



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



MINISTERSTVO  
PRŮMYSLU A OBCHODU



TECHNOLOGICKÉ  
CENTRUM AV ČR



ČESKÁ TECHNOLOGICKÁ  
PLATFORMA PLASTY

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

Zpracováno ve spolupráci Technologického centra AV ČR a České technologické platformy PLASTY v rámci projektu CZ.01.1.02/0.0/0.0/15\_037/0007178 „Plasty II“, podporovaného v rámci OP PIK, programu Spolupráce – Technologické platformy

říjen 2017

## Obsah

Úvod .....	2
1. Současné megatrendy ovlivňující naši budoucnost .....	3
1.1. Klimatická změna a dostupnost zdrojů .....	3
1.2. Urbanizace .....	5
1.3. Změna center globální ekonomické síly.....	6
1.4. Demografické a sociální změny.....	7
1.5. Akcelerace technologických změn .....	7
2. Světový vývoj výroby a zpracování plastů v kontextu chemického průmyslu .....	9
3. Budoucí vývoj klíčových aplikačních sektorů pro plasty.....	11
3.1. Obaly .....	11
3.2. Stavebnictví.....	12
3.3. Automobilový průmysl.....	12
3.4. Elektronika .....	13
3.5. Zemědělství.....	13
3.6. Zdravotnictví .....	14
4. Budoucí technologie pro výrobu a využití plastů .....	15
4.1. Úvod.....	15
4.2. Využití obnovitelných zdrojů.....	16
4.3. Bioplasty.....	17
4.4. Spotřební výrobky (obaly, nátěrové hmoty, textil, kosmetika, a další) .....	20
4.5. Nanokompozity.....	21
4.6. Materiály pro zdravotnictví.....	23
4.7. Plasty jako detektory ionizujícího záření .....	23
4.8. Oxo-degradovatelné plasty.....	25
4.9. Plasty se sníženou hořlavostí .....	25
4.10. Plasty pro dopravní prostředky.....	28
4.11. Recyklace .....	28
4.12. Závěr .....	29
5. Závěr .....	31
Zdroje .....	32

## Úvod

Tato studie byla zpracována ve spolupráci České technologické platformy Plasty a Technologického centra AV ČR pro účely aktualizace Strategické výzkumné agendy a Implementačního akčního plánu ČTP Plasty.

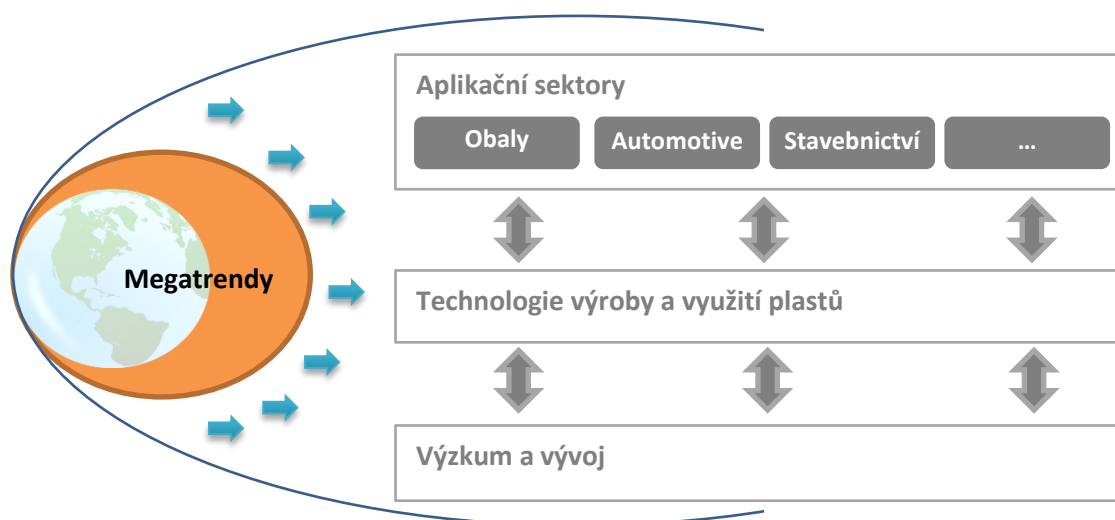
Cílem studie je identifikovat a popsat hlavní globální megatrendy, které budou ovlivňovat vývoj společnosti v dlouhodobém horizontu (za horizont roku 2030). Současně se studie zaměřuje na popis vybraných vývojových trendů v hlavních aplikačních sektorech pro uplatnění plastů. Pochopení těchto hlavních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

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

# 1. Současné megatrendy ovlivňující naši budoucnost

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

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



*Zdroj: vlastní zpracování*

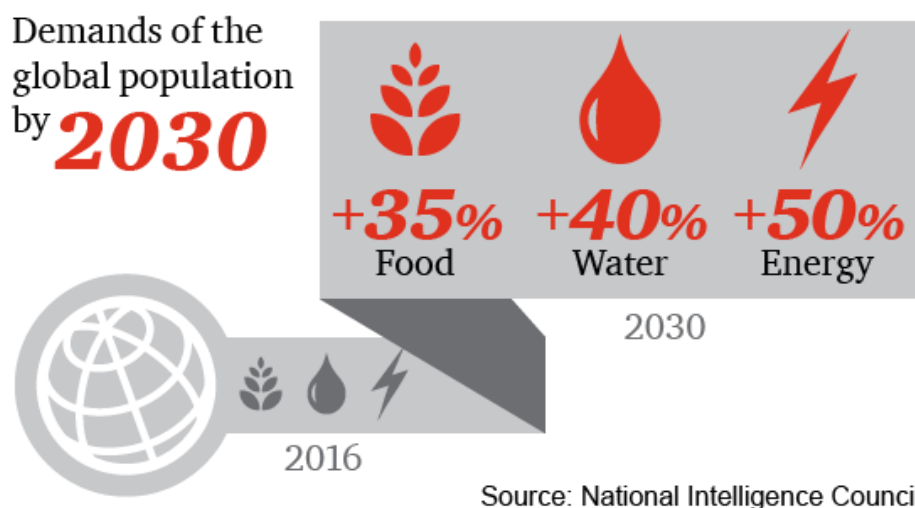
Na základě existujících studií renomovaných mezinárodních konzultantských společností a nadnárodních organizací (např. PwC, McKinsey či OECD) jsme identifikovali následující klíčové megatrendy, které je účelné zohlednit při tvorbě strategické výzkumné agendy České technologické platformy Plasty.

## 1.1. Klimatická změna a dostupnost zdrojů

Změny klimatu nejsou samozřejmě fenoménem posledních let, nýbrž velmi dlouhodobým trendem. Největší změnou v této oblasti v posledních několika letech však byla zvýšená jistota a přesnost vědeckých předpovědí o rychlosti a dopadu vlivu člověka na klima. Klíčovým závěrem je skutečnost, že planeta není schopna dlouhodobě unést současné modely výroby a spotřeby. Pokud nedojde k zásadní celosvětové změně výrobního a spotřebního chování, lze předpokládat, že průměrná teplota globálně vzroste o více než dva stupně Celsia, což je prahová hodnota, při jejímž překročení dojde k významným a potenciálně nezvratným změnám životního prostředí.

Současné charakteristiky výrobního a spotřebního chování rovněž výrazně zvyšují tlak na zdroje. Očekává se, že rostoucí globální populace bude do roku 2030 požadovat o 35 % více potravin. Stále vyžadovanějším druhem potravin v souvislosti s rostoucími příjmy obyvatel jsou rostlinné oleje, mléčné výrobky, maso, ryby a cukr, jejichž rostoucí spotřeba bude mít obzvláště významný dopad na dostupnost energie a vody. S růstem populace a ekonomické úrovně se do roku 2030 očekává zvýšení celosvětové poptávky po vodě o 40 % a energie o 50 %.

**Obrázek 2: Očekávaný vývoj poptávky po zdrojích ve vazbě na růst populace**



Source: National Intelligence Council

Zdroj: Převzato z PwC (2016a)

Vzájemné propojení mezi trendy v oblasti změny klimatu a dostupností zdrojů posiluje dopad na změny klimatu, které by mohly v příštích 60 letech vést ke snížení produktivity zemědělství v rozsáhlých částech Afriky až o třetinu, s potenciálními dopady na migraci a sociální soudržnost současných společností.

