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

MINISTERSTVO PRŮMYSLU A OBCHODU

SUSCHEM CZ

Technologický foresight chemického průmyslu ČR v kontextu globálního vývoje

Aktualizace byla provedena v rámci projektu „Suschem V“ (projekt CZ.01.01.01/07/24_052/0005274) za podpory programu Ministerstva průmyslu a obchodu ČR a spolufinancování Evropské unie.

Neratovice, červenec 2026

Obsah

Úvod 2
1. Současné megatrendy ovlivňující naši budoucnost 3
1.1. Vazby mezi klíčovými transformačními procesy, aplikačními sektory a technologickým vývojem 3
1.2. Urbanizace 4
1.3. Klimatická změna a dostupnost zdrojů 5
1.4. Změna center globální ekonomické síly 6
1.5. Demografické a sociální změny 7
1.6. Akcelerace technologických změn 8
2. Budoucí vývoj chemického průmyslu 10
3. Budoucí vývojové trendy pro aplikaci produktů chemického průmyslu 12
3.1. Zvýšení energetické účinnosti 12
3.2. Doprava 13
3.3. Stavebnictví 13
3.4. Vodní hospodářství 14
3.5. Cirkulární ekonomika 15
3.6. Zemědělství a potravinářství 15
4. Budoucí technologie pro rozvoj udržitelné chemie 18
4.1. Průmyslové biotechnologie 18
4.2. Pokročilé materiály a technologie 19
4.3. Chemické procesy a zařízení 25
4.4. Zpracování ropy 25
5. Dopady megatrendů na chemický průmysl v ČR 28
5.1. Mapování megatrendů na český kontext 28
5.2. Dopady na jednotlivé oblasti 29
5.3. Identifikace klíčových nejistot 29
6. Závěr 31
Zdroje 33

Úvod

Aktualizace studie byla provedena kolektivem autorů České technologické platformy pro udržitelnou chemii (ČTP SUSCHEM) v rámci projektu „Suschem V“ (projekt CZ.01.01.01/07/24_052/0005274) za podpory programu Ministerstva průmyslu a obchodu ČR a spolufinancování Evropské unie.

Cílem studie je identifikovat a popsat hlavní globální megatrendy, které budou ovlivňovat vývoj společnosti v dlouhodobém horizontu, nově do roku 2040. Současně se studie zaměřuje na popis vybraných vývojových trendů v hlavních aplikačních sektorech pro uplatnění chemie. Pochopení těchto hlavních transformačních procesů je důležitým předpokladem pro identifikaci současných a budoucích výzev technologického vývoje v oblasti udržitelné chemie.

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

Chemický průmysl patří mezi klíčová odvětví moderní ekonomiky, která tvoří základní vstupní infrastrukturu pro široké spektrum průmyslových i spotřebitelských sektorů. Jeho produkty vstupují prakticky do všech výrobních řetězců – od energetiky, automobilového průmyslu a stavebnictví až po zdravotnictví, zemědělství či digitální technologie. Vývoj chemického průmyslu proto nejen odráží širší ekonomické a technologické změny, ale zároveň je aktivně spoluutváří.

V posledních dvou dekádách prochází chemický průmysl zásadní proměnou, která je tažena souběhem několika globálních megatrendů. Mezi nejvýznamnější patří přechod k udržitelnosti a dekarbonizaci, transformace surovinové základny, digitalizace a nástup pokročilých technologií, změny v geopolitickém uspořádání a globalizaci, stejně jako proměna struktury poptávky směrem k produktům s vyšší přidanou hodnotou. Tyto trendy zásadně mění technologické, ekonomické i institucionální podmínky fungování odvětví a vedou k jeho postupné restrukturalizaci na globální i regionální úrovni.

V evropském kontextu je tato transformace dále zesílena ambiciózními klimatickými a průmyslovými politikami, které vytvářejí nové regulatorní rámce, ale zároveň zvyšují tlak na konkurenceschopnost. Evropský chemický průmysl se tak nachází v situaci, kdy musí současně reagovat na rostoucí globální konkurenci a realizovat nákladnou transformaci směrem k nízkouhlíkovému a cirkulárnímu modelu.

