioplastů a odhady dalšího vývoje

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

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

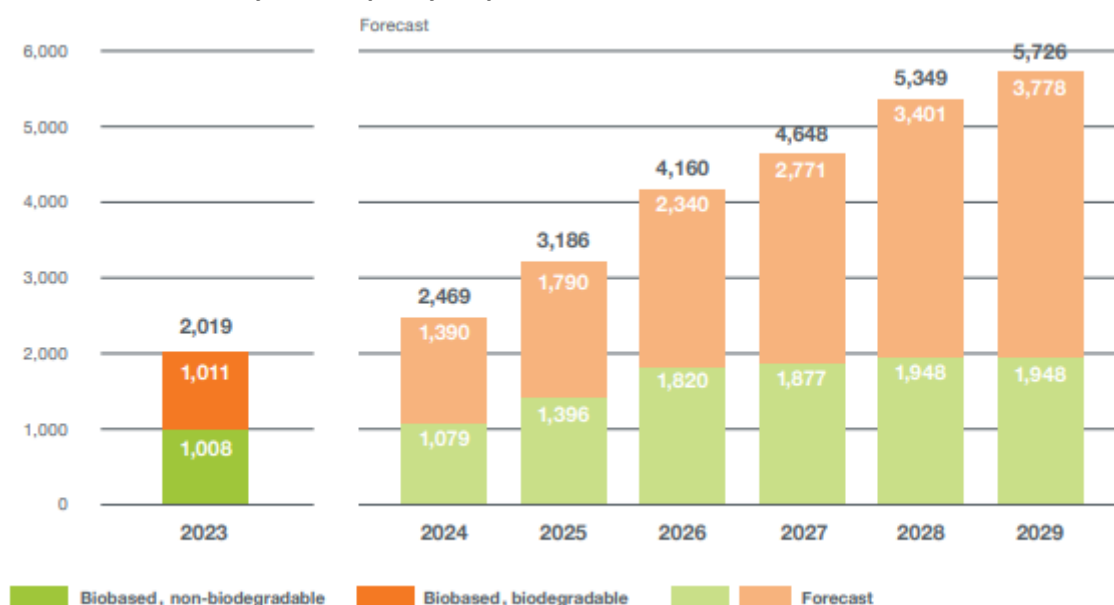
## Vlastnosti těchto materiálů

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

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

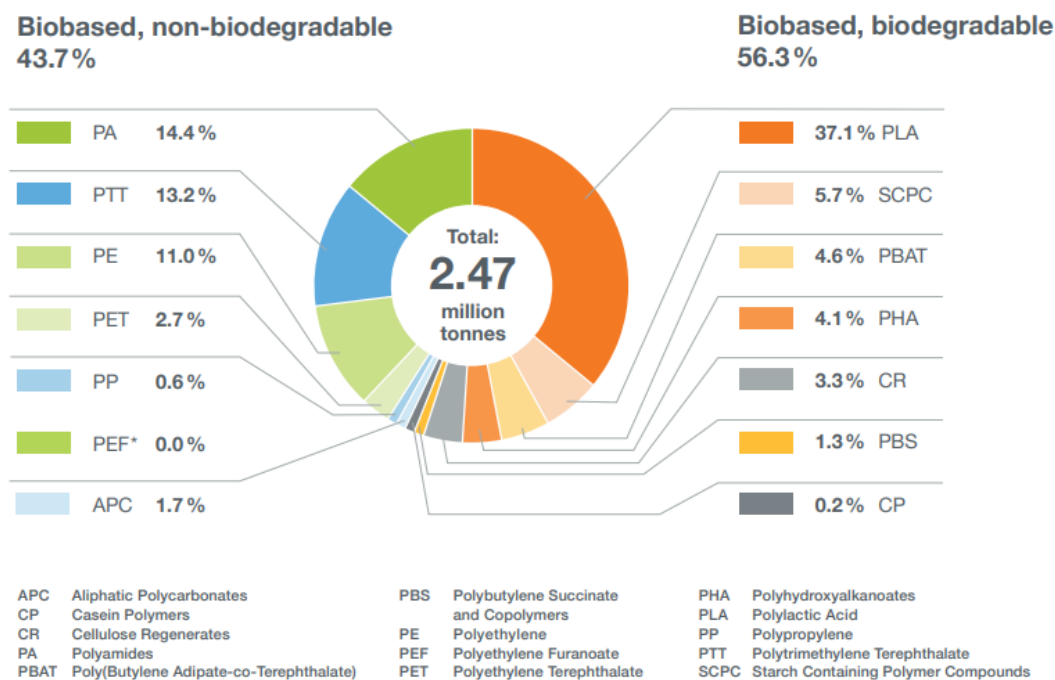
Srovnání výrobních kapacit a skutečné produkce v roce 2024 ukazuje, že odvětví bioplastů vyrábí na téměř 60 % své kapacity. Ačkoli se v některých částech míra využití u jednotlivých polymerů značně liší, pohybuje se od 35 % do 100 %, průměrná míra využití v roce 2024 je 58 % (produkce 1,44 milionu tun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

Obrázek 3 Globální výrobní kapacity bioplastů 2024-2029



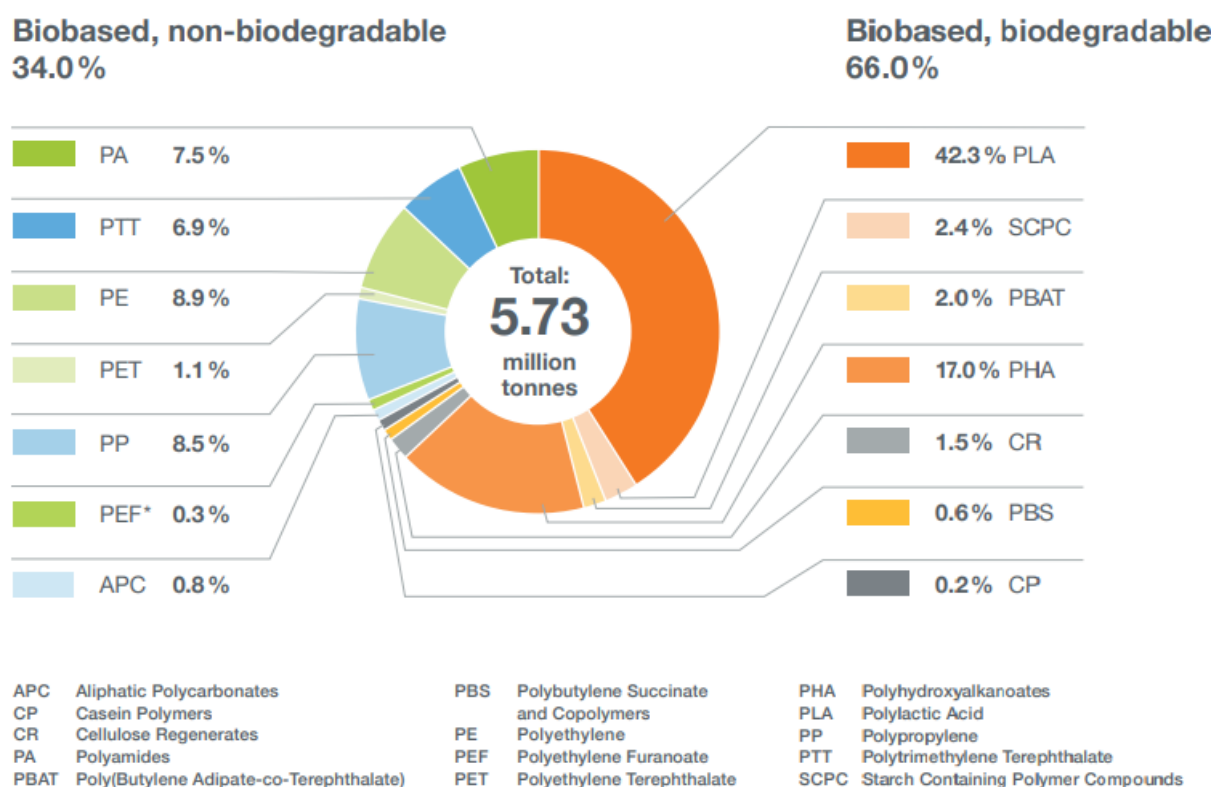
Pro téměř každý konvenční plastový materiál a odpovídající použití existují alternativy bioplastů. Díky silnému vývoji biopolymerů a biodegradabilních polymerů, jako je kyselina polymléčná (PLA) a polyhydroxyalkanoáty (PHA), biopolyethylen (PE), stejně jako neustálý růst biopolypropylenu (PP), budou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

**Obrázek 4 Globální výrobní kapacity bioplastů 2024 (podle druhu materiálu)**



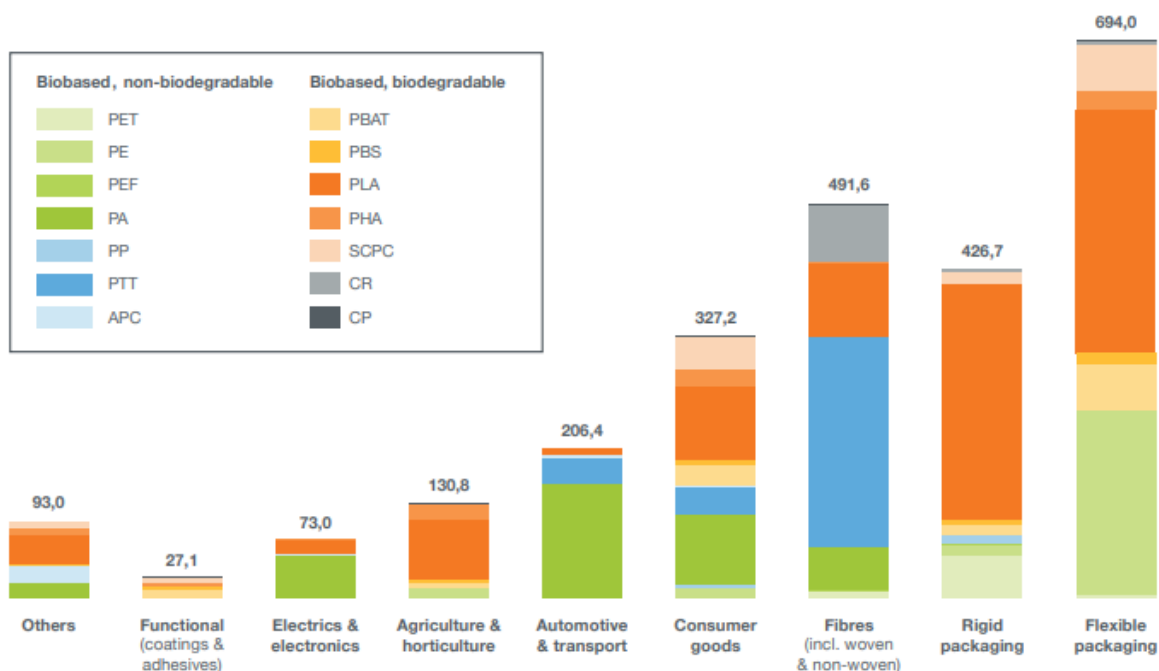
\* PEF available at commercial scale as of 2024

Obrázek 5 Globální výrobní kapacity bioplastů 2029 (podle druhu materiálu)



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

Obrázek 6 Globální výrobní kapacity bioplastů 2024 (podle segmentů trhu)

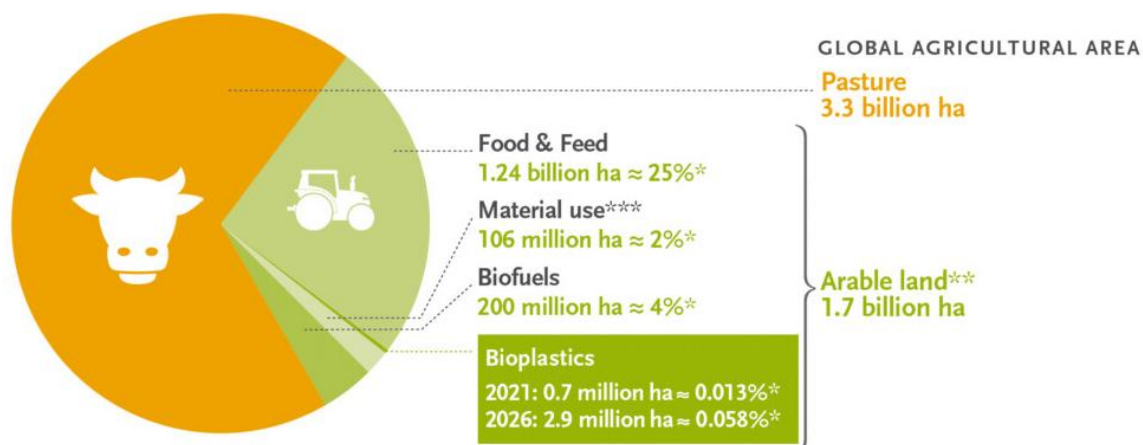


Ze srovnání výrobních kapacit a skutečné produkce v roce 2024 vyplývá, že bioplastový průmysl vyrábí na téměř 60 %. Ačkoli se v některých částech poměrně výrazně liší od jednoho polymeru k druhému, v rozmezí od 35 % do 100 %, průměrná míra využití v roce 2024 je 58 % (1,44 milionu tun produkce vs. 2,47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

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

Podíl využití půdy pro bioplasty se odhaduje na 0,01 % celosvětové zemědělské plochy. Předpokládá se, že půda využívaná k pěstování obnovitelných surovin potřebných k výrobě bioplastů zůstává přibližně 0,70 milionu hektarů v roce 2021. To představuje jen něco málo přes 0,01 % z celosvětové zemědělské plochy s 5,0 miliardami hektarů. Spolu s předpokládaným zvýšením produkce bioplastů v roce 2026 se očekává, že podíl využití půdy bude stále nižší než 0,06 %. V poměru k dostupné zemědělské ploše je tento podíl minimální. Neexistuje tedy žádná konkurence mezi výrobou potravin a krmiv a obnovitelnými surovinami pro výrobu bioplastů. Viz Obrázek 7.

