



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



MINISTERSTVO  
PRŮMYSLU A OBCHODU



**ČESKÁ TECHNOLOGICKÁ  
PLATFORMA PLASTY**

# Strategická výzkumná agenda

## České technologické platformy PLASTY

Zpracováno 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

**Duben 2019**

## OBSAH

1	Souhrn.....	3
2	Úvod.....	4
3	Využití obnovitelných zdrojů – udržitelnost .....	7
3.1	Úvod.....	7
3.2	Chemický průmysl.....	7
3.3	Plastikářský průmysl .....	7
3.4	Bioplasty .....	9
3.4.1	Výchozí suroviny .....	10
3.4.2	Trh bioplastů.....	12
3.5	Význam a priority výzkumu .....	14
4	Technologie výroby a využití plastů.....	15
4.1	Úvod.....	15
4.2	Spotřební výrobky (kosmetika, nátěrové hmoty, textil, obaly a další) .....	16
4.2.1	Prioritní výzkumná témata.....	16
4.3	Nanokompozity.....	16
4.3.1	Význam .....	17
4.3.2	Prioritní výzkumná témata.....	18
4.4	Materiály pro zdravotnictví .....	18
4.4.1	Prioritní výzkumná témata.....	19
4.5	Plasty jako detektory ionizujícího záření .....	19
4.5.1	Prioritní výzkumná témata: .....	19
4.6	Výroba plastů .....	20
4.6.1	Multi-modální polymery pro výrobu moderních obalových materiálů.....	20
4.6.2	Oxo-degradovatelné plasty.....	21
4.6.3	Plasty se sníženou hořlavostí .....	21
4.6.4	Plasty pro dopravní prostředky .....	24
4.6.5	Plasty pro obnovitelné zdroje energie .....	25
4.6.6	Polymerní přísady .....	26
4.6.7	Plasty pro 3D tisk .....	26
4.6.8	Význam .....	26
4.6.9	Prioritní výzkumná témata.....	28
5	Horizontální otázky .....	29
6	Závěry .....	30
6	Seznam použitých zkratk .....	31

## 1 Souhrn

Strategická výzkumná agenda (SVA) vychází z analýzy vědecko-výzkumné a výrobní základny ČR a z možností komercializovat výsledky vývoje s cílem posílit konkurenceschopnost českého plastikářského průmyslu. SVA se orientuje na vývoj polymerních materiálů s vyšším obsahem know-how, s novými funkcionalitami, na vývoj nových technologií, které budou dostatečně efektivní pro nové plasty s vlastnostmi šitými na míru a přátelské k životnímu prostředí. Je strukturována aplikačně se záměrem posílit perspektivu komercializace. Zahrnuje celý životní cyklus výrobku od vstupů přes vlastní výrobu plastů, jejich zpracování, aplikace v obalovém průmyslu, stavebnictví, automobilovém průmyslu, elektro-průmyslu, zemědělství a spotřebním zboží až po recyklaci výrobku. Nově je ještě výrazněji zaměřena na využití po ukončení životního cyklu těchto materiálů s ohledem na rostoucí důraz na ochranu životního prostředí, včetně moří a na naplňování „strategie EU k cirkulární ekonomice plastů“, která byla EK představena v polovině ledna 2018.

Vzhledem k neustále se zvětšujícím nárokům společnosti na plasty a na jejich využití a ke skutečnosti, že chemické technologie jsou ve většině případů založeny na zpracování fosilních paliv, je český a světový průmysl plně závislý na těžbě těchto surovin. Případný problém v nedostupnosti těchto zdrojů by znamenal kolaps chemického průmyslu jako takového. Využití a zpracování obnovitelných zdrojů, biotechnologických procesů a chemické recyklace směsných plastových odpadů 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, v některých případech i za výhodnějších technologických a energetických podmínek. Termochemickou a enzymatickou konverzí biomateriálů je možno po zavedení vhodných separačních metod připravit a izolovat řadu produktů s významnou přidanou hodnotou, které svými vlastnostmi budou moci konkurovat stávajícím produktům z ropných zdrojů. Na 13. Evropské konferenci o bioplastech v listopadu 2018 již nova-Institut provedl významné korekce v prognóze růstu bio-plastů z biomasy do roku 2023. Motorem růstu budou nové velkokapacitní jednotky PLA /firma TotalCorbion staví v Thajsku jednotku o kapacitě 75 tis. tun/rok/ a PHA z odpadních produktů, včetně CO<sub>2</sub>. V souvislosti s dalším vývojem efektivních a environmentálně přijatelných technologií budou hledány nové chemické procesy a aplikována netradiční zařízení. Pozornost bude věnována i aditivům pro optimalizaci vlastností samostatných plastů.

## 2 Úvod

Tento dokument byl zpracován Českou technologickou platformou PLASTY (ČTPP) jako aktualizovaná verze jejího základního strategického dokumentu, který bude dále doplňován a upřesňován jako východisko pro zpracování aktualizovaného Implementačního akčního plánu.

Posláním ČTPP je fungovat především jako komunikační platforma pro výměnu názorů a zkušeností v oblasti výroby, zpracování, využití a recyklace plastů. Za tímto účelem ČTPP podporuje základní výzkum, aplikovaný výzkum nebo experimentální vývoj; podporuje šíření jejich výsledků prostřednictvím výuky, publikování nebo převodu technologií; podporuje organizace působících ve prospěch rozvoje plastikářského a souvisejícího zpracovatelského průmyslu v České republice a s tím spojených vědeckých, výzkumných, technologických a inovačních aktivit, včetně aktivit směřujících k ochraně životního prostředí a zlepšování pozitivního vnímání plastikářského průmyslu.

Posláním ČTPP je rovněž podpora a prosazování zájmů sektoru plastikářského průmyslu v oblasti národní i Evropské legislativy.

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 iniciace 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 zaměřeni na:

- udržitelnou surovinovou dostatečnost
- průmysl 4.0, včetně digitalizace
- technologickou vyspělost
- šetrnost k životnímu prostředí, včetně cirkulární ekonomiky
- průmyslový design 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,
- 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 jednorázových plastů v obalovém průmyslu
- plasty pro 3D tisk

Tyto nově zařazované oblasti vycházejí z těchto trendů:

Narůstající problémy s odpady a s tím související legislativou ze strategie EK k cirkulární ekonomice s následnou legislativou. Nutnost urgentního řešení této problematiky platí i pro ČR. Na základě zkušeností z období 2009 – 2018 se ČTPP bude dále odborně profilovat ve výše uvedených (již dříve definovaných a nyní nově zařazovaných) oblastech. Jednou z nových aktivit by měl být způsob působení na výrobce granulí, jejich přeprava ke zpracování, zpracovatele a uživatele a omezení úniku plastových částí do kanalizací, řek a následně do oceánů. Další aktivity se týkají prevence vzniku odpadních plastů, eko designu, zlepšení sběru, třídění a mechanické a chemické recyklace.

