



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



**ČESKÁ TECHNOLOGICKÁ  
PLATFORMA PLASTY**



## **Strategická výzkumná agenda**

# **České technologické platformy PLASTY**

Zpracováno v rámci projektu CZ.01.1.02/0.0/0.0/20\_369/0024004 „Technologická platforma PLASTY IV“, podporovaného v rámci OP PIK, programu Spolupráce – Technologické platformy.

**Aktualizace únor 2023**

## OBSAH

1	Souhrn .....	3
2	Úvod .....	4
3	Využití obnovitelných zdrojů – udržitelnost.....	6
3.1	Úvod .....	6
3.2	Chemický průmysl .....	8
3.3	Plastikářský průmysl .....	10
3.4	Jednorázově používané plasty – nová směrnice v rámci EU (SUPD).....	12
3.5	Bioplasty .....	13
3.6	Obnovitelné suroviny a recyklace .....	21
4	Technologie výroby a využití plastů .....	25
4.1	Úvod .....	25
4.2	Spotřební výrobky (kosmetika, nátěrové hmoty, textil, obaly a další).....	26
4.3	Nanokompozity .....	28
4.4	Materiály pro zdravotnictví .....	29
4.5	Oxo-degradovatelné plasty .....	31
4.6	Plasty se sníženou hořlavostí .....	32
4.7	Plasty pro stavebnictví .....	35
4.8	Plasty pro dopravní prostředky .....	36
4.9	Plasty pro obnovitelné zdroje energie .....	38
4.10	Polymerní přísady .....	39
4.11	Plasty pro 3D tisk .....	41
5	Horizontální otázky .....	42
6	Závěry .....	43
7	Seznam použitých zkratk.....	44

# 1 Souhrn

Strategická výzkumná agenda (SVA) vychází z technologického foresigtu (viz <https://www.tp-plasty.cz/>), který identifikuje a popisuje hlavní globální megatrendy, které budou ovlivňovat vývoj společnosti v dlouhodobém horizontu (za horizont roku 2030), a zaměřuje se na popis vybraných vývojových trendů v hlavních aplikačních sektorech pro uplatnění plastů, 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 roce 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 v současné době 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 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.

## 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 zaměření 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, biomedicínalní 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 2009–2021 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 peletky, jejich přeprava ke zpracování, zpracovatele a uživatele a omezení úniku plastových částí do kanalizací, řek a následně do oceánů (Operation Clean Sweep). 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.

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 útvarů, přípravě, charakterizaci a využití nových polymerních systémů s řízenou strukturou a vlastnostmi apod. Výsledkem jsou nové polymery pro buněčné terapie a regenerace tkání (tkáňové inženýrství). Bioanalogické systémy – aplikace molekulárního a genového inženýrství. Mezi další inovační trendy lze heslovitě zařadit:

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

## 3 Využití obnovitelných zdrojů – udržitelnost

### 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.

Navzdory rostoucí nedůvěře jsou plasty pro moderní život zásadní. Plasty umožnily vývoj počítačů, mobilních telefonů a většiny pokroků moderní medicíny zachraňujících životy. Plasty, které jsou lehké a vhodné pro izolaci, pomáhají šetřit fosilní paliva používaná při vytápění a v dopravě. Snad nejdůležitější je, že levné plasty zvýšily životní úroveň a umožnily dostupnost nejrůznějších výrobků. Nahrazením přírodních materiálů plastem je mnoho našich věcí levnějších, lehčích, bezpečnějších a pevnějších.

Protože je jasné, že plasty mají v našich životech cenné místo, řada vědců se pokouší udělat plasty bezpečnějšími a udržitelnějšími. Někteří inovátoři vyvíjejí bioplasty, které jsou vyrobeny z rostlinných plodin namísto fosilních paliv, aby vytvořili látky, které jsou šetrnější k životnímu prostředí než běžné plasty. Jiní pracují na výrobě plastů, které jsou skutečně úplně biologicky rozložitelné. Někteří inovátoři hledají způsoby, jak zefektivnit recyklaci, a dokonce doufají, že zdokonalí proces, který přemění plasty zpět na fosilní paliva, ze kterých byly vyrobeny. Všichni tito inovátoři uznávají, že plasty nejsou dokonalé, ale že jsou důležitou a nezbytnou součástí naší budoucnosti.

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.

Plasty jsou životně důležité pro splnění cílů OSN v oblasti udržitelného rozvoje. Významný růst jejich spotřeby v každodenním životě je, bohužel, spojen s všudypřítomným plastovým odpadem. Jeho opětovným použitím v rámci cirkulární ekonomiky s důležitou spoluprací výrobců, zpracovatelů, uživatelů a společnostmi zabývajícími se využitím odpadů je globální výzvou.

Ve dnech 31.10.-12.11.2021 proběhla v Glasgowě 26. konference smluvních stran OSN o změně klimatu /COP 26/. Diskutovalo se o plnění závazného dokumentu z Pařížské dohody o klimatu, zejména o mechanismu trhu s uhlíkem a financování projektů, které mají zajistit do roku 2050 uhlíkovou neutralitu a nepřekročení průměrné teploty o více než 2 stupně Celsia.

Na tiskové konferenci dne 1.9.2021 ve Washingtonu při akci časopisu Wall Street Journal: „Getting There: a Global agreement to End Plastic Waste“ požádali prezidenti společností Dow – Jim Fittering a Bob Patel z LyondellBasell vedení OSN, aby při nadcházejícím plenárním zasedání vyzvali zúčastněné státy k vypracování a přijetí globální dohody o odstraňování plastového odpadu z životního prostředí.

Měla by mít stejnou závaznost jako Pařížská dohoda o klimatu. Oba mluvili i jménem Americké rady pro chemii (ACC/ a Mezinárodní rady chemických asociací /ICCA/, kterým předsedají.

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

Uznávaný blogger na americkém portálu [www.icis.com](http://www.icis.com) John Richardson připomíná, že dohoda by měla přihlídnout ke skutečnosti, že 3 miliardy obyvatel z rozvojových zemí nemá přístup k jakémukoliv systému sběru plastových odpadů. Smlouva by se měla zaměřit na:

- Právně závazné prvky a podmínky pro celosvětové řešení oběhového hospodářství
- Řešení celého životního cyklu plastů od jejich výroby, přes design výrobku, po recyklaci
- Harmonizované normy a standardy
- Zapojení pracovníků v procesech od sběru, třídění a recyklaci.

Studie nova-Institutu uvádí, že spotřeba plastů do roku 2050 bude růst na 1,2 miliardy tun, přičemž hlavním zdrojem pro primární plasty se stanou plastové odpady v množství 750 mil. tun, ze kterých se mechanickými, a zejména chemickými procesy recyklací vyrobí nové plasty bez nároku na zvýšení stávající spotřeby ropy.

Z posledních dostupných údajů z asociace Plastics Europe vyplývá, že v roce 2020 bylo v Evropě spotřebováno 49,1 mil. tun plastů, což je o 3,3 % méně než v roce 2019. Na této spotřebě se 40,5 % podílely obalové aplikace. Z plastových typů dominovaly celkové spotřebě polyetyleny s 15% podílem, následují polypropyleny s 9,7 %, PVC s 4,7 %, PET s 4,1 %, PUR s 3,7 % a polystyreny s 3,0 %.

Proti roku 2019 se zvýšil podíl plastových odpadů na spotřebě o 1,7 % na 29,5 milionů tun. Z tohoto množství bylo 42 % vytríděno pro recyklaci, 34,6 % bylo využito energeticky a stále vysoké procento, konkrétně 23,4 % plastových odpadů bylo uloženo na skládky.

Celosvětově je situace s odpadními plasty ještě horší, když se recykluje pouze 9 % odpadních plastů, 12 % se spálí a 79 % končí na skládkách nebo volně v přírodě. Nutno konstatovat, že systém cirkulární ekonomiky plastů je stále málo efektivní.

Hlavním úkolem pro budoucnost lidstva je účinná ochrana klimatu, ke které musí významně přispět oběhová ekonomika plastů. Podle prvních propočtů bylo v roce 2021 celosvětově vypuštěno o 4,5 % více skleníkových plynů než v roce 2020. Emise z odpadového sektoru poklesly o 4,3 % na 8 mil. tun ekvivalentu CO<sub>2</sub>.

Rezoluce UNEA 5.2 představuje historický okamžik, který pomůže k vytvoření právně závazných, jednoznačně definovaných podmínek ke snížení znečišťování planety odpadními plasty v celém jejich životním cyklu. Přihlédne i aplikacím aditiv v Rámci Stockholmské úmluvy o chemikáliích a evropskému chemickému zákonu REACH.

Drtivá většina odborných asociací a ekologických iniciativ tuto aktivitu podpořila, dle jejich názoru by měla přispět k vytvoření rovných podmínek a nastolit globálně optimální řešení oběhové ekonomiky plastů.

### 3.2 Chemický průmysl

Chemický průmysl je z hlediska obrátu třetím nejdůležitějším průmyslovým odvětvím v globální, ale i v evropské ekonomice. Evropa dominovala světu ještě v roce 2003 v tržbách z chemického průmyslu s 34,7 % podílem, následovalo uskupení NAFTA s 25,9% podílem. Čína zaujímala páté místo s podílem 8,7 % před Japonskem a ostatními asijskými zeměmi. Posledně zveřejněná čísla z evropské chemické asociace CEFIC za rok 2020 ukazují převzetí dominance Čínou, druhé místo pro Evropu a třetí pro USA. Petrochemie, vč. výroby plastů se podílí 40 % na tržbách. Viz Obrázek 1. V roce 2030 se pro EU prognózuje podíl 12 %, Čína zvýší svoji dominanci na 44 %.