**Obrázek 7 Odhad využití půdy pro bioplasty v letech 2021 a 2026**

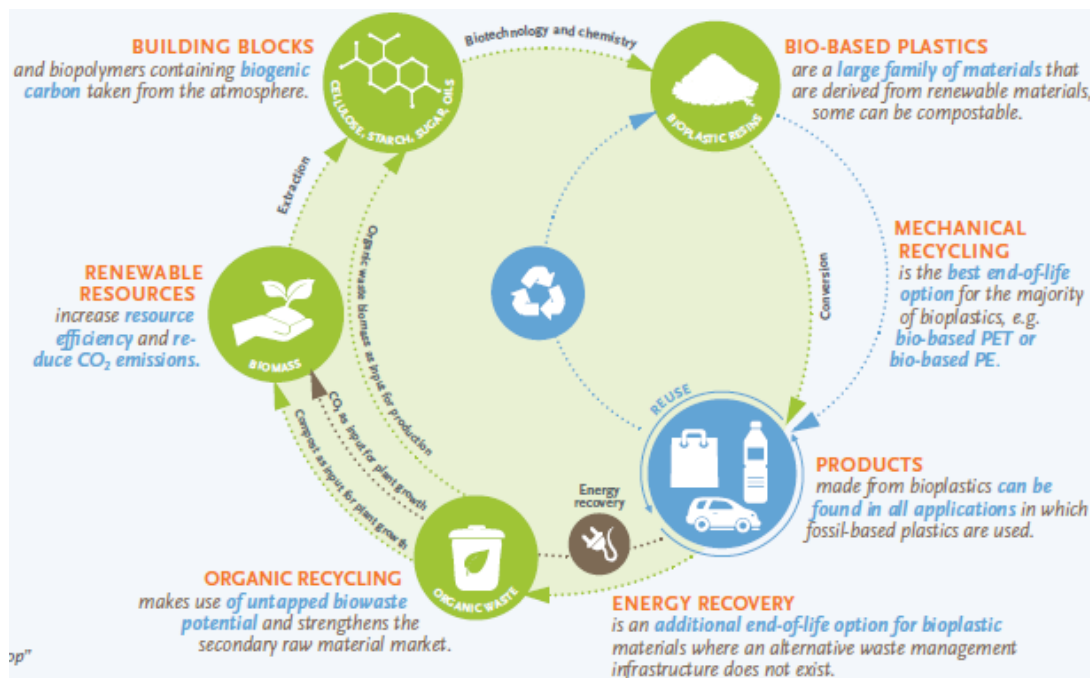


Source: Source: European Bioplastics (2021), FAO Stats (2020), nova-Institute (2021), and Institute for Bioplastics and Biocomposites (2019), University of Virginia (2016). Info: [www.european-bioplastics.org](http://www.european-bioplastics.org) \*In relation to global agricultural area, \*\*Including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

## Budou opravdu bioplasty tak přínosné pro budoucnost?

Ideální životní cyklus bioplastového výrobku viz Obrázek 8.

Obrázek 8 Ideální životní cyklus bioplastového výrobku



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

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

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

Nedávná studie v časopise Science, jejímž autorem jsou výzkumníci související se zprávou Pew, skutečně odhaduje, že se nyní do oceánů dostane každý rok asi 11 milionů tun plastů – o 3 miliony více, než činily předchozí odhady. Studie uvedla, že pokud bude svět pokračovat ve svém současném kurzu raketově rostoucí spotřeby plastů, množství vyprodukovaného plastového odpadu se do roku 2040 ztrojnásobí. Jediným řešením tohoto narůstajícího problému, uzavírá zpráva Pew, je masivní revize

světového plastového systému za 600 miliard dolarů, který znovu používá a recykluje plasty v oběhovém hospodářství, spolu s dalšími změnami menšího rozsahu, včetně bioplastů. Pokud budou přijata jeho doporučení, říká Pew zpráva, mohl by se plastový odpad během příštích dvou desetiletí snížit o 80 %.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Plastová krize je jednou z nejvážnějších ekologických výzev, které se světu dosud nepodařilo vyřešit. Zákaz různých typů jednorázových plastů nemusí nutně představovat efektivní řešení pro plastový odpad a může také vést ke zvýšení úrovně dalšího odpadu, jako je potravinový odpad. Bioplasty mají slibný potenciál nahradit konvenční a méně ekologické plasty. Rychlý přechod z konvenčních a biologicky nerozložitelných plastů na bioplasty a biodegradovatelné bioplasty však není jediným univerzálním řešením, jak snížit nekontrolovatelný plastový odpad. Namísto nahrazování jednoho škodlivého plastu jiným by bioplastický průmysl a akademická obec měly spolupracovat na navrhování nejbezpečnějších a nejudržitelnějších bioplastů, které se mohou rozkládat ve všech myslitelných prostředích. Také uspořádání bioplastů by mělo být formulováno a využíváno pro specifické aplikace. Stejně jako konvenční plasty je nekontrolovaná likvidace bioplastů katastrofou pro životní prostředí. Pokud jsou všechny fosilní plasty nahrazeny bioplasty, ale nebudou provedeny žádné podstatné změny v jejich systému nakládání s odpady; Plastový odpad zůstane kritickým problémem. Nekompostovatelné bioplasty lze snadno zaměnit za kompostovatelné bioplasty. Pouhé označování bioplastů jako kompostovatelné nebo nekompostovatelné proto může spotřebitele uvést v omyl. Aby se zabránilo zmatení spotřebitelů, pokud jde o likvidaci bioplastů, je třeba vyvinout a nařídit informativnější systémy označování na základě kritérií biologické rozložitelnosti a obnovitelnosti. Četné studie zjistily, že bioplasty, jako je PLA, PBS a dokonce i PHA, pokud jsou vyráběny ve specifických tloušťkách, mohou se biologicky rozložit pouze za specifických podmínek průmyslového kompostování. Tento systematický přehled se pokusil zdůraznit, že bioplasty lze vyvíjet tak, aby vyhovovaly potřebám řady průmyslových odvětví, včetně průmyslu balení potravin. Je evidentní, že na trhu potravinářských obalů dochází k rozsáhlému rozšíření a přijetí bioplastů. Navzdory bezprecedentním příležitostem, které bioplasty poskytují potravinářskému průmyslu, však jejich rozsáhlé zavádění není zdaleka plně realizováno, protože existuje mnoho překážek, které zdržují jejich široké přijetí. V současnosti je většina bioplastů dražší než plasty získané z ropy, což je důležitý důvod současných nízkých výrobních kapacit. S rychlým pokrokem v inženýrství mikrobiálních metabolických drah jsme dnes v mnohem lepším stavu než před dvaceti lety, pokud jde o zvýšení škálovatelnosti bioplastů. Rostoucí cena ropy činí bioplasty na trhu konkurenceschopnější. Vzhledem k tomu, že náklady na ropu rostou a technologie bioplastů se zlepšuje, dojde k přechodu, kdy lze bioplasty prodávat za podobné nebo dokonce nižší ceny než polymery na bázi ropy. Aby bylo možné využít potenciál bioplastů v obalech potravin, je zapotřebí více výzkumu, abychom porozuměli hodnocení jejich toxicity při přímém kontaktu s potravinami a jejich dopadu na životní prostředí. Požadované změny ve vstupních materiálech, surovinách a konstrukci výroby si vyžádají čas a naše závislost na plastech bude v krátkodobém až střednědobém horizontu pokračovat. Vzhledem k neuvěřitelně rychlému tempu

průmyslového a technologického rozvoje v plastikářském průmyslu budou bioplasty postupem času i nadále přijímány, prospívají životnímu prostředí a přispívají k uhlíkové neutralitě.

**Prioritní výzkumná témata:**

- vývoj biodegradabilních polymerů a technologií vycházejících z obnovitelných zdrojů.

### 3.6 Obnovitelné suroviny a recyklace

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

Podle Plastics Europe (dokument Plastics – the fast Facts 2024) bylo v roce 2023 celosvětově vyrobeno 413,8 mil. tun plastů, z toho 90,4 % bylo na bázi fosilních zdrojů, 8,7 % připadlo na mechanickou recyklaci, 0,1 % na recyklaci chemickou a 0,7 % na biomateriály z obnovitelných zdrojů. Ve stejném období v Evropě (EU27) byly vyrobeno 54 mil. tun plastů, z toho 79,4 % bylo na bázi fosilních zdrojů, na mechanickou recyklaci post-industriálních odpadů připadlo 5,8 %, na mechanickou recyklaci post-spotřebitelských plastů 13,2 %, na chemickou recyklaci 0,2 % a na biomateriály 1,4 %.

Možnou surovinou pro přípravu vhodných monomerů, polymerů, kopolymerů a aditiv je biomasa. Pro tento účel je třeba volit postupy zpracování, které umožní maximální výtěžek vhodných chemických látek, které se následně rafinují. Zatímco primární metabolity pocházející z biomasy jsou užívány vesměs pro energetické využití ať už v podobě cukrů pro následnou fermentaci, či jako estery vyšších mastných kyselin pro výrobu FAME, sekundární metabolity mají také svá využití. Nastavený trend je však využívat i primární metabolity jako zdroje chemických látek, důvodem je lehká dostupnost a majoritní podíl ve zpracovávané biomase.

#### Primární metabolity

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

Kromě využití cukrů jako zdrojů pro následnou fermentaci se objevují práce na téma hledání alternativních monomerů vyrobených z biomasy. Jde o vytvoření ekvivalentních polymerů vůči klasickým petrochemickým produktům. Možným příkladem je vytvoření monomerů s furanovým kruhem jako alternativy k benzenovému kruhu na bázi fosilních zdrojů.

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

#### Sekundární metabolity

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

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

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

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

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

V současnosti vzniká ve světě každý rok desítky milionů tun polymerních odpadů. Naprostá většina z nich je spálena nebo skládkována. V průměru se globálně údajně recykluje pouze necelých 30 % plastových odpadů<sup>2</sup>. V Evropě (EU27) bylo v roce 2022 recyklováno 26,9 % všech odpadních plastů, což bylo poprvé více než podíl skládkování [Plastics Europe - The Circular Economy for Plastics – A European Analysis 2024, říjen 2024].

Vytříděný plastový odpad se může dále zpracovávat, nebo recyklovat v závislosti na složení, jak běžnými plastikařskými technologiemi (vytlačování, vstřikování, vyfukování atd.), tak i speciálními recyklačními technologiemi. Tyto technologie lze rozdělit například následovně<sup>3</sup>:

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

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

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

<sup>2</sup> Odpady 7/2017.

<sup>3</sup> European Commission DG ENV, Plastic Waste in Environment, April 2011.

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

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

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

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

Výhodou chemické recyklace je možnost vyrábět monomery a z nich polymery, včetně materiálů použitelných pro styk s potravinami, ve stejné kvalitě jako při použití fosilních surovin. Ekonomické hledisko (ad c) vychází pro řadu průmyslových technik v současnosti bohužel negativně. Především chemicky recyklované polymery či produkty pyrolýzy jsou cenově srovnatelné s panenskými plasty nebo jinými ropnými produkty, nebo je jejich cena dokonce vyšší. V případě mechanické recyklace, vzhledem ke komplexnímu složení post-spotřebitelských směsí odpadních plastů nebývají výrobky prvotřídní kvality, a nelze se divit, že řada výrobců nebo zpracovatelů tyto suroviny odmítá, protože jim při výrobě způsobují problémy. Je tak zřejmé, že cílená podpora výzkumu a vývoje recyklací a cirkulární ekonomiky jako celku je nutná pro dosažení ambiciózních cílů EU.

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

**Prioritní výzkumná témata:**

- vývoj materiálů z obnovitelných surovin;
- vývoj moderních obalových materiálů s přihlédnutím k recyklacím po skončení životního cyklu;
- implementace ekodesignu pro obaly s ohledem na recyklovatelnost;
- řešení ochrany řek a moří před plastovými, zejména jednorázovými odpady;
- zamezení ztrát plastových granulí v řetězci výroba – transport – zpracování;
- rozvoj recyklačních technologií včetně vývoje chemické recyklace směsných odpadních plastů.