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.

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.

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.

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

útvárů, 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 vypěňováním,
- plastové součásti zejména z kompozitů s využitím digitalizace
- nové plasty pro 3D tisk včetně zvyšování rychlosti 3D tisku až na 100 násobek pomocí speciální polymerace kapalně pryskyřice s využitím dvou světelných zdrojů - proces University z Michiganu.

### 3 Využití obnovitelných zdrojů – udržitelnost

Koncem ledna 2019 nabídla EK k diskusi 3 možné cesty, jak do roku 2030 změnit EU, aby byl její rozvoj dlouhodobě udržitelný. Připomíná potřebu přechodu na cirkulární hospodářství, odstranění nerovnováh v potravinovém systému a potřebu udržitelného zajištění odpovídajících energetických zdrojů, bydlení a dopravní infrastruktury. Finální verze nové strategie bude představena v druhé polovině letošního roku a její součástí budou i horizontální faktory, které musí udržitelný rozvoj podporovat, např. vzdělávání, inovované technologie, výzkum, inovace, digitalizace, finance a hospodářská soutěž. Již dnes je jasné, že bez plastů nebude možné novou strategii úspěšně realizovat.

#### 3.1 Úvod

Výroba a užití plastů přispěly rozhodující mírou k dosažení současné kvality života společnosti, ale dostávají se do situace, kdy jsou na ně vytvářeny tlaky na změnu dosavadních technologických postupů za postupy přátelštější k životnímu prostředí a na recyklaci výrobků z plastů. Přijmeme-li jako jednoznačnou skutečnost, že pouze zase rozvoj chemických technologií a technik a vědeckých poznání v chemii a chemickém inženýrství může takovým tlakům vyhovět, je zapotřebí postupně v řadě případů dospět k udržitelným technologiím, aniž by byl zastaven nebo zbrzděn rozvoj společnosti. Cílem je zmírnit závislost průmyslu na neobnovitelných zdrojích, snížit produkci toxických látek a snížit zátěž životního prostředí výrobky na konci jejich životního cyklu.

#### 3.2 Chemický průmysl

Evropský chemický průmysl patří mezi 3 nejvýznamnější průmyslové sektory v EU. Typický je vysoký inovační potenciál, vyšší energetická náročnost, udržitelný rozvoj a nejregulovanější výroba – emise, REACH a další. Podíl EU na světové chemické výrobě má bohužel stále sestupný trend při výrazném růstu podílu zejména Číny. V roce 2030 se pro EU prognózuje podíl 12 %, Čína zvýší svoji dominanci na 44 %.

Nejdynamičtěji se rozvíjejícím sektorem chemického průmyslu EU jsou polymery, nicméně se stále klesajícím podílem na světové výrobě a spotřebě v roce 2018 na 17,2 %, když Čína se podílí 30 %.

Snižování energetické náročnosti chemické výroby je trvalým jevem. Tento pokles je důvodem proč pro analýzy životního cyklu (LCA) nebo environmentální deklarace o výrobku (EPD) je nutno vkládat do výpočtů nejnovější a ne zastaralá data o energetické náročnosti příslušného plastu. Data jsou pro většinu plastů inovována a dostupná bezplatně na [www.plasticseurope.org](http://www.plasticseurope.org), lišta sustainability.

#### 3.3 Plastikářský průmysl

Plasty jsou makromolekulární produkty vznikající různými postupy z jednoduchých monomerů. Působením tepla lze termoplasty tvarovat do zajímavých aplikací. Plasty lze nalézt i v přírodě, avšak významného rozvoje doznaly až s průmyslovou revolucí. Mezi plasty se řadí i termosety a elastomery. Koncem 19. století se průmyslově uplatnilo kolem 10 tis. tun plastů za rok. V roce 1930 překročila roční světová výroba plastů hodnotu 30 tis. tun, v roce 1949 se přehoupla přes 1 milion tun a v současné době dosahuje úrovně 359 mil. tun. Do roku 2020 se očekává dosažení 400 mil. tun, do roku 2050 přes 700 mil. tun, podle Mac Arthur Foundation dokonce 1,1 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 spotřeby plastů do roku 2022 se uvádí ve výši 3,7 % u komoditních plastů. Vyšší dynamika se očekává u inženýrských plastů PC, ABS, PET a PBT, POM, fluoropolymery, má růst do roku 2024 průměrně o 5,4 % ročně (studie Frost and Sullivan).

Evropský plastikářský průmysl EU-28 reprezentují výrobci suroviny – Plastics Europe (PE) a zpracovatelé plastů na finální výrobky – EuPC a zpracovatelé odpadních plastů recyklací (PRE a ESVO).

Celková spotřeba plastů v Evropě dosáhla v roce 2017 množství 51,2 mil. tun, ČR se na tom podílela 1,3 mil. tunami. Spotřebou přes 120 kg na hlavu se řadíme mezi vyspělé státy Evropy. Hlavními aplikačními segmenty v Evropě jsou:

- Obaly – 39,7 %
- Stavebnictví – 19,8 %
- Dopravní prostředky – 10,5 %
- Elektronika – 6,2 %
- Domácí spotřebiče – 4,1 %
- Zemědělství – 3,4 %

V současné době se podíl odpadních plastů v EU pohybuje okolo 53 % z ročně zpracovaného množství. Konkrétně se v roce 2016 jednalo o 27,1 mil. tun odpadních plastů, z toho 27,3 % skončilo na skládkách, 31,1 % se vyřídilo pro recyklaci a 41,6 % se využilo energeticky. Z 8,4 mil. tun odpadních plastů vyříděných pro recyklaci se pouze 4 mil. tun skutečně recyklovalo v EU, zbytek byl vyvezen do Asie.

ČR vykazuje 436 tis. tun odpadních plastů, při modelu EU by to mělo být 675 tis. tun. Z vykazovaných odpadních plastů 63,5 % končí na skládkách, oficiálně pouze 40,2 %. EKO-KOM vykazuje 110 tis. tun odpadních plastů z obalů. Dle modelu EU by to mělo být 370 tis. tun. Ročně zakopáváme (skládáme) odpadní plasty v hodnotě 10 miliard Kč.

Roční obrat v sektoru odpadového hospodářství a recyklace by se v EU mohly zvýšit o 42 miliard Eur do roku 2020 a vytvořilo by se více než 400 tis. nových pracovních míst. Potenciál se nevyužívá i proto, že v mnoha státech chybí adekvátní legislativa, srovnatelné statistiky a infrastruktura pro tříděný odpad, recyklaci a zhodnocování odpadů. Asociace Plastics Europe usiluje a předkládá Evropské komisi návrh na přijetí nařízení k zákazu skládkování odpadních plastů.