Trend rostoucí populace, změny klimatu a souvisejícího snižování produktivity zemědělství v některých částech světa se odrazí ve výrazném zvýšení poptávky po energii potřebné ke zvýšení výroby potravin. Celkově jsou stávající metody energetických a zdrojově náročných přístupů k zemědělské výrobě hlavním faktorem emisí skleníkových plynů, což významně přispívá ke změně klimatu.

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

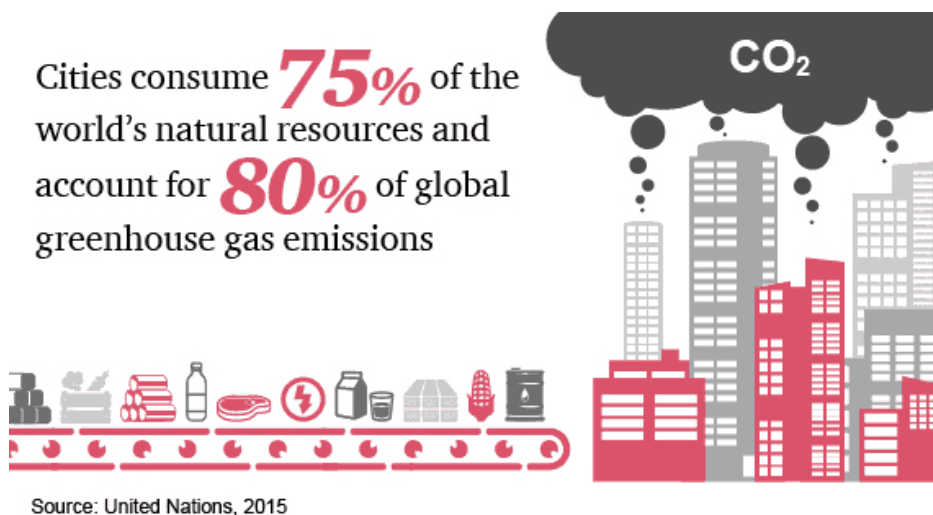
Změny klimatu a dostupnosti zdrojů budou významně ovlivňovat řadu odvětví lidské činnosti. Snaha o maximální energetickou účinnost a obnovitelnost zdrojů s minimálními dopady na životní prostředí se bude projevovat jak ve všech aplikačních oblastech pro výrobu a zpracování plastů, tak také ve výrobě a zpracování plastů samotném. Z hlediska aplikačních oblastí lze nejdynamičtější změny očekávat v segmentu obalů, energetiky, dopravy, stavebnictví a zemědělství. Z hlediska dopadů na životní prostředí je klíčovou výzvou výskyt plastů v mořích, kde ročně přibývá 8 mil. tun plastů, přičemž 80 % pochází z vnitrozemí.

## 1.2. Urbanizace

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

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

**Obrázek 3: Města a jejich vliv na využívání přírodních zdrojů a emise skleníkových plynů**



Zdroj: Převzato z PwC (2016a)

S rostoucí urbanizací souvisí také pokračující trend degradace ekosystémů v podobě ztráty biodiverzity na všech úrovních a degradace ekosystémových služeb. Na globální úrovni megatrend dále obsahuje přetěžování planetárních geobiochemických cyklů a kontaminaci ekosystémů toxickými či persistentními látkami a odpady. Na regionální a městské úrovni degradace ekosystémů zahrnuje i zábor území na úkor přírodních nebo přírodě blízkých ekosystémů a přetěžování obnovitelných zdrojů surovin a energie.

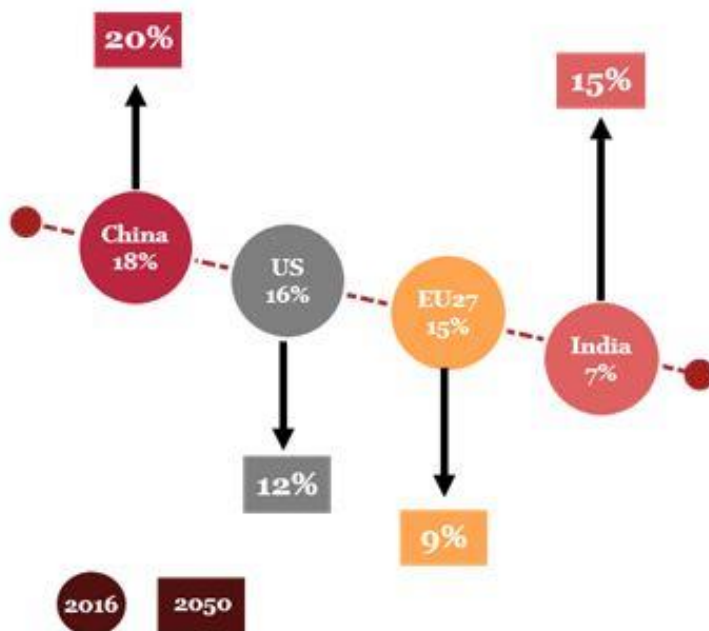
Rychlý rozvoj urbanizace a s ním související požadavek na udržitelný rozvoj měst bude významně ovlivňovat segment stavebnictví, dopravy a energetiky, které patří mezi klíčová odvětví aplikací pro odvětví výroby a zpracování plastů. Důležitou oblastí související s rostoucí urbanizací je rovněž nakládání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

### 1.3. Změna center globální ekonomické síly

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

Do budoucna se očekává dynamický vzestup především indické ekonomiky, která se v posledních letech začala aktivně transformovat. Podle některých odhadů (PwC, 2017) by se indická ekonomika mohla do roku 2050 stát druhou největší ekonomikou světa (po Číně). Rychlý ekonomický rozvoj se očekává také v dalších zemích jihovýchodní Asie, jako je Indonésie, Vietnam či Filipíny.

**Obrázek 4: Očekávaný vývoj podílu na tvorbě světového HDP (v PPP) do roku 2050**



Sources: IMF for 2016 estimates, PwC analysis for projections to 2050

Zdroj: Převzato z PwC (2016a)

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

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

## 1.4. Demografické a sociální změny

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

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

**Obrázek 5: Očekávaný vliv stárnutí populace do roku 2050**



Source: UN Population Division, World Population Prospects 2015

Zdroj: Převzato z PwC (2016a)

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

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

## 1.5. Akcelerace technologických změn

Současným trendem je neustále se zvyšující dynamika technologické změny, kdy se výrazně zkracuje doba od vývoje nových technologií k jejich uplatnění a obecnému rozšíření ve společnosti. Technologická změna má proto na rozvoj společnosti mnohem rychlejší dopad, než tomu bylo v minulosti. Mezi klíčové faktory současné dynamiky technologické změny patří (PwC, 2016b) levnější



přístup k technologiím, globalizace technologie, zvýšený komfort života s technologiemi, konkurenční výhoda technologie, multiplikační efekt technologie.

Mezi rozhodující technologický trend, který bude zásadním způsobem ovlivňovat změny současných obchodních modelů i vzorců spotřebitelského chování patří digitalizace a automatizace spojené s uplatněním následujících klíčových technologií: umělá inteligence, rozšířená realita, virtuální realita, internet věcí, robotika, aditivní výroba, blockchain.

Do roku 2020 bude počet zařízení propojených prostřednictvím internetu přibližně sedmkrát vyšší, než je lidí na planetě. Levné, spolehlivé, dostupné a hojně využívané senzory společně s téměř neomezenými kapacitami připojení umožní digitálně propojit celou řadu zařízení (Internet of Everything), což se může projevit ve změně celé řady oblastí: zdravotní péče, letectví, doprava, výroba, domácí služby, vzdělání atp.