## 4 Technologie výroby a využití plastů

### 4.1 Úvod

Chemický průmysl je považován jako třetí nejdůležitější průmyslový sektor za nejlepší indikátor vývoje globální ekonomiky. Na světovém obratu ve výši přibližně 6 bilionů USD (2024) se podílí Čína cca 43 %, následuje Evropa s přibližně 15 % a Severní Amerika s kolem 20 %. Necelou polovinou se na obratu podílí petrochemie a výroba plastů. V produkci plastů dominuje Čína s podílem kolem 30–33 % (2024: 30,3 % z celkových 430,9 mil. tun), následuje Severní Amerika s 16,3 % a Evropa (EU27+3) s 12 %. Do roku 2030 se očekává další růst podílu Číny nad 40 %, zatímco podíl Evropy bude klesat pod 12 % díky vysokým nákladům a regulacím.

V současnosti spotřebovává evropský chemický průmysl ročně obrovské množství surovin (přes 200 mil. tun), z nichž obnovitelné a kruhové zdroje (bio-based, recyklované) tvoří jen kolem 10–20 % (v plastech 20,6 % v 2023, z toho bio-based pouze 1,4 %). Významnější náhrada fosilních zdrojů není v horizontu desítek let plně reálná, přestože investice do chemické recyklace rostou. Evropský petrochemický průmysl je v konkurenci nevýhodě vůči USA díky levnějšímu břidlicovému plynu a nižším cenám energií (etylen v Evropě 3,2x dražší než v USA v 2023), a vůči Číně díky levné uhelné bázi a nižším regulacím. Evropa přebírá odpovědnost za bezpečnost chemikálií, životní prostředí, udržitelnost a cirkulární ekonomiku vážněji, což zvyšuje náklady (obrat EU chemie 2024: 655 mld. EUR).

Výroba a zpracování plastických hmot jsou nejrychleji se rozvíjejícím oborem chemického průmyslu ČR. Plastické hmoty jsou ve stále širším měřítku používány jako konstrukční materiály ve stavebnictví, při výrobě různých součástí strojů, ve výrobě dopravních prostředků, spotřebních předmětů a v obalové technice. Dnes se vyrábějí plasty se specifickými vlastnostmi podle požadavků nejrozličnějších hospodářských oblastí. Nové druhy plastických hmot a technický rozvoj otevírají stále nové možnosti využití plastů ve všech oblastech lidské činnosti, včetně pokročilých aplikací jako scintilační polymerní detektory pro detekci ionizujícího záření.

Podle aktuálních analýz (např. ICIS, Plastics Europe) je Evropa v roce 2025 výrazně závislá na dovozu polyolefinů – odhady hovoří o přes 5 mil. tun PE a podobném objemu PP ročně, převážně ze Středního Východu, USA a Asie. Příčinou je nízká konkurenceschopnost Evropy kvůli vyšším cenám monomerů (etylen, propylen), vysokým cenám energií a absenci levného břidlicového plynu. Ke zmírnění deficitu přispívá cirkulární ekonomika plastů, včetně růstu chemické recyklace (v EU 0,2 % post-consumer v 2024).

Plastikářský průmysl v České republice se i nadále rozvíjí a jeho postavení v domácím zpracovatelském průmyslu zůstává významné. Význam odvětví vzrostl díky vazbě na automobilový, elektrotechnický průmysl a stavebnictví. Tempo růstu výroby plastů roste v souladu s těmito sektory. Perspektiva je posilována surovinovou základnou, dodavatelskými vazbami, nízkou spotřebou na obyvatele oproti západní Evropě (stále kolem 120–130 kg/obyv.) a rostoucí konkurenceschopností díky technologiím (výroba kompaundů, specializovaných plastů).

Podle údajů Plastics Europe (poslední dostupné 2017, stabilní trend) dosáhla spotřeba plastů v ČR kolem 1,3–1,4 mil. tun, což představuje cca 123 kg na obyvatele – hodnota nad průměrem EU (~100 kg) a drží se na této úrovni i v 2023/2024.

Problémem ČR zůstává omezený sortiment výroby na komoditní typy: PE, PP, PS (EPS). Některé typy plastů mají nízkou šanci na další rozvoj (tlaky ze strany ekologie, nultost masivních investic do technologie) a mohou být odstavovány (naposled tomu tak bylo u PVC v roce 2025). Vývoj nových plastů na míru je klíčem k rozvoji průmyslu a integraci kompaundů do řetězce. Potřeba budoucích

technologií se promítá do požadavků na materiály s specifickými vlastnostmi, nízkou nákladovostí, recyklovatelností a udržitelností (bio-based, recyklované).

Je zde značná poptávka po spolupráci průmyslu a veřejného/soukromého výzkumu k překonání omezených zdrojů, prevenci fragmentace a duplicit – aktuálně je vše zesíleno politickými rozhodnutími EU (Green Deal) a s tím souvisejícími cíli cirkulární ekonomiky (55 % recyklace plastů do 2030). Mezi trvalé cíle patří mimo jiné:

- Připravit nové materiály a zajistit nové postupy pro využití obnovitelných a netradičních zdrojů energie.
- Snižit energetickou náročnost provozu budov.
- Vyvinout nové materiály, nové přísady do výrobků jiných odvětví, nové polymery a katalyzátory. Značnou roli hrají v tomto úsilí aditiva pro plasty. Rozvíjet se budou zejména bio-aditiva, ale i retardéry hoření a barviva, včetně nano-TiO<sub>2</sub>.
- Vývoj katalytické vnitřní vrstvy obalů potravin pro odstranění zbytkového kyslíku pro skladování potravin.
- Snižovat hmotnost dopravních prostředků a tím i spotřebu pohonných hmot a exhalace.

S růstem globalizace, aplikací a využívání výpočetní techniky ve výrobcích a obchodu, realizací procesů Průmysl 4.0 a cirkulární ekonomiky se zvyšuje význam digitalizace a využití AI. Průmysl 4.0 lze definovat jako transformaci stávajících výrobních systémů v důsledku integrace digitálních technologií a internetu. Digitalizace a využití AI se stává klíčovým prvkem ve strategiích nejenom výrobců plastů, ale i kompaundérů a zpracovatelů a recyklátorů odpadních plastů.

#### **Prioritní výzkumná témata:**

- vývoj moderních technologií výroby, zpracování a aplikací komoditních, inženýrských a speciálních plastů;
- zavádění digitalizace a AI v řetězci od výroby, přes zpracování, aplikací a využití pro ukončení životnosti plastů;
- vývoj polymer-stabilizovaných bimetalových nanokatalyzátorů;
- výzkum nosičů katalytických komponent při polymeraci styrenu a olefinů;
- výzkum v oblasti plastových scintilátorů (uplatnění nanoplniv a speciálních aditiv);

## **4.2 Spotřební výrobky (kosmetika, nátěrové hmoty, textil, obaly a další)**

Jedním ze základních cílů Vize české chemie je přispět ke zlepšení kvality života při zachování principů trvalé udržitelnosti. Aplikacemi moderních technologií jako jsou nanotechnologie nebo biotechnologie lze získat nové materiály a výrobky s vyšší přidanou hodnotou často při využití obnovitelných zdrojů surovin.

V kosmetice dominují trendy udržitelnosti, biotechnologií a digitalizace. Nově se prosazují opakovaně plnitelné a biologicky odbouratelné obaly, například ze skla či materiálů na bázi mycelia. Biotechnologie umožňují syntetizovat přírodní aktivní látky jako rostlinný kolagen, fermentované peptidy a probiotické kultury pro zdravý mikrobiom pleti. Personalizace produktů díky umělé inteligenci a strojovému učení přináší kosmetiku šitou na míru individuálním potřebám zákazníků. Dále se rozvíjí bezvodá kosmetika (waterless beauty), která snižuje spotřebu vody a konzervantů a zároveň prodlužuje trvanlivost. Minimalismus a multifunkční produkty jsou stále populárnější, kombinující

například hydrataci a ochranu proti slunci v jednom produktu. Vylepšují se také ochranné faktory proti modrému a infračervenému záření a znečištění ovzduší. Hlavním trendem je nahrazování tradičních plastových obalů materiály, které jsou recyklovatelné, biologicky odbouratelné nebo opakovaně použitelné. Čím dál populárnější jsou recyklovatelné kartonové obaly s certifikací FSC a bez použití plastových fólií. Firmy se zaměřují na minimalizaci plastů, včetně zavádění tuhých produktů, které eliminují potřebu tekutých obalů, například tuhé šampony nebo sprchové tyčinky.

V oblasti nátěrových hmot se klade důraz na snižování emisí VOC, vývoj ekologických a rychleschnoucích produktů, stejně jako využití recyklovaných plastů v recepturách. V textilním průmyslu se zvyšuje podíl recyklovaných polymerů a bioplastů, podporuje se cirkulární ekonomika zaměřená na opětovné využití vláken a snížení ekologické stopy textilní výroby. Vlastní textilní průmysl se v současnosti zaměřuje především na rostoucí použití bioplastů jako alternativ ke klasickým syntetickým vláknům ze zdrojů fosilních paliv. Bioplasty v textilním průmyslu jsou vyráběny z obnovitelných zdrojů jako kukuřičný škrob, cukrová třtina, celulóza či mikrobiální fermentace (např. PLA, PHA, PBS). Tyto materiály mohou být biologicky odbouratelné nebo ne, ovšem kombinace obnovitelného původu a rozložitelnosti z nich činí skutečně ekologickou volbu. V textilu se bioplasty využívají pro výrobu vláken jak v oblasti funkčního a módního oblečení, tak i zdravotnických produktů (roušky, jednorázové pláště), netkaných textilií a obalových materiálů. Přestože nabízejí nižší uhlíkovou stopu a možnost biodegradace, čelí výzvám jako je nižší tepelná a mechanická odolnost, vyšší výrobní náklady a potřeba specializované infrastruktury pro kompostování.

U obalů je trendem přesun k obalům s vyšším obsahem recyklovaných materiálů, zlepšení recyklovatelnosti a zavádění obalů opakovaného použití. Nové materiály zahrnují bioplasty a kompozity s nižší ekologickou stopou. Legislativní tlaky v EU a dalších regionech podporují tyto změny zaváděním povinných minimálních podílů recyklátu a omezením jednorázových plastů.

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

Plast je předním materiálem na trhu kosmetických obalů s odhadovaným podílem 64,5 % v roce 2024. Asie a Tichomoří zaujímá dominantní postavení na trhu s kosmetickými obaly, na které v roce 2024 připadá 44,3 %, a to díky své velké spotřebitelské základně, rostoucí populaci střední třídy a silné poptávce po produktech pro krásu a osobní péči. S rostoucím povědomím o životním prostředí se trh posouvá směrem k udržitelným řešením, jako jsou recyklovatelné, znovu plnitelné a biologicky rozložitelné materiály, které uspokojují rostoucí poptávku po ekologických kosmetických výrobcích. Vzhledem k tomu, že kosmetický průmysl nadále globálně expanduje, poháněný spotřebitelskou poptávkou po vysoce kvalitních a rozmanitých kosmetických produktech, zůstává trh s kosmetickými obaly dynamickým a vyvíjejícím se odvětvím. Obal je obvykle první a poslední věc, kterou vidíme při interakci s tímto výrobkem. Co se stane s tímto obalem, když je produkt spotřebován? Obvykle skončí jako odpad. Čínská kosmetická společnost Yan An Tang (YAT) nabízí svým uživatelům alternativu k vyhazování těchto položek tím, že je znovu získá pro recyklaci po spotřebiteli (PCR). K únoru 2024 má YAT 280 000 registrovaných uživatelů a recyklovala téměř 750 000 kosmetických lahvíček, což je dobrý příklad znovupoužití kosmetických obalů (<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-examples/reducing-plastic-waste-in-cosmetics-through-tech-innovation-yan-an-tang>).

V souvislosti s rostoucí poptávkou po začleňování recyklovaných materiálů do obalů byl společnou pracovní skupinou ELIPSO-FEBEA za účasti odborníků z obou asociací vypracován návod k zajištění začlenění recyklovaných plastů do obalů kosmetiky. ELIPSO (oborové sdružení zastupující výrobce plastových a flexibilních obalů) a FEBEA (oborové sdružení zastupující výrobce kosmetických výrobků) upozorňují, že tento dokument nepředstavuje právní výklad předpisů platných pro obaly určené pro kosmetické výrobky. Nezabývá žádného provozovatele jeho odpovědnosti za dodržování těchto předpisů (<https://www.elipso.org/publications/guidelines-incorporating-recycled-plastics-into-cosmetic-packaging-in-europe/>).

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.

Spolupracovat při náhradách zakázaných záměrně přidávaných mikroplastů od kosmetických přípravků a zubních past.

Jedním z trendů vývoje plastů jsou kaskádové polymerační technologie pro přípravu multimodálních polymerů (PE, PP) pro výrobu moderních obalových materiálů. 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).