**Obrázek 1 Celosvětový prodej chemikálií v r. 2020**

World chemical sales (2020, €3,471 billion)



Chemický průmysl se podílí 15 % na průmyslových emisích skleníkových plynů. Výroba primárních plastů spotřebovává 4-5 % spotřeby ropy. Evropský chemický průmysl zvýšil v období 1990–2019 hodnotu produkce o 47 % při poklesu emisí skleníkových plynů o 54 %. Z hlediska základních surovin pro chemickou výrobu zaznamenal chemický průmysl několik etap, počínaje využíváním biomasy, uhlí, ropy, zemního a břidlicového typu a v současné nastupuje etapa využití plastových odpadů chemickou recyklací.

Evropa se postupně stává nekonkurenceschopná petrochemickým výrobnám v USA a v některých asijských státech z důvodu až násobně vyšších cen energií a plynu – viz další obrázek o regionálních nákladech na výrobu etylenu pyrolýzou z ropy. Etylen slouží nejenom k výrobě tří základních typů polyetylenů jako nejpoužívanější ze všech plastů, ale i k výrobě vinylchloridu, monomeru, ze kterého se vyrábí třetí nejpoužívanější plast – PVC-polyvinylchlorid a slouží i k výrobě etylbenzenu, ze kterého se vyrábí styren monomer pro výrobu polystyrenových plastů /GPPS, HPS, EPS, ABS/ a konečně i k výrobě etylenglykolu jako komonomeru pro výrobu PET – polyethylentereftalátu. Světová produkce etylenu se blíží 200 mil. tun.

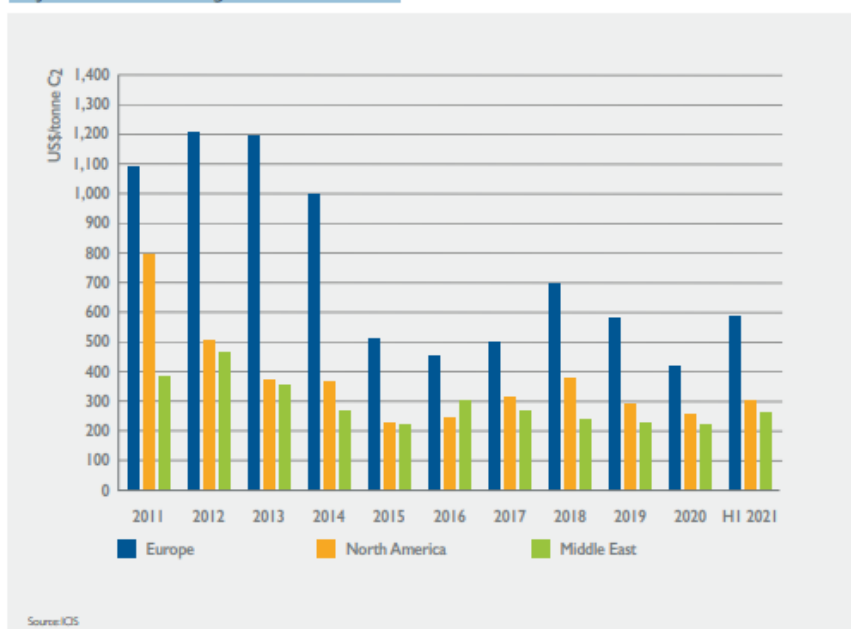


Ještě v roce 2008 si nikdo nemyslel, že americká břidlicová revoluce může zásadně ovlivnit petrochemický průmysl. Postupným zveřejňováním informací o investičních záměrech v USA v těžbě a využití produktů na výrobu etylenu a propylenu se dospělo k názoru, že se nejedná pouze o technologickou, nýbrž i geopolitickou revoluci. Těžba hydraulickým štěpením, tzv. frakováním je založena na vytváření puklin v podzemní vrstvě slabě zpevněných sedimentárních břidlic pomocí stlačené tekuté směsi vody, chemikálií a písku. Metoda je známá od roku 1947, průmyslově byla aplikována o půl století později v Texasu. Potýká se se značnými výhradami ekologů.

Břidlicová revoluce v USA zlepšila postavení tamního petrochemického a plastikářského průmyslu, když zlevnila produkci nejenom monomerů etylenu a propylenu, ale i z nich vyrobených plastů. USA se staly nezávislými na importu ropy a plynu. Těžba břidlicového plynu je konkurenceschopná při ceně ropy pod 30 USD/barel. Porovnání nákladů na výrobu ethylenu viz Obrázek 2.

**Obrázek 2 Porovnání nákladů na výrobu ethylenu**

Ethylene cash cost of regional steam crackers



Již v listopadu 2012 zpracovala Mezinárodní energetická agentura 150stránkovou studii „Golden Rules for Golden Age of Gas“. V lednu 2013 zaslal CEFIC na Evropskou komisi žádost o podporu strategie těžby břidlicového plynu v Evropě. Žádost podpořila stručnější studii o příznivých efektech břidlicového plynu jako levnějšího zdroje pro petrochemii, plasty a hnojiva a možnost snížení emisí CO<sub>2</sub>. Bohužel bez odezvy.

Prezident největší chemické společnosti BASF p. Bock vystoupil v listopadu 2013 na tiskové v Londýně s požadavkem na povolení průzkumu a těžby břidlicového plynu v Evropě, která je z ekologických důvodů nadále zakázána. Osobním dopisem požádal kancléřku Merklovou o povolení průzkumných vrtů a následné trvalé těžby a sdělil, že jinak bude nucen rozvíjet chemický průmysl v Asii. S obdobným požadavkem na vedení EU se obrátili viceprezident společnosti Shell pan van't Hoff a prezident INEOS p. Ratcliff. K povolení těžby břidlicového plynu z EK nedošlo. V červenci 2018 podepsal nový prezident BASF dohodu o výstavbě obřího chemického komplexu v čínské provincii Kuang-tun. Společnost INEOS se stala prvním dovozcem břidlicového plynu z USA pro své závody ve Skotsku a v Norsku.

Napadení Ukrajiny Ruskem a odvetná opatření proti Rusku ukazují, že Evropa není dostatečně připravena na eventuální odpojení od dodávek ropy a zejména zemního plynu z Ruska. Mezinárodní energetická agentura IEA navrhla pro Evropu desetibodový plán na snížení závislosti EU na ruském plynu, jehož podíl v roce 2021 činil 40 % z celkové spotřeby. Doporučuje diversifikovat dodávky LNG z neruských zdrojů.

Dovoz břidlicového plynu z USA pro energetické účely není cenově příznivý /vliv přepravy/. Pro ev. využití v petrochemickém průmyslu jsou předností nižší náklady na výrobu monomerů. Pro oba účely chybí infrastruktura pro příjem tankerů, skladování a distribuci. V Německu plánují vybudovat pro tyto účely dva terminály, což si vyžádá čas, který jsme promarnili.

### 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 367 mil. tun. Do roku 2050 se očekává přes 700 mil. tun, podle Mac Arthur Foundation dokonce 1,1 mil. tun. Vedoucí pozici se 34% podílem udržela Čína, když podíl Evropy byl pouze 15 % (ještě v roce 2000 se Evropa podílela 30 %).

Nejpoužívanější, tzv. komoditní plasty, tj. polyetylen (PE), polypropylen (PP), polyvinylchlorid (PVC), polystyreny (PS, EPS) a polyethylentereftalát (PET) se podílejí z 85 % na světové spotřebě plastů. 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 poklesla na 49,1 mil. tun v roce 2020, tj. o 5,2 % proti roku 2019. Asociace Plastics Europe očekává za rok 2021 růst o 8,5 %, 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 (Zdroj: Plastics Europe 2021):

- Obaly – 40,5%
- Stavebnictví – 20,4%
- Dopravní prostředky – 8,8 %
- Elektronika – 6,2%
- Domácí spotřebiče – 4,3%
- Zemědělství – 3,2%

Podíl odpadních plastů v EU pohyboval okolo 53 % z ročně zpracovaného množství. Konkrétně se v roce 2020 jednalo o 29,5 mil. tun odpadních plastů, z toho 35 % se využilo energeticky, 29 % se vytřídilo pro recyklaci, 20 % skončilo na skládkách a 16 % skončilo mimo EU. Významní výrobci primárních evropských plastů oznámili významné investice do technologií chemické recyklace, které mají zvýšit z 2,6 miliardy eur v roce 2025 na 7,2 miliardy eur v roce 2030.

Zpráva OECD z února 2022 nazvaná Global Plastics Outlook konstatuje, že znečištění plasty trvale roste, protože odpadové hospodářství a recyklace zaostávají:

- Celosvětově se roční produkce plastů zdvojnásobila a zvýšila z 234 milionů tun (Mt) v roce 2000 na 367 Mt v roce 2020. Plastový odpad se více než zdvojnásobil, ze 156 Mt v roce 2000 na 353 Mt v roce 2019. Po zohlednění ztrát během recyklace, pouze 9 % plastového odpadu bylo nakonec recyklováno, zatímco 19 % bylo spáleno a téměř 50 % putovalo na hygienické skládky. Zbývajících 22 % bylo zneškodněno na nekontrolovaných skládkách, spáleno v otevřených jámách nebo uniklo do životního prostředí.
- Špatně nakládaný plastový odpad je hlavním zdrojem úniku makroplastů. Jen v roce 2019 uniklo do životního prostředí 22 milionů tun plastových materiálů. Makroplasty tvoří 88 % úniků plastů, zejména v důsledku nedostatečného sběru a likvidace. Mikroplasty, polymery s průměrem menším než 5 mm, tvoří zbývajících 12 %, pocházející z řady zdrojů, jako je oděr pneumatik, opotřebení brzd nebo praní textilu. Zdokumentovaná přítomnost těchto malých částic ve sladkovodním a suchozemském prostředí, stejně jako v několika potravinových a nápojových tocích, naznačuje, že mikroplasty významně přispívají k vystavení ekosystémů a lidí uniklým plastům a souvisejícím rizikům.
- Ve vodním prostředí se již nahromadily značné zásoby plastů, 109 milionů tun plastů se nahromadilo v řekách a 30 milionů tun v oceánu. Jen v roce 2019 uniklo do řek, jezer a oceánů 6,1 milionu tun plastového odpadu. Hromadění plastů v řekách znamená, že úniky do oceánu budou pokračovat po desetiletí, i když se výrazně sníží špatně nakládaný plastový odpad. Kromě toho je čištění těchto plastů stále obtížnější a nákladnější, protože se plasty rozpadají na stále menší částice.
- Uhlíková stopa životního cyklu plastů je významná. Plasty mají významnou uhlíkovou stopu a během svého životního cyklu přispívají 3,4 % celosvětových emisí skleníkových plynů. V roce 2019 plasty vyprodukovaly 1,8 miliardy tun emisí skleníkových plynů, přičemž 90 % pochází z jejich výroby a přeměny z fosilních paliv. Uzavření smyček materiálu by mohlo tuto stopu podstatně snížit.