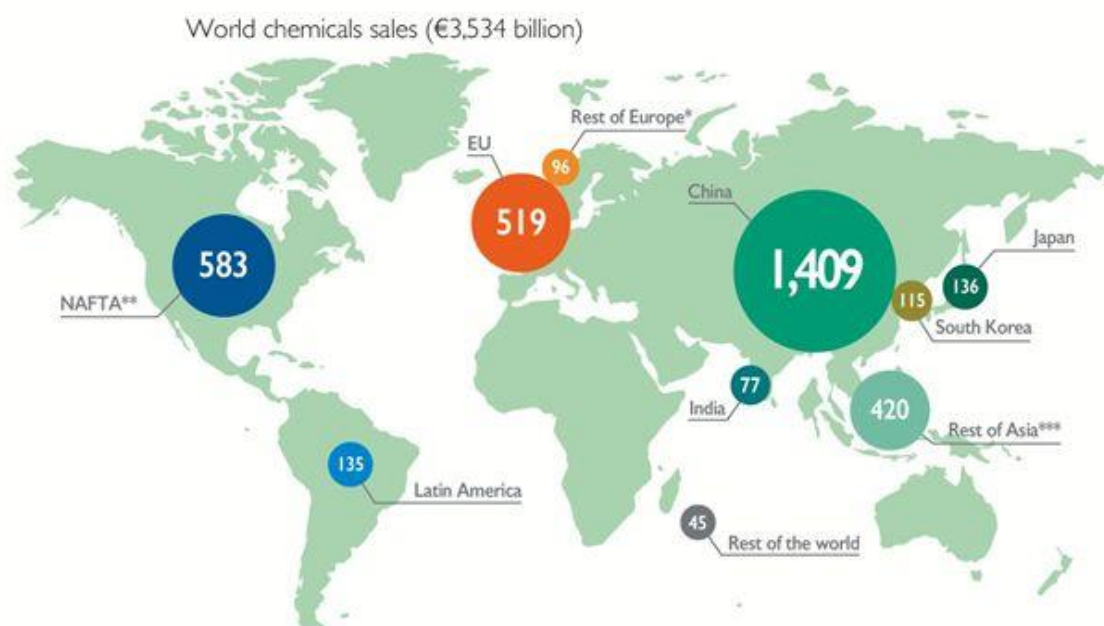
Univerzální konektivita vytváří rovněž významný potenciál pro rozvoj nových výrobních a obchodních modelů. Během uplynulého desetiletí mnoho firem investovalo do propojení všech aspektů svého výrobního procesu od návrhu a vývoje až po logistiku. Díky tomu jsou mnohem flexibilnější a adaptabilnější při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

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

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

Podle posledních údajů evropského sdružení chemických výrobců CEFIC zaznamenal obrat chemických výrobků v roce 2015 rekordní výše 3,534 miliard Eur, přičemž dominantní postavení má s téměř 40 % Čína, následovaná severní Amerikou a EU (CEFIC, 2016).

**Obrázek 6: Regionální rozložení světového obratu produktů chemického průmyslu v roce 2015**

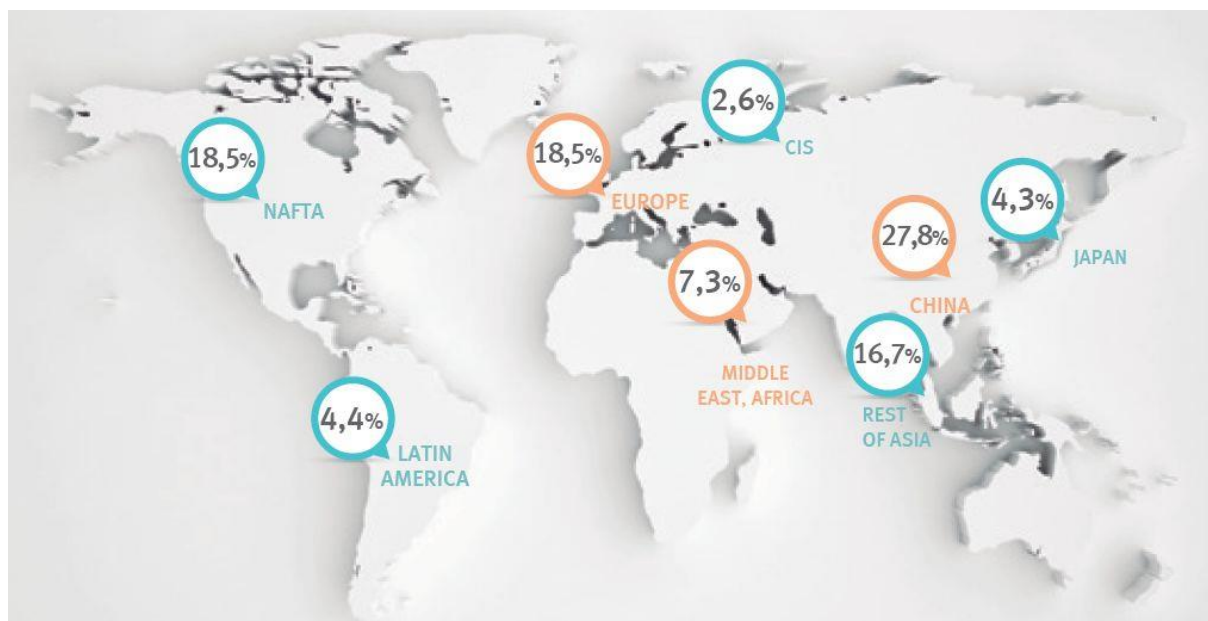


Zdroj: CEFIC (2016)

V období 2011 – 2030 má růst světová chemická produkce v průměru o 4,5 % ročně a docílit obratu 6,3 triliony Euro. Do roku 2050 se má zvýšit obrat světového chemického průmyslu proti roku 2010 čtyřnásobně na 14,9 trilionů USD (Cayuela, 2013). Evropský chemický průmysl je z hlediska investic již několik let na nižší úrovni než v jiných regionech. Jestliže v Evropě podle CEFIC bylo v roce 2015 investováno 20,7 miliard euro, v Číně to bylo 95,6 miliard euro, v USA 32,5 miliard euro. Také výhledově má podíl Evropy postupně klesat, když se stane z druhého největšího trhu až pátým. Do roku 2050 se má stát světovým lídrem Čína následovaná Indií, USA a Brazílií.

Výroba plastů v primární formě je spolu s petrochemií integrální součástí chemického průmyslu. Ten zaznamenává nebývalé změny z hlediska surovinové báze, udržitelnosti, která je považována za 3. průmyslovou revoluci, a regionů (Vörös, 2013). Plasty hrají významnou roli v udržitelném rozvoji, když napomáhají rozvoji společnosti, přispívají k vyšší zaměstnanosti a mají ekologické přínosy. Přibližně 16 % aplikací plastů je natolik inovativních, že je nelze nahradit jinými materiály. Podle údajů z Plastics Europe vzrostla roční světová výroba plastů od roku 2005 z 230 mil. tun na 322 mil. tun v roce 2015. V Evropě přitom výroba plastů v celém tomto období stagnuje (nebo dokonce mírně klesá) okolo 60 mil. tun. Obdobně jako v případě celého chemického průmyslu, také ve výrobě a zpracování plastů má vedoucí postavení Čína, následovaná Severní Amerikou a Evropou.

**Obrázek 7: Regionální rozložení světového obrátu plastů v roce 2015**



Zdroj: PlasticsEurope (2016)

Výhled pro rok 2020 předpokládá nárůst objemu vyrobených plastů na 400 mil. tun, v roce 2050 by se mělo jednat již o 700 mil. tun. Výroba plastů v Evropě se bude v roce 2020 pohybovat okolo 60 mil. tun, v ČR přes 1,2 mil. tun.

Nejpoužívanější, tzv. komoditní plasty, tj. polyetylen (PE), polypropylen (PP), polvinylchlorid (PVC), polystyreny (PS, EPS) a polyethylentereftalát (PET) se podílejí z 85 % na světové spotřebě plastů. Prognóza průměrného růstu světové produkce a spotřeby plastů do roku 2020 se uvádí ve výši 4,5 %. Největší dynamika se očekává u EPS (5,1 %), PP a PET (oba 5,0 %). Spotřeba inženýrských plastů PC, ABS, PET a PBT, POM, fluoropolymery, má růst do roku 2026 průměrně o 7,4 % ročně.

### 3. Budoucí vývoj klíčových aplikačních sektorů pro plasty

Plasty jsou využívány v celé řadě lidských činností. Podle odhadu evropské obchodní asociace PlasticsEurope dosahovala v roce 2015 celková poptávka po plastech v Evropě téměř 50 milionů tun. Mezi nejvýznamnější sektory přitom patří obaly (téměř 40 %), stavebnictví (téměř 20 %), automobilový průmysl (téměř 9 %), elektrotechnický průmysl a zemědělství. Z dalších sektorů významných pro uplatnění plastů lze zmínit také zdravotnictví, kde bude v souvislosti se stárnutím populace docházet k rozvoji speciálních zdravotnických pomůcek a materiálů.