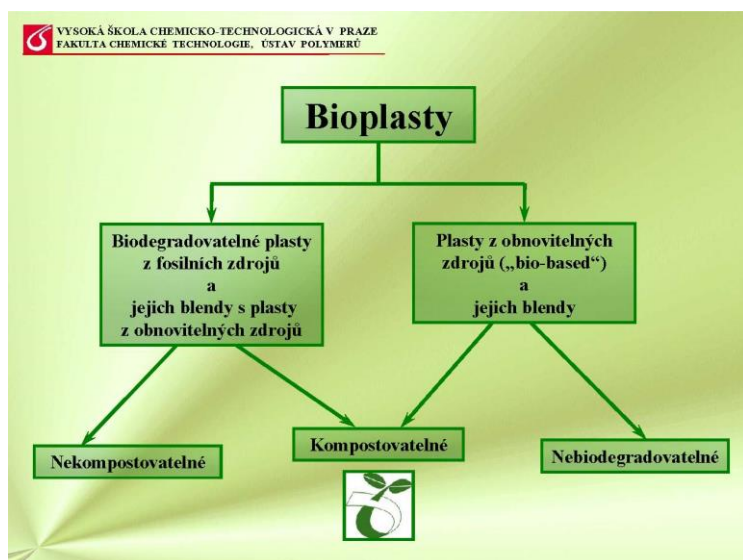
Průmyslný návrh na zákaz skládkování materiálů s energetickým potenciálem kolem 7 MJ/kg od roku 2024 v ČR je stále v legislativním procesu. Nařízením EU je uloženo do roku 2025 znovuužít nebo recyklovat 55 % plastových odpadů z obalů. K realizaci vznikají platformy, např. Borealis, který vyrábí 3,6 mil. tun polyolefinů, vytvořil „Polyolefine Circular Economy Platform“ spolu s Plastics Europe a EuPC. Borealis je průkopníkem iniciativy „Nulové ztráty plastových granulí“. Evropští výrobci a zpracovatelé spolu s evropskou asociací recyklátorů vyhlásili další dobrovolné iniciativy, zaměřené na recyklaci PVC, PET a PS. Další dobrovolnou iniciativou jsou Styrenics circular solution (SCS) a Vinyl circular solution (VCS). Řešení je nezbytné i proto, že Čína zakázala import odpadních plastů. Jestliže se dříve uvádělo, že do roku 2025 bude nutno v EU vybudovat 300 nových recyklačních závodů, pak zákaz importů plastů do Číny povede k násobné potřebě sběrných, třídících a recyklačních zařízení v EU. Obecně se jeví, že náklady na třídění směsných odpadních plastů se budou zvyšovat a k řešení tohoto typu plastových odpadů bude nutno realizovat chemické procesy recyklací.



### 3.4 Bioplasty

Do rodiny bio-plastů se řadí:

- plasty vyrobené z obnovitelných, rostlinných zdrojů (brambory, kukuřice, cukrová třtina, celulóza). Mohou, ale nemusí být biodegradovatelné.
- plasty biologicky degradovatelné a kompostovatelné dle EN 13432 a EN 14995. Takovéto plasty mohou být vyrobeny i z petrochemických zdrojů. Schematicky je tato definice patrná z obrázku – zdroj: VŠCHT Praha



Podle údajů německého nova - Institutu byly v roce 2007 světové výrobní kapacity biologicky odbouratelných plastů ve výši 265 tis.tun, z toho v Evropě 140 tis.tun. Spotřebě v Evropě ve výši 60-70 tis.tun dominovaly se 40 % termoplastické škroby (TPS), následované kyselinou polymléčnou (PLA) a polyhydroxyalkanoáty (PHA).

Téměř každý týden přichází na trh nový typ nebo nová aplikace bioplastů. V současné době se jedná o více než 350 typů bioplastů. Např. na [www.omnexus.specialchem.com/channel/green-and-bio-plastics](http://www.omnexus.specialchem.com/channel/green-and-bio-plastics) je k prostudování 3483 dokumentů.

Velké firmy využívají bioplasty jako nástroj pro marketingové účely. Firma Coca Cola uvedla na trh lahve z 30 % bio-PET, když potřebný etylen je vyráběn z přírodního etylalkoholu, do roku 2020 chce nahradit i druhou složku PET- paraxylen z ropy přírodním isobutanolem. V roce 2016 zahájila poloprovozní výrobu 100 % bio-PET americká firma Anellotech. Tyto bio-PET typy jsou plně recyklovatelné a směšitelné s petrochemickým PET.

Firma Tetrapack zahájila v USA výroby obalů pro balení mléka s aplikací folie z bio-PE. Dánská firma RPC vyvinula pro tyto účely lahev z bio-PE. Výrobce stavebnice LEGO již v roce 2012 oznámil, že nahradí dosud používaný termoplast ABS bio-polyetylenem, vyrobeným z etanolu z cukrové třtiny. Prozatím nahradil 1-2 % své výroby, plnou náhradu plánuje do roku 2030. Brazílská firma Braskem disponuje kapacitou 200 tis. tun/rok bio-PE. Velká očekávání v masovém nasazení bio-PET se nenaplnují – pravděpodobně bio-etylen jako surovina je podstatně dražší než etylen z ropy a z břidlicového plynu.

Na 13. Evropské konferenci o bioplastech v listopadu 2018 již nova-Institut provedl významné korekce směrem dolů v prognóze růstu bio-plastů z biomasy do roku 2023- viz následující obrázek. Motorem růstu budou nové velkokapacitní jednotky PLA. Např.firma TotalCorbion

staví v Thajsku jednotku o kapacitě 75 tis.tun/rok/. Taktéž PHA z odpadních produktů a využití CO<sub>2</sub>, např. pro polyuretany nabývají na významu.



Každý udržitelný výrobek musí zajistit, kromě aplikační funkce, i přínosnou likvidaci po skončení své životnosti. Hlavním problémem výrobků z bioplastů je nedořešený způsob třídění a sběru. Obaly ze skutečně biodegradabilních bioplastů by měly mít specifické značení a v systému třídění by mohly být shromažďovány s biologickými odpady, avšak jejich rozklad při kompostování je problematický. Vědci z Univerzity v Bayereuthu zjistili, že každá tuna kompostu obsahuje 7 000 až 440 000 nežádoucích mikroplastů. Pokud jsou biologicky rozložitelné plasty tříděny s konkurenčními plasty, tak komplikují, resp. znemožňují mechanickou recyklaci. Spalování bioplastů není velkým problémem s ohledem na jejich vysokou kalorickou hodnotu. Taktéž pro chemickou recyklaci nepředstavují problém a jejich využití v rámci smíšeného plastového odpadu jako suroviny pro petrochemii se stane zřejmě nejčastějším řešením.