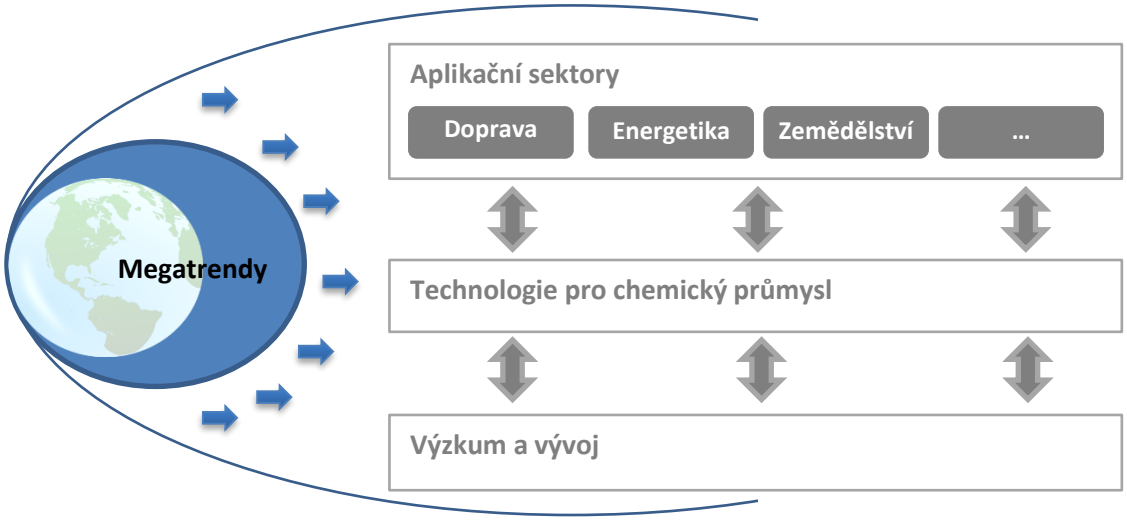
Chemický průmysl v České republice, jako významná součást národní ekonomiky je silně integrován do evropských i globálních hodnotových řetězců, avšak jeho struktura – charakterizovaná relativně vysokým podílem energeticky náročných a komoditních segmentů – zvyšuje jeho citlivost vůči probíhajícím změnám. Současně však disponuje řadou předpokladů, které mohou umožnit jeho úspěšnou transformaci, včetně průmyslové tradice, kvalifikované pracovní síly a existujících výzkumných kapacit.

1. Současné megatrendy ovlivňující naši budoucnost

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

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

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



Zdroj: vlastní zpracování

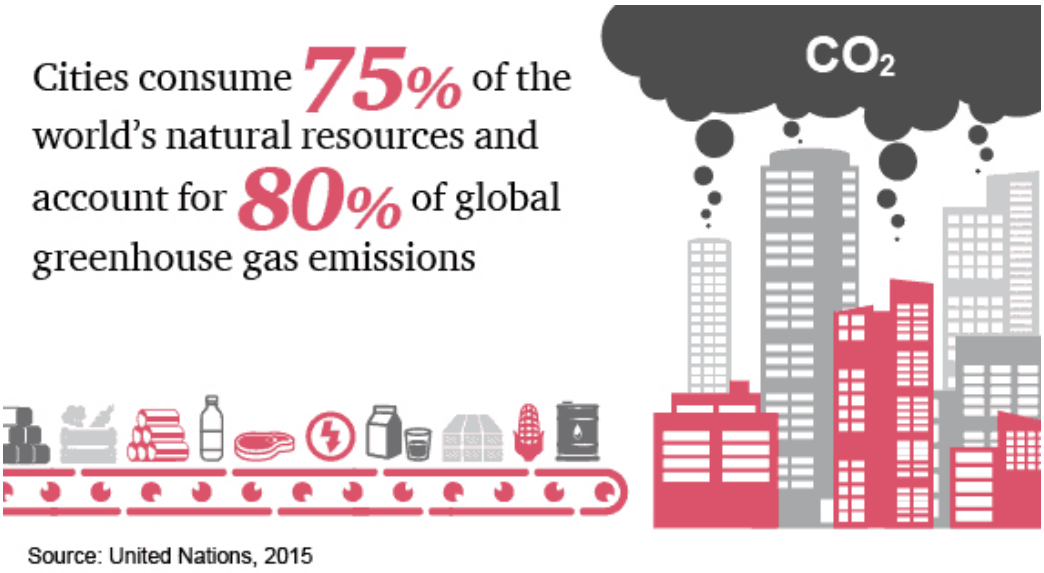
Na základě existujících studií renomovaných mezinárodních konzultantských společností a nadnárodních organizací (např. PwC, McKinsey či OECD) jsme identifikovali následující klíčové megatrendy, které je účelné zohlednit při tvorbě strategické výzkumné agendy České technologické platformy pro udržitelnou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