**Obrázek 8: Rozdělení produkce plastů v Evropě podle hlavních aplikačních sektorů**



Zdroj: PlasticsEurope (2016)

#### 3.1. Obaly

Oblast obalů patří mezi klíčové aplikační sektory pro segment výroby a zpracování plastů. Význam plastů pro obalový materiál je spojen s vlastnostmi plastů (pružnost, pevnost, lehkost, stabilita, nepropustnost a snadnost sterilizace). Podle odhadů (Smithers Pira, 2015) má světová produkce plastů pro obalový průmysl růst do roku 2020 průměrně o 3,5 % ročně s vyšším růstem bioplastů. V segmentu folií pro balení dominoval v roce 2016 PE s podílem 80 % a množstvím 7,4 mil. tun. Největší spotřebu zaznamenalo Německo (1,4 mil. tun), následuje Itálie (1,1 mil. tun) a Španělsko (0,8 mil. tun). Významný růst zaznamenávají folie z PP, včetně biaxiálně orientovaných folií (růst o 4 % ročně).

Obalový průmysl prochází procesem fúzí a spojováním firem. Loňský rok byl rekordní v těchto aktivitách jak z hlediska počtu, tak hodnoty transakcí, přičemž 70 – 75 % těchto aktivit se týkalo plastových obalů. Hodnota strojů a zařízení pro balení potravin globálně by měla vzrůst ze 750 milionů euro v roce 2015 na 850 mil. euro v roce 2020. Největší podíl na trhu má Německo (21,1 %), následují Itálie (20,7 %), USA (7,7 %), Čína (6,8 %) a Nizozemí (5,6 %).

Přestože více než 50 % veškerého evropského zboží je baleno do plastů, plasty tvoří pouze 17 % celkové hmotnosti obalů na trhu. Navíc celková váha plastů v obalech se během posledních 10 let snížila o 28 %. Snížení váhy v obalech je důležitým faktorem, který přispívá ke snížení energie potřebné

k přepravě výrobků, snížení emisí a snížení přepravních nákladů. Nižší váha obalů samozřejmě snižuje také množství vzniklého odpadu.

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

### **3.2. Stavebnictví**

Sektor stavebnictví spotřeboval v roce 2014 více než 9,6 milionu tun plastů, což představuje 20 % celkové spotřeby plastů v Evropě. Stavebnictví tak představuje druhý nejvýznamnější aplikační sektor pro plasty (po obalech). Stavební průmysl využívá plasty pro širokou škálu, jako jsou např. izolace, potrubí, okenní rámy a interiéry. Obliba využívání plastů ve stavebnictví souvisí především s následujícími vlastnostmi.

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

Podle odhadů se očekává, že se celosvětový trh stavebních plastů zvýší z 43,4 miliardy USD v roce 2015 na 57,5 miliardy USD v roce 2019 (PlasticsEurope, 2016). V souvislosti s globálním trendem růstu populace se rovněž očekává dynamický rozvoj stavebního průmyslu. To vytváří další potenciál pro širší uplatnění plastů.

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

### **3.3. Automobilový průmysl**

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

Průměrný automobil obsahuje 120 kilogramů plastů (tj. 15 až 20 % jejich celkové hmotnosti). Snahou v automobilovém průmyslu je využívat vysoce kvalitní termoplasty, jejichž nízká hmotnost při zachování dalších vlastností snižuje spotřebu paliva a tím i negativní vliv dopravy na životní prostředí. S ohledem na sílící tlak na zvýšení energetické účinnosti dopravy a snížení emise CO<sub>2</sub> budou výrobci automobilů klást důraz na nahrazování těžších materiálů (železo, ocel) kompozitními materiály, které jsou zpravidla o 25 – 35 % lehčí než kovové díly.

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

### **3.4. Elektronika**

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

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

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

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

### **3.5. Zemědělství**

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

Mezi klíčové aspekty, které determinují poptávku sektoru zemědělství po plastech, patří požadavek na účinné hospodaření s vodou a požadavek na schopnost recyklovatelnost zemědělských plastů. Tyto

faktory budou nabývat na významu v souvislosti s postupujícím trendem klimatické změny, rostoucími nároky na dostupnost vody a omezení negativních dopadů vyprodukovaných odpadů na životní prostředí.

### 3.6. Zdravotnictví

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

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

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



## 4. Budoucí technologie pro výrobu a využití plastů

### 4.1. Úvod

V návaznosti na výše uvedené megatrendy a očekávaný vývoj v klíčových sektorech pro využití plastů byly identifikovány následující výzvy v oblasti technologického rozvoje, kterým je potřebné věnovat pozornost při směřování výzkumných a vývojových aktivit. Především jde o vývoj polymerních materiálů s vyšším obsahem know how, s novými funkcionalitami a o vývoj nových technologií, které budou dostatečně efektivní pro nové plasty s vlastnostmi šitými na míru a přátelské k životnímu prostředí při zohlednění celého životního cyklu výrobku od vstupů přes vlastní výrobu plastů, jejich zpracování a aplikace až po recyklaci výrobku se stále výraznějším zaměřením na ukončení životního cyklu těchto materiálů s ohledem na rostoucí důraz na ochranu životního prostředí včetně moří a zákaz jejich skládkování od roku 2025.

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

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

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

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

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

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

Mezi hlavní sledované směry makromolekulárních chemiků patří také biomakromolekulární systémy zahrnující polymerní nosiče léčiv, dále polymerní vrstvené systémy pro kontakt s biologickým



prostředím, bioanalogické polymery, hydrogely atd. V současnosti je věnována velká pozornost i dynamice a samoorganizaci molekulárních a nadmolekulárních polymerních útvarů, přípravě, charakterizaci a využití nových polymerních systémů s řízenou strukturou a vlastnostmi apod. Výsledkem jsou nové polymery pro buněčné terapie a regenerace tkání (tkáňové inženýrství). Bioanalogické systémy – aplikace molekulárního a genového inženýrství.

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

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

Mezi cíle tematického programu Trvalá prosperita NPV 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 bioaditiva, 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.

## 4.2. Využití obnovitelných zdrojů

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

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

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

monomerů vyrobených z biomasy. Jde o vytvoření ekvivalentních polymerů vůči klasickým petrochemickým produktům. Řešení se objevuje např. ve vytvoření monomerů furanového základu, oproti benzenovému. Dřevní pojivo lignin, které vypadává v procesu hydrolýzy dřeva, se díky své struktuře může brát jako prekursor vysoce aromatických sloučenin, které se získají za použití vhodného termochemického procesu.

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

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

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

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

### 4.3. Bioplasty

V následující tabulce jsou uvedené aktualizované údaje o výrobních kapacitách bioplastů v roce 2016 [v tis. tunách] (zdroj web European Bioplastics, <http://www.european-bioplastics.org/market/>):

Typ bioplastu		Podíl v %	Biodegradabilita
Bio-polyetylen (PE)	200	4,8	ne
Biodegradabilní škrobové směsi	429	10,3	ano
Kyselina polymléčná a její směsy (PLA)	212	5,1	ano
Polyhydroxyalkanoat (PHA)	67	1,6	ano
Biodegradabilní polyestery	220	5,3	ano
Bio-polyethylentereftalát (PET)	948	22,8	ne
Polyurethany (PUR)	1714	41,2	ne
Bio-polyamid (PA)	146	3,5	ne
Ostatní	225	5,4	
<b>Celkem</b>	<b>4160</b>	<b>100</b>	

Je patrné, že dosavadní kapacity bioplastů jsou zatím stále příliš malé na to, aby cenově mohly konkurovat plastům vyrobeným z fosilní surovinové báze. Výrobní jednotky klasických plastů mají kapacity v rozsahu 100 – 1000 tis. tun/rok a know-how z několika desítek let provozu. Potenciálně až jedna třetina plastů by mohla být nahrazena bioplasty. K tomu však bio-plasty potřebují levnou výchozí surovinu, většinou monomer.