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.

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

I když Směrnice (EU 2019/904) o snižování dopadu některých plastových výrobků na životní prostředí, známější jako Směrnice o plastech na jedno použití neboli SUPD, byla schválena v červnu 2019 a přišla v platnost dne 3. července 2021, ještě ne všechny členské státy EU směrnici implementovaly.

Nelze je vinit pouze z toho, protože ze strany EU došlo ke značnému zpoždění v poskytování potřebných dokumentů. Výsledkem je velmi neharmonizovaný stav provádění v celé EU, což vede ke zmatku mezi spotřebiteli, tvůrci politik a v rámci odvětví. Odchylná vnitrostátní legislativní opatření navíc ohrožují vnitřní trh.

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

- Vatové tyčinky, kromě těch pro lékařské použití
- Příbory (vidličky, nože, lžice, hůlky)
- Talíře
- Brčka, s výjimkou brčka pro lékařské použití
- Míchadla na nápoje
- Balónové tyče
- Expandované polystyrenové (EPS) nádoby na potraviny, plastové nádoby na nápoje a kelímky

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

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

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

Zejména označování kelímků mělo za následek negativní odezvu v obalovém průmyslu. Některé z hlavních stížností jsou, že kelímky by nebyly pod nejvíce zaneřádnými předměty na plážích a že štítek nedává žádné doporučení o možnostech likvidace nebo recyklace. Kritiku podporuje i EUBP, protože

etikety nerozlišují mezi konvenčními a biodegradabilními/kompostovatelnými plasty, ani nedávají doporučení pro jejich likvidaci, tedy organickou recyklaci.

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

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

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

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

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

## **3.5 Bioplasty**

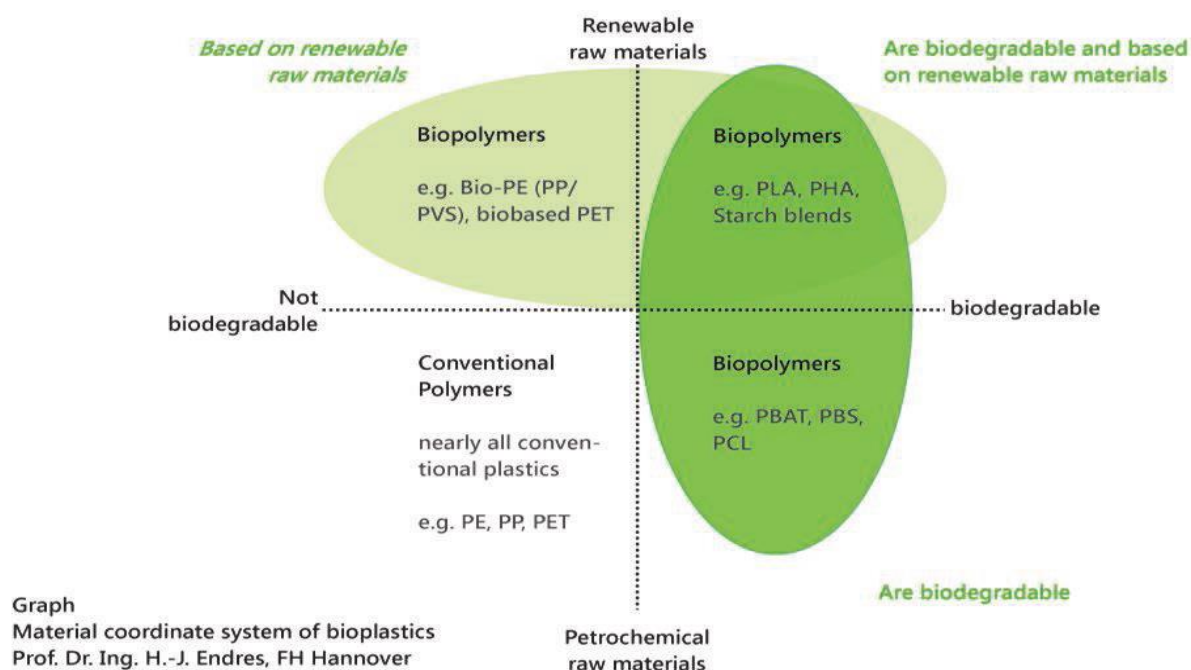
Výraz bioplasty zahrnuje celou rodinu materiálů, které jsou buď založeny na biomateriálech, nebo jsou biodegradovatelné, nebo obojí.

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

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

Organizace European Bioplastics Association ([en.european-bioplastics.org](http://en.european-bioplastics.org)) vypracovala pro ilustraci jednoduchý dvouosý model, který zahrnuje všechny typy plastů a jejich možné kombinace. Viz Obrázek 3. Plasty jsou zde rozděleny do 4 charakteristických skupin. Horizontální osa znázorňuje biodegradovatelnost plastů, přičemž vertikální osa ukazuje, zda je materiál odvozen z petrochemických surovin, nebo z obnovitelných zdrojů.

**Obrázek 3 Klasifikace plastů podle European Bioplastics**



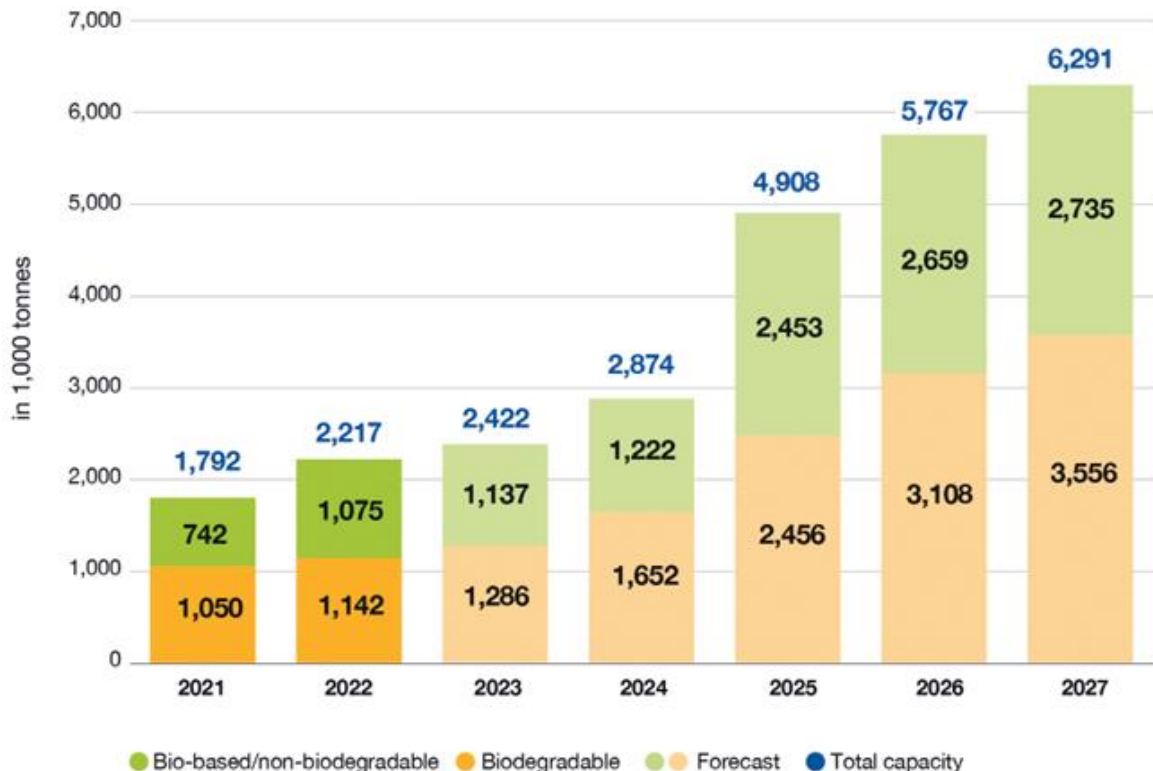
Níže je uvedena charakteristika každé skupiny:

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

### Výroba bioplastů a odhady dalšího vývoje

Bioplasty v současné době stále představují méně než jedno procento z více než 367 milionů tun plastů vyrobených ročně (World plastics production 2020, Plastics Europe, 2021). Na rozdíl od mírného poklesu celkové celosvětové produkce plastů však trh s bioplasty neustále pokračuje v růstu. Tento vývoj je poháněn rostoucí poptávkou v kombinaci se vznikem sofistikovanějších aplikací a produktů. Globální kapacita výroby bioplastů se má výrazně zvýšit z přibližně 2,2 milionu tun v roce 2022 na přibližně 6,3 milionu tun v roce 2027. Podíl bioplastů na celosvětové produkci plastů tak překračuje poprvé dvě procenta. Globální výrobní kapacity bioplastů viz Obrázek 4.

Obrázek 4 Globální výrobní kapacity bioplastů 2021-2027



Produkce kyseliny polymléčné (PLA) bude také nadále růst díky dalším investicím do výrobních závodů PLA v Asii, USA a Evropě. Zvýšily se i výrobní kapacity polyolefinů na bio bázi, jako je PE (polyethylen) a PP (polypropylen).