1.2. Urbanizace

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

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

Obrázek 2: Města a jejich vliv na využívání přírodních zdrojů a emise skleníkových plynů



Zdroj: Převzato z PwC (2016a)

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

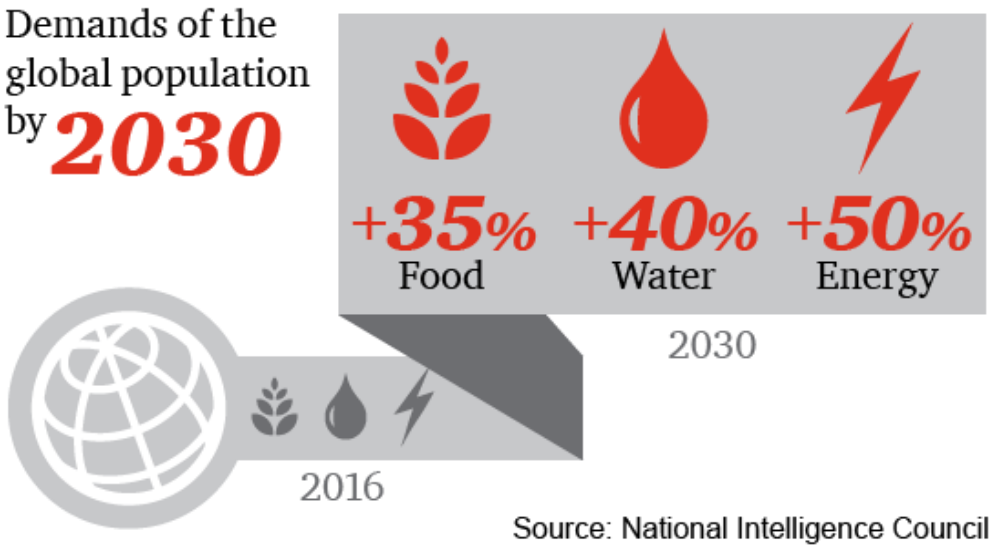
Rychlý rozvoj urbanizace a s ním související požadavek na udržitelný rozvoj měst bude významně ovlivňovat segment stavebnictví, dopravy a energetiky, které patří mezi klíčová odvětví aplikací chemického průmyslu.

1.3. Klimatická změna a dostupnost zdrojů

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

Současné charakteristiky výrobního a spotřebního chování rovněž výrazně zvyšují tlak na zdroje. Očekává se, že rostoucí globální populace bude do roku 2030 požadovat o 35 % více potravin, do roku 2040 pak o 30 – 50 % více než dnes. Stále vyžadovanějším druhem potravin v souvislosti s rostoucími příjmy obyvatel jsou rostlinné oleje, mléčné výrobky, maso, ryby a cukr, jejichž rostoucí spotřeba bude mít obzvlášť významný dopad na dostupnost energie a vody. S růstem populace a ekonomické úrovně se do roku 2030 očekává zvýšení celosvětové poptávky po vodě o 40 % a energie o 50 %, poptávka pro energii vzroste do roku 2040 o 50-80 %.

Obrázek 3: Očekávaný vývoj poptávky po zdrojích ve vazbě na růst populace



Zdroj: Převzato z PwC (2016a)

Vzájemné propojení mezi trendy v oblasti změny klimatu a dostupností zdrojů posiluje dopad na změny klimatu, které by mohly v příštích 60 letech vést ke snížení produktivity zemědělství v rozsáhlých

částech Afriky až o třetinu, s potenciálními dopady na migraci a sociální soudržnost současných společností.