### 3.4.1 Výchozí suroviny

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 ¾ pocházejí z fosilních zdrojů a pouze 10 % tvoří obnovitelné zdroje. Cíl EU pro rok 2030 je zvýšit podíl obnovitelných zdrojů na 25 %. Nutno zdůraznit, že fosilní báze neznamená automaticky neudržitelnost a naopak biobáze nemusí být automaticky považována za udržitelnou. EU zpracovala již v roce 2012 strategii a akční plán v koncepci chemického průmyslu směrem k bioekonomii. V roce 2017 byla strategie inovována. Návazně je v rámci výzkumu a inovací Horizon 2020 řešen projekt „Roadmap for the chemical industry in Europe towards to bioeconomy“. Zpráva o plnění programů k prosinci 2018 v rozsahu 230 stran je k dispozici na webových stránkách České technologické platformy.

Vzhledem k technologiím vhodným ke zpracování biomasy je zpracování biomasy pro chemické látky další možnou variantou přípravy vhodných monomerů a polymerů, kopolymerů a aditiv. Zatímco primární metabolity jsou užívány vesměs pro energetické využití jak už v podobě cukrů pro následnou fermentaci, či jako estery vyšších mastných kyselin pro výrobu FAME, sekundární metabolity mají také své využití.

Nastavený trend je však využívat i primární metabolity jako zdroje chemických látek, důvodem je lehká dostupnost a majoritní podíl ve zpracovávané biomase.

### **Primární metabolity**

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

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

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

### **Sekundární metabolity**

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

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

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

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

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

### 3.4.2 Trh bioplastů

Podle starší studie Hannoverské university (p. Endres) dosáhly výrobní kapacity bioplastů v roce 2011 následujících hodnot [v tis. tunách]:

Typ bioplastu		Podíl v %	Biodegradabilita
Bio-polyetylen (PE)	200	28	ne
Biodegradabilní škrobové směsi	123	17	ano
Kyselina polymléčná a její směsi (PLA)	120	16	ano
Polyhydroxyalkanoat (PHA)	88	12	ano
Biodegradabilní polyestery	57	8	ano
Bio-polyethylentereftalát (PET)	50	7	ne
Regenerovatelná celuloza a deriváty	44	6	ano
Bio-polyamid (PA)	35	5	ne
Ostatní	8	1	
<b>Celkem</b>	<b>725</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.

Největší kapacitou pro výrobu bioplastů (bio-PE) disponuje brazilská firma Brasken. Tato firma využívá dostatek cukrové třtiny k výrobě etylalkoholu a jeho následné dehydratace na etylen. Ten se pak polymeruje na PE stejným způsobem jako etylen z petrochemické báze. Ročně se vyrábí na světě přes 90 mil. tun PE, kapacita bio – PE je 200 tis. tun.

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

- částečnou fermentací škrobu a následným smícháním se změkčovadly, kompatibilizátory a dalšími aditivy a extruzí na finální granule.
- destrukcí škrobu s plastikátorem 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 bioplasem, 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 se šplhají z 1,5 tis. nad 100 tis. tun/rok a v roce 2020 by podle nejnovější studie

německé konzultantské firmy nova-Institut měly dosáhnou 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 zpeňovatelného 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, cukrové třtiny nebo ojeů. Licenzují se jednotky s kapacitou 10 tis. tun. Vlastnostmi se PHA blíží polypropylenu. Stejně jako PLA lze PHA snadno zpracovávat vstřikováním, vylačováním s hlavním aplikačním segmentem v obalovém průmyslu. Jednotku na výrobu PHA procesem Hydral realizuje v ČR firma Bochemie.

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.

Biodegradabilní polyestery jsou polymery vyráběné z diolů z bio–báze a bio–kyseliny jantarové nebo adipové. Vznikají pak Polybutelensukcinát (PBT) nebo Polybutylenadipateretfálát (PBAT) nebo další kombinace. Posledně jmenovaný polymer vyrábí firma BASF z petrochemické báze 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.

Polyetylenetereftalát (PET) patří mezi plasty s nejvyšší dynamikou spotřeby za poslední roky, zejména díky rozvoji aplikací v lahvích. Mezi komoditními plasty se spotřebou ve výši 22 mil. tun posunul 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 monoetylglykolu (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 %. Plně 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 (blends) bioplastů vzájemně, s aditivy, 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 bio-plastů, především těch biodegradovatelných, však způsobuje vážné obavy expertům na recyklaci plastů.

Ruku v ruce s vývojem nových biodegradovatelných bioplastů a technologií jejich výroby by tak pozornost měla být stejně zaměřena i na výzkum podmínek jejich využití po skončení jejich životnosti, tedy na stanovení správného postupu nakládání s nimi jako s odpady. V lednu 2018 vyhlásila EK „Strategii EU k cirkulární ekonomice“. V případě bioplastů je potřeba rozvinout nástroje informování odpovědných úřadů, firem zabývajících se zpracováním plastových odpadů i široké veřejnosti o zvláštních způsobech recyklace a nakládání s těmito odpady. K tomuto problému se očekává reakce EK ještě letos.

V květnu 2017 informovala firma Covestro, že vyvinula proces na výrobu anilinu (výchozí surovina pro PUR) z biomasy a zahájila výstavbu poloprovodní 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.

### **3.5 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 Technologie výroby a využití plastů

Chemický průmysl je považován, jako třetí nejdůležitější průmyslový sektor, za nejlepší indikátor vývoje globální ekonomiky. Na světovém obratu ve výši 3,5 bilionu USD se podílí Čína 1,3 biliony USD, následují Evropa a uskupení NAFTA se souhrnným obratem 1,2 bilionu USD. Necelou polovinou se na obratu podílí petrochemie a výroba plastů. Také v produkci plastů dominuje Čína s 29,4 % podílem, následuje Evropa s 18,5 % a uskupení NAFTA s 17,7 %. Do roku 2030 se podíl Číny zvýší na 44 %, podíl Evropy poklesne na 12 %.

V současnosti spotřebovává evropský chemický průmysl každoročně 80 mil. tun surovin, z nichž 75 % pochází z fosilních zdrojů a obnovitelné zdroje tvoří 10 %. Významnější náhrada fosilních zdrojů není v horizontu desítek let reálná. Evropský petrochemický průmysl je v konkurenční nevýhodě vůči USA s levnějšími zdroji na bázi břidlicového plynu a nižších cen energií, vůči Číně v jejich levnější uhelné bázi. Evropa přebírá odpovědnost za bezpečnost chemikálií, životní prostředí, udržitelnost a cirkulární ekonomiku vážněji.