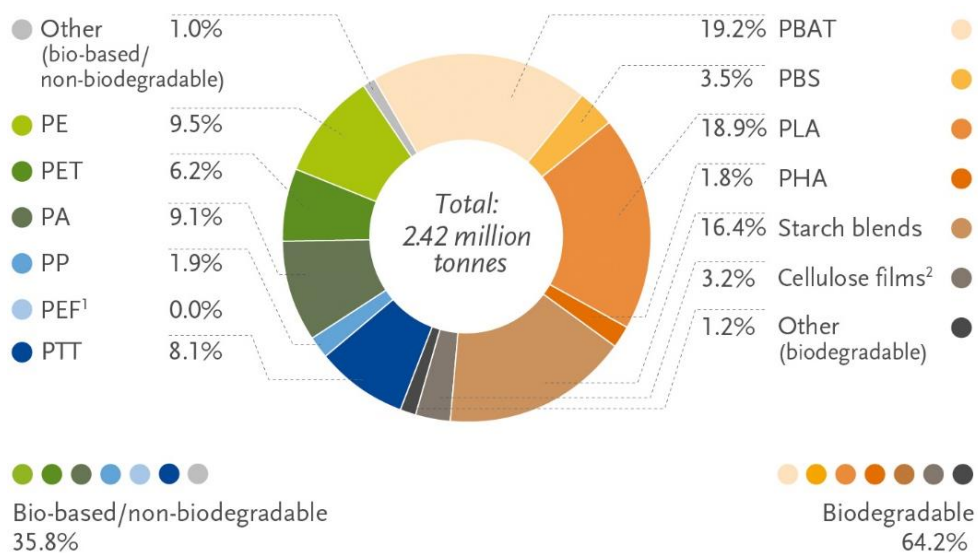
V současné době biodegradovatelné plasty dohromady, včetně PLA, PHA, škrobových směsí a dalších, představují více než 64 % (přes 1,5 milionu tun) celosvětových výrobních kapacit bioplastů. Očekává se, že výroba biodegradabilních plastů se v roce 2026 zvýší na téměř 5,3 milionu v důsledku silného rozvoje polymerů, jako je PBAT (polybutylen adipo-tereftalát), ale také PBS (polybutylen sukcinát) a PA (polyamidy), jakož i stálý růst polymléčné kyseliny (PLA).

Biologické, biologicky nerozložitelné plasty dohromady tvoří asi 36 % (více než 866 tisíc tun) celosvětových výrobních kapacit bioplastů. Patří mezi ně také řešení typu drop-in, jako je bio-based PE (polyethylen) a bio-based PET (polyethylentereftalát), stejně jako bio-based PA (polyamidy). Předpokládá se, že jejich podíl bude v roce 2026 dále klesat na lehce přes 30 %. V absolutních číslech se však výrobní kapacity pro biopolymery budou v příštích pěti letech stále zvyšovat na více než 2,3 milionu tun. Zatímco výrobní kapacity pro PET na biologické bázi nadále klesají, pozornost se přesunula na vývoj PEF (polyethylen furanoátu)<sup>1</sup>, nového polymeru, který by měl vstoupit na trh v roce 2023. PEF

<sup>1</sup> Přední nizozemská společnost pro udržitelnou chemii, Avantium, spolupracující s Coca-Colou, oznámila vývoj 100% rostlinné láhve vyrobené z PEF – polyethylen furanoátu, který se vyrábí z cukrů. Avantium říká, že jeho láhev je lepší než PET jako nádoba na colu a další produkty a úplně se rozloží za rok v kompostovacím zařízení a za pár let v přirozeném prostředí. "Je to skutečně materiál nové generace, který lidé hledali," řekl Tom van Aken,

je srovnatelný s PET, ale je 100 % založen na biologickém základě a uvádí se, že má vynikající bariérové a tepelné vlastnosti, díky čemuž je ideálním materiálem pro balení nápojů, potravin a nepotravinářských produktů. Globální výrobní kapacity bioplastů (podle druhu materiálu) v roce 2021 a očekávané hodnoty v roce 2026 viz Obrázek 5 a Obrázek 6.

**Obrázek 5 Globální výrobní kapacity bioplastů 2021 (podle druhu materiálu)**



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

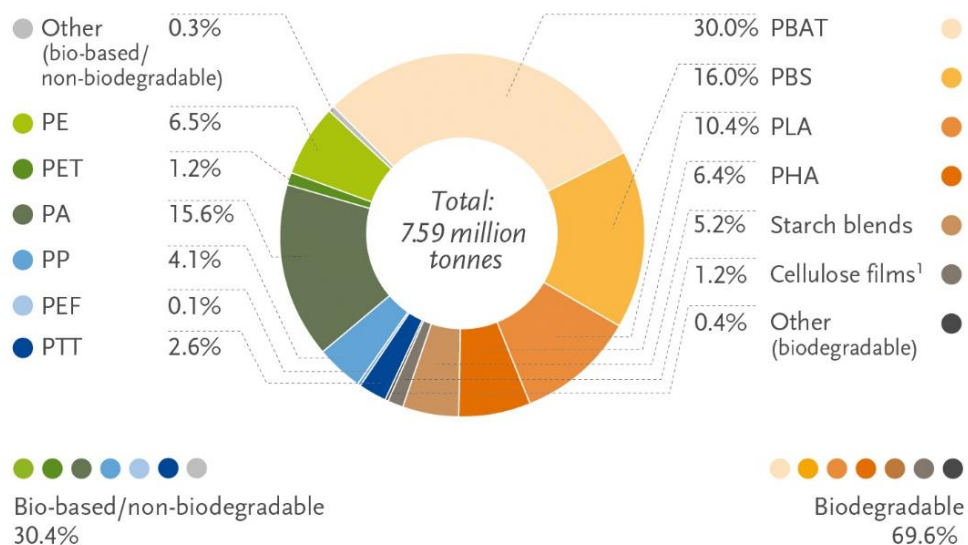
Source: European Bioplastics, nova-Institute (2021)

More information: [www.european-bioplastics.org/market](http://www.european-bioplastics.org/market) and [www.bio-based.eu/markets](http://www.bio-based.eu/markets)

generální ředitel Avantium průmyslovému magazínu. Někteří skeptici však tvrdí, že Avantium musí zveřejnit specifika svého tvrzení, než bude možné jeho technologii považovat za životaschopné řešení. A i když se tato technologie plastů ukáže být tak přínosná, jak společnost tvrdí, společnost by musela rozšířit výrobu, aby nahradila PET, což by trvalo roky.



**Obrázek 6 Globální výrobní kapacity bioplastů 2026 (podle druhu materiálu)**



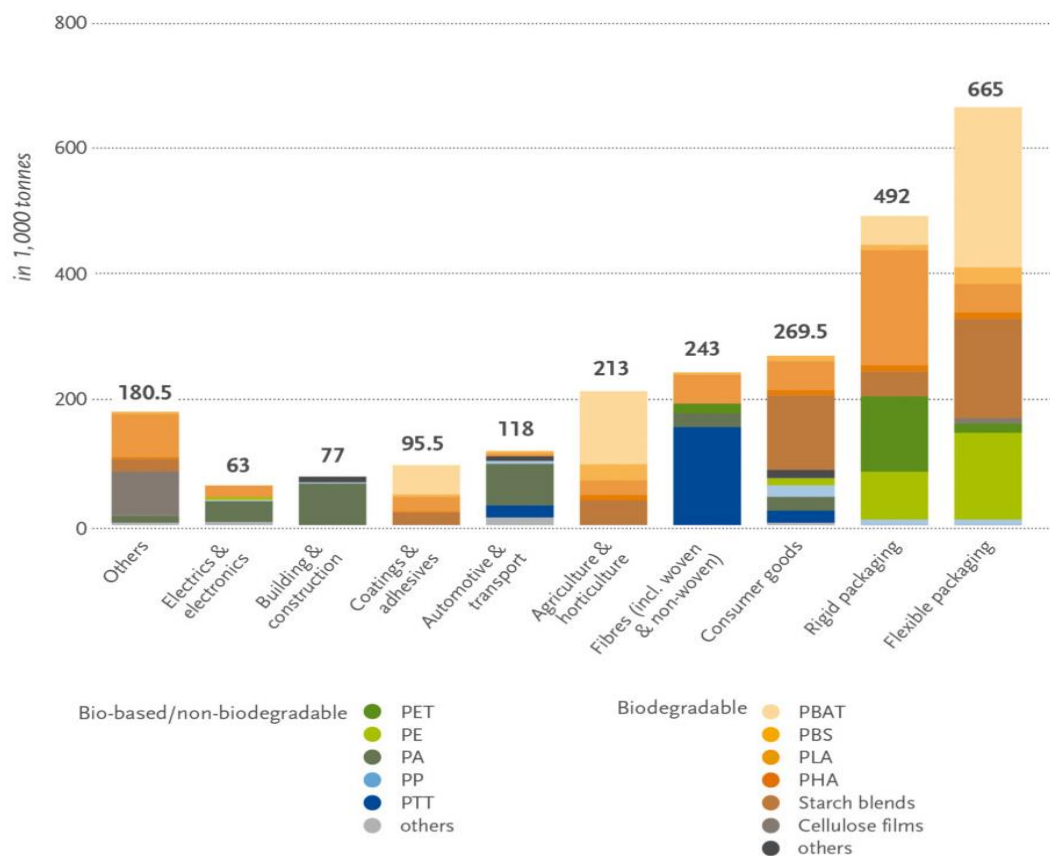
<sup>1</sup> Regenerated cellulose films

Source: European Bioplastics, nova-Institute (2021)

More information: [www.european-bioplastics.org/market](http://www.european-bioplastics.org/market) and [www.bio-based.eu/markets](http://www.bio-based.eu/markets)

Bioplasty se používají pro stále více různých aplikací, od balení až po produkty pro elektroniku, automobilový průmysl a textilní průmysl. Obaly však nadále zůstávají největším segmentem trhu bioplastů se 48 % (1,15 milionu tun) z celkového trhu s bioplasty v roce 2021. Viz Obrázek 7.