Významnou roli hrají plasty při balení potravin, kde přispívají k ochraně kvality a prodloužení životnosti. Bariérové koextrudované vícevrstvé folie z různých typů plastů omezují přenos kyslíku, vlhkosti a bakterií na potraviny. Folie pro vakuové balení potravin pod dusíkem nebo oxidem uhličitým poskytují dostatečnou ochranu. Byly vyvinuty a technologicky optimalizovány až jedenáctivrstvé folie, ve kterých se uplatňují i recykláty. Současný tlak na monomateriálové plasty pro obaly však bude nutit výrobce obalů k ekodesignu s ohledem na recyklovatelnost po skončení životnosti. Evropská unie se připravuje na zrychlené schválení 137 procesů recyklace plastů určených k balení jídla a nápojů. Za nebezpečné je považována skutečnost, že recyklované plasty mohou obsahovat chemikálie, které nevyhovují předpisům pro styk s potravinami. Je to téma pro výzkum.

#### **Prioritní výzkumná témata:**

- vývoj povrchových úprav se zlepšenými vlastnostmi a odolností proti různým, zejména povětrnostním vlivům;
- vývoj moderních zdravotně nezávadných anorganických UV absorbérů jak pro nátěrové hmoty, tak pro kosmetiku a plasty;

- vývoj polymerů se speciálními vlastnostmi (magnetické, vodivé atd.);
- vývoj samoorganizovatelných kompozitních materiálů a “chytrých povrchů”;

### 4.3 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 případě nátěrových hmot a povrchových úprav. Takto lze použitím nanoplňiv očekávat zlepšení odolnosti proti poškrábání, zlepšení tepelné odolnosti, vzrůst tvrdosti, zlepšení oteruvzdornosti, zlepšení bariérového efektu (nižší plyno- a paropropustnost), zvýšení odolnosti proti UV záření, snížení koeficientu tření na povrchu úpravy, snížení hodnoty expanzního koeficientu, snížení prostupnosti vůči kapalinám, snížení hořlavosti, mikrobiální odolnost, rozměrovou stálost nebo zvýšenou odolnost proti šíření trhlin. Je tak možno ovlivnit nejen životnost, ale tyto změny jsou extrémně důležité i z hlediska konečné aplikace takového materiálu. Vyvíjené nanokompozity naleznou uplatnění zejména při zvyšování kvality plastových, gumárenských a dalších polymerních výrobků.

Stále více se budou používat nanomateriály v oteruvzdorných 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.

Nanokompozity nacházejí reálné aplikace v řadě významných oborů techniky. Tyto materiály často s novými vynikajícími vlastnostmi přinášejí žádoucí inovace a nezachycení těchto trendů může

negativně ovlivnit budoucí konkurenceschopnost, např. strojírenství, automobilového průmyslu, stavebnictví a atd. ČR má dobré předpoklady pro efektivní rozvoj aplikací moderních nanokompozitů.

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

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

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

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

#### **Prioritní výzkumná témata:**

- využití a modifikace dosavadních způsobů přípravy nanočástic ke zlepšení vlastností polymerních materiálů a optimalizaci vlastností nanokompozitu vzhledem k zamýšlené oblasti jeho využití;
- výzkum zaměřený na pochopení efektů nano-plniv s velkým specifickým povrchem na mechanické, degradační a hořlavostní vlastnosti polymerů;
- metody přípravy nových nanostrukturních a nanokompozitních materiálů založených na unikátních vlastnostech nanočástic (slitin) kovů a (směsných) oxidů kovů a jejich interakci s anorganickými nosiči;
- výzkum podmínek přípravy nových typů anorganických a organických nanočástic a nanokompozitních materiálů;
- studium vlivu používání nanočástic na životní prostředí a zdraví.

## **4.4 Materiály pro zdravotnictví**

Farmaceutický průmysl a medicína jsou významnými iniciátory inovací jak v materiálové, tak technologické oblasti. Díky tomu již dnes můžeme registrovat řadu aplikací polymerních materiálů ve

zdravotnictví. Nové materiály se již nyní uplatňují v neinvazivní medicíně. V oboru nanokompozitů se jedná především o kompozity s uhlíkovou či polymerní matricí vyztuženou uhlíkovými vlákny. Jsou považovány za perspektivní např. pro konstrukci kostních a kloubních náhrad a kostních implantátů. Výsledky materiálového výzkumu budou využitelné ve zdravotnictví především v oborech: neurochirurgie (umělé náhrady a přemostění defektů), traumatologie (poranění mozku a míchy), neurologie (Parkinsonova choroba, roztroušená skleróza), imunologie (poruchy imunity), pediatrie (vrozené vady, perinatální poškození), ortopedie (náhrady chrupavek a kostí), oftalmologie (náhrady rohovky), otorinolaryngologie, stomatologie (zubní náhrady), plastická chirurgie a dermatologie. V řadě případů se může jednat i o prostředky pro veterinární účely.

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

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

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

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

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

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

*Acetalový kopolymer (polyoxymethylen)* je termoplast lékařské kvality s vysokou mechanickou pevností, tuhostí a rozměrovou stálostí. Poskytuje dobré kluzné vlastnosti a vynikající odolnost proti opotřebení a také nízkou absorpci vlhkosti. Má dobrou rozměrovou stabilitu a zvláště dobrou únavovou pevnost, stejně jako vynikající schopnosti obrábění, což z něj činí vysoce univerzální

konstrukční materiál, a to i pro složité součásti. Oblasti využití zahrnují sportovní medicínu, ortopedii, lékařské přístroje, dodávky léků, farmaceutickou, kardiovaskulární, neurologickou a diagnostickou medicínu.

*Polyether Ether Ketone (PEEK)* je unikátní technický termoplast, který také nabízí vynikající chemickou kompatibilitu, nízkou náchylnost k praskání pod napětím, klinicky ověřenou biokompatibilitu, vysokou rozměrovou stabilitu a dobrou elektrickou izolaci. PEEK se snadno obrábí a má vynikající mechanickou pevnost a rázové vlastnosti. Obory využití jsou sportovní medicína, lebeční medicína, ortopedie, lékařské přístroje, aplikace léků, farmaceutická, kardiovaskulární, neurologická a diagnostická medicína.

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

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

#### **Prioritní výzkumná témata:**

- vývoj vhodných biopolymerů pro farmacii;
- vývoj tzv. bioanalogických polymerů (doprava léků, náhrada kůže nebo kostní dřeně);
- vývoj výroby nových membrán pro dialýzu;

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

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

Nařízení REACH čl. 69-73 (zákaz oxo-degradovatelných plastů) bylo napadeno Symphony Environmental u Evropského soudu v Lucemburku. O případu bylo rozhodnuto 31. ledna 2024 a přitáhl velkou pozornost k technologii d2w společnosti Symphony. Symphony se již více než deset let snaží vysvětlit institucím EU, že způsob, jak snížit problém znečištění, není zakázat plasty, které jsou skutečně tím nejlepším materiálem pro určité aplikace, ale zlepšit nakládání s odpady a vyrobit plasty oxo-biodegradabilní, takže se rychle biologicky rozloží, pokud se dostane do otevřeného prostředí. Při

zvažování směrnice o plastech na jedno použití si Výbor pro životní prostředí Parlamentu nebyl vědom (nebo nepochopil), že oxo-degradace a oxo-BIOdegradace jsou dvě velmi odlišné věci. Pokud jde o technické posouzení uvedené technologie, soud potvrdil, že „nemá-li EU přijímat svévolná opatření, která nelze legitimizovat ani zásadou předběžné opatrnosti, musí orgán veřejné moci zajistit, aby veškerá opatření, která přijme, a to i preventivní, byla založena na co nejdůkladnějším vědeckém hodnocení rizik.“ A „vědecké hodnocení by mělo být založeno na nejlepších dostupných vědeckých údajích. EU toto však neprovedla. Nicméně soudu se nepodařilo vyřešit zmatek, který na trhu v této oblasti panuje. Nikdo si nepřál zakázat plasty, které se správně biologicky rozkládají, což snižuje množství znečištění životního prostředí mikroplasty, a které přináší prokázaný přínos pro životní prostředí.

Oxo-degradovatelné a oxo-biodegradovatelné plasty prošly v posledních dvou letech zásadním vývojem, přičemž hlavním rysem je jejich definitivní zákaz v Evropské unii. Výrobci oxo-plastů tento zákaz zpochybňovali žalobou u Soudního dvora EU, avšak ten na začátku roku 2025 potvrdil platnost zákazu. Oxo-plasty jsou proto v EU prakticky vyřazeny z legálního trhu, což znamená výrazný krok v oblasti regulace plastů s potenciálně negativním dopadem na životní prostředí.

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

#### **Prioritní výzkumná témata:**

- Vývoj materiálů, které se v životním prostředí zcela rozkládají bez tvorby nebezpečných mikroplastů

## **4.6 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.

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

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

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

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

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

| Označení       | Chemický název                                                                                                                                                                                |
|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| DBDPE          | Deka-bromdifenyl ethan                                                                                                                                                                        |
|                | Bromovaný polystyren                                                                                                                                                                          |
| BEO            | Bromovaný epoxy polymer                                                                                                                                                                       |
| Deka-BDE       | Deka-bromdifenyl ether                                                                                                                                                                        |
| DDO            | Deka-bromdifenyloxid                                                                                                                                                                          |
| BPADP          | Bisfenol A-difenylofosfát                                                                                                                                                                     |
| EBP            | 1,2-bis(pentabromfenyl)                                                                                                                                                                       |
| EBTBP          | Etylen-bis(tetrabromftalimid)                                                                                                                                                                 |
| BrPBPS         | Bromovaný polymerní retardér hoření                                                                                                                                                           |
| Deriváty TBBPA | tetrabrombisfenol-bis(2,3-dibrompropyl ether)<br>tetrabrombisfenol A-bis(2-hydroxyethyl ether)<br>tetrabrombisfenol-bis(allylether)<br>tetrabrombisfenol-bis(2,3-dibrom-2-methylpropyl ether) |
| BTBPE          | 1,2-bis-(2,4,6-tribromofenoxy)ethan                                                                                                                                                           |
| TDBPP          | Tris(2,3-dibromopropyl) fosfát                                                                                                                                                                |

**Tabulka2:** V současnosti zakázané retardéry hoření

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

Typickými představiteli retardérů hoření jsou halogenované parafíny, halogenované alifatické a aromatické sloučeniny a halogenované polymery. V současnosti je známo přibližně 75 různých komerčních bromovaných zpomalovačů hoření (BFR)<sup>4</sup>. BFR jsou rozděleny do tří podskupin v závislosti na způsobu zabudování těchto látek do polymerů: monomery, reaktivní a aditivní přísady.

<sup>4</sup> Alae M., Arias P., Sjödin A., Bergman A.: An overview of commercially used brominated flame retardants, their applications, their use patterns in different countries/regions and possible modes of release, Environ. Int. 29, 683-689 (2003).

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

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

I přes jeho nízkou rozpustnost ve vodě se ukazuje, že je akumulován v sedimentech, půdě i biologických matricích po celém světě<sup>5</sup>. Do životního prostředí se dostává z výluhů skládek, kam se ukládají produkty obsahující TBBPA<sup>6</sup>. Zvýšená koncentrace TBBPA byla však zjištěna i v čistírenských kalech<sup>7</sup>. V současné době je již tato sloučenina, zařazená na seznam SVHC (látky vzbuzující mimořádné obavy) v systému REACH a je zakázáno používat ji při výrobě panenských samozhášivých plastů.

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

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

<sup>5</sup> Shi T., Chen S. J., Luo X. J., Zhang X. L., Tang C. M., Luo Y., Ma Y. J., Wu J. P., Peng X. Z., Mai B. X.: Chemosphere 74, 910 (2009).

Harrad S., Abdallah M. A. E., Rose N. L., Turner S. D., Davidson T. A.: Environ. Sci. Technol. 43, 9077 (2009). Tanabe S., Ramu K., Isobe T., Takahashi S.: J. Environ. Monit. 10, 188 (2008).

<sup>6</sup> Osako M., Kim Y. J., Sakai S. I.: Chemosphere 57, 1571 (2004).

<sup>7</sup> Lee H. B., Peart T. E.: Water Qual. Res. J. Can. 37, 681 (2002).

<sup>8</sup> de Carlo V. J.: Ann. N. Y. Acad. Sci. 320, 678 (1979).

<sup>9</sup> Law R. J., Allchin C. R., de Boer J., Covaci A., Herzke D., Lepom P.: Chemosphere 64, 187 (2006).

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

<sup>10</sup> Lorber M.: J. Expo. Sci. Environ. Epidemiol. 18, 2 (2008).

<sup>11</sup> EHC-152. Polybrominated biphenyls. International Program on Chemical Safety, World Health Organization, Geneva, Switzerland, 1994, <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc152.htm>.

<sup>12</sup> Directive 2002/95/EC of the European Parliament and of the Council of 27 January 2003 on the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2003:037:0019:0023:EN:PDF>.

úrovni byly v květnu 2009 na základě Stockholmské úmluvy o perzistentních organických látkách (POPs) zařazeny penta-BDE a okta-BDE do kategorie POP látek<sup>13</sup>. Jako náhrady penta-BDE byly ve spolupráci vládních, nevládních organizací a chemického a nábytkářského průmyslu doporučeny látky trifenylofosfát, tribromoneopentyl alkohol a dalších 12 patentovaných chemických látek<sup>14</sup>.