### 4.1 Úvod

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

S růstem globalizace, aplikací a využívání výpočetní techniky ve výroбах a obchodu, realizací procesů Průmysl 4.0 a cirkulární ekonomiky se zvyšuje význam digitalizace. Průmysl 4.0 lze definovat jako transformaci stávajících výrobních systémů v důsledku integrace digitálních technologií a internetu. Digitalizace se stává klíčovým prvkem ve strategiích nejenom výrobců plastů, ale i kompaunderů a zpracovatelů a recyklátorů odpadních plastů. Hlavní zaměření strojírenského veletrhu, konaného v dubnu 2019 za účasti 6 500 společností, je logo „Průmyslová inteligence“. Digitalizace bude kontrolovat síťová výrobní zařízení tak, aby se staly flexibilnějšími a nákladově efektivnějšími. Napomůže tomu nový standard sítí 5G od roku 2020.

### **Dlouhodobý horizont:**

- vypracovat 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 polymer-stabilizovaných bimetalových nanokatalyzátorů
- spolupracovat na zavádění digitalizace v řetězci od výroby, přes zpracování, aplikací a využití pro ukončení životnosti plastů
- vyvíjet nové typy plastů pro 3D tisk
- vyvíjet nové typy vodivých plastů
- vyvíjet nová aditiva, zejména ztužující plniva pro plasty pro automobilový průmysl
- vyvíjet nové aplikace plastů pro stavebnictví, udržitelnou energetiku /baterie, solární panely, větrníky/
- implementovat systémy ekodesignu pro obaly s ohledem na recyklovatelnost.

## **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.

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.

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

### **4.2.1 Prioritní výzkumná témata**

- vývoj moderních zdravotně nezávadných anorganických UV absorbérů jak pro nátěrové hmoty, tak pro kosmetiku a plasty;
- zavádět procesy zamezení ztrát plastových granulí v řetězci výroba- transport- zpracování
- spolupracovat při řešení ochrany řek a moří plastovými, zejména jednorázovými odpady
- vývoj a realizace mechanických a chemických recyklací plastových odpadů

## **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 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 korozivzdorných povlácích, 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.

#### **4.3.1 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.

### 4.3.2 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 jíílů a dalších typů anorganických nanočástic;
- 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.

## 4.4 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 maticí vyztuženou uhlíkovými vlákny. Jsou považovány za perspektivní např. pro konstrukci kostních a kloubních náhrad a kostních implantátů. Výsledky materiálového výzkumu budou využitelné ve zdravotnictví především v oborech: neurochirurgie (umělé náhrady a přemostění defektů), traumatologie (poranění mozku a míchy), neurologie (Parkinsonova choroba, roztroušená skleróza), imunologie (poruchy imunity), pediatrie (vrozené vady, perinatální poškození), ortopedie (náhrady chrupavek a kostí), oftalmologie (náhrady rohovky), otolaryngologie, stomatologie (zubní náhrady), plastická chirurgie a dermatologie. V řadě případů se může jednat i o prostředky pro veterinární účely.

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

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

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

#### 4.4.1 Prioritní výzkumná témata

##### **Střednědobý horizont:**

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

#### 4.5 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 kapalné 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, neutrin 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).

#### 4.5.1 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

## 4.6 Výroba plastů

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 všeho druhu, v obalové technice atd. Dnes se vyrábějí plasty se specifickými vlastnostmi podle požadavků nejrůznějších hospodářských oblastí. Spotřeba plastů v Evropě byla v roce 2017 odhadována na 51,2 milionů tun [zdroj: Plastics Europe]. Nové druhy plastických hmot a technický rozvoj otevírají stále nové možnosti využití plastů ve všech oblastech lidské činnosti.

Podle studie ICIS „Supply and Demand Database“ z roku 2018 bude Evropa v roce 2025 dovážet v roce 2025 značná množství polyolefinů – konkrétně 5,2 mil. tun PE a 4,5 mil. tun PP. Ze současného exportního teritoria pro primární plasty se stane výrazně závislá na importu ze zemí Středního Východu a Severní Ameriky. Příčinou je i nízká konkurenceschopnost Evropy z důvodů vyšších cen monomerů jako jsou etylen a propylen a vysoké ceny energií a zaostávání ve využití levnějšího břidlicového plynu na vysokokapacitních jednotkách. Ke zmírnění deficitu by mohla Evropě přispět cirkulární ekonomika plastů, včetně vyššího využití odpadů chemickou recyklací. Ke zvýšení konkurenceschopnosti EU je navrhováno zvýšení objemu finančních prostředků na výzkum a vývoj Horizont 2020 na další období na 150 miliard euro.

### 4.6.1 Multi-modální polymery pro výrobu moderních obalových materiálů.

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 + 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.

#### **4.6.2 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. 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 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. Ne zcela vyřešeným problémem je třídění a recyklovatelnost. Pokud se třídí s bioodpadem a následně kompostují, je rozklad pomalejší než u přírodních bioodpadů a nacházejí se v kompostu mikroplasty. Pokud se přimíchají mezi fosilní plastové odpady, pak znehodnocují jejich recyklaci.

Ve zprávě EK Evropskému parlamentu a Radě ze dne 16. 1. 2018 sdělila poznatky s používáním oxo-rozložitelných plastů ve vazbě na životní prostředí a problémům s recyklací. Většina oxo-rozložitelných plastů je vyráběna z PE a PP s přídavkem chemikálií, které působením UV záření a tepla urychlují rozklad na malé části – mikroplasty a potenciálně toxické zbytky z přidávaných látek. Takto upravené polymery nejsou vhodné ke kompostování, ani pro klasickou recyklaci. Ještě do konce funkčního období Evroparlamentu, tj. do konce dubna by mělo být odhlasován úplný zákaz používání oxo-plastů v EU.

Evropská unie začala již v roce 2018 proces na omezení používání záměrně přidávaných mikroplastů, přičemž přípravou podkladů pověřila Evropskou chemickou agenturu. V Evropě pronikne do životního prostředí každoročně 40 tis. tun mikroplastů. Agentura navrhuje ke schválení zákaz devadesáti procent mikroplastů, které se záměrně přidávají do kosmetických výrobků, hnojiv, čistících prostředků, barev, laků a fosilních paliv. Jednou z možností náhrad mikročastic jsou drcené mandlové ořechy, kokosová skořápka nebo olivová semínka.