**Obrázek 7 Globální výrobní kapacity bioplastů 2021 (podle segmentů trhu)**

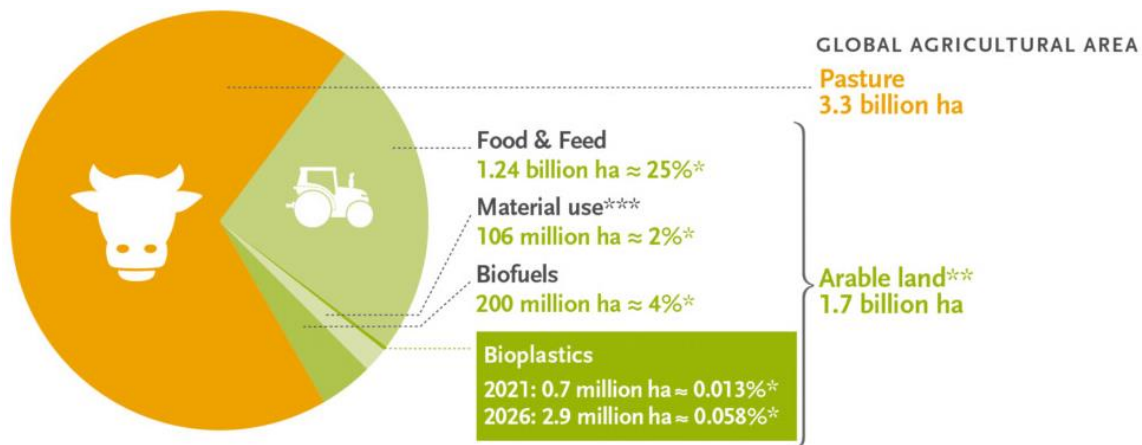


Source: European Bioplastics, nova-Institute (2021). More information: [www.european-bioplastics.org/market](http://www.european-bioplastics.org/market) and [www.bio-based.eu/markets](http://www.bio-based.eu/markets)

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

Podíl využití půdy pro bioplasty se odhaduje na 0,01 % celosvětové zemědělské plochy. Předpokládá se, že půda využívaná k pěstování obnovitelných surovin potřebných k výrobě bioplastů zůstává přibližně 0,70 milionu hektarů v roce 2021. To představuje jen něco málo přes 0,01 % z celosvětové zemědělské plochy s 5,0 miliardami hektarů. Spolu s předpokládaným zvýšením produkce bioplastů v roce 2026 se očekává, že podíl využití půdy bude stále nižší než 0,06 %. V poměru k dostupné zemědělské ploše je tento podíl minimální. Neexistuje tedy žádná konkurence mezi výrobou potravin a krmiv a obnovitelnými surovinami pro výrobu bioplastů. Viz Obrázek 8.

Obrázek 8 Odhad využití půdy pro bioplasty v letech 2021 a 2026

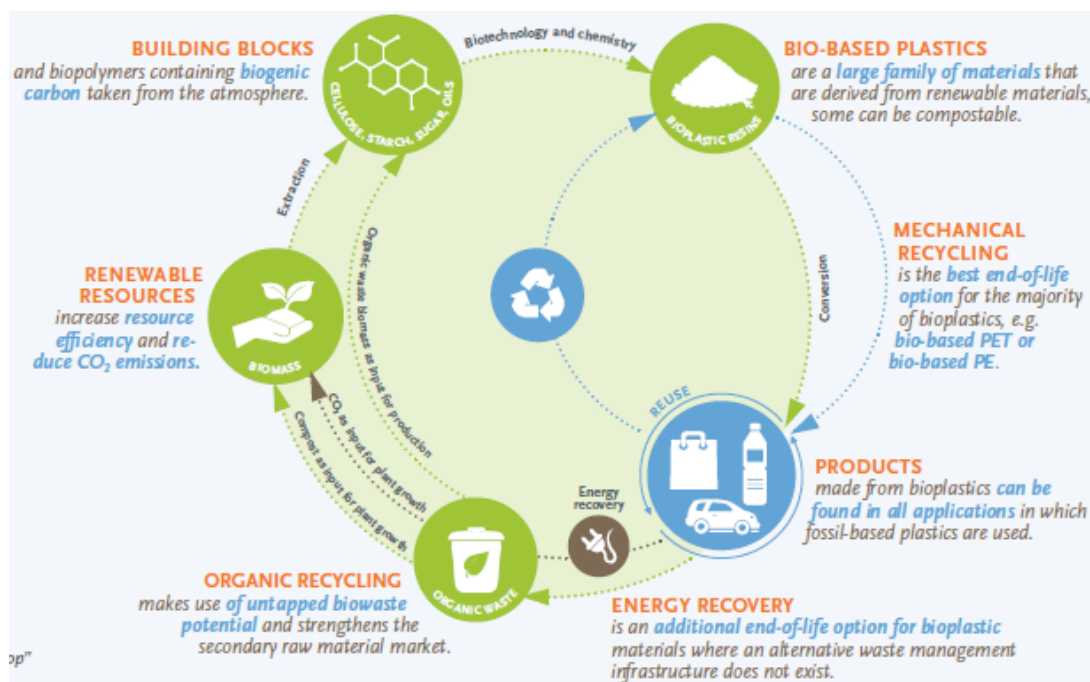


Source: Source: European Bioplastics (2021), FAO Stats (2020), nova-Institute (2021), and Institute for Bioplastics and Biocomposites (2019), University of Virginia (2016). Info: [www.european-bioplastics.org](http://www.european-bioplastics.org) \*In relation to global agricultural area, \*\*Including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

### Budou opravdu bioplasty tak přínosné pro budoucnost?

Ideální životní cyklus bioplastového výrobku viz Obrázek 9.

Obrázek 9 Ideální životní cyklus bioplastového výrobku



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

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

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

Nedávná studie v časopise *Science*, jejímž autorem jsou výzkumníci související se zprávou Pew, skutečně odhaduje, že se nyní do oceánů dostane každý rok asi 11 milionů tun plastů – o 3 miliony více, než činily předchozí odhady. Studie uvedla, že pokud bude svět pokračovat ve svém současném kurzu raketově rostoucí spotřeby plastů, množství vyprodukovaného plastového odpadu se do roku 2040 ztrojnásobí. Jediným řešením tohoto narůstajícího problému, uzavírá zpráva Pew, je masivní revize světového plastového systému za 600 miliard dolarů, který znovu používá a recykluje plasty v oběhovém hospodářství, spolu s dalšími změnami menšího rozsahu, včetně bioplastů. Pokud budou přijata jeho doporučení, říká Pew zpráva, mohl by se plastový odpad během příštích dvou desetiletí snížit o 80 %.

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

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

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

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

Pokud bioplasty skončí na skládkách, jak to mnozí dělají, bez dostatečného množství kyslíku k jejich rozkladu, mohou vydržet staletí a uvolňovat metan, silný skleníkový plyn. Pokud jsou vyhozeny do

životního prostředí, představují hrozbu podobnou PET plastu. Bioplasty jsou zatím tedy ‘falešným řešením’, protože jsou na jedno použití a jsou omezené možnosti, jak je kompostovat. Jediným řešením je snížení množství obalů na jedno použití, které používáme.“

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

#### **Prioritní výzkumná témata:**

- vývoj biodegradabilních polymerů a technologií vycházejících z obnovitelných zdrojů.

### **3.6 Obnovitelné suroviny a recyklace**

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

Vzhledem k technologiím vhodných 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 vypadáva 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.

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

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

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

V současnosti vzniká ve světě každý rok desítky milionů tun polymerních odpadů. Naprostá většina z nich je spálena nebo skládkována. V průměru se globálně údajně recykluje pouze necelých 30 % plastových odpadů<sup>2</sup>. Recyklace plastů je v současnosti mimo jiné aspekty bohužel především obchod. Ten ovšem zažívá horší roky, přičemž na vině je hlavně velké množství odpadů na trhu (po změně s obchodováním v Číně) a v neposlední řadě také neefektivní systém třídění odpadů.

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

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

\*zbytkový materiál zůstávající po vytrídění – semele se a používá na výrobu druhořadých nevhledných plastů

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

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

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

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

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

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

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

Výhodou chemické recyklace je možnost vyrábět polymery stejné kvality, včetně materiálů použitelných pro styk s potravinami, jako při použití fosilních surovin. Ekonomické hledisko následného

zpracování polymerních odpadů z bodu c) vychází pro řadu průmyslových technik v současnosti bohužel negativně. Jednoznačně lze říci, že recyklované polymery, produkty pyrolýzy, a podobně jsou cenově srovnatelné s panenskými plasty nebo jinými ropnými produkty, nebo je jejich cena dokonce vyšší. Vzhledem k tomu, že tyto výrobky nebývají, jak již bylo naznačeno výše, prvotřídní kvality, nelze se divit, že řada výrobců nebo zpracovatelů tyto suroviny odmítá, protože jim při výrobě způsobují problémy. V současné době se tedy často stává, že není problém plasty zrecyklovat, ale co dělat s recyklovanými výrobky. Bez cílené podpory tohoto typu výrobků je jejich využití velmi problematické.

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

**Prioritní výzkumná témata:**

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



## 4 Technologie výroby a využití plastů

### 4.1 Úvod

Chemický průmysl je považován, jako třetí nejdůležitější průmyslový sektor, za nejlepší indikátor vývoje globální ekonomiky. Na světovém obratu ve výši 3,5 bilionu USD se podílí Čína 1,3 bilionu 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 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.

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. Nové druhy plastických hmot a technický rozvoj otevírají stále nové možnosti využití plastů ve všech oblastech lidské činnosti. Zajímavým příkladem je detekce ionizujícího záření, kde se s úspěchem uplatňují scintilační polymerní detektory. Ty jsou založeny na vlastnosti některých látek reagovat světelnými záblesky neboli scintilacemi na pohlčení kvant ionizujícího záření; tyto světelné záblesky se pak elektronicky registrují pomocí fotonásobičů.

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.

Plastikářský průmysl v České republice se stále rozvíjí a jeho postavení v rámci domácího zpracovatelského průmyslu je stále významný. 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 údajů Plastics Europe dosáhla spotřeba plastů v ČR v roce 2017 1,3 mil. tun, což představuje spotřebu 123 kg plastů na jednoho obyvatele, což je hodnota je nad průměrem EU, a dále se drží přibližně na této úrovni.