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

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

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

Kyselina polymléčná (PLA) je vlastně alifatický polyester. Průmyslově se vyrábí od roku 2003. Výchozí surovinou je cukr nebo škrob, který se konvertuje na cukr. Roztok cukru je fermentován mikroorganismy na dva izomery kyseliny mléčné, které se v druhém stupni chemicky polymerují na makromolekuly. Vlastní polymerace izomerů vede ke směsi 2 typů PLA, z něhož jeden má tepelnou odolnost 60°C, druhý přes 100°C. Vzájemné směsi plus přídavky různých aditiv umožňují širokou škálu nových typů a aplikací. PLA je nejvíce zkoumaným bioplastem, když např. v roce 2001 bylo podáno ve světě 10 patentů z oblasti výroby a modifikace PLA, v roce 2010 to již bylo 360 patentů. Nové výrobní kapacity u 30 výrobců šplhají z 1,5 tis. tun až nad 100 tis. tun/rok a v roce 2020 by podle nejnovější studie německé konzultantské firmy Nova měly dosáhnout světově 950 tis. tun/rok. Současný největší výrobce PLA – firma Nature Work disponuje kapacitou 140 tis. tun/rok. PLA je biodegradabilní, bezpečný pro potravinářské obaly, mísitelný s konkurenčními plasty a snadno zpracovatelný na stávajících zpracovatelských strojích – extruderech a vstřikovacích strojích. Seriózně se bádá na možnosti nahradit stávající 2. stupeň výroby za použití speciálních bakterií. Taktéž pěnový PLA, vyvinutý nizozemskou firmou Symbra – BioFoam umožňuje zlevnit výrobek díky jeho nízké objemové hmotnosti 25 – 35kg/m<sup>3</sup>. Jako nadouvadlo se používá CO<sub>2</sub> místo pentanu, používaného u zpěňovatelného polystyrenu (EPS), kapacita 5 tis.tun/rok. BASF vyrábí Ecovio Foam – kombinace petrochemického, biodegradabilního Ecoflexu s Ecovio PLA z kukuřice nebo cukru. Produkt slouží jako pěnové folie pro podnosy na potraviny, ovoce a zeleninu. Předností PLA je možnost smíchání s komoditními i inženýrskými plasty jako je PS, PC nebo ABS a následné aplikace i v technických výrobcích.

Stejně jako PLA jsou polyhydroxyalkanoáty (PHA) alifatické polyestery, které se vyrábějí přímou fermentací odpadů z cukrovky a cukrové třtiny. Licencují se jednotky s kapacitou 10 tis. tun. Vlastnostmi se PHA blíží polypropylenu. Stejně jako PLA lze PHA snadno zpracovávat vstřikováním, vytlačováním s hlavním aplikačním segmentem v obalovém průmyslu.

Velkou výzvou pro poslední tři výše uvedené bioplasty je možnost jejich míchání s polypropylenkarbonátem (PPC). Tento polymer je znám již 40 let a zajímavostí je, že se vyrábí z CO<sub>2</sub> dokonce přímo ze spalin z komínů cementáren a elektráren. Smícháním PPC se škroby nebo PLA nebo PHA se zlepšují zpracovatelské a uživatelské vlastnosti folií a výrobků, které jsou biodegradovatelné. Na výstavěACHEMA 2012 představila firma Bosch-Siemens kryt vysavače ze směsi PPC a PHA, když byl nahrazen dosavadní ABS terpolymer.

Biodegradabilní polyestery jsou polymery vyráběné z diolů z bio-báze a bio-kyseliny jantarové nebo adipové. Vznikají pak Polybutelensukcinát (PBT) nebo Polybutylenadipaterftalát (PBAT) nebo další kombinace. Posledně jmenovaný polymer vyrábí firma BASF z petrochemické báze pod názvem Exoflex a v blendu s PLA se objevuje na trhu pod označením Ecoflex. Výrobní kapacita tohoto produktu se vloni zvýšila ze 14 tis. tun na 60 tis. tun. Další výrobní jednotky budují v Kanadě a Thajsku, neboť světová spotřeba se odhaduje na 180 tis. tun.

Polyetylentereftalát (PET) patří mezi plasty s nejvyšší dynamikou spotřeby za posledních 11 let, zejména díky rozvoji aplikací v lahvích. Mezi komoditními plasty se spotřebou během 1 – 2 roků posune z 5. na 4. místo za PE, PP, PVC a před PS. Americký koncern Coca-Cola prodává denně 1,6 miliardy lahví, z čehož je 55 % vyrobeno z PET. V posledních letech začala dodávat na trh lahve z částečného bio-PET. Vtip spočívá v tom, že PET se vyrábí polykondenzací monoethylenglykolu (MEG) a kyseliny tereftalové (PTA). První surovina má 30 % a druhá 70 % podíl na výsledném PET. V Brazílii se průmyslově vyrábí MEG z cukrové třtiny přes etanol a etylen. Výsledná láhev je plně mísitelná a recyklovatelná s klasickou PET, má podíl materiálu rostlinného původu 30 %. Plné zavedení dražších lahví z úplného bio-PET se očekává do 20 let.

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

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

Velké chemické firmy investují značné prostředky do výzkumu, vývoje a nových technologií z přírodních zdrojů. Po bioplastech 1. generace (samostatné produkty), nastoupila 2. generace, která využívá směsi (blendy) bioplastů vzájemně, s aditivami, ale i s konvenčními fosilními plasty. Cílem je využít dosavadních technologií zpracování plastů a snížit uhlíkovou stopu výrobků. Mikrobiologové spolu s chemiky uvažují o bioplastech 3. generace, které by měly vzejít z využití řas a odpadních produktů. Široké spektrum bioplastů, především těch biodegradovatelných, tak způsobuje vážné obavy expertům na recyklaci plastů. Pro tyto účely vyčlenila v roce 2014 EU 8 miliard Euro.

Ruku v ruce s vývojem nových biodegradovatelných bioplastů a technologií jejich výroby by tak pozornost měla být stejně zaměřena i na výzkum podmínek jejich odbourání po skončení jejich životnosti, tedy na stanovení správného postupu nakládání s nimi jako s odpady. Přitom je potřeba

rozvinout nástroje informování odpovědných úřadů, firem zabývajících se zpracováním plastových odpadů i široké veřejnosti o zvláštních způsobech recyklace a nakládání s odpady na bázi bioplastů.

Podle informace z února 2015 vytvořily firmy Anellotech (USA) a Johnson Matthey Process Technologies (VB) alianci k vývoji katalytického systému pro výrobu benzenu, toluenu a paraxylenu z rostlinné nepotravinářské báze.

V květnu 2017 informovala firma Covestro, že vyvinula proces na výrobu anilinu (výchozí surovina pro PUR) z biomasy a zahájila výstavbu poloprovozní jednotky. Proces je založen na konverzi cukrů pomocí mikroorganismů s následnou chemickou katalýzou na bio-anilin. Současná světová produkce anilinu je 5 mil.tun, Covestro se podílí 1 mil.tun.

Konsorcium výzkumných institucí a firem, v čele se švýcarskou firmou Clariant vyvíjí v rámci HORIZON 2020 proces výroby bio-isobutenu, který se používá pro výrobu kaučuku a plastů a pro rozpouštědla a změkčovadla.

Významnou položkou plastikářského segmentu jsou aditiva. V roce 2016 se globálně spotřebovalo 31,5 mil. tun aditiv. I v této oblasti je patrný trend k udržitelnosti, zejména k aplikaci inovovaných aditiv přírodního původu.

#### **Význam a priority výzkumu**

- Snížení nákladů na výrobu a produkci enzymů a kofaktorů
- Vývoj lepších, rychlejších a ekonomicky výhodnějších biokatalyzátorů
- Bioreaktorové techniky, řízení procesů
- Výzkum a vývoj nových biopolymerů a jejich modifikace
- Podpora projektů na zpracování bioplastů po skončení jejich životnosti

#### **4.4. Spotřební výrobky (obaly, nátěrové hmoty, textil, kosmetika, 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.

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

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.

Jedním z trendů vývoje plastů jsou kaskádové polymerační technologie pro přípravu multi-modálních 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 + výšomolekulární 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).

#### **Prioritní výzkumná témata**

- vývoj moderních zdravotně nezávadných anorganických UV absorbérů jak pro nátěrové hmoty, tak pro kosmetiku a plasty;

### **4.5. Nanokompozity**

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

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

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

obvody optickými spoji. Nanotrubičky budou využívány pro výrobu pružných obrazovek, displejů a velkokapacitních pamětí. V energetice se trubičky využijí pro uskladňování vodíku pro palivové články. Výzkumné práce budou zaměřeny zejména na přípravu nanočástic, dispergační proces a na studium vlivu modifikujících látek na konečné vlastnosti nanokompozitů.