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

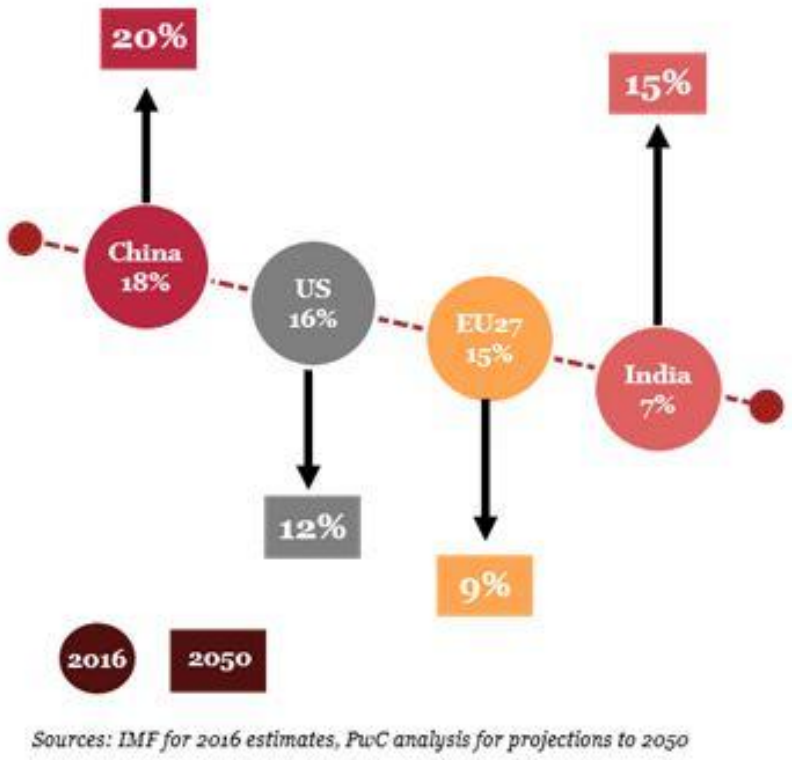
Změny klimatu a dostupnosti zdrojů budou významně ovlivňovat řadu odvětví lidské činnosti. Snaha o maximální energetickou účinnost a obnovitelnost zdrojů s minimálními dopady na životní prostředí se bude projevovat ve všech výrobních procesech a vyvíjených technologiích chemického průmyslu. Z hlediska aplikačních oblastí lze dynamické změny očekávat prakticky ve všech segmentech chemického průmyslu, jelikož snaha o maximální energetickou účinnost je jednou z jeho obecných priorit.

1.4. Změna center globální ekonomické síly

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

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

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



Zdroj: Převzato z PwC (2016a)

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

Tyto aspekty změn center globální ekonomické síly budou ovlivňovat dynamiku změn ve všech nejvýznamnějších aplikačních odvětvích chemického průmyslu. Významnou výzvou pro chemický průmysl bude rozvoj a vývoj procesů a produktů, které budou založeny na efektivním využívání základních i stále častějších alternativních zdrojů, a které budou respektovat princip udržitelnosti a snižovat provozní náklady.

1.5. Demografické a sociální změny

Do roku 2040 se očekává nárůst celosvětové populace o více než 1 miliardu, čímž celkový počet obyvatel na Zemi přesáhne osm miliard. 97 % tohoto populačního růstu bude pocházet z rozvíjejících se nebo rozvojových zemí. Pro budoucí vývoj populace je stejně významným trendem, že lidé ve všech regionech žijí déle a mají méně dětí. Výsledkem je, že nejrychleji rostoucím segmentem bude v následujících letech populace ve věku nad 65 let.

Přestože trend stárnutí populace bude patrný ve všech regionech světa, nejrychleji se tento trend projeví v Evropě, Asii a Latinské Americe. Například v Asii je nyní na jednu osobu v postproduktivním věku v průměru devět lidí v produktivním věku. Do roku 2050 se tento podíl sníží na čtyři lidi

v produktivním věku. V Evropě lze očekávat obzvláště významný pokles obyvatelstva v produktivním věku, což se odrazí v poklesu lidí v produktivním věku na jednu osobu v postproduktivním věku ze současných čtyř na dvě.

Obrázek 5: Očekávaný vliv stárnutí populace do roku 2050

Zdroj: Převzato z PwC (2016a)

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

Globální demografické změny a trend stárnutí populace bude ovlivňovat ekonomické i sociální atributy fungování společnosti. Vedle toho budou tyto megatrendy stěžejním způsobem determinovat vývoj chemických látek a nových materiálů využívaných v oblasti zdravotnictví, ale i v dalších segmentech souvisejících s bezpečností a ochranou lidského zdraví.