Problém ČR je omezený sortiment z výroby plastů pouze na tzv. komoditní typy: PE, PP, PVC a PS (EPS). Některé z těchto plastů mají nízkou šanci na další rozvoj (nízká kapacita, ekologie, zastaralost technologií) a mohou být postupně odstavovány. 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 trvalé cíle patří mimo jiné:

- Připravit nové materiály a zajistit nové postupy pro využití obnovitelných a netradičních zdrojů energie.
- Snižit energetickou náročnost provozu budov.
- Vyvinout nové materiály, nové přísady do výrobků jiných odvětví, nové polymery a katalyzátory. Značnou roli hrají v tomto úsilí aditiva pro plasty. Rozvíjet se budou zejména 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.

S růstem globalizace, aplikací a využívání výpočetní techniky ve výrobcích 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.

**Prioritní výzkumná témata:**

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

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

Jedním ze základních cílů Vize české chemie je přispět ke zlepšení kvality života při zachování principů trvalé udržitelnosti. Aplikacemi moderních technologií jako jsou nanotechnologie nebo biotechnologie

Lze získat nové materiály a výrobky s vyšší přidanou hodnotou často při využití obnovitelných zdrojů surovin.

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 mikroplastů od kosmetických přípravků a zubních past.

Jedním z trendů vývoje plastů jsou kaskádové polymerační technologie pro přípravu multimodálních polymerů (PE, PP) pro výrobu moderních obalových materiálů. Tyto pokročilé technologie (např. HOSTALEN ACP pro výrobu vysokohustotního PE) sestávají ze tří (či více) polymeračních reaktorů řazených do série. Polymerační podmínky a složení reakční směsi mohou být v každém reaktoru řízeny nezávisle, což umožní výrobu polymerů s multi-modální distribucí molekulových hmotností a s řízeným obsahem komonomeru v jednotlivých frakcích (např. nízkomolekulární homopolymer + výšemolekulární kopolymer + ultravysokomolekulární kopolymer). Vlastnosti polymeru tak lze nastavit „na míru“ konkrétní aplikaci. Tyto polymery vykazují vyváženou kombinaci tuhosti, houževnatosti, zvýšené odolnosti proti korozi za napětí a zlepšené zpracovatelnosti, tedy vlastností, kterých nelze v optimální míře dosáhnout jednostupňovou polymerací. Použití těchto polymerů rovněž znamená úsporu hmotnosti výrobku (tenčí stěna) a zkrácení zpracovatelského cyklu. V případě multimodální technologie pro výrobu izotaktického PP (např. proces BORSTAR 2G) mohou být vyrobeny polymery nejen s optimálně vyváženými zpracovatelskými a mechanickými vlastnostmi, ale i dalšími výjimečnými vlastnostmi – extrémní čistotou (velmi nízký obsah katalytických zbytků), vynikající transparentností, měkkostí a dobrou pevností svarů i po sterilizaci (zdravotnictví – náhrada měkčeného PVC).

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

#### **Prioritní výzkumná témata:**

- vývoj povrchových úprav se zlepšenými vlastnostmi a odolností proti různým, zejména povětrnostním vlivům;
- vývoj moderních zdravotně nezávadných anorganických UV absorbérů jak pro nátěrové hmoty, tak pro kosmetiku a plasty;
- vývoj polymerů se speciálními vlastnostmi (magnetické, vodivé atd.);
- vývoj samoorganizovatelných kompozitních materiálů a “chytrých povrchů”;

### 4.3 Nanokompozity

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

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

Nanokompozity jsou reálnou aplikací v řadě významných oborů techniky, včetně plastů. Tyto materiály často s novými vynikajícími vlastnostmi přinášejí do řady odvětví žádoucí inovace a nezachycení těchto

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

Možný směr vývoje nanokompozitů by mohla být i možnost aplikace nanovláken. Tato vlákna na bázi různých polymerů i anorganických sloučenin (TiO<sub>2</sub>, ZrO<sub>2</sub>, TiN) jsou v ČR vyvíjena na Technické Univerzitě v Liberci v úzké spolupráci s firmou Elmarco.

#### **Prioritní výzkumná témata:**

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

## **4.4 Materiály pro zdravotnictví**

Farmaceutický průmysl a medicína jsou významnými iniciátory inovací jak v materiálové, tak technologické oblasti. Díky tomu již dnes můžeme registrovat řadu aplikací polymerních materiálů ve zdravotnictví. Nové materiály se již nyní uplatňují v neinvazivní medicíně. V oboru nanokompozitů se jedná především o kompozity s uhlíkovou či polymerní matricí vyztuženou uhlíkovými vlákny. Jsou považovány za perspektivní např. pro konstrukci kostních a kloubních náhrad a kostních implantátů. Výsledky materiálového výzkumu budou využitelné ve zdravotnictví především v oborech: neurochirurgie (umělé náhrady a přemostění defektů), traumatologie (poranění mozku a míchy), neurologie (Parkinsonova choroba, roztroušená skleróza), imunologie (poruchy imunity), pediatrie (vrozené vady, perinatální poškození), ortopedie (náhrady chrupavek a kostí), oftalmologie (náhrady rohovky), otolaryngologie, stomatologie (zubní náhrady), plastická chirurgie a dermatologie. V řadě případů se může jednat i o prostředky pro veterinární účely.

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

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

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

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

*Ultra-vysokomolekulární polyetylen (UHMW-PE)* je lékařský plast s vysokou rázovou pevností, dobrou odolností proti opotřebením a oděru, vynikající chemickou odolností a vynikajícími vlastnostmi při nízkých teplotách. Inženýři volí UHMW-PE, protože se vyrábí z prémiových pryskyřic v souladu se specifikací ASTM F648 a mezinárodními normami ISO 5834-1 pro chirurgické implantáty a lékařská zařízení. Trhy zdravotní péče, které pravidelně používají UHMW-PE, zahrnují sportovní medicínu, ortopedii, zdravotnické prostředky, dodávky léků, farmaceutickou, kardiovaskulární, neurologickou a diagnostickou medicínu.

*Polyether Ether Ketone (PEEK)* je unikátní technický termoplast, který také nabízí vynikající chemickou kompatibilitu, nízkou náchylnost k praskání pod napětím, klinicky ověřenou biokompatibilitu, vysokou rozměrovou stabilitu a dobrou elektrickou izolaci. Inženýři volí PEEK, protože se snadno obrábí a má vynikající mechanickou pevnost a rázové vlastnosti. Mezi trhy zdravotní péče, které pravidelně využívají PEEK, patří páteř, sportovní medicína, lebeční medicína, ortopedie, lékařské přístroje, aplikace léků, farmaceutická, kardiovaskulární, neurologická a diagnostická medicína.

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

*Acetalový kopolymer (polyoxymethylen)* je termoplast lékařské kvality s vysokou mechanickou pevností, tuhostí a rozměrovou stálostí. Poskytuje dobré kluzné vlastnosti a vynikající odolnost proti opotřebením a také nízkou absorpci vlhkosti. Inženýři zvolili acetalový kopolymer kvůli jeho dobré rozměrové stabilitě a zvláště dobré únavové pevnosti, stejně jako vynikající schopnosti obrábění, což z něj činí vysoce univerzální konstrukční materiál, a to i pro složité součásti. Trhy zdravotní péče, které pravidelně používají acetalový kopolymer, zahrnují páteř, sportovní medicínu, ortopedii, lékařské přístroje, dodávky léků, farmaceutickou, kardiovaskulární, neurologickou a diagnostickou medicínu.

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

*Polyfenylsulfid (PPS)* je vysokoteplotní termoplastický polymer, který je velmi chemicky odolný s úžasnou mechanickou pevností i při teplotách nad 200 °C (392 °F), s nízkou náchylností k tečení. Inženýři volí PPS kvůli jeho nízké absorpci vody, dobré rozměrové stabilitě a vynikajícím elektrickým vlastnostem. Mezi lékařské trhy, které pravidelně využívají PPS, patří lékařské přístroje, dodávky léků, farmaceutická, kardiovaskulární, neurologická a diagnostická medicína.

#### **Prioritní výzkumná témata:**

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

### **4.5 Oxo-degradovatelné plasty**

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

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

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

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

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

#### Prioritní výzkumná témata:

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

## 4.6 Plasty se sníženou hořlavostí

Masovou aplikaci hořlavých polymerních materiálů (PE, PP, PS a další) doprovází snaha zvýšit požární bezpečnost používaných plastů především v místech, kde dochází k shromažďování většího počtu lidí. Evropská legislativa vyvíjí tlak na výrobce plastů ve smyslu přechodu na typy retardérů hoření, které zaručují vyšší bezpečnost plastů během požárů. Vedle legislativních kroků, vydávání směrnic a nařízení vlád vznikají nové evropské normy, které reflektují tyto důrazné požadavky na vyšší požární bezpečnost používaných materiálů.