#### **4.6.3 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. Jako příklad lze uvést novou evropskou stavební normu ČSN EN 13501-1. 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 určité 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 a
- 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 hořčnatého 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 zapracovat 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. Uplatnění nacházejí antimikrobiální plasty s povrchovou úpravou aktivními alkylamoniumchloridovými koncovými skupinami bez nutnosti nátěrů lékařských přístrojů. Lze aplikovat na polyuretany, polyacetyly, polykarbonáty. Ve sféře implantátů je patrný nástup inženýrských plastů, typu PEEK a technologie výroby pomocí 3D tisku, včetně zubních náhrad.

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 spotřebovává 1,8 mil. tun EPS a 0,5 mil. tun XPS, Česká republika 60 tis. tun EPS a 4 tis. tun XPS.

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 – používaly k retardaci bromovaná zhášedla typu hexabromcyklododekan (HBCDD) v koncentraci do 0,7 % a produkt nazývali jako samozhášivý, tj. po odstranění plamene dojde k ukončení hoření. Takovýto materiál je resistantní 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 zhášedel.

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.

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.

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 1.7.2015 přešel výrobce suroviny – Synthos Kralupy na výrobu s novým retardérem hoření. Od 1. 10. 2015 nejsou členy Sdružení EPS ČR dodávány na trh EPS desky s HBCDD, nýbrž pouze s novým retardérem hoření Polymeric FR. EPS bez HBCDD je 100 % recyklovatelný plast.

Starší EPS a XPS s HBCDD nelze recyklovat ani skládkovat, musí se likvidovat energeticky na 31 vyjmenovaných zařízeních dle pokynů MŽP. Výrobci suroviny a zpracovatelé EPS přispívají finančně na výstavbu zkušební jednotky PolyStyrenLoop, technologii CreaSolve v Nizozemí. Tato jednotka by měla přispět k využití odpadů z pěnového polystyrenu s retardérem hoření HBCDD z izolací budov po jejich rekonstrukcích a demolicích fyzikálně-chemickým postupem.

Po najetí zařízení PolyStyrenLoop (začátkem příštího roku) a vyhodnocení průběhu procesu se rozšíří výstavba v dalších zemích, v první etapě se plánuje i v ČR. Vzhledem k tomu, že zateplování aplikací EPS s HBCDD ve větším rozsahu začalo až po roce 1990 a životnost těchto izolantů je min. 50 let, lze očekávat větší množství EPS s HBCDD z demolic až po roce 2040.

#### **4.6.4 Plasty pro dopravní prostředky**

Celosvětové úsilí o snižování emisí CO<sub>2</sub> se dotýká i dopravních prostředků. Tento sektor se totiž podílí 23 % na světových emisích oxidu uhličitého. V rámci jednotlivých kontinentů jsou předepisovány přísnější limity pro spotřebu pohonných hmot a tedy i exhalace CO<sub>2</sub>. Pro EU by se měly snížit emise do roku 2030 o 37,5 %, v případě užitkových vozů o 31,0 %, vše proti základu z roku 2021. U nákladních automobilů a autobusů to bude do roku 2025 snížení o 15 %, do roku 2030 o 30 % proti referenčnímu období 1.7.2019 až 30.6.2020.

To se projeví ve vývoji nových, lehčích konstrukcí exteriérů a interiérů dopravních prostředků s využitím plastů. Využívají se nové aplikace komoditních plastů (PP) s přidávkou ztužujících vláken nebo anorganických plnidel, dále aplikace inženýrských a speciálních plastů. Využití nabízení 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. Podle studie Global Market Insights z ledna 2018 má vzrůst obrát spotřebovaných plastů v automobilech z 22 miliard USD v roce 2016 na 50 miliard USD v roce 2024, v tonáži na 20 mil. tun s pořadím ve spotřebě: PP, PUR, PE, ABS a další inženýrské plasty. Podle Ceresany má růst světová spotřeba elastomerů aplikovaných v automobilech do roku 2030 průměrným ročním tempem 3,1 %.

Kompozitní plasty mají většinou lepší užitné vlastnosti než materiály, které nahrazují – např. korozní chování. Tradiční průmysl kompozitů byl založen na impregnaci výztužných vláken nebo tkanin epoxidovými pryskyřicemi v přítomnosti tužidel a následném vytvrzení teplem do konečného tvaru. V současnosti se kompozitech uplatňují polyolefiny, polyamidy, polyfenylsulfidy, polyeterimidy, polybutylentereftaláty, polyeterterketony,



polyeterketonketony. Rozvinula se strojní základna pro výrobu kompozitních dílů. Např. firma KraussMaffei dodává pět různých systémů, včetně pultruze. Světová spotřeba kompozitů s uhlíkovými vlákny má vrst v období 2017 až 2022 o 73 %.

Plastové kompozity vyztužené vlákny jsou o 60 % lehčí než ocel, ale šestkrát pevnější. I hliníkové díly jsou o 20 % těžší než plastové kompozity. Výrobce letadel Boeing aplikoval plastové kompozity s uhlíkovými vlákny na svůj typ 787 Dreamliner a nahradil 50 % kovových dílů. Tím se snížila hmotnost letadla o 10 000 kg a spotřeba kerozinu a následně i exhalace oxidu uhličitého. Obdobně firma Airbus zvýšila u typu A380 podíl plastů, čímž ušetřila spotřebu kerozinu o 15 %. Firma má zvládnutou i recyklaci dosloužilých dílů na plniva a příslušný polymer.

V moderních autech se plasty podílejí až čtvrtinou na jejich hmotnosti – v roce 1970 to bylo pouze 5 %. Dopravní prostředky, včetně nejnovějších elektroautomobilů spotřebovávají a dále budou spotřebovávat více a více tzv. inženýrských a superinženýrských plastů s vysokou tepelnou odolností až 260 stupňů pro samostatné plasty a 315 stupňů pro plněné karbonovými vlákny. Tato skupina plastů bude představovat nejdynamičtěji se rozvíjející se segment.

Vedoucí pozici ve výrobě elektromobilů zaujala Čína, která vloni vyrobila 1,25 mil. elektromobilů, následována USA s produkcí 1 milionu kusů. Čína investovala v posledním období 58,8 miliard USD na výzkum a vývoj palivových článků, kde se uplatňují speciální modifikace plast. Evropští výrobci elektromobilů se budou muset spoléhat na čínské baterie, které se budou vyrábět v německém Erfurtu. Evropské automobilky musí investovat miliardy, aby zachytily tento trend. V ČR se to týká 1 100 spolupracujících firem, z nichž pouze 80 působí přímo v automobilovém průmyslu. V roce 2025 má dosáhnout produkce elektromobilů v Německu 30 % podíl. V roce 2030 by mělo být celosvětově prodáno 30 mil. elektromobilů, v roce 2040 by mělo jezdit 560 mil. těchto aut a díky tomu by spotřeba ropy měla poklesnout o 7 %.