Chlorované retardéry s fosforem (např. tris(2-chlorethyl)fosfát) jsou aktivní především v pevné fázi. Nicméně tato sloučenina má také mechanismus působení v plynné fázi, a to přes uvolněný chlor. Původně našel uplatnění v polyuretanových pěnach, v současnosti ho ale nahradily jiné látky. Nyní se používá jako retardant hoření pro plasty, textil a střešní izolace. Na základě dostupných dat byl fosfát identifikován jako látka toxická pro reprodukci s významným nepříznivým potenciálem na plodnost<sup>15</sup>. V roce 2009 vydala Evropská unie zprávu o rizicích tris(2-chlorethyl)fosfátu. Byla potvrzena karcinogenita, chronická toxicita a vliv na plodnost<sup>16</sup>. Jeho výroba a distribuce zatím omezena není.

### **Budoucnost retardérů hoření**

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

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

<sup>13</sup> Carr H. S., Rosenkranz H. S.: Mutat. Res., Fundam. Mol. Mech. Mutagen. 57, 381 (1978).

<sup>14</sup> Stockholm Convention to list nine new persistent organic pollutants SC-4/18. Reference: C.N.524.2009. <http://chm.pops.int/Convention/ThePOPs/TheNewPOPs/tabid/2511/Default.aspx>.

<sup>15</sup> Beth-Hübner M.: Int. Arch. Occup. Environ. Health 72, M17 (1999).

<sup>16</sup> European Union Risk Assessment Report. Tris(2-chloroethyl)phosphate, TCEP. CAS 115-96-8 (2009) [http://ecb.jrc.ec.europa.eu/DOCUMENTS/ExistingChemicals/RISK\\_ASSESSMENT/REPORT/tcepreport068.pdf](http://ecb.jrc.ec.europa.eu/DOCUMENTS/ExistingChemicals/RISK_ASSESSMENT/REPORT/tcepreport068.pdf).

## 4.7 Plasty pro stavebnictví

Stavebnictví inklinuje k tradičním materiálům, osvědčeným postupům a výrobkům – ale plasty nabízejí příležitosti pro inovace. Budoucnost stavebnictví vždy závisela na ekonomických podmínkách. Změny v tomto odvětví se nyní urychlují prostřednictvím nárůstu poptávky po bydlení ve spojení s novými předpisy, jejichž cílem je učinit průmysl energeticky účinnějším, nakládat s odpady, recyklovat a brát v úvahu LCA (analýza životního cyklu).

Budoucnost bude svědkem růstu inteligentních budov a metod, jako je prefabrikace, které přesunou práci ze stavenišť do továren. Nové materiály a řada polymerních kompozitů a plastů vyztužených sklem budou důležité pro nové konstrukce. Jednou z hlavních výhod plastů je jejich schopnost být navržen pro širší spektrum použití. Jejich odolnost proti korozi, nízká hmotnost a pevnost umožňují potenciál nosných konstrukcí na rozdíl od architektonických prvků.

Polymery jsou široce používány ve stavebnictví z funkčních i estetických důvodů. Jsou lehké, odolné, mají nízkou cenu, fungují jako tepelné a elektrické izolátory, lze je tvarovat do složitých tvarů, dodávají se v atraktivních barvách a texturách, nevyžadují téměř žádné natírání a obecně netrpí korozi kovů nebo mikrobiálním napadením. Díky těmto žádoucím vlastnostem nacházejí plasty mimo jiné uplatnění v obkladech, pěnových izolacích, opláštění domů, střešních systémech, izolaci elektroinstalace, zasklení oken, potrubí, terasách, oplocení a zábradlí. V posledních letech se staly také součástí designu zelených budov. Toto široké použití však vedlo k potřebě recyklovat nebo znovu použít polymery, aby se zabránilo tomu, že plastový odpad způsobí degradaci životního prostředí.

V posledních letech neustále roste popularita inovativní technologie známá jako zakázková výroba plastů. Tuto technologii často používají architekti k vytváření návrhů, které by nikdy nemohly být vytvořeny s konvenčními stavebními materiály. Je těžké si představit, že některé budovy, jako je The Gherkin v Londýně, by nikdy neexistovaly, kdyby nebyl k dispozici plast. Použití pokročilých technik polymerního inženýrství umožňuje nyní vyrábět budovy v jakékoli velikosti nebo tvaru. Plasty poskytují nekonečné možnosti díky svéflexibilitě, což je přesně důvod, proč jsou mezi designéry po celém světě tak oblíbené.

Významné postavení ve stavebnictví mají tepelně-izolační výrobky jak anorganického, tak organického původu /plasty/. Podle studie Markets and Markets se má světový trh spotřeby těchto produktů zvýšit z 26,6 miliard USD v roce 2019 na 37,4 miliardy v roce 2027.

Podle údajů OSN jsou budovy zodpovědné za 39 % emisí CO<sub>2</sub>, z toho tři čtvrtiny jsou způsobeny z jejich provozu. Je prokázáno, že energeticky neúsporná budova spotřebuje za svoji životnost 40krát více energie, než bylo vloženo do materiálů a vlastní výstavby.

První Směrnice o energetické náročnosti budov v EU spatřila světlo světa již v roce 2010 jako č. 2010/31/EU, následovala druhá pod číslem 2012/27/EU. Poslední platná, též nazývaná jako EPBD 3, má číslo 2018/844/EU. Uvádí se v ní, že Evropský fond budov je zodpovědný za 36 % emisí CO<sub>2</sub>, když spotřebovává téměř 80 % z celkové spotřeby energií na vytápění a chlazení. Podíl renovací stávajících budov na vyšší energetický standard by měl v EU dosáhnout 3 % ročně, oproti současným 0,4 – 1,2 %. Ročně se v EU staví 1 % nových budov s požadovaným energetickým standardem. Do roku 2030 by mělo být rekonstruováno 36 % starších budov, z toho 47 % budov by mělo podstoupit dodatečnou izolaci stěn, 37 % střech a 15 % podlah. Zateplením budov lze snížit náklady na energie až o 45 %.

Investice do renovací budov bude v ČR možno financovat z fondů EU, včetně Fondu obnovy a Modernizačního fondu. Pokračovat budou programy Nová zelená úsporám. Očekává se potřeba investičních prostředků do roku 2030 až ve výši 80 miliard Kč.

Stavebnictví se musí ubírat „zelenou cestou“ v rámci koncepce udržitelné výstavby, která spočívá na pěti principech:

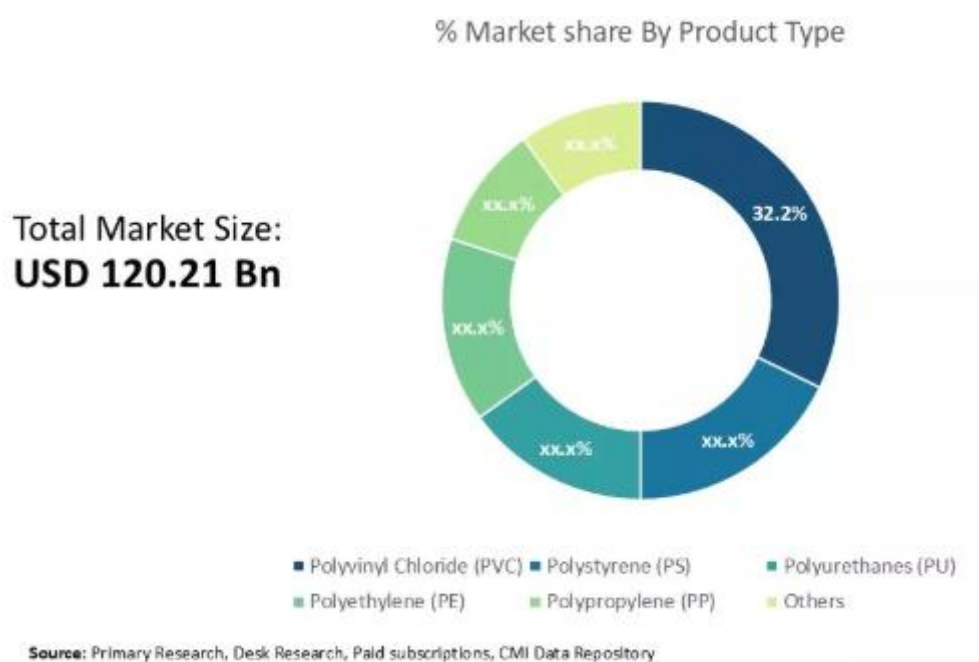
- aplikace nízkouhlíkových, recyklovatelných stavebních materiálů,
- realizace energeticky úsporných projektů výstavby v pasivním provedení,
- minimální zásahy do přírody,
- využívání materiálů od co nejbližší lokalizovaných výrobců.

Evropská unie představila „Renovační vlnu pro budovy“. Před rokem 2001 bylo v EU postaveno 220 milionů budov s málo efektivními technologiemi. Budovy v EU se podílejí 36 % na emisích skleníkových plynů. Každoročně se renovuje na vyšší energetický standard 1 % evropských budov, v ČR pouze 0,6 – 0,8 %. V renovační strategii se očekává zdvojnásobení renovací do roku 2030, konkrétně o 35 milionů budov, což přispěje k dosažení vyšší hodnoty snížení emisí o 55 % proti roku 1990.

Německo, jako největší evropský zpracovatel plastů, publikovalo prostřednictvím asociace GVK výsledky za rok 2021. Celkové tržby vzrostly o 12,6 % proti roku 2020, avšak proti roku 2019 pouze o 6 %. Bylo zpracováno 15 mil. tun plastů / plus 5,6 %/, v tom 2,2 mil. tun regenerulátu /plus 10 %/.

Podle studie MarketsandMarkets se v roce 2018 ve světě spotřebovalo 7,9 mil. tun EPS, vyrobeného u více než 100 výrobců. Do roku 2023 prognózuje průměrný roční nárůst 4,7 % na 10,0 mil. tun. Motorem růstu budou EPS izolanty s příznivější hodnotou lambdy /šedé typy/. Obalové aplikace EPS zaznamenají vyšší než průměrný růst v rozvojových zemích. Za velkou přednost EPS považuje agentura snadnou recyklovatelnost. Uvádějí globální množství mechanicky recyklovaného EPS ve výši 45 000 tun.

**Obrázek 10** Trh stavebních plastů podle typu produktu v roce 2024



Největší světová chemická společnost BASF vyvinula v rámci úsilí o udržitelnost plastů v roce 2018 nový typ EPS – Styropor Cycled, u kterého je část styrenu z fosilních zdrojů nahrazena styrenem, vyrobeným z postuživatelských plastových odpadů technologií chemické recyklace. K první průmyslové aplikaci takto vyrobeného EPS v izolačních deskách došlo v roce 2020.

V loňském roce vykázali evropští výrobci plastů rekordní počet odstávek výroby z titulu tzv. vyšších mocí – celkem 91, pouze jedna se však týkala výroby EPS. Na webovém semináři k této zprávě dne 3.3.2022 bylo patrné podráždění zpracovatelů se stavem plastikářského průmyslu s důrazem na nutnost investovat více do oběhového hospodářství v EU. Přesto očekává Plastics Europe za loňský rok růst výroby o 8 %. Podle předběžných výsledků se zvýšila i spotřeba EPS.

### **Konkrétní případy nového použití plastů ve stavebnictví:**

V Jihočeském kraji byla opravena silnice recyklovaným asfaltem, což snížilo náklady o 30% při zachování životnosti vozovky.

Administrativní budova v Brně využila tepelnou izolaci z recyklovaných PET lahví, dosahující energetické třídy A, a získala ocenění za ekologický přístup. Týká se projektů firem jako Retex a dalších výrobců netkaných textilií, kteří vyvinuli tepelnou a akustickou izolaci ze syntetických vláken získaných z recyklovaných PET lahví. Tyto izolace jsou používány ve stavebnictví pro zvýšení energetické účinnosti budov a mají velmi dobré vlastnosti oproti klasickým materiálům.

Na Novém Zélandu firma ByFusion vyrábí stavební bloky z extrémně slisovaných plastových odpadů vhodné pro různé stavby.

Mexická firma EcoDomum vytváří desky z plastové štěpky za vysoké teploty lisované do stavebních prvků, které se používají pro stavbu „plastových“ domů.

V České republice jsou využívány nápojové kartony pro výrobu izolačních a stavebních desek, které nahrazují tradiční materiály a jsou kombinovány s pěnovým polystyrenem nebo polyuretanem. Desky lze použít i pro obvodové zdi nebo koupelny.

firma Plastic Guys z Brna vyrábí z recyklovaného plastu vysoce kvalitní panely pro použití v interiérech luxusních kaváren, restaurací i rezidencí, které lze až sedmkrát recyklovat a znovu tvarovat.

Trendy v oblasti udržitelných fasád se řešily na Faceade Expo 2025, kde byly prezentovány materiály zahrnující plastové kompozity a chytrá řešení s efektem úspory energie.

Společnost Conceptos Plásticos (Kolumbie, Bogota) vyrábí stavební bloky z recyklovaného plastového odpadu. Tyto bloky se používají k výstavbě škol a domů pro komunity v nouzi. Technologie: Bloky se montují jako LEGO, bez potřeby malty. Jsou odolné vůči ohni a vodě. Výhoda: nízké náklady, rychlá výstavba, ekologický dopad.