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

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

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

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

Označení	Chemický název
DBDPE	Deka-bromdifenyl ethan
	Bromovaný polystyren
BEO	Bromovaný epoxy polymer
Deka-BDE	Deka-bromdifenyl ether
DDO	Deka-bromdifenyloxid
BPADP	Bisfenol A-difenylofosfát



EBP	1,2-bispentabromfenyl
EBTBP	Etylen-bis(tetrabromftalimid)
BrPBPS	Bromovaný polymerní retardér hoření
Deriváty TBBPA	tetrabrombisfenol-bis(2,3-dibrompropyl ether) tetrabrombisfenol A-bis(2-hydroxyethyl ether) tetrabrombisfenol-bis(allylether) tetrabrombisfenol-bis(2,3-dibrom-2-methylpropyl ether)
BTBPE	1,2-bis-(2,4,6-tribromofenoxy)ethan
TDBPP	Tris(2,3-dibromopropyl) fosfát

**Tabulka2:** V současnosti zakázané retardéry hoření

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

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

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

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

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

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

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

Většina kongenerů (příbuzných látek) polybromovanýchdifenyletherů je lipofilní, odolná vůči kyselinám, zásadám, teplu, světlu, redukčním i oxidačním reakcím a představuje značné riziko pro životní prostředí, kde se akumulují. Tyto organohalogenové aromatické sloučeniny lze dále rozdělit do tří skupin podle počtu vázaných bromových skupin: penta-, okta-, deka-bromovanédifenylethery (BDE). Penta-BDE se vyrábělo v Izraeli, Japonsku, USA a EU. Nejuniverzálnějším bromovaným retardérem je deka-BDE neboli BDE-209. V roce 2001 deka-BDE představoval více než 83 % celosvětové poptávky po PBDE. Polybromovanédifenylethery byly první skupinou bromovaných zpomalovačů hoření, které byly detegovány v životním prostředí<sup>8</sup>. Jejich schopnost akumulace v životním prostředí byla doložena v dalších studiích<sup>9</sup>. Hlavní severoamerický výrobce penta- a okta-BDE ukončil jejich produkci v prosinci 2004 jako důsledek prokázané toxicity těchto látek<sup>10</sup>. Prudký růst úrovně PBDE byl uveden ve zprávě o nebezpečných vlastnostech PBDE<sup>11</sup>, což vedlo k zákazu používání některých PBDE. Evropská unie se rozhodla zakázat používání dvou tříd zpomalovačů hoření, polybromovanýchdifenyletherů (PBDE) a polybromovaných bifenyliů (PBB) v elektrických a elektronických zařízeních v roce 2003 vydáním směrnice Evropského parlamentu<sup>12</sup>. Na mezinárodní úrovni byly v květnu 2009 na základě Stockholmské úmluvy o perzistentníchorganických látkách (POPs) zařazeny penta-BDE a okta-BDE do kategorie POP látek<sup>13</sup>. Jako náhrady penta-BDE byly ve spolupráci vládních, nevládních organizací a chemického a nábytkářského průmyslu doporučeny látky trifenylofosfát, tribromoneopentyl alkohol a dalších 12 patentovaných chemických látek<sup>14</sup>

Chlorované retardéry s fosforem (např. tris(2-chlorethyl)fosfát) jsou aktivní především v pevné fázi. Nicméně tato sloučenina má také mechanismus působení v plynné fázi, a to přes uvolněný chlor.

---

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

Harrad S., Abdallah M. A. E., Rose N. L., Turner S. D., Davidson T. A.: *Environ. Sci. Technol.* 43, 9077 (2009).

Tanabe S., Ramu K., Isobe T., Takahashi S.: *J. Environ. Monit.* 10, 188 (2008).

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Původně našel uplatnění v polyuretanových pěnách, v současnosti ho ale nahradily jiné látky. Nyní se používá jako retardant hoření pro plasty, textil a střešní izolace. Na základě dostupných dat byl fosfát identifikován jako látka toxická pro reprodukci s významným nepříznivým potenciálem na plodnost<sup>15</sup>. V roce 2009 vydala Evropská unie zprávu o rizicích tris(2-chlorethyl)fosfátu. Byla potvrzena karcinogenita, chronická toxicita a vliv na plodnost<sup>16</sup>. Jeho výroba a distribuce zatím omezena není.

### **Budoucnost retardérů hoření**

Zvýšený zájem o životní prostředí vedl v posledních letech k výzkumům týkajících se životního cyklu již používaných chemických látek. Použití látek zpomalujících hoření je na základě výzkumů přehodnocováno. Využití této technologie má však zásadní význam pro požární bezpečnost, a proto se hodnotí jak výhody, tak rizika. Všeobecně používané halogenované retardanty hoření se sice vyznačují vysokou účinností a univerzálností při snižování nebezpečí požáru, ale jejich bioakumulace a potenciální toxicita vedla ke zvýšení regulace a omezení jejich výroby a použití. Spolu s předpisy sílí tlak spotřebitelů proti halogenovaným sloučeninám obecně, včetně těch, u kterých prozatím důkazy o nepříznivých účincích na životní prostředí a na zdraví nebyly prokázány. Postupně jsou halogenované retardanty nahrazovány nehalogenovanými alternativami. Anorganické přísady, jako hydroxid hlinitý a hořečnatý byly navrženy jako alternativy šetrné k životnímu prostředí. Nicméně, jejich použití je omezeno, protože k účinnému samozhášení je třeba k materiálu přidat až 70 % anorganického retardantu. Jedním z preferovaných mechanismů je v současnosti kombinace dusíkatých látek zpomalujících hoření a sloučenin fosforu. Dalšími alternativami jsou nanomateriály.

## **4.7 Plasty pro stavebnictví**

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

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

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

---

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

#### **Prioritní výzkumná témata:**

- vývoj nových materiálů pro aplikace ve stavebnictví;

## **4.8 Plasty pro dopravní prostředky**

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

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

Chris DeArmitt uvádí v publikaci *The Plastics Paradox*, že osobní auto vážilo v roce 1950 průměrně 1901 kg při spotřebě kaučuků ve výši 85 kg a nulové spotřebě termoplastů. V roce 1990 se spotřebovalo 61 kg kaučuků a 101 kg plastů při poklesu hmotnosti aut na 1434 kg.

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

Spotřeba plastů v automobilech na evropském trhu v roce 2019 se podílela 9,8 % na celkové spotřebě plastů ve výši 55 mil. tun. ČR vykázala v roce 2018 podle *Plastics Europe* téměř dvojnásobný podíl – 18,9 %. Nejpoužívanějším plastem je podle analýzy agentury ICIS polypropylen s 35 % podílem, následuje polyuretan s 19 %, polyamid s 11 % a ABS s 8 %. Více jak polovina spotřebovaných plastů je aplikována v interiérech, následují exteriéry, pod kapotou a v elektronice. Podle studie *Market and Markets* má spotřeba plastů v automobilech růst do roku 2026 průměrným ročním tempem 7,9 %, když pandemie způsobila v roce 2020 celosvětový pokles prodeje osobních automobilů o 15,9 %, v Evropě téměř o čtvrtinu.

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

V roce 2019 odsouhlasila EK tzv. *Green Deal* s hlavním cílem snížit emise skleníkových plynů do roku 2030 nejméně o 55 % ve srovnání s rokem 1990. Pro osobní automobily a dodávky je vytýčen cíl snížit přímé emise o 55 % a od roku 2035 je zakázán prodej nových aut se spalovacími motory. Do roku 2030 plánuje EU finančně podpořit realizaci 3 milionu dobíjecích stanic pro elektromobily. Další úkoly v zavádění elektromobilů se týkají:

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

U prodeje osobních aut by měly dominovat elektro vozidla, u těžké silniční dopravy by měl být klíčem k dekarbonizaci vodík, jehož podíl by ve spotřebě energií by v roce 2050 měl růst na 10-24 %. Americká agentura pro životní prostředí /EPA/ spočítala, že automobil s benzinovým motorem vypouští do ovzduší 202,0g CO<sub>2</sub> na kilometr jízdy. U naftového pohonu se jedná o 180,8g CO<sub>2</sub>/km. Elektromobil při

přepočtu na nabíjení z průměrného zdroje výroby elektřiny se podílí 69,9 gCO<sub>2</sub>/km, v případě nabíjení ze solárního zdroje se hodnota významně sníží na 11,1g CO<sub>2</sub>/km. Průměrný benzinový motor vyprodukuje za rok 4 000 kg CO<sub>2</sub>.

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

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

#### **Prioritní výzkumná témata:**

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

## **4.9 Plasty pro obnovitelné zdroje energie**

Důsledky klimatických změn, rostoucí závislost na fosilních palivech a rostoucí ceny energií jsou důvodem, proč se dnes dostává do popředí oblast obnovitelných zdrojů energie. Přínos obnovitelných zdrojů energie spočívá především v jejich schopnosti snižovat emise skleníkových plynů a úroveň znečištění, zvyšovat bezpečnost dodávek, podporovat průmyslový rozvoj založený na znalostech, vytvářet pracovní příležitosti a posilovat hospodářský růst, jakož i konkurenceschopnost a regionální rozvoj.

Obnovitelné zdroje energie (větrná energie, solární energie, hydroelektrická energie, energie z oceánu, geotermální energie, biomasa a biopaliva) jsou alternativami k fosilním palivům a přispívají ke snižování emisí skleníkových plynů, k diverzifikaci dodávek energie a ke snižování závislosti na nespolehlivých a nestabilních trzích s fosilními palivy, především s ropou a zemním plynem. Právní předpisy EU o prosazování obnovitelných zdrojů energie prošly v posledních patnácti letech významným vývojem. V roce 2009 stanovili vedoucí představitelé EU cíl, že do roku 2020 musí 20 % spotřeby energie EU pocházet z obnovitelných zdrojů. V roce 2018 bylo dohodnuto, že do roku 2030 musí z obnovitelných zdrojů pocházet 32 % spotřeby energie EU. S ohledem na nové ambice EU v oblasti klimatu navrhli spolunormotvůrci v červenci 2021 navýšit tento cíl na 40 % do roku 2030. Budoucí rámec politiky pro období po roce 2030 je nyní předmětem jednání.

Aplikace plastů v elektroprůmyslu jsou z hlediska hmotnosti v pořadí hlavních aplikačních segmentů na 4. místě. V Evropě se jedná o 5,8% podíl, tj. 2,8 mil. tun. Největší dynamiku by měly vykazat chemikálie pro elektroniku, zejména díky úsilí o minimalizaci, digitalizaci a inovace v solárních panelech. Významné postavení v této oblasti má japonská firma Showa Denko, která vyvinula a dodává speciální polymery, jako např. Poly-N-vinylacetamid, pro aplikace v elektronice, při výrobě baterií a LED svítidel. Ze studie MarketsandMarkets vyplývá, že aplikace skelnými a uhlíkovými vlákny plněných epoxidových pryskyřic,

polyesterů a vinylesterů na lopatky a gondoly větrníků rostly v období let 2016–2021 průměrně o 9,3 % ročně. Zajímavým řešením jsou mořské větrné elektrárny umístěné na hladině moří. Nejvíce jich provozuje Velká Británie (5 156 MW) a Německo (4 108 MW). Čína vybudovala největší plovoucí solární elektrárnu na světě s kapacitou 40 MW. Do roku 2040 by mělo být v ČR instalováno na 5 884 MW elektráren slunečních a 1 146 MW větrných. Inovace fotovoltaických panelů jdou raketově vpřed, což umožňuje snižování hmotnosti a zvyšování výkonů.