#### **4.6.5 Plasty pro obnovitelné zdroje energie**

Pokud má být EU do roku 2050 klimaticky neutrální, pak musí do roku 2030 snížit emise oxidu uhličitého o 40-55 % proti úrovni roku 1990. K dosažení těchto cílů musí zvýšit podíl výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů a energetickou účinnost. Do výzkumu a vývoje zaměřených do klimatické změny má směřovat 35 % rozpočtu programu Horizon.

Do roku 2030 se má snížit v EU spotřeba energií o 32,5 %. Na podporu energetické účinnosti obytných budov poskytne Evropská investiční banka, v rámci projektu ELENA 97 milionů euro. Zde se uplatní zejména izolační plasty typu EPS, XPS a PUR.

V Evropě byly v roce 2018 realizovány zdroje elektřiny ve výši 20 700 MW, z toho 93 % tvořily obnovitelné zdroje /49 % z větrníků, 39 % z fotovoltaiky a 5 % z biomasy. Podíl výroby větrné energie v ČR je nízký – pouze 1%. V zařízeních se uplatňují zejména tzv. strukturní plastové pěny pro rotory, dále kompozitní plasty a odolné polymery pro povrchovou úpravu rotorů. V oblasti fotovoltaiky patří Evropa mezi lídry, ve výrobě panelů však dominuje Čína. Za zvýšením jejich efektivity a snížením ceny jsou speciální plasty typu polyetylenchlor-trifluoretylen, který se aplikuje jako krycí folie, když má nízkou propustnost vodních par a vynikající odolnost proti UV záření, vysoký stupeň přenosu viditelného světla a životnost 25 let.

#### 4.6.6 Polymerní přísady

Plasty ve formě samotného polymeru se prakticky nepoužívají. Jejich vlastnosti se modifikují přidávkou aditiv. Takovýchto typů je na trhu více než 100. Např. v databázi [www.omnexus.specialchem.com](http://www.omnexus.specialchem.com) lze studovat technické listy 117 tis. termoplastů, 19 tis. termoplastických elastomerů, 3,7 tis. termosetů a 3,6 tis. elastomerů. Experti odhadují celosvětovou spotřebu aditiv pro plasty ve výši 21 až 33 mil. tun za rok. Databáze pro recyklované plastové odpady na regranulát zatím k dispozici není.

Na stejném webu jsou uvedeny informace o 47 tis. přísad /aditiv/ pro zušlechťování panenských plastů. Mezi nimi dominuje 24,9 tis. různých plniv, následuje 14,0 tis. pigmentů a masterbatchí, dále přísady pro obalové aplikace, aditiva na bio-bázi, antistatika, změkčovač, retardéry hoření, stabilizátory. Inovace v této oblasti kontinuálně pokračují i ve vazbě na nové předpisy. Kromě výrobců panenských plastů se na jejich modifikaci podílejí kompaundeři. Podle studie AMI dominuje v Evropě v počtu kompaunderů Itálie se 170 společnostmi, následovaná Německem se 153 společnostmi. ČR se 17 společnostmi zařadila na 9. místo.

#### 4.6.7 Plasty pro 3D tisk

Většina plastů se zpracovává na finální výrobky zpracovatelskými technologiemi typu vytlačování, vstřikování, vyfukování, vypěňování apod. Od konce osmdesátých let minulého století se začala prosazovat revoluční éra plastových dílů vyrobených 3D tiskem, resp. aditivačními technologiemi. Princip spočívá v nanášení polymerních vrstev pomocí speciální tiskárny dle počítačem naprogramovaného trojrozměrného výrobku. Globální výdaje na takovéto tiskárny vzrostou z 12 miliard USD v roce 2016 na 25 miliard USD v roce 2020.

V roce 2016 dodávalo 62 firem speciální produkty pro tyto technologie. Jednalo se o kapalné pryskyřice, polymery ve formě prášků, strun nebo folií. Z polymerů se uplatňují komoditní, inženýrské i superinženýrské typy, včetně vyztužených, nebo vzájemných blendů, ale i recyklátů.

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. Na aplikované polymery jsou kladeny požadavky z hlediska materiálové, chemické, tepelné stability a v případě lékařství i na biokompatibilitu.

Dnes je již komerčně dostupných sedm typů 3D tiskáren od založených na fotopolymeraci po laminování. Problém „pomalosti“ 3D tisku se postupně řeší inovacemi. Např. výzkumníci z Michigenské university vyvinili proces 100-krát rychlejší než se dosahuje u standardních 3D tiskáren.

#### 4.6.8 Význam

Plastikářský průmysl v České republice prožívá v posledních letech nebývalý rozvoj a jeho postavení v rámci domácího zpracovatelského průmyslu neustále posiluje. Význam odvětví ještě vzrostl díky těsné vazbě na dynamicky se rozvíjející automobilový, elektrotechnický průmysl a stavebnictví. 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.

Podle posledních údajů PlasticsEurope dosáhla spotřeba plastů v ČR v roce 2017 1,3 mil. tun, což představuje spotřebu 123 kg plastů na jednoho obyvatele. Tato hodnota je nad průměrem EU.

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) budou postupně odstavovány (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.

Samostatnou kapitolou je využívání odpadních plastů v ČR. Vykazujeme 436 tis. tun odpadních plastů s tím, že 40 % evidovaných plastových odpadů sládkujeme. Přitom 9 zemí EU již dnes sládkuje max. 1-3 % odpadních plastů. Při modelu výskytu odpadních plastů z celkově zpracovaných v EU bychom měli vykazovat přes 650 tis. odpadních. Ročně tak 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 výrobě necelých 1,0 mil. tun a spotřebě kolem 1,3 mil. tun plastů je obchodní bilance pasivní.

Strategie EK pro cirkulární ekonomiku plastů z ledna 2018 přikládá velký význam recyklacím. 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 vytrít. Čím čistější je odpad na vstupu do procesu, tím kvalitnější bude s největší pravděpodobností recyklát na výstupu, a tím snadnější bude jeho další využití. Při vysokém počtu typů plastů a jejich modifikací je technicky obtížné a ekonomicky neúnosné soustředit se pouze na mechanické recyklace.

Zajímavý údaj o počtu patentů v oblasti recyklací produktů publikoval v roce 2018 Pavel Popovic z agentury ICIS. V roce 2013 byly uděleny následující počty patentů ve vztahu k recyklacím a sekundárním surovinám. Dominuje Čína s 2512 patenty, následuje Jižní Korea s 56 patenty, Japonsko s 551 a USA se 184 patenty. Z Evropy se na prvním místě umístilo Německo s 93, následované Francií s 54, v ČR bylo uděleno 7 patentů. Takže omezení a následný úplný zákaz dovozu odpadních surovin do Číny má své racionální jádro. Budou si řešit přednostně vlastní odpady dle svých postupů.