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

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

### **Význam**

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

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

### **Prioritní výzkumná témata**

#### **a) Střednědobý horizont:**

- výzkum zaměřený na pochopení efektů nano-plniv s velkým specifickým povrchem na mechanické vlastnosti, degradační a hořlavostní chování polymerů, představující velmi atraktivní část;
- výzkum podmínek přípravy nových, netradičních typů nanokompozitních materiálů na bázi montmorillonitických jílu a dalších typů anorganických nanočástic;
- metody přípravy nových nanostrukturních a nanokompozitních materiálů založených na unikátních vlastnostech nanočástic (slitin) kovů a (směsných) oxidů kovů a jejich interakci s anorganickými nosiči;
- vývoj metod pro dispergaci nanočástic a hodnocení jejich vlastností;
- výzkumu povlakových technologií se specializací zejména na automobilový průmysl, a výrobu dopravních prostředků;
- využití a modifikace dosavadních způsobů přípravy nanočástic ke zlepšení vlastností polymerních materiálů a optimalizaci vlastností nanokompozitu vzhledem k zamýšlené oblasti jeho využití;
- studium možností náhrady klasických (kovových) materiálů pomocí kompozitů s vlastnostmi upravenými na míru;

- vývoj povrchových úprav se zlepšenými vlastnostmi a odolností proti různým, zejména povětrnostním vlivům;
- vývoj technologií přípravy nových typů anorganických a organických nanočástic.

#### **b) Dlouhodobý horizont:**

- vývoj samoorganizovatelných kompozitních materiálů a “chytrých povrchů”;
- studium vlivu používání nanočástic na životní prostředí a zdraví.

## **4.6. 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), otolaryngologie, stomatologie (zubní náhrady), plastická chirurgie a dermatologie. V řadě případů se může jednat i o prostředky pro veterinární účely.

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

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

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

### **Prioritní výzkumná témata**

#### **a) Střednědobý horizont:**

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

## **4.7. Plasty jako detektory ionizujícího záření**

Využití plastů v oblasti detekce ionizujícího záření je založeno na převodu energie ionizujícího záření na energii fotonů v oblasti blízké ultrafialové a viditelné oblasti spektra. Tyto fotony jsou pak snímány ve formě záblesků vhodnými snímači (fotonásobiče, fotodiody). Výstupní signál z detektoru je pomocí



fotonásobiče převeden na elektrický signál a ten je následně zpracován vhodným analyzátozem a software. O takovýchto typech detektorů pak hovoříme jako scintilačních detektorech.

První plastové detektory byly vyvinuty v padesátých letech s cílem nahradit především kapalně scintilátory a nabídnout pro detekci záření levný, dobře dostupný materiál umožňující výrobu detektorů s velkým objemem a v podstatě jakýmkoliv tvarem. V současné době jsou hledány jak nové metody přípravy plastových detektorů s využitím technologií pro zpracování plastů (extruze, vstřikování, 3D tisk a další), tak i nové složení (využití speciálních nanoplňiv s aktivním povrchem, úpravy složení s cíle zvýšení rychlosti odezvy, emitovaného spektra záření apod.).

Z hlediska cílového využití jde o materiál pokrývající svým uplatněním široké spektrum použití od detekce radioaktivních zdrojů (mýtné brány, recyklace kovů, obrana) přes technické aplikace (detektory výšky hladiny, lékařské aplikace - PET) až po uplatnění ve vědeckých projektech (detekce kosmického záření, neutronů apod.). Celkově lze říci, že objem výrob plastových scintilátorů má v posledních letech narůstající tendenci právě díky jejich rozšiřující se oblasti použití a výhodné ceně.

#### **Význam:**

Vývoj plastových scintilačních detektorů navazuje na dlouholetou tradici v této oblasti a snaží se navázat na úspěchy pracovníků Výzkumného ústavu přístrojů jaderné techniky, kteří tento typ detektorů v České republice s úspěchem zavedli do výroby. Díky silné podpoře nového vlastníka technologie fy. Nuvia, která je světovým leaderem v oblasti jaderných technologií, je další rozvoj těchto produktů v rámci ČR podpořen i konkrétními výstupy v projektech po celém světě. Jedná se především o spolupráci ve Vědeckých projektech (SUPERNemo, ICARUS) ale i konkrétních výrobcích. Velmi důležitou je společná spolupráce fy. Nuvia s centry výzkumu v této oblasti a to jak v oblasti jaderné fyziky a chemie (ČVUT-UTEF, FJFI) tak i centry zaměřenými na vývoj polymerních materiálů (CPS Zlín, UMCH Praha, PIB Brno).

#### **Prioritní výzkumná témata:**

##### **Střednědobý horizont:**

- vývoj zaměřený na využití současných plastikářských technologií pro vývoj nových typů scintilačních detektorů (extruze, 3D tisk a další)
- výzkum v oblasti složení plastových scintilátorů (uplatnění nanoplňiv, speciálních aditiv a úprav složení luminiscenčních aditiv)
- výzkum v oblasti modifikace vlastností polymerní matrice (zvýšení teplotní odolnosti, zlepšení mechanických vlastností a další)

##### **Dlouhodobý horizont:**

- hledání a vývoj nových materiálů pro oblast plastových scintilátorů (PEN a jeho modifikace)
- vývoj technologie výroby scintilačních detektorů

## 4.8. Oxo-degradovatelné plasty

Velká pozornost je věnována biodegradabilním polymerům. Jedná se např. o biodegradovatelné fólie. Jejich přednost je v synergickém efektu. Zpracovatelnost a univerzálnost plastů se snoubí s biologickým původem, recyklovatelností a biodegradabilitou částečně obdobnou papíru. Pro jejich využití v produkci obalů jsou příznivé jak možné obnovitelné zdroje, tak i skutečnost, že potenciální odpad nezpůsobí dlouhodobé ekologické problémy. V analýze z pohledu trvale udržitelného rozvoje jsou favorizovaným materiálem. Stále ještě platí, že cesta od biologického materiálu k biodegradovatelné fólii není cestou přímou a uprostřed cyklu zůstávají energeticky a materiálově náročné technologické postupy. Paradoxní je, že zatímco se producenti materiálů snaží chovat ekologicky a ekonomicky, určitá část zákazníků podporuje opačné trendy. Výrobci obalů jsou pak nuceni přijímat kompromisní rozhodnutí, jak jejich očekávání naplnit. Jedním z negativních důsledků jsou kompozitní materiály. Jsou atraktivní, multifunkční a oblíbené. Pro recyklaci však představují závažný problém. Vzniká obvykle nerecyklovatelný odpad, který se musí buď spalovat, nebo ukládat v deponiích. Změna technologie znamená pro výrobce určité investice a pár let času. Pro životní prostředí mohou být bohužel důsledky dlouhodobé a nevratné.

Biologicky rozložitelné plasty na bázi obnovitelných přírodních zdrojů (škrob, celulóza, kyselina mléčná atd.) jsou odborné veřejnosti dostatečně známé. Počáteční euforie po jejich zavedení v průmyslovém měřítku (viz DOW/Cargill JV, BASF, atd.) podporovaná do značné míry zelenou legislativou vyspělých zemí postupně opadá a již dnes se ukazují i slabá místa koncepce masové výroby založené na obnovitelných přírodních zdrojích.

Oxo-degradovatelné 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.

## 4.9. Plasty se sníženou hořlavostí

Masovou aplikaci hořlavých polymerních materiálů (PE, PP, PS a další) doprovází snaha zvýšit požární bezpečnost používaných plastů především v místech, kde dochází k shromažďování většího počtu lidí. Evropská legislativa vyvíjí tlak na výrobce plastů ve smyslu přechodu na typy retardérů hoření, které zaručují vyšší bezpečnost plastů během požárů. Vedle legislativních kroků, vydávání směrníc a nařízení vlád vznikají nové evropské normy, které reflektují tyto důrazné požadavky na vyšší požární bezpečnost používaných materiálů. Jako příklad lze uvést novou evropskou stavební normu ČSN EN 13501-1, která by měla nahradit v současné době používané národní normy. Hodnocení hořlavosti materiálů podle

nových norem se provádí metodami, které se poměrně značně liší od stávajících testů. Nové normy zohledňují konečnou aplikaci výrobku, tzn. tvar, rozměry a četnost výskytu na určitou plochu při konečné aplikaci v praxi. Dále jsou tyto normy zaměřeny na sledování parametrů, které popisují proces hoření a které ovlivňují chování materiálů během požáru.

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.

Součástí výstupní klasifikace udávající stupeň hořlavosti je i index popisující tvorbu dýmu v průběhu hoření, což je zřetelný tlak na přechod od halogen obsahujících látek na HFFR materiály i přes jejich ekonomickou a zpracovatelskou nevýhodnost (pro snížení hořlavosti je nutné zpracovat do polymerní matrice relativně velké množství HFFR - řádově desítky procent).