Důležitou roli v tomto procesu hrají organické chemické produkty, včetně polymerů. Například švýcarská firma Insolight ohlásila rekordní zvýšení efektivity panelů – o 36,4 % s využitím transparentní plastové fólie. Spoluprací firem Armageddon Energy, EconCore a DuPont se podařilo snížit hmotnost o 70–80 %, snížit cenu díky aplikaci speciální fólie z PA a zvýšit životnost. Aplikace tenké silikonové fólie nebo vícevrstvé fólie z PP, PA a PE se dosáhne 10% zvýšení efektivity a prodlouží se životnost panelů na 20 let v klimatických podmínkách obdobných jako na Floridě. Rakouský Borealis vyvinul koextrudovanou fólii Isosolar CPO 3G na bázi PP pro firmu Isovoltaic pro spodní vrstvu panelů, která může nahradit dřívější řešení z PET. V inovacích solárních panelů jsou zapojeny i firmy DSM a Dow. Plzeňská firma NetPro systems získala certifikát pro sériovou výrobu baterií na ukládání elektřiny ze solárních panelů instalovaných na budovách.

Polymery tedy již hrají zásadní roli při úspoře energie a zdrojů v různých aplikacích, jako je doprava, balení, zdravotnictví a budovy. Polymery díky své všestrannosti umožňují a nadále budou umožňovat také udržitelný životní styl a to přes to, že jsou nyní spojovány především se znečištěním naší planety.

V posledních letech se polymery a jejich aplikace v poslední době těší značnému zájmu jako spolehlivý přístup k dosažení udržitelného skladování a přeměny energie. Použití polymerů pro skladování a přeměnu energie bylo intenzivně zkoumáno v posledních několika desetiletích, jako jsou solární články citlivé na barviva (DSSC), organická fotovoltaika (OSC), perovskitové solární články (PSC), palivové články a sekundární baterie.

Příklady používaných technologií:

Polymerové multifunkční flexibilní multifunkční superkondenzátory (polymerní elektrody používané v superkondenzátorech nezbytných pro fungování paměťových zařízení, elektrolyty na bázi polymerů jako hlavní součást elektrochemických superkondenzátorů) -Všechny tyto faktory ovlivnily, jaké polymery jsou vhodné pro použití v zařízeních pro skladování energie. V poslední době byl učiněn významný pokrok ve vytváření multifunkčních flexibilních superkondenzátorů na bázi polymerů.

**Prioritní výzkumná témata:**

- vyvíjet nové aplikace plastů pro udržitelnou energetiku (baterie, solární panely, větrníky).

## 4.10 Polymerní přísady

Plasty ve formě samotného polymeru se prakticky nepoužívají. Jejich vlastnosti se modifikují přidáním aditiv. Aditiva pro polymerní systémy představují pestrou škálu modifikací, které jsou povětšinou směřovány ke zlepšení jejich vlastností z hlediska fyzikálního pohledu. Jedná se především o mechanické, uživatelské nebo zpracovatelské vlastnosti. Jedná se často o nízkomolekulární aditiva, která mají tendenci migrovat ve hmotě polymeru, a časem jejich koncentrace klesne pod uživatelsky potřebnou úroveň.

Moderní aditiva jsou vyvíjena za účelem zvýšení stability v daném polymerním prostředí a současně za účelem získání nových tzv. funkčních vlastností. V této souvislosti lze hovořit o těchto oblastech aplikace:

### **Ochrana před UV zářením**

Vlastní polymerní matrice je většinou velmi citlivá na sluneční záření dopadající na zemský povrch v oblasti vlnových délek 290 až 400 nm. Pro stabilizaci polymerní matrice jsou využívány tzv. UV stabilizátory, které jsou schopny eliminovat rozkladné procesy iniciované UV zářením a tím stabilizovat vlastní polymerní matrici. Tento typ ochrany je průmyslově vyřešen a komerčně dodáván. Druhou možností ochrany před UV zářením je UV absorpce. Tento jev je založen na mechanismu, kdy je povrch polymerní matrice opatřen tzv. UV absorbérem, který buď UV záření odráží (často se jedná o submikronové částice oxidu kovů) nebo toto UV záření absorbuje a jeho energii převádí do bezpečné formy. Jsou vyvíjeny organické UV absorbéry, které je možno reaktivně vázat do polymerní matrice. Takto je možno vytvořit nátěr nebo adhesní vrstvu obsahující reaktivně vázaný UV absorbér nebo přímo připravit polymerní aditivum pro ochranné vrstvy. Výhodou je stabilní úprava, která nemigruje v polymerní vrstvě a umožňuje řádově dlouhodobější ochranu před UV zářením.

### **Fotoaktivní samočisticí úpravy**

Již delší dobu je diskutována otázka tzv. fotoaktivní úpravy s využitím oxidů kovů, především  $\text{TiO}_2$ , ve formě nanočástic. Tyto látky po ozáření UV světlem generují volné radikály, které napadají organické sloučeniny. Dochází tak k eliminaci organického i mikrobiálního znečištění na ošetřeném povrchu. Primárně byl tento systém vyvinut pro anorganické povrchy. Testy na organických, polymerních materiálech následně prokázaly, že volné radikály mají fatální účinky na polymerní systém. Dochází k jeho rozkladu, a pokud jsou nanočástice  $\text{TiO}_2$  přidány do polymerní matrice je tato narušena a nanočástice unikají do volného prostoru.

V případě organických fotoaktivních materiálů je situace zcela odlišná. Tyto materiály jsou citlivé na viditelnou část světelného spektra v rozsahu 400 až 700 nm a po iradiaci generují singletní kyslík, což je kvantově odlišná forma molekulárního kyslíku, která je velmi reaktivní. Podobně jako u volných radikálů dochází k eliminaci organického i mikrobiálního znečištění. Kladem je, že životnost singletní formy kyslíku je v řádech desítek milisekund a polymerní matrice odolává jeho působení. Výhodou uspořádání organické molekuly je to, že umožňuje nastavit její substituce tak, aby byly kompatibilní s nosným systémem. Tak jde připravit organické fotoaktivní materiály rozpustné ve vodě, ve formě nerozpustných pigmentů o průměru částic od 100 do 500 nm, rozpustné v organických rozpouštědlech nebo modifikované reaktivními skupinami tak, aby je bylo možno reaktivně fixovat do polymerní matrice. Takto je úspěšně řešena řada modifikací polymerní matrice organickými fotoaktivními materiály, které umožňují výrobu nátěrových systémů i termoplastů se zvýšenou ochranou před usazováním organických i mikrobiálních polutantů.

### **Vodivé polymerní systémy**

Polymerní materiály jsou používány jako izolanty, mají velmi omezenou elektrickou i tepelnou vodivost. Z hlediska vývoje nových systémů, ve kterých se využívá flexibility a vysoké variability polymerního substrátu, roste zájem o vodivé úpravy polymerních substrátů. Základními materiály, které jsou pro tyto účely používány, jsou metalické nano/materiály, které je možno tisknout, vakuově nebo elektrolyticky deponovat na povrch polymerního substrátu. Podobně se široce využívají i různé



uhlíkové materiály, které je možno nanášet jak na povrch polymerního i 3D substrátu, tak je možno je zapracovat do hmoty polymerní matrice, která pak vykazuje vodivé nebo disipativní vlastnosti.

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

### **Povrchová modifikace**

Zajištění povrchové úpravy fólií nebo termoplastických desek umožňujících zlepšení hydrofobních nebo oleofobních vlastností nebo i pro zlepšení bariérových vlastností se již v minulosti provádělo pomocí alkoxy-silanových sol-gel systémů. Jsou hledány nové možnosti, jak zvýšit funkční vlastnosti celého systému, a to jak z hlediska aplikačního, tak z hlediska celkové funkce. Z aplikačního hlediska je důležité zlepšení adheze povrchové úpravy tak, aby byla dlouhodobě odolná vnějším vlivům. Funkční vlastnosti lze s ohledem na velmi flexibilní anorganicko-organický hybridní systém zlepšit zabudováním funkčních organických sloučenin tak, aby se staly součástí polymerní sítě a současně vykazovaly svoje další funkční vlastnosti. Jedná se o inovativní přístup k dané problematice, který je v současné době rozvíjen.

## **4.11 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. Dnes je již komerčně dostupná řada typů 3D tiskáren od založených na fotopolymeraci až po laminování.

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

### **Prioritní výzkumná témata:**

- vyvíjet nové typy plastů pro 3D tisk

## 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 stimulační inovačních procesů. 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 oborů, 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 recyklací a 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. V ČR registrujeme vzrůstající úroveň 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 přetrvává nedostatečná provázanost mezi vědou, 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 nízké realizační výstupy do průmyslu ČR. To se týká i aktuálního stavu bioplastů a bio-aditiv pro plasty. Nedostatečně zvládnutý je systém využití odpadních plastů po skončení jejich životnosti včetně podmínek pro jejich chemickou recyklaci.

Komericializace nových materiálů vyžaduje dořešit zásadní problémy standardizace metod pro stanovení míry rizik jejich výroby a aplikací, ale také v ověřování jejich nových vlastností. Je potřeba realizovat propagační a informační kampaně, 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 a nových postupů do komerční praxe by významně přispěla pružná úprava legislativy.

## 7 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 ekonomických činností dle nařízení č. ES 1893/2006
NIP	Národní inovační politika
NMR	Nukleární magnetická resonance
NP VaVal	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
VaVal	Výzkum, vývoj a inovace
VTP	Vědeckotechnický park