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

- materiálová recyklace
- surovinová /chemická/ 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. Studie Deloitte z roku 2018 zdůrazňuje, že cíle EU pro recyklace v roce 2025 jsou nesplnitelné bez využití chemických postupů.

Postupy surovinové /chemické/ 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. Tímto způsobem využití plastových odpadů se zabývají všechny významné chemické společnosti. Využívají i potenciál výzkumu z laboratoří vědeckých ústavů. Jenom v rešerzi z ledna 2019, zadané Unicre Litvínov Hugo Kittelovi a Františku Vörösovi je uvedeno 82 odkazů na dostupné procesy a jednotky na chemické recyklace odpadních plastů. V ČR jsou v různém provedení čtyři poloprovozní jednotky. Výzkum v Litvínově byl zahájen, potenciál využití výsledků v Chemopetrolu je značný.

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 elektroprůmyslovém odvětví. Spalování s využitím energie je pro takové plasty z hlediska ochrany životního prostředí a hospodárnosti jediným rozumným způsobem využití, i když i chemická recyklace by mohla napomoci k řešení.

I přes přetrvávající silnou poptávku po výrobcích z plastů cítí 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.

#### **4.6.9 Prioritní výzkumná témata**

##### **a) Střednědobý horizont:**

- vývoj výroby moderních obalových materiálů s přihlédnutím k recyklacím po skončení životního cyklu
- 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;
- vývoj chemické recyklace směsných odpadních plastů

##### **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

## 5 Horizontální otázky

Sekce Horizontálních otázek (problémy společné celému plastikářskému průmyslu) je zaměřena na politické, legislativní, sociální a strukturální otázky. Přednostní oblasti odpovídají dvěma tématům: oslovení společenských zájmů spojených s novými produkty a procesy; a simulace důkazů inovace. Toto zahrnuje zhodnocení a zlepšení modelů financování pro inovace stejně jako prostředků na rozvoj příslušných dovedností ke zlepšení lidských možností, které budou podporou těchto inovací.

Přínos pro členy ČTPP a pro rozvoj českého plastikářského průmyslu bude zhruba ve čtyřech hlavních oblastech:

- 1) **Oblast informační** – souhrn informací o stavu technologií a legislativy v ČR a porovnání se stavem v EU ve vztahu k udržitelnosti oboru, informace a podklady o komerčně využitelných technologiích, pro výzkumné subjekty náměty na projekty
- 2) **Oblast finanční (věcná)** – ČTPP vytvoří vhodné prostředí pro realizaci společných projektů mezi jednotlivými členy platformy a vytváření konsorcií, které se mohou v různých programech veřejné podpory ucházet o dotace na výzkum a realizaci svých inovačních záměrů, členové ČTPP tak rozšíří své zkušenosti z řešení společných projektů s veřejnou podporou
- 3) **Oblast lidských zdrojů** – ČTPP bude mapovat záměry jednotlivých členů v oblasti využití nových technologií, zdrojů surovin a nových materiálů a bude spolupracovat se vzdělávacími institucemi při formulaci nových studijních oborů
- 4) **Neformální komunikační kanály** – poslední oblastí je vznik neformálních pracovních skupin založených na osobních kontaktech, zahrnující průřezově různé specializace, tyto vazby jsou klíčové při formulaci a řešení komplexní projektů

Pomocí těchto výstupů bude v České republice rozvíjen plastikářský průmysl, který bude navazovat na stávající výrobní aktivity, a to jak v oblasti zpracování fosilních zdrojů (ropa, zemní plyn), tak v oblasti využití biosložek jako vstupní suroviny pro výrobu plastů a nových materiálů, včetně biopolymerů.

## 6 Závěry

Podpora aplikovaného výzkumu, který by přinesl efekty v relativně kratším výhledu, je důležitá zejména z toho důvodu, že po odeznění globální recese by měly tuzemské firmy nabídnout inovativní produkty s daleko vyšší přidanou hodnotou. Jde o zásadní otázky rozvoje konkurenceschopnosti ČR. Není reálné, že by v dohledné době bylo možno dosáhnout vedoucího postavení v Evropě v řadě oborů, proto je žádoucí koncentrace lidských, materiálových a zejména finančních zdrojů. Ze SWOT analýzy CzechInvestu prezentované na kulatém stole k nanotechnologiím vyplývá, že v ČR registrujeme vzrůstající počet vědeckých ústavů, sdružení a soukromých společností, máme mezinárodně srovnatelnou úroveň základního výzkumu a nadprůměrný vědecký a osobnostní, potenciál českých malých a středních firem.

Na druhé straně byla postrádána existence národního nanotechnologického programu podporujícího aplikační výzkum a komercializaci získaných výsledků. Přetrvává nedostatečná provázanost mezi výzkumem a průmyslovými aplikacemi. V ČR je rovněž nedostatečné finanční zázemí a zkušenosti s tržní realizací větších inovačních projektů. Přes rostoucí zapojení základního výzkumu do mezinárodní spolupráce jsou minimální realizační výstupy do průmyslu ČR. Taktéž se týká i aktuálního stavu bioplastů a bio-aditiv pro plasty. Naprosto nezvládnutý je systém využití odpadních plastů po skončení jejich životnosti.

Komercializace nových materiálů vyžaduje dořešit zásadní problémy standardizace metod pro stanovení míry rizik jejich aplikací a výroby, ale také v ověřování jejich nových vlastností. Navrhujeme realizovat propagační a informační kampaň, zejména v oblasti plastů, nanomateriálů a nanotechnologií. Veřejnost by měla být informována jak o přínosech nových materiálů, tak i o cestách snižování rizik z jejich masového rozvoje. Negativní vztah veřejnosti k novým materiálům a technologiím může být značnou překážkou pro jejich rychlejší implementaci. Rychlejšímu zavádění nových materiálů do komerční praxe by významně přispěla úprava legislativy.

## 6 Seznam použitých zkratk

APC	Advanced Process Control
AV	Akademie věd
CTT	Centrum pro transfer technologií
ČTP	Česká technologická platforma
ČTPP	Česká technologická platforma PLASTY
IAP	Implementační akční plán
MSP	Malý a střední podnik
NACE	Klasifikace ekon. činností dle nařízení evrop. parlamentu a Rady č. ES 1893/2006
NIP	Národní inovační politika
NMR	Nukleární magnetická resonance
NP VaVaI	Národní politika výzkumu, vývoje a inovací
NTP	Národní technologické platformy
OLED	Organic Light Emitting Diode
RVVI	Rada pro výzkum, vývoj a inovace
SVA	Strategická výzkumná agenda
TP	Technologická platforma
VaV	Věda a výzkum
VaVaI	Výzkum, vývoj a inovace
VTP	Vědeckotechnický park