Zcela specifický je požadavek na sníženou hořlavost a současně zvýšenou UV-stabilitu (např. u PP matrice) pro aplikace plastů ve venkovním prostředí (např. stadiónová sedátka). Důvodem jsou vzájemné interakce mezi halogenovanými retardéry hoření a UV-stabilizátory typu HALS (hindered amine light stabilizers). Tyto interakce jsou založeny na současném působení několika faktorů: UV záření, kyselé prostředí, basicita HALS apod. Působením UV-záření dochází k fotoreduktivní dehalogenaci retardéru za současného uvolňování halogenovodíku (HBr, HCl), který vzhledem ke své kyselé povaze reaguje s basicitou aminovou funkcí HALS. Konečným produktem je amoniaková sůl HALS (bromid, chlorid). Takto modifikovaný HALS je z hlediska UV-stabilizace neúčinný. V konečném důsledku je tak ochrana polymerní matrice proti degradaci snížena nebo zcela potlačena.

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

V oboru polyolefiny jsme zaznamenali trendy:

- a) pro napěňovací technologie (uhlovodíky, nověji  $N_2, CO_2$ ), aplikace využívající lehčené /napěňované PE, PP (z 950 g/l až na cca 20 g/l), obalové rohože, krycí folie, tvarovky, výplně (např. auta),
- b) použitím metalocenových katalyzátorů pro nastavení požadovaných vlastností,
- c) kopolymery hexen, okten, terpolymery, norbornen. typu s použitím metalocenových katalyzátorů.

Eviduje se rostoucí poptávka po zařízeních, jako jsou vícedutinové a neurologické katetry, které vyžadují velmi tenké stěny a inovační design. Zaznamenáváme nárůst začínajících firem v oboru lékařských trubic, způsobený pokrokem v materiálové sféře a požadavky na méně invazivní zákroky. K

tomu všemu se přidaly inovační metody k začlenění biologických činidel do trubic. Pro výrobu lékařských hadiček se používají hlavně PVC a TPE (termoplastické elastomery), olefiny (PP a PE), uretany, polyamidy (PA), fluoropolymery (FEP a PTFE) a silikon. Silikonové trubičky se používají např. pro peristaltická čerpadla, chirurgické drenáže, katetry a intravenózní dodávku léků.

Budovy celosvětově spotřebovávají 40 % energie a produkují více než třetinu skleníkových plynů. Úsilí o udržitelné budovy vede k realizaci zateplování aplikací izolantů. Tento segment trhu má zaznamenat do roku 2022 průměrný roční růst 8,2 %. Týká se EPS, XPS, PUR, PE, PP a PVC. Evropský trh všech izolantů představoval v roce 2014 celkem 234 mil. m<sup>3</sup> (7,4 mil. tun) z toho se podílely plasty ze 42 %.

Stavebnictví, zejména budovy, spotřebovávají jednu pětinu z aplikovaných plastů. V období 1979 – 2007 došlo k růstu celosvětové spotřeby plastů o 31,2 %. Ve stejném období došlo ke snížení počtu úmrtí při požárech budov o 64 % v západní Evropě a o 66 % ve východní Evropě. Preventivní opatření při výstavbě a rekonstrukci budov z hlediska požárního nebezpečí jsou tedy účinná, i když podíl plastových aplikací v izolacích budov roste.

K dosažení nehořlavosti plastů je nutné dávkovat více než 10 % retardérů hoření plus další synergické látky. Pro EPS aplikace ve stavebnictví jsou tyto koncentrace retardéru nemožné a je proto požadována klasifikace izolačních stavebních výrobků dle ČSN EN 13 501-2, třída reakce na oheň E.

Výrobci suroviny – zpěňovatelného PS – používali k retardaci bromovaná zlášedla typu hexabromcyklododekan (HBCDD) v koncentraci do 0,7 % a produkt nazývají jako samozlášivý, tj. po odstranění plamene dojde k ukončení hoření. Takovýto materiál je resistentní proti malým zdrojům hoření (do 25 KW/m<sup>2</sup>). Při zdroji hoření nad 50 KW/m<sup>2</sup> není rozdíl v chování EPS s retardérem a bez retardéru. EPS bez retardéru hoření má dle výše uvedené normy třídu reakce na oheň F. Tyto produkty mají omezené aplikace při izolacích budov, dané článkem 3.1.3 ČSN EN 73 0810.

Koncem minulého století se v ČR rozšířily aplikace EPS v izolacích budov, byly aplikovány systémy vnějšího kontaktního systému ETICS z Německa, resp. Rakouska, které vyžadovaly EPS třídy E, resp. dle DIN 4102-1, B1. Kaučuk zahájil výrobu Koplenu F s nejpoužívanějším retardérem hoření hexabromcyklododekanem – HBCDD.

Evropská chemická agentura vyhlásila 14. 1. 2009 veřejnou konzultaci k seznamu 7 prioritních látek pro kandidátskou listinu látek SVHC (látky vyvolávající velmi vysoké obavy) dle přílohy XIV REACH. Mezi tyto látky byl zařazen i retardér hoření HBCDD. Jedná se o jeden ze 70 druhů bromovaných zlášedel.

Dne 17.2.2011 schválila ECHA zařazení HBCDD do přílohy XIV s tím, že do 21. 8. 2015 musí být ukončena autorizace. Ta povolila výjimku k používání HBCDD do roku 2017.

HBCDD se průmyslově užívá od roku 1960 a v roce 2006 se spotřebovalo na světě 22 tis. tun HBCDD, z toho v EU 11,6 tis. tun, z toho 5,3 tis. tun pro retardaci EPS.

Na květnovém zasedání komise členských států Stockholmské úmluvy v roce 2013 došlo ke shodě o zařazení HBCDD do přílohy 1, tj. k celosvětovému seznamu dosud zakázaných 22 látek pro jejich persistentní vlastnosti (POP). Tento zákaz platí od listopadu 2014 s tím, že závěry z toho zasedání musí do roka ratifikovat 179 států světa. Bylo schváleno pětileté přechodné období, tj. do roku 2019, pro možné používání HBCDD pro retardaci EPS a XPS pouze pro aplikace v budovách. Podotýkám, že pro retardaci XPS desek se používá trojnásobné množství HBCDD.

Evropská komise požádala za členské státy EU o odklad ratifikace do srpna 2015, kdy chce rozhodnout o autorizaci HBCDD. Obecně platí, že autorizace neznamená zákaz používání, ale přesně určené podmínky pro aplikaci za současného dodržení předepsaných povinností k minimalizaci rizik. Výroba a používání autorizovaných látek je časově omezené a podmíněné opatřeními na minimalizaci rizik.

V lednu 2014 zveřejnila Evropská chemická agentura návrh stanoviska ohledně oprávnění pro pokračování používání HBCDD pro následné rozhodnutí Evropské komise. Oproti výše uvedené možnosti používat HBCDD ve stavebnictví do roku 2019 (Stockholmská úmluva) navrhuje ECHA zkrátit tuto možnost do 21. 8. 2017 s omezenými podmínkami.

Americká firma Dow, která vyrábí XPS desky, spolu s výrobcem bromovaných retardérů hoření firmou Chemtura Corporation oznamují 29. 3. 2011, že společně vyvinuly vysoce molekulární bromovaný retardér hoření Polymeric FR, který může nahradit HBCDD v XPS a EPS. Produkt je stabilní a nemá POP ani PBT vlastnosti (persistentní, bioakumulativní a toxický) a ani jako polymerní produkt nepodléhá REACH.

Od 1. 10. 2015 nejsou členy Sdružení EPS ČR dodávány na trh EPS desky s HBCDD, nýbrž pouze s novým retardérem hoření Polymeric FR.

V budoucnu lze očekávat ataky militantních ekologů proti bromovaným retardérům hoření. Problémy nastanou s likvidací EPS izolací s HBCDD, kde v důsledku zařazení HBCDD mezi POP látky, nebude možná recyklace ani skládkování. Pokusy s energetickým využitím těchto odpadů dokázaly bezproblémovou likvidaci HBCDD během spalování komunálních odpadů.