1.6. Akcelerace technologických změn

Současným trendem je neustále se zvyšující dynamika technologické změny, kdy se výrazně zkracuje doba od vývoje nových technologií k jejich uplatnění a obecnému rozšíření ve společnosti. Technologická změna má proto na rozvoj společnosti mnohem rychlejší dopad, než tomu bylo v minulosti. Mezi klíčové faktory současné dynamiky technologické změny patří (viz PwC, 2016b) levnější přístup k technologiím, globalizace technologie, zvýšený komfort života s technologiemi, konkurenční výhoda technologie, multiplikační efekt technologie.

Mezi rozhodující technologický trend, který bude zásadním způsobem ovlivňovat změny současných obchodních modelů i vzorců spotřebitelského chování patří digitalizace a automatizace spojené

s uplatněním následujících klíčových technologií: umělá inteligence, rozšířená realita, virtuální realita, internet věcí, robotika, aditivní výroba, blockchain.

Do roku 2030 bude počet zařízení propojených prostřednictvím internetu přibližně sedmkrát vyšší, než je lidí na planetě. Levné, spolehlivé, dostupné a hojně využívané senzory společně s téměř neomezenými kapacitami připojení umožní digitálně propojit celou řadu zařízení (Internet of Everything), což se může projevit ve změně celé řady oblasti: zdravotní péče, letectví, doprava, výroba, domácí služby, vzdělání atp.

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

Rozhodující roli při zrychlení technologického vývoje bude hrát stále širší využívání nástrojů umělé inteligence (AI), které se již dnes začínají podílet jak na vývoji, tak i na řízení výrobních technologií a hrají nezaměnitelnou roli i ve fázi vývoje nových materiálů, kontrole kvality ale třeba i obchodě a interakci se zákazníky.

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

2. Budoucí vývoj chemického průmyslu

Podle posledních údajů evropského sdružení chemických výrobců CEFIC zaznamenal obrat chemických výrobků v roce 2015 rekordní výše 3,534 miliard Eur, přičemž přesvědčivě dominuje Čína, následovaná severní Amerikou a EU (CEIFIC, 2016).

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

Zdroj: CEFIC (2016)

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

Existuje řada možných směrů, jakými se chemický průmysl bude ubírat. Podle jednoho ze scénářů CEFIC lze očekávat, že výrobky chemického průmyslu budou přispívat ke snižování emisí skleníkových plynů a bude zároveň docházet i ke zlepšování energetické účinnosti ve všech odvětví ekonomiky. Emise skleníkových plynů bude navíc možno snížit poměrně výrazně, pomocí dekarbonizace energetického sektoru. Nicméně, z důvodu neprovázanosti politik týkající se životního prostředí/klimatu a energetiky, budou mít jejich samostatná opatření negativní vliv na konkurenceschopnost a investice. Důsledkem toho budou vzrůstat náklady na aktivity chemického průmyslu v EU. Tato nejednotnost navíc povede

ke snížení potenciálu evropského chemického průmyslu ve snaze zvyšovat energetickou efektivitu a snižovat emise.[1]

Cíle EU v oblasti snižování emisí skleníkových plynů budou nadále ovlivňovat vývoj chemického průmyslu, který podle některých odhadů přispěl v období 1990 – 2009 ke snížení emisí CO_2 o 49 %.[2] Předpokládá se, že v příštích letech poroste poptávka po energii (až o 53 % mezi roky 2011 – 2035). Jelikož různé zdroje alternativní energie (solární, větrná, zemní plyn) závisí na inovacích chemického průmyslu, bude důležitý jeho vývoj z hlediska výroby dostupné a obnovitelné energie. Chemický průmyslu bude nadále klíčovým sektorem pro výrobu alternativní energie z odpadního materiálu (např. přeměna na elektřinu nebo alternativní paliva).

Mezi evropskými trendy se vyskytují i aktivity evropské chemické legislativy REACH, která vytváří regulatorní tlak na nakládání se specifickými látkami. Roste taktéž poptávka po udržitelných produktech, které již řeší např. ekodesign nebo se již preventivně snaží předcházet odpadu. Zvýšený zájem spotřebitelů o tyto produkty podněcuje i maloobchodníky, aby vytvářeli udržitelná opatření pro své dodavatele.[3]

Potřebné tak bude, aby se průmysl zaměřil na rozvoj procesů, produktů a služeb, které budou zaměřeny na několik základních kritérií: vysoká životnost, nízká spotřeba energie a vody a složení materiálu. To bude vyžadovat výrobní procesy a technologie, které budou respektovat principy efektivního využívání zdrojů, což předpokládá snížení jejich využívání a zamezování vzniku odpadu. Mezi další principy pak patří např.:

- opakované využívání odpadů a energie
- nahrazování neobnovitelných vstupních surovin obnovitelnými
- úpravy materiálů a produktů s cílem snížení spotřeby zdrojů a zvýšení energetické efektivity (např. zahrnutí recyklovatelných materiálů).[4]

[1] http://www.cefic.org/Documents/RESOURCES/Reports-and-Brochure/Energy-Roadmap-The%20Report-European-chemistry-for-growth.pdf
[2] https://www.icca-chem.org/wp-content/uploads/2015/08/Global-Chemical-Industrys-Contributions-to-Sustainable-Development-and-the-Green-Economy.pdf
[3] http://www.cefic.org/Documents/IndustrySupport/RC%20tools%20for%20SMEs/Document%20Tool%20Box/Sutainability_of_products_What_its_all_about.pdf
[4] https://www.spire2030.eu/sites/default/files/pressoffice/spire-roadmap.pdf

3. Budoucí vývojové trendy pro aplikaci produktů chemického průmyslu

Chemický průmysl ovlivňuje mnoho odvětví a svými procesy a technologiemi se podílí na zlepšování energetické efektivity a snižování emisí CO_2. I do budoucna bude hrát v tomto směru klíčovou roli, zejména při přechodu na udržitelnou nízkouhlíkovou ekonomiku. Tento cíl má stanovena i EU, která chce roku 2050 dosáhnout snížení emisí CO_2 na nulu. Toho nemůže být dosaženo bez vývoje nových čistých a udržitelných technologií. Tyto technologie se budou odvíjet od toho, jak se bude dařit řešit otázky spojené s dostupností nízkouhlíkové energie, dostupností alternativních výchozích surovin nebo investováním do nových aktiv a snižováním výrobních nákladů.[5]

Přestože chemický průmysl zasahuje do mnoha oblastí lidské činnosti, v souvislosti s udržitelným rozvojem a důrazem na omezování negativních vlivů ekonomické činnosti na životní prostředí lze očekávat rozvojový potenciál chemického výzkumu a vývoje a navazujícího průmyslu zejména v oblastech souvisejících s budoucími energetickými potřebami; snižováním spotřeby energií, vody a emisemi; oběhovým hospodářstvím a nakládáním s odpady; zkvalitňováním měst a míst pro život a efektivním využíváním základních surovin.

Z toho důvodu se i chemický průmysl zaměřuje a v budoucnu bude nadále zaměřovat na snižování skleníkových plynů a energetické spotřeby. Zároveň se bude potřeba zaměřit na zamezení plýtvání se zdroji a výrobu více udržitelných produktů. Tím dojde jednak k uchování vzácnějších zdrojů, ale také se otevřou nové směry pro výzkum a vývoj.

3.1. Zvýšení energetické účinnosti

Ve studii Mezinárodní rady chemických asociací (ICCA) se ukázalo, že jen výroba 18 největších objemových chemikálií spotřebovává zhruba 80 % energie z celkového objemu spotřebované energie chemického průmyslu a podílí se na produkci 75 % emisí skleníkových plynů. Toto množství by šlo do roku 2050 snížit přibližně o 20 % – 40 % pomocí investic například do výzkumu a vývoje nových katalyzátorů, které by zlepšovaly energetickou účinnost. K určitému snížení spotřeby energie by mohlo dojít i dříve, a to za předpokladu, že by se začaly více rozšiřovat a využívat již zavedené a osvědčené technologie. Další snižování bude odvislé i od toho, jak se bude dařit využívat nové technologie využívající udržitelné zdroje z biomasy nebo např. vodík. Důležité bude, jak se bude dařit výsledky výzkumu a vývoje sladit faktory a překážkami, které mají vliv na snižování spotřeby energie a na snižování provozních nákladů.[6]

Výzvou v této oblasti bude rozhodně i opětovné využívání CO_2 jako výchozí suroviny k výrobě obnovitelných paliv, obecné navýšení podílu využívání obnovitelných energií a její ukládání. Chemický průmysl dodává i základní materiály pro alternativní zdroje energie jako je např. větrná či solární

[5] https://dechema.de/dechema_media/Technology_study_Low_carbon_energy_and_feedstock_for_the_European_chemical_industry-p-20002750.pdf

[6] https://www.icca-chem.org/wp-content/uploads/2015/08/Energy-and-GHG-Reductions-in-the-Chemical-Industry-via-Catalytic-Processes-Technology-Roadmap.pdf

energie.[7] Kromě toho ovlivňuje inovace a technologie v dopravě, stavebnictví, vodním hospodářství, oběhové hospodářství nebo i v zemědělství.