Firma Constructora ICON (Mexiko, Tabasco) spolu s nadací New Story postavila 3D tištěné domy z recyklovaného plastu pro sociálně slabé rodiny. Použila k tomu 3D tiskárnu Vulcan II a směs plastů a cementu. Výhoda: Rychlá výstavba (24 hodin), nízké náklady, odolnost vůči zemětřesení.

V pasivních domech (Německo, Freiburg) byly použity polykarbonátové panely s UV ochranou a tepelnou izolací. Použita byla technologie panelů s vícekomorovou strukturou, které zajišťují vysokou energetickou účinnost. Výhoda: Snížení energetické náročnosti budov, dlouhá životnost materiálu.

Pilotní projekt „PlasticRoad“ – cyklostezka vyrobená z recyklovaného plastu (Nizozemsko, Rotterdam). Využita byla technologie s modulárními panely s dutinami pro odvodnění a kabeláž. Výhoda: Rychlá instalace, dlouhá životnost, snížení CO<sub>2</sub>.

**Prioritní výzkumná témata:**

- vývoj nových materiálů pro aplikace ve stavebnictví s využitím recyklovaných materiálů

## 4.8 Plasty pro dopravní prostředky

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

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

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

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

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



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

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

- Zvýšení dojezdové vzdálenosti.
- Cenové zpřístupnění těchto aut pro širší veřejnost.
- Vybavení servisů pro údržbu, včetně proškolení autoopravářů.
- Zajištění recyklací, zejména autobaterií.
- Posílení důvěry a návyků spotřebitelů.

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

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

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

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

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

#### **Prioritní výzkumná témata:**

- vývoj nových materiálů pro aplikace v dopravních prostředcích;
- nová aditiva, zejména ztužující plniva pro plasty pro automobilový průmysl.
- studium možností náhrady klasických (kovových) materiálů pomocí kompozitů s vlastnostmi upravenými na míru;

- výzkum povlakových technologií se specializací zejména na automobilový průmysl a výrobu dopravních prostředků;
- vývoj recyklačních technologií zaměřených na automobilový průmysl;

## 4.9 Plasty pro obnovitelné zdroje energie

Chemické společnosti mohou hrát významnou roli v energetickém přechodu, protože dodávají materiály pro řešení čisté energie, jako jsou bateriová úložiště, čistý vodík a průmyslové nátěry včetně maziv pro další technologie. Zákon o snižování inflace, podepsaný v srpnu 2022, přispěl k výstavbě řady nových výrobních závodů. To se odráží ve zvýšení výroby speciálních kovů, která v roce 2024 vzrostla o 1,7 % a očekává se růst o 3,2 % v roce 2025. Zatímco některé stavby se mohly zpomalit částečně kvůli vysokým úrokovým sazbám, očekává se, že zpomalení bude krátkodobé, zvláště pokud se úrokové sazby v dalších letech sníží. Kromě toho se očekává, že v příštích několika letech porostou celosvětové prodeje elektrických vozidel (EV). EV vyžadují o 85 % více chemie (podle hodnoty) než spalovací motory a mohly by hrát roli v dodatečné poptávce po plastech, kompozitech, a dalších chemikáliích.

Na rozdíl od své negativní ekologické pověsti hraje plast překvapivě zásadní roli v rozvoji technologií obnovitelné energie. Často opomíjené plasty nabízejí jedinečnou kombinaci výhod: lehkou konstrukci, výjimečnou životnost, odolnost proti korozi a vynikající tepelně-izolační vlastnosti. Díky těmto vlastnostem jsou ideální pro klíčové komponenty v solárních panelech, větrných turbínách, pro skladování energie, elektrické články citlivé na barvivo, pro vyzařování a snímání světla, perovskitové elektrické články, termoelektrické generátory, polymerní kompozity pro termoelektrické generátory, piezoelektrické, triboelektrické generátory a superkondenzátory.

### Polymery ve sluneční energii

Sektor solární energie zaznamenal významný pokrok díky zahrnutí polymerů. Polymerové solární články, běžně známé jako organická fotovoltaika (OPV), představují vedoucí aplikaci. Tyto buňky využívají vodivé polymery k absorpci světla a jeho přeměně na elektrickou energii. Na rozdíl od tradičních solárních článků na bázi křemíku jsou polymerové články lehké, flexibilní a lze je vyrábět s nižšími náklady. Tato flexibilita umožňuje integraci solárních panelů do různých povrchů, včetně fasád budov a nositelných zařízení. Pokroky v chemii polymerů navíc vedly ke zlepšené absorpci světla a účinnosti přeměny energie, díky čemuž jsou OPV stále více konkurenceschopné s konvenčními technologiemi.

Nedávný výzkum se zaměřil na zvýšení stability a životnosti polymerních solárních článků. Polymery byly navrženy tak, aby odolávaly degradaci UV zářením a environmentálním problémům, které tradičně omezovaly jejich životnost. Tandemové polymerní články, které vrství různé polymery pro zachycení širšího spektra světla, navíc dosáhly vyšší účinnosti. Tyto inovace dělají z polymerových solárních článků nejen nákladově efektivní možnost, ale také všestranný nástroj při hledání obnovitelné energie.

### Polymery ve větrné energii

Systémy větrné energie významně těží z použití polymerů při konstrukci lopatek turbín. Historicky se lopatky turbín vyráběly převážně z materiálů jako sklolaminát a uhlíková vlákna, které jsou drahé a těžké. Polymery nabízejí lehkou alternativu, čímž snižují celkovou hmotnost lopatek turbíny. Toto snížení hmotnosti zvyšuje účinnost turbín tím, že vyžaduje méně energie pro otáčení lopatek. Kromě toho polymery přispívají ke snížení hluku, což je kritický faktor při zlepšování životaschopnosti systémů větrné energie a její přijímání komunitou.

Použití termoplastických polymerů bylo obzvláště revoluční. Tyto materiály jsou nejen lehké, ale také snadněji recyklovatelné než tradiční termosetové polymery. Recyklovatelnost lopatek pomáhá řešit

jeden z významných ekologických problémů spojených s větrnou energií, kterým je likvidace použitých lopatek. S rostoucí poptávkou po udržitelných a ekologických energetických řešeních bude stále důležitější schopnost recyklovat součásti větrných turbín. Polymery tak hrají klíčovou roli při zvyšování udržitelnosti a účinnosti větrné energie.

#### Polymery v bioenergii

Sektor bioenergie, který zahrnuje výrobu energie z biologických materiálů, také vidí významný potenciální pokrok díky použití polymerů. Polymery mohou zlepšit výrobu a zpracování biopaliv. V oblasti imobilizace enzymů poskytují polymery robustní médium pro připojení enzymů používaných k rozkladu biomasy. Tento proces zvyšuje účinnost přeměny biomasy na biopaliva, protože imobilizované enzymy lze opakovaně použít, čímž se snižují náklady a doba zpracování.

Polymery navíc nacházejí uplatnění při čištění a rafinaci biopaliv. Membrány vyrobené z polymerů mohou účinně oddělovat a čistit biopaliva, čímž je proces efektivnější a vede k vyšší kvalitě paliva. Tento aspekt je zásadní vzhledem k současným globálním standardům obnovitelných paliv, které požadují čistší a účinnější zdroje energie. Polymery proto nejen usnadňují výrobní proces, ale také pomáhají zajistit, aby biopaliva splňovala přísné průmyslové normy.

#### Pokročilé ukládání energie

Oblast skladování energie prochází rychlým vývojem, přičemž polymery vedou náboj při zvyšování účinnosti a kapacity baterií a superkondenzátorů. V tradičních bateriových systémech se polymery používají jako elektrolyty a separátory. Polymerní elektrolyty, zejména v lithium-iontových bateriích, nabízejí výhody, jako je flexibilita, bezpečnost a potenciálně vyšší iontová vodivost ve srovnání s kapalnými elektrolyty. Toto vylepšení je nezbytné pro vytvoření odolnějších a dlouhodobějších řešení pro ukládání energie.

Polymery navíc umožňují vývoj baterií v pevné fázi, které jsou považovány za hlavní průlom v technologii skladování energie díky své vyšší hustotě energie a vylepšeným bezpečnostním profilům. Polymery v těchto systémech nahrazují konvenční kapalně elektrolyty a působí jako elektrolyt i separátor. Tato inovace nejen zlepšuje účinnost baterie, ale také minimalizuje riziko úniku a požáru, což je důležitý bezpečnostní problém v technologii baterií.

V superkondenzátorech se polymery používají ke zvýšení kapacity a hustoty energie. Vodivé polymery slouží jako aktivní materiály pro elektrody, které zvyšují kapacitu akumulace náboje. Tento pokrok se promítá do rychlejších časů nabíjení a delší životnosti zařízení pro ukládání energie, což je zásadní pro aplikace, jako jsou elektrická vozidla a přenosná elektronika.

#### Trvanlivost a dopad na životní prostředí

Trvanlivost a environmentální dopad technologií obnovitelných zdrojů energie jsou rozhodující pro jejich dlouhodobý úspěch. Polymery se svými přizpůsobivými vlastnostmi významně pomáhají při řešení těchto problémů. Polymery jsou přirozeně odolné vůči korozi a opotřebení prostředím, což znamená, že komponenty vyrobené z polymerů mají obvykle delší životnost. Tato odolnost je zvláště výhodná pro aplikace vystavené drsným podmínkám prostředí, jako jsou pobřežní větrné turbíny a solární panely instalované v suchých oblastech.

Kromě toho je kladen stále větší důraz na vývoj biologicky odbouratelných polymerů ke zmírnění dopadu polymerního odpadu na životní prostředí. Tyto biologicky odbouratelné polymery jsou navrženy tak, aby se snadněji rozkládaly v přirozeném prostředí, minimalizovaly ekologickou stopu a podporovaly oběhové hospodářství. Tento trend je v souladu s širšími cíli obnovitelné energie nejen přejít na čistší zdroje, ale také zajistit, aby používané metody a materiály byly stejně udržitelné jako energie, kterou produkují.

#### Budoucí vyhlídky a inovace

Budoucí vyhlídky polymerů v řešeních pro obnovitelné zdroje energie jsou slibné, protože výzkum pokračuje v odhalování nových aplikací a vylepšení. Jednou z oblastí inovací je vývoj chytrých polymerů, které mohou reagovat na podněty prostředí, jako jsou změny teploty, světla a pH. Tyto chytré polymery by mohly vést k vytvoření adaptivních energetických systémů, které optimalizují výkon na základě podmínek v reálném čase.

Další cestou je zkoumání biopolymerů získaných z organických materiálů. Takové polymery nejen zlepšují udržitelnost, ale také otevírají možnosti pro snížení závislosti na fosilních palivech, tradičně používaných pro výrobu polymerů. Přijetí biopolymerů by mohlo zahájit novou éru zelených materiálů v technologii obnovitelných zdrojů energie.

Mezi přední výzkumná témata v této oblasti patří i další skupiny materiálů. Mezi ty nejprogresivnější lze zařadit:

- Inteligentní polymery schopné reagovat na změny teploty, světla nebo chemického prostředí.
- Samoopravné materiály prodlužující životnost energetických zařízení bez nutnosti údržby.
- Biopolymerní technologie využívající obnovitelné zdroje pro výrobu baterií a membrán.
- Flexibilní energetické systémy integrované do chytrých měst – fasády, okna, textilie.
- Modulární polymerní komponenty umožňující snadnou výměnu a recyklaci.

Spolupráce mezi chemiky, materiálovými vědci a inženýry nadále vzkvétá a integrace polymerů do systémů obnovitelné energie bude řídit převratný pokrok. Vlády a průmysloví lídři musí podporovat výzkumné a vývojové iniciativy, aby tento potenciál využili. Takové iniciativy by mohly podnítit přijetí čistších, účinnějších a nákladově efektivních energetických řešení v celosvětovém měřítku.

Polymery jsou nesporně v popředí revolučních řešení obnovitelné energie. Prostřednictvím svých aplikací v solárních, větrných a bioenergetických sektorech a své klíčové role při zlepšování skladování energie vykazují polymery všestranné výhody, které splňují komplexní požadavky moderních energetických výzev. Potenciál polymerů zlepšit účinnost, udržitelnost a nákladovou efektivitu z nich činí neocenitelné aktivum v globálním úsilí o čistší energii. Jak pokrok pokračuje, oblast obnovitelných zdrojů energie je připravena na transformaci poháněnou zkušeným používáním polymerů. Zainteresované strany ve vědě, politice a průmyslu musí spolupracovat na podpoře tohoto vývoje a zajistit, aby se tyto inovace promítly do hmatatelných přínosů pro společnosti na celém světě a zároveň chránily naši planetu pro budoucí generace. Využitím dynamických schopností polymerů je odvětví obnovitelné energie nastaveno k dosažení nebývalých výšin, což znamená významný skok vpřed ve snaze o udržitelnou a energeticky bezpečnou budoucnost.