#### **4.10. Plasty pro dopravní prostředky**

Celosvětové úsilí o snižování emisí CO<sub>2</sub> se dotýká i dopravních prostředků. V rámci jednotlivých kontinentů jsou předepisovány přísnější limity pro spotřebu a tedy i exhalace CO<sub>2</sub> z pohonných hmot. To se projevuje ve vývoji nových, lehčích konstrukcí exteriérů a interiérů dopravních prostředků s využitím plastů. Vyvíjejí se nové aplikace komoditních plastů (PP) s přídavkem ztužujících vláken, dále aplikace inženýrských a speciálních plastů. Využití nabízejí i pěnové a strukturní pěnové plasty. S ohledem na vysokou produkci automobilů v ČR je zapojení výzkumu a vývoje do procesu aplikací nových plastů i způsobu zpracování (3D tisk) velkou výzvou. Rostoucí důležitost mají způsoby spojování plastů s jinými materiály (a to nejen pro automotive).

#### **4.11. Recyklace**

Samostatnou kapitolou je využívání odpadních plastů v ČR. Vykazujeme, že 50 % evidovaných plastových odpadů skládkujeme. Přitom 9 zemí EU již dnes sládkuje max. 1 – 3 % odpadních plastů. Ročně zakopáváme odpadní plasty v hodnotě 10 miliard Kč. Od roku 2025 bude skládkování plastů zakázáno ve všech státech EU. Efektivní využití odpadních plastů je velkou výzvou pro výzkum a malé a střední firmy. Polymery s vyšší přidanou hodnotou se prakticky nevyrábějí a musí se dovážet, takže i při vyrovnané výrobě a spotřebě kolem 1 mil. tun plastů je obchodní bilance pasivní.

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

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

- materiálová recyklace
- surovinová recyklace
- energetické využití.

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

Postupy surovinové recyklace umožňují látkově znovu využít velká množství odpadních plastů. Za tím účelem se použité plasty štěpí na výchozí látky nebo na chemické nebo petrochemické suroviny, které lze znovu použít k výrobě nových plastů nebo jiných výrobků. Takto získané produkty nepodléhají žádným omezením použití.

Spalování odpadních plastů s energetickým využitím je nepochybně metodou, které se z ekologických a energetických hledisek nelze zříkat, zvláště když se vyskytují další podíly plastů, které nelze účelně recyklovat. K nim náležejí např. plasty, vůči kterým jsou povážlivé výhrady z hlediska pracovní hygieny nebo ochrany prostředí, nebo plasty spojené s jinými materiály (kompozity). Takovými jsou např. převážně plasty v automobilovém nebo elektro-průmyslovém odvětví. Spalování s využitím energie je pro takové plasty z hlediska ochrany životního prostředí a hospodárnosti jediným rozumným způsobem využití.

#### **4.12. Závěr**

Plastikářský průmysl v České republice prožívá v posledních letech nebývalý rozvoj a jeho postavení v rámci domácího zpracovatelského průmyslu neustále posiluje. Výroba a zpracování plastických hmot jsou nejrychleji se rozvíjejícím oborem chemického průmyslu ČR. Dnes se vyrábějí plasty se specifickými vlastnostmi podle požadavků nejrůznějších hospodářských oblastí. Nové druhy plastických hmot a technický rozvoj otevírají stále nové možnosti využití plastů ve všech oblastech lidské činnosti. Význam odvětví ještě vzrostl díky těsné vazbě na dynamicky se rozvíjející automobilový, elektrotechnický průmysl a stavebnictví. Plastické hmoty jsou ve stále širším měřítku používány také jako konstrukční materiály při výrobě různých součástí strojů, spotřebních předmětů všeho druhu, v obalové technice atd. Tempo růstu výroby plastů u nás roste ročně ve vazbě na růst výroby ve výše uvedených odvětvích. Jeho perspektiva je dále posilována dobrou surovinovou základnou, širokými dodavatelskými vazbami s navazujícími průmyslovými segmenty, dosavadní nízkou spotřebou plastů na obyvatele v porovnání se zeměmi západní Evropy i rostoucí konkurenceschopností domácích výrobců díky přílivu špičkových technologií.

I přes přetrvávající silnou poptávku po výrobcích z plastů pociťují čeští výrobci a zpracovatelé rostoucí konkurenci na trhu. Prosadit se v tomto prostředí a udržet si trvalý růst nutí podniky zvyšovat

produktivitu a adoptovat moderní inovace v oblasti výroby, nákupu, logistiky a obchodu. Součástí řešení musí být i efektivní využití plastů po skončení jejich životnosti.

Problém ČR je omezený sortiment z výroby plastů pouze na tzv. komoditní typy: PE, PP, PVC a PS (EPS). Některé z těchto plastů nemají šanci na další rozvoj (nízká kapacita, ekologie, zastaralost technologií) a hrozí jejich postupné odstavování (např. PVC). Rozvíjet je nutno kompaundování k přípravě plastů šitých na míru a požadavky zákazníků. Takto by mělo v ČR působit cca 40 malých a středních firem.

#### **Prioritní výzkumná témata**

##### **a) Střednědobý horizont:**

- vývoj výroby moderních obalových materiálů;
- vývoj plastů pro aplikace ve stavebnictví a dopravních prostředcích;
- vývoj materiálů z obnovitelných surovin;
- vývoj plastů pro 3D tisk;
- vývoj moderních technologií zpracování plastů;
- rozvoj moderních aplikací komoditních, inženýrských a speciálních plastů
- rozvoj recyklačních technologií, včetně úsilí o nulové ztráty granulátů;

##### **b) Dlouhodobý horizont:**

- vývoj biodegradabilních polymerů;
- využití a příprava strukturovaných polymerů;
- vývoj polymerů se speciálními vlastnostmi (magnetické, vodivé atd.).
- výzkum využití komerčně dostupných nano-sloučenin křemíku na bázi polyhedrálních silsequioxanů (POSS) jako nosiče katalytických komponent při polymeraci styrenu a olefinů
- vývoj polymer-stabilizovaných bimetalových nanokatalyzátorů

## 5. Závěr

Výroba plastů v primární formě je spolu s petrochemií integrální součástí chemického průmyslu, který zaznamenává nebývalé změny z hlediska surovinové báze, udržitelnosti a regionálního rozložení produkce. Plasty jsou využívány v celé řadě lidských činností, přičemž mezi nejvýznamnější bezesporu patří obaly, stavebnictví, automobilový průmysl, elektrotechnický průmysl, zemědělství či zdravotnictví. Také do budoucna (v horizontu roku 2050) se očekává, že produkce plastů celosvětově poroste. Specifické směry vývoje v oblasti výroby plastů však budou do určité míry ovlivňovány současnými globálními trendy vývoje společnosti a souvisejícími výzvami udržitelného rozvoje. Tato studie se pokusila popsat stěžejní transformační procesy, které budou ovlivňovat vývoj společnosti v dlouhodobém horizontu (tzv. globální megatrendy) a na jejich základě vytipovat současné a budoucí výzvy technologického vývoje pro výrobu a zpracování plastů.

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

Kromě environmentálních aspektů výroby a zpracování plastů bude výzkum a technologický vývoj v této oblasti stimulován také akcelerující digitalizací výrobních procesů a zaváděním nových procesů aditivní výroby do produkčního řetězce. To vytváří důležitý impuls pro materiálový výzkum a nové způsoby zpracování plastů v průmyslové výrobě.

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

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



## Zdroje

Cayuela, V., R., The Future of the Chemical Industry 2050, [www.chemanageronline.com](http://www.chemanageronline.com), 6.6.2013.

CEFIC (2016): The European Chemical Industry. Facts and Figures 2016.

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

McKinsey (2016): Aging with tech support – The promise of new technologies for longer and healthier living.

OECD (2016), OECD Science, Technology and Innovation Outlook 2016, OECD Publishing, Paris. [http://dx.doi.org/10.1787/sti\\_in\\_outlook-2016-en](http://dx.doi.org/10.1787/sti_in_outlook-2016-en).

PlasticsEurope (2016): Plastics – the Facts 2016, An analysis of European plastics production, demand and waste data.

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

PwC (2016b): Redefining business success in a changing world. 19th Annual Global CEO Survey. PricewaterhouseCoopers, 2016 (January).

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

Smithers Pira (2015): The Future of Global Packaging to 2020. Market Report, 2015 (December).

United Nations (2014): World Urbanization Prospects: The 2014 Revision, Highlights (ST/ESA/SER.A/352).

Vörös, F. (2013a): Udržitelné plasty – část I: Suroviny pro jejich výrobu, Plasty a kaučuk, 50, 2013, č.9 – 10, str. 26.

Vörös, F. (2013b): Udržitelné plasty – část II: Výroba a spotřeba, Plasty a kaučuk, 50, 2013, č. 11 – 12, str. 331.