Snaha o snížení spotřeby energie, jejího efektivního skladování a využití bude ovlivňovat celý rozsáhlý segment vývoje a výroby nových materiálů, využívaných v celé řadě odvětví zpracovatelského průmyslu, ve stavebnictví, ale třeba i ve zdravotnictví. S tím souvisí trend miniaturizace a zlepšení užitných vlastností materiálů a s ním související důraz například na uplatnění nanomateriálů nebo nových výrobních technologií.

Průřezový potenciál napříč odvětvími má chemický průmysl také v oblasti materiálů a technologických postupů pro aditivní výrobu, jejíž další rozvoj lze v následujících letech očekávat.

3.2. Doprava

Očekává se, že počet automobilů bude stoupat, což bude mít za následek i růst vyprodukovaných emisí. Dle studie poradenské firmy PwC se očekává, že mezi roky 2025 a 2035 vzroste počet automobilů v Evropě o 14 milionů, na celkový počet 366 milionů, přitom v závěru této periody budou většina z nich elektromobily. V dopravě bude chemický průmysl ovlivňovat právě zejména snižování emisí CO_2 a z tohoto důvodu bude potřeba hledat možnosti, jak toho efektivně dosáhnout.

Jedno z řešení spočívá ve využívání nových materiálů, kdy se objevuje trend využívání polymerů a multifunkčních materiálů (např. hybridní). Efektem těchto materiálů pak má být zejména snižování hmotnosti, možnost jejich recyklace, zvyšování bezpečnosti, účinnější skladování energie přímo ve vozech a v neposlední řadě i postupné snižování nákladů.[8]

Dalšími možnostmi, jak dosáhnout snižování emisí CO_2 v dopravě je přechod na ekologičtější druhy dopravy. To neznamená jen více využívat alternativní způsoby dopravy, ale zaměřit se i na další příležitosti, které by současnou silniční dopravu učinily více šetrnou k životnímu prostředí. Jde zejména o využívání alternativních paliv s nízkým obsahem uhlíku, nebo paliv biologického původu, a celkové úpravy vozidel, včetně zlepšení účinnosti motorů, výkonnosti baterií, aerodynamických vlastností nebo výroby bezpečnostních prvků.[9]

3.3. Stavebnictví

Předpokládá se, že do roku 2030 bude 80 % evropské populace žít ve městech. To bude vyžadovat nejenom změny a zlepšení v oblasti dopravy, ale i změny ve stavebnictví související s úpravami budov. Pro tyto účely existuje i platforma Smart Cities Stakeholders, která se zaměřuje na integrování technologií a prostředků, která pomáhají řešit výzvy, které se týkají evropských měst. Cílem je do roku

[7] http://www.cefic.org/Documents/RESOURCES/Reports-and-Brochure/Cefic-Sustainability-Report-2013-2014.pdf
[8] SusChem Hybrid Materials Workshop Report; 2010
[9] http://www.cefic.org/Documents/RESOURCES/Guidelines/Transport-and-Logistics/Best%20Practice%20Guidelines%20-%20General%20Guidelines/Cefic-ECTA%20Guidelines%20for%20measuring%20and%20managing%20CO2%20emissions%20from%20transport%20operations%20Final%2030.03.2011.pdf?epslanguage=en

2020 snížení produkce emisí, větší využívání obnovitelných energií a zlepšení energetické účinnosti. Toho nemůže být dosaženo bez zkvalitnění energetické účinnosti budov nebo změny systému dopravy.[10]

Stavebnictví je odpovědné za 32 % globální spotřeby energie a za produkci 26 % emisí CO_2. Podobně jako je očekávaný růst počtu automobilů, očekává se i celkový nárůst počtu obytných a komerčních budov, což sebou přináší riziko spojené s vyššími energetickými nároky (odhaduje se nárůst o 60 %) a s vyšší produkcí emisí. Vývoj by tak měl směřovat k nízké energetické náročnosti a nízké nákladovosti. V současnosti k tomu přispívá podpora energeticky pasivních domů, výrobky s delší životností a vyšší energetickou účinností nebo využívání energeticky účinných stavebních materiálů.

K vyšší energetické účinnosti mohou vést i přísnější stavební pravidla v kombinaci s obnovou budov. Do roku 2050 by tímto mohlo dojít ke snížení spotřeby energie a emisí skleníkových plynů až o 23 %.[11] V rámci obnovování budov bylo navrženo 5 inovací, které mohou přispět k úsporám energie na topení/klimatizaci:

- Reflexní vnitřní nátěry
- Vysoká odrazivost a odolnější vnější povrchy
- Materiály se změnou fáze
- Pokročilé izolační pěny
- Podtlakové izolační moduly[12]

Předpokládá se, že chemický průmysl se bude v budoucnu podílet na dalších inovací a technologiích, které budou splňovat prvek efektivnosti a ekologické šetrnosti. Zaměřovat se bude i na další oblasti v městském prostředí, kde se objevují příležitosti k větší energetické efektivitě:

- zlepšovat kvalitu vody a ovzduší
- zvyšovat hodnoty materiálů
- zvyšovat efektivitu alternativních zdrojů energie
- řešit problémy s recyklovatelností.[13]

3.4. Vodní hospodářství

Role chemického průmyslu v oblasti vodního hospodářství je zejména v odstraňování nečistot z odpadních vod a průmyslového odpadu a kromě toho se také podílí na tvorbě pitné vody. Zaměřuje se i na vývoj nových technologií, které přeměňují šedou či dešťovou vodu na zdroj energie. Svými aktivitami má v této oblasti za cíl přispívat i ke zvyšování energetické účinnosti a současně k ochraně životního prostředí.

V rámci vodního hospodářství stojí chemický průmysl před několika výzvami, mezi které patří např.:

- technologie pro úpravu vody, které by zároveň snižovaly poptávku po energii
- předvídatelnost dopadů chemikálií na životní prostředí

[10] http://www.smart-cities-europe.eu/documents/SUSCHEM-BROCHURE-WEB.pdf
[11] https://www.icca-chem.org/wp-content/uploads/2015/08/ICCA-Building-Technology-Roadmap-Executive-Summary.pdf
[12] http://www.smart-cities-europe.eu/documents/SUSCHEM-BROCHURE-WEB.pdf
[13] SusChem Hybrid Materials Workshop Report; 2010

- výroba chemikálií a produktů, které budou efektivní a zároveň recyklovatelné, případně samy rozložitelné
- přenosné technologie pro analýzu podzemní vody[14]

Nejde pouze o snižování spotřeby energie a dopady na životní prostředí, jelikož v konečném důsledku je cílem i snižování spotřeby vody. Výzkum a vývoj by měl směřovat k procesům, které budou méně náročné na vodu, udržitelné anebo povedou k jejímu opakované použití. Ke snížení spotřeby pitné vody přispěje i využívání alternativních zdrojů, jako je např. využívání odpadních vod, se kterým souvisí i procesy na její čištění a správu.[15]

3.5. Cirkulární ekonomika

V oblasti cirkulární ekonomiky ovlivňuje chemický průmysl všechny fáze, od návrhů výrobků, výroby, nakládání s odpady, až po přeměnu odpadu na energie. V konečném důsledku by se díky cirkulární ekonomice neměl tvořit žádný odpad, všechen by měl být nějakým způsobem zpracován a zužitkován. Trendem při výrobě je zejména trvanlivost, snadná opravitelnost a recyklovatelnost výrobků. Z hlediska výroby by mělo docházet k co nejefektivnějšímu využívání zdrojů.

Pro cirkulární ekonomiku bude do budoucna základní výzvou snižování a znovu používání odpadu. Odpad je důležitým zdrojem pro získání surovin a energie, který může sloužit jako alternativní zdroj surovin. Z tohoto hlediska jsou podstatné aktivity chemického průmyslu, jelikož pro zpracovávání odpadu jsou potřeba adekvátní technologie a procesy, které ho dokážou extrahovat, oddělovat a pročišťovat. Pro nakládání s odpady je také podstatné, aby využitelné materiály, které jsou běžně pokládané za odpad, byly znovu začleněny do výrobního procesu. Důsledkem snižování a materiálového využití odpadu jsou zejména nižší výrobní náklady, zmírnění dopadů na životní prostředí, zvyšování produktivity a energetické účinnosti a efektivnější nakládání se zdroji.[16]

Cirkulární ekonomika má