Také flexibilní elektronika se stala důležitým trendem v informační éře. V důsledku toho je použití konvenčních kovů a anorganických polovodičů ve flexibilních zařízeních omezeno kvůli jejich špatné roztažnosti a přizpůsobivosti. V současné době je tedy naléhavé najít vhodné kandidáty, kteří by tyto tradiční komponenty alespoň částečně nahradili. V tomto případě jsou polymery a jejich kompozity považovány za klíčové materiály pro výrobu flexibilních elektronických zařízení díky jejich vynikajícím mechanickým a elektrickým vlastnostem v pružných substrátech, mezifázové vazbě a funkčním aktivním komponentám. (<https://www.plasticsengineering.org/2024/12/the-future-is-flexible-advancements-in-plastic-electronics-007511/#!>)

**Prioritní výzkumná témata:**

- Využívání nových technologických procesů (především biotechnologií) pro nové materiály
- Baterie – polymerní elektrody a separátory zajišťují vyšší bezpečnost, flexibilitu a výkon.
- Superkondenzátory – polymerní kompozity umožňují rychlé nabíjení a vybíjení.
- Palivové články – polymerní membrány jako selektivní bariéry pro ionty.
- Solární články – vodivé polymery jako aktivní vrstvy v organických fotovoltaických článcích.

## 4.10 Polymerní přísady

Plasty ve formě samotného polymeru se prakticky nepoužívají. Jejich vlastnosti se modifikují přidávkou aditiv. Aditiva pro polymerní systémy představují pestrou škálu modifikací, které jsou povětšinou směřovány ke zlepšení jejich vlastností z hlediska fyzikálního pohledu. Jedná se především o mechanické, uživatelské, zpracovatelské, ale i environmentální vlastnosti. Aditiva jsou často nízkomolekulární, mají tendenci migrovat v polymeru a časem jejich koncentrace klesne pod potřebnou úroveň. Moderní aditiva jsou vyvíjena s důrazem na nízkou migraci, bio-kompatibilitu, recyklovatelnost a nízký ekologický dopad (např. bez PFAS, ftalátů). Globální trh aditiv dosáhl v roce 2024 přes 55 mld. USD a roste o 4–5 % ročně díky požadavkům na cirkulární ekonomiku a elektromobilitu.

### Ochrana před UV zářením

Vlastní polymerní matrice je velmi citlivá na sluneční záření v oblasti 290–400 nm. UV stabilizátory (HALS – Hindered Amine Light Stabilizers, benzotriazoly) eliminují rozkladné procesy a jsou průmyslově standardem. Druhou možností je UV absorpce – povrchová vrstva s UV absorbéry (submikronové částice ZnO, TiO<sub>2</sub> nebo organické absorbéry). Aktuálně dominují reaktivně vázané organické absorbéry (např. kopolymerizované benzofenony nebo triaziny), které nemigruje a zajišťují životnost >10 let i v exteriéru (aplikace: automobilové díly, zemědělské fólie, solární panely). Nově se prosazují nanočástice ligninu nebo bio-based absorbéry (z kůry, taninů) pro udržitelné plasty.

### Fotoaktivní samočisticí úpravy

Již delší dobu je diskutována otázka tzv. fotoaktivní úpravy s využitím oxidů kovů, především TiO<sub>2</sub>, ve formě nanočástic. Tyto látky po ozáření UV světlem generují volné radikály, které napadají organické sloučeniny. Dochází tak k eliminaci organického i mikrobiálního znečištění na ošetřeném povrchu. Primárně byl tento systém vyvinut pro anorganické povrchy. Testy na organických, polymerních materiálech následně prokázaly, že volné radikály mají fatální účinky na polymerní systém. Dochází k jeho rozkladu, a pokud jsou nanočástice TiO<sub>2</sub> přidány do polymerní matrice je tato narušena a nanočástice unikají do volného prostoru. Klasické anorganické systémy na bázi nano-TiO<sub>2</sub> (fotokatalytické) jsou omezeny degradací polymeru, proto se upřednostňují organické fotosenzibilizátory (porfyriny, ftalocyaniny, rose bengal deriváty), které generují singletní kyslík pod viditelným světlem (400–700 nm). Tyto materiály jsou tedy citlivé na viditelnou část světelného spektra v rozsahu 400 až 700 nm a po iradiaci generují singletní kyslík, což je kvantově odlišná forma molekulárního kyslíku, která je velmi reaktivní. Podobně jako u volných radikálů dochází k eliminaci organického i mikrobiálního znečištění. Kladem je, že životnost singletní formy kyslíku je v řádech desítek milisekund a polymerní matrice odolává jeho působení. Výhodou uspořádání organické molekuly je to, že umožňuje nastavit její substituce tak, aby byly kompatibilní s nosným systémem. Tak jde připravit organické fotoaktivní materiály rozpustné ve vodě, ve formě nerozpustných pigmentů o průměru částic od 100 do 500 nm, rozpustné v organických rozpouštědlech nebo modifikované reaktivními skupinami tak, aby je bylo možno reaktivně fixovat do polymerní matrice. Životnost singletního kyslíku je krátká (μs–ms), polymer nepoškozuje. Tyto moderní materiály jsou dostupné jako:

- Vodné disperze (nátěry na textilie, nemocniční povrchy)
- Nerozpustné pigmenty (100–500 nm) (do fasádních nátěrů, obkladů)

- Reaktivně fixované (kovalentní vazba do PP, PE, PET) – příklad: samočisticí fólie na skleníky (redukce pesticidů o 30 %), antibakteriální obaly na potraviny (snížení mikrobiální kontaminace o 99,9 %).
- Novinka 2024/25: hybridní systémy  $\text{TiO}_2@\text{SiO}_2$  s povrchovou pasivací – minimalizuje únik nanočástic a degradaci polymeru, použito v exteriérových PVC profilech.

Takto je úspěšně řešena řada modifikací polymerní matrice organickými fotoaktivními materiály, které umožňují výrobu nátěrových systémů i termoplastů se zvýšenou ochranou před usazováním organických i mikrobiálních polutantů.

### Vodivé polymerní systémy

Polymerní materiály jsou používány jako izolanty, mají velmi omezenou elektrickou i tepelnou vodivost. Z hlediska vývoje nových systémů, ve kterých se využívá flexibility a vysoké variability polymerního substrátu, roste zájem o vodivé úpravy polymerních substrátů. Základními materiály, které jsou pro tyto účely používány, jsou metalické nano/materiály, které je možno tisknout, vakuově nebo elektrolyticky deponovat na povrch polymerního substrátu. Podobně se široce využívají i různé uhlíkové materiály, které je možno nanášet jak na povrch polymerního i 3D substrátu, tak je možno je zapracovat do hmoty polymerní matrice, která pak vykazuje vodivé nebo disipativní vlastnosti. Jako příklady lze uvést:

- Kovové nanočástice (Ag, Cu) nebo graphen/CNT – tisknutelné inkousty (screen printing, inkjet), vakuová depozice, elektrolytické pokovení.
- Uhlíkové materiály (carbon black, graphen, CNT) – zapracování do matrice (kompaundy s vodivostí  $10^{-3}$ – $10^2$  S/cm), použití v EMI stínění, antistatické obal

Další možností je využití tzv. vodivých polymerů (ICP – Intrinsically Conductive Polymers). Tyto materiály, z nichž komerčně nejúspěšnější je PEDOT/PSS, byly vyvinuty pro antistatickou ochranu polymerních fólií, ale velké uplatnění našly v oblasti tzv. tištěné organické elektroniky. Vodivé polymery však nejsou samonosné, z hlediska polymerní chemie se spíše jedná o oligomerní jednotky. Novým konceptem je využití vodivých polymerů, kdy jako nosiče jsou přímo využívány polymerní substráty. Takto jsou vyvinuty technologie vodivých textilií na bázi bavlny nebo celulózových materiálů určených pro výrobu papíru. V těchto případech byl vyvinut koncept in situ polymerace umožňující pevnou fixaci vodivých polymerů do struktury nosných polymerních substrátů. Byly navrženy postupy hybridních materiálů kdy PEDOT je použit pro modifikaci uhlíkových nosičů pro zvýšení efektivity využití ve flexibilních elektronických systémech. Využití vodivých polymerů pro oblast in mold systémů, 3D tisku, zapracování do termoplastů či zvýšení tepelné vodivosti termoplastů je předmět dalších výzkumných aktivit. Jako příklady lze uvést:

- PEDOT:PSS – standard pro antistatické fólie, OLED, flexibilní displeje. V roce 2025 dosahuje vodivosti  $>1\,000$  S/cm v tenkých vrstvách.
- Polyanilin (PANI), polypyrrol (PPy) – levnější alternativy pro senzory, baterie.

### Povrchová modifikace

Zajištění povrchové úpravy fólií nebo termoplastických desek umožňujících zlepšení hydrofobních nebo oleofobních vlastností nebo i pro zlepšení bariérových vlastností se již v minulosti provádělo

pomocí alkoksysilanových sol-gel systémů. Tradiční sol-gel (alkoxysilany) je nahrazován pokročilými hybridními systémy:

- Fluor-free oleofobní úpravy (2025: povinnost EU bez PFAS) → silanové hypervětvené polymery, PDMS-graft, bio-based vosky. Dosahují kontaktního úhlu  $>120^\circ$  pro vodu/olej, životnost  $>500$  cyklů tření.
- Plazmová aktivace + DLC (diamond-like carbon) → bariérové fólie pro potraviny (WVTR  $<0,01$  g/m<sup>2</sup>/den).
- Reaktivní grafting → kovalentní vazba funkčních skupin (epoxy, amine) pro adhezi nátěrů na PP/PE.

Jsou hledány nové možnosti, jak zvýšit funkční vlastnosti celého systému, a to jak z hlediska aplikačního, tak z hlediska celkové funkce. Z aplikačního hlediska je důležité zlepšení adheze povrchové úpravy tak, aby byla dlouhodobě odolná vnějším vlivům. Funkční vlastnosti lze s ohledem na velmi flexibilní anorganicko-organický hybridní systém zlepšit zabudováním funkčních organických sloučenin tak, aby se staly součástí polymerní sítě a současně vykazovaly svoje další funkční vlastnosti. Jedná se o inovativní přístup k dané problematice, který je v současné době rozvíjen. Jako příklady lze uvést:

- MOFs (Metal-Organic Frameworks) v sol-gel matrici → selektivní propustnost CO<sub>2</sub> v obalech.
- Antimikrobiální kationtové polymery (quaternized PEI) → fixované na povrchu, účinné proti MRSA, E. coli.
- Stimulačně citlivé povrchy → teplotně měnící hydrofobnost (PN/PAAm) pro anti-fog skla.

Mezi další perspektivní oblasti aditiv v nichž je patrný rychlý vývoj patří:

Nové retardéry hoření bez halogenů:

- APP (ammonium polyphosphate) + nano-hlinitokřemičitany → intumescentní systémy pro EV kabely (UL94 V0).
- Bio-based FR (fosfáty z ligninu, DNA) → nízká toxicita, použití v interiérech letadel.

Bioplasty a biodegradabilita:

- Enzymatické spouštěče (PLA + proteinázy) → kontrolovaná degradace v průmyslovém kompostu.
- PHA (polyhydroxyalkanoáty) kompaundy → aditiva pro zlepšení křehkosti (nanocelulóza).

Senzorické a chytré aditiva:

- Termochromní pigmenty → indikace teploty v obalech (bezpečnost potravin).
- Piezoelektrické fillery (BaTiO<sub>3</sub>) → samonapájené senzory vibrací v mostech.

Recyklaci podporující aditiva

- Compatibilizéry pro multilayer fólie (MAH-g-PE) → umožňují mechanickou recyklaci PET/PE.
- Degradovatelné markery (NIR-sortovatelné) → zlepšují třídění odpadů.

## 4.11 Plasty pro 3D tisk

Většina plastů se zpracovává na finální výrobky konvenčními technologiemi, mezi které patří:

- Vytlačování (extrusion) → fólie, trubky, profily, kabely (70 % světové produkce plastů).
- Vstřikování (injection molding) → díly pro automotive, spotřební zboží (nejrozšířenější, >30 %).
- Vyfukování (blow molding) → lahve, barely, palivové nádrže.
- Vypěňování (foaming) → EPS, EPP, PUR pěny pro izolace, obaly, sedadla.
- Termoformování, rotační lití, kalandrování → blistry, nádrže, PVC fólie.

Tyto technologie jsou vysoce efektivní pro velkosériovou výrobu, ale vyžadují drahé formy (10 000–500 000 EUR), generují odpad při startu/stopu a omezují designovou flexibilitu. Uvedené nedostatky zpracování plastů se snaží obejít nové technologie aditivního tisku. Principem je zde počítačem řízené vrstvení materiálu (0,01–1 mm) podle 3D modelu (STL/STEP/AMF). Žádné formy vedou ke 100% využití materiálu, nevznikají odpady spojené s najížděním technologie a je v podstatě možná výroba na vyžádání, jen podle dodané tech. dokumentace. Od konce 80. let (vynález SLA – stereolitografie, Chuck Hull, 1986) se aditivní technologie (AM – Additive Manufacturing) staly klíčovým prvkem průmyslu 4.0. V roce 2025 dosahuje globální trh AM plastů přes 28 mld. USD (růst 18 % ročně) a představuje >65 % všech AM aplikací.

Předností aditivační technologie je možnost vyrábět prototypy výrobků, včetně náhradních dílů pro zkoušky v náročných průmyslových segmentech, jako je letectví, automobilový průmysl, lékařství /implantáty/. Tím se snižují náklady na formy pro klasické vstřikování, je možné vyrábět v jedné operaci složité geometrické tvary s požadovanou přesností, nevznikají odpady. Z polymerů se uplatňují komoditní, komoditní (PLA, rPET), inženýrské (PA12, TPU) i superinženýrské polymery (PEEK, ULTEM), ale i recykláty. Na aplikované polymery jsou kladeny požadavky z hlediska materiálové, chemické, tepelné stability a v případě lékařství i na biokompatibilitu.

Mezi klíčové technologie patří: FDM, SLA, SLS, MJF. Jako příklady aplikací můžeme uvést:

- aplikace v letectví (Airbus – 1 000 dílů ULTEM)
- automobilovém průmyslu (Porsche – zakázkové PA12)
- medicíně (Stryker – PEEK implantáty)
- spotřebním zbožím (Adidas – TPU boty)
- stavebnictví (ICON – recyklované PP pro stavebnictví domy).

Budoucnost AM směřuje k 4D tisku (kdy struktura je schopna měnit svůj fyzikální tvar nebo termomechanické vlastnosti programovatelným způsobem), multi-materiálům, AI designu a plné cirkularitě (50 % úspora hmotnosti).

### Prioritní výzkumná témata:

- vyvíjet nové typy plastů pro 3D tisk
- zapojení AI do vývoje technologií tisku a zpracování materiálu

## 5 Horizontální otázky

Sekce horizontálních otázek, zaměřená na problematiku relevantní v celém plastikářském průmyslu, se věnuje politickým, legislativním, sociálním a strukturálním aspektům. Prioritní oblasti pokrývají dvě témata: reflektování společenských potřeb souvisejících s novými produkty a procesy a podpora inovačních aktivit. Tato témata zahrnují analýzu a optimalizaci modelů financování inovací i rozvoj dovedností nezbytných pro posílení lidského potenciálu v oblasti inovací.

Přínos pro členy ČTPP a celkový rozvoj českého plastikářského průmyslu lze identifikovat ve čtyřech klíčových oblastech:

- **Oblast informační** – poskytuje aktuální přehled o technologiích a legislativě v České republice v kontextu udržitelnosti oboru a nabízí srovnání se situací v rámci Evropské unie. Součástí je také sdílení informací o komerčně využitelných technologiích a inspirace k tvorbě projektů pro výzkumné instituce. Pravidelné semináře, workshopy i konference vytvářejí prostor pro hlubší diskusi a výměnu poznatků mezi odborníky z praxe i akademického prostředí. Důraz je kladen rovněž na poskytování informací týkajících se vývoje legislativních požadavků, například v oblasti recyklace a ekologických standardů, což umožňuje členům včas reagovat na změny.
- **Oblast finanční (věcná)** – ČTPP vytváří platformu pro realizaci společných projektů mezi členy a podporuje zakládání konsorcií, která mají možnost ucházet se o finanční prostředky z veřejné podpory na výzkum a implementaci inovačních záměrů. Tímto způsobem si členové rozšiřují zkušenosti se společnými projekty a čerpáním veřejných dotací. Podpora se týká i konzultací při přípravě projektových žádostí, sdílení dobré praxe v oblasti administrace grantů či hledání vhodných partnerů napříč sektorem. Významnou roli hraje také aktivní monitoring nových výzev a dotačních možností na evropské úrovni, což zvyšuje šance na úspěšné získání financí.
- **Oblast lidských zdrojů** – ČTPP monitoruje záměry svých členů v oblasti zavádění nových technologií, surovin a materiálů a aktivně spolupracuje se vzdělávacími institucemi na formulaci nových studijních oborů odpovídajících potřebám průmyslu. Kromě toho pořádá odborná školení, stáže a programy celoživotního vzdělávání zaměřené na zvyšování kvalifikace zaměstnanců i studentů. Spolupráce s univerzitami a středními školami přímo ovlivňuje přípravu nové generace odborníků, které sektor potřebuje pro svůj další růst a konkurenceschopnost.
- **Neformální komunikační kanály** – zahrnují vznik pracovních skupin založených na osobních vazbách, které napříč různými specializacemi umožňují efektivní řešení komplexních projektů. Zkušenosti a kontakty získané při společných projektech dále posilují propojení členů a maximalizaci odborného potenciálu. Tato platforma podporuje rychlou a flexibilní komunikaci, sdílení know-how a umožňuje vznik inovativních řešení díky synergii různých pohledů. Neformální setkání či diskusní fóra často vedou ke vzniku dlouhodobých partnerství a iniciativ, které přesahují rámec jednotlivých firem.

Těmito aktivitami dochází k dalšímu rozvoji plastikářského průmyslu v České republice, který navazuje na stávající výrobní činnosti v oblasti zpracování fosilních zdrojů (nafta, zemní plyn),

recyklace a využití biosložek jako vstupních surovin pro výrobu plastů a nových materiálů včetně biopolymerů.

Do budoucna se aktivity ČTPP soustředí na rozvoj cirkulární ekonomiky, intenzivnější využití obnovitelných zdrojů, automatizaci výrobních procesů a digitalizaci, která umožní vyšší efektivitu a sledovatelnost výroby. Klíčovým úkolem bude nejen prosazování ekologických inovací, ale také adaptace na měnící se potřeby trhu a společnosti v souladu s principy udržitelného rozvoje.

## 6 Závěry

Podpora aplikovaného výzkumu, jenž může přinést výsledky v relativně krátkém časovém horizontu, je klíčová zejména proto, že po odeznění globální recese budou domácí podniky muset nabídnout inovativní produkty s vyšší přidanou hodnotou. Jedná se o zásadní otázku rozvoje konkurenceschopnosti České republiky. Není realistické předpokládat, že by bylo možné v blízké době dosáhnout vedoucího postavení v celé řadě oborů, a proto je žádoucí soustředit lidské, materiální a především finanční zdroje. V České republice lze sledovat rostoucí úroveň vědeckých ústavů, sdružení a soukromých firem; disponujeme mezinárodně srovnatelnou úrovní základního výzkumu i nadprůměrným vědeckým a osobnostním potenciálem českých malých a středních podniků. Tyto faktory vytvářejí příležitosti pro rychlý technologický pokrok a zlepšení postavení České republiky na poli evropských a světových trhů. Klíčové také je napojit domácí inovace na potřeby globálních dodavatelských řetězců.

Na druhé straně přetrvává nedostatečná provázanost mezi vědou, výzkumem a průmyslovými aplikacemi. Chybí také adekvátní finanční zázemí a zkušenosti s komercializací rozsáhlejších inovačních projektů. Přestože dochází k intenzivnějšímu zapojení základního výzkumu do mezinárodní spolupráce, realizační výstupy do průmyslu v ČR zůstávají nízké. To platí i pro aktuální oblast bioplastů a bio-aditiv pro plasty. Systém využití odpadních plastů po skončení jejich životnosti včetně podmínek chemické recyklace není dostatečně propracován. Dalším limitem je nedostatečné propojení akademické sféry s průmyslem a slabá infrastruktura pro transfer znalostí. Je proto nutné posílit platformy, které by usnadnily sdílení dobré praxe a podporu pilotních projektů.

Komercializace nových materiálů vyžaduje vyřešení zásadních otázek standardizace metod pro stanovení rizikovosti výroby a použití a zároveň v oblasti ověřování jejich nových vlastností. Je nezbytné realizovat propagační a informační kampaně, zejména v oblasti plastů, nanomateriálů a nanotechnologií. Veřejnost by měla být systematicky informována jak o přínosech nových materiálů, tak i o opatřeních ke snižování rizik spojených s jejich masovým rozvojem. Negativní postoj veřejnosti k novým materiálům a technologiím může významně zpomalit jejich implementaci. K rychlejšímu zavádění nových materiálů a postupů do komerční praxe by zásadně přispěla flexibilnější úprava legislativy. Pro efektivní komunikaci mezi odborníky, politiky a širokou veřejností je proto nutné pokračovat ve vytváření informačních aktivit (diskusní fóra, vzdělávací workshopy, konference), které napomohou lepšímu pochopení výhod i rizik nových řešení.

## 7 Seznam použitých zkratk

| Zkratka            | Vysvětlení                                                                 |
|--------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| ABS                | Akrylonitrilbutadienstyren                                                 |
| AI                 | Umělá inteligence (Artificial Intelligence)                                |
| APP                | Ammonium polyphosphate (amonný polyfosfát)                                 |
| ASA                | Akrylonitril-styren-akrylát                                                |
| AV                 | Akademie věd                                                               |
| BaTiO <sub>3</sub> | Barium titanate (titanát barnatý)                                          |
| B2B                | Business to Business (obchodní vztahy mezi firmami)                        |
| COP                | Conference of the Parties (Konference smluvních stran OSN o změně klimatu) |
| Cp, Cpk            | Indexy procesní schopnosti                                                 |
| ČTPP               | Česká technologická platforma PLASTY                                       |
| DfR                | Design for Recycling (koncept pro recyklaci)                               |
| DNA                | Deoxyribonukleová kyselina                                                 |
| ELV                | End-of-Life Vehicles (Vozidla s ukončenou životností)                      |
| EPS                | Expandovaný polystyren                                                     |
| EPR                | Extended Producer Responsibility (Rozšířená odpovědnost výrobce)           |
| EW4ALL             | Early Warnings for All (iniciativa pro včasná varování)                    |
| FAIR               | Findable, Accessible, Interoperable, Reusable (zásady pro správu dat)      |
| FDM                | Fused Deposition Modeling (metoda 3D tisku)                                |
| FSC                | Forest Stewardship Council (certifikace udržitelného hospodaření v lesích) |
| ICP                | Intrinsically Conductive Polymers (Vlastně vodivé polymery)                |
| MES                | Manufacturing Execution System (Výrobní informační systém)                 |
| MOFs               | Metal-Organic Frameworks (organokovové sítě)                               |
| MSP                | Malý a střední podnik                                                      |
| MTBF               | Mean Time Between Failures (Střední doba mezi poruchami)                   |
| MTTR               | Mean Time To Repair (Střední doba opravy)                                  |

|           |                                                                                     |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| MTO       | Methanol to Olefins (technologie výroby olefinů z metanolu)                         |
| MJF       | Multi Jet Fusion (metoda 3D tisku)                                                  |
| NACE      | Klasifikace ekonomických činností dle nařízení č. ES 1893/2006                      |
| OEE       | Overall Equipment Effectiveness (Celková efektivita zařízení)                       |
| OLED      | Organic Light Emitting Diode                                                        |
| OPV       | Organická fotovoltaiika (Organic Photovoltaics)                                     |
| PANI      | Polyanilin                                                                          |
| PB        | Polybutylensukcinát                                                                 |
| PBS       | Polybutylensukcinát                                                                 |
| PBT       | Polybutylentereftalát                                                               |
| PC        | Polykarbonát                                                                        |
| PE        | Polyethylen                                                                         |
| PEEK      | Polyetheretherketon                                                                 |
| PEDOT/PSS | Poly(3,4-ethylenedioxythiophen):polystyren sulfonát (vodivý polymer)                |
| PFAS      | Perfluorované a polyfluorované alkylové látky (Per- and Polyfluoroalkyl Substances) |
| PHA       | Polyhydroxyalkanoát                                                                 |
| PLA       | Kyselina polymléčná (Polylactic Acid)                                               |
| PMMA      | Polymethylmethakrylát                                                               |
| POM       | Polyoxymethylen                                                                     |
| PP        | Polypropylen                                                                        |
| PPWR      | Nařízení o obalech a obalových odpadech (Packaging and Packaging Waste Regulation)  |
| PPy       | Polypyrrol                                                                          |
| PS        | Polystyren                                                                          |
| PS-E      | Expandovaný polystyren                                                              |
| PUR       | Polyuretan                                                                          |
| PVC       | Polyvinylchlorid                                                                    |
| PPS       | Polyfenylensulfid                                                                   |

|         |                                                                                                                                       |
|---------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| REACH   | Registrace, hodnocení, povolování a omezování chemických látek (Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals) |
| rPET    | Recyklovaný polyethylentereftalát                                                                                                     |
| SLA     | Stereolitografie (metoda 3D tisku)                                                                                                    |
| SLS     | Selective Laser Sintering (selektivní laserové sintrování, metoda 3D tisku)                                                           |
| SMED    | Single-Minute Exchange of Die (Rychlá výměna nástroje)                                                                                |
| SVA     | Strategická výzkumná agenda                                                                                                           |
| SUPD    | Směrnice o jednorázových (Single Use Plastics Directive)                                                                              |
| TP      | Technologická platforma                                                                                                               |
| TPM     | Total Productive Maintenance (Úplná produktivní údržba)                                                                               |
| TRL     | Technology Readiness Level (Stupeň technologické připravenosti)                                                                       |
| UHMW-PE | Ultra-vysokomolekulární polyethylen                                                                                                   |
| UNEA    | United Nations Environment Assembly (Shromáždění OSN pro životní prostředí)                                                           |
| VOC     | Volatile Organic Compounds (těkavé organické látky)                                                                                   |
| XPS     | Extrudovaný polystyren                                                                                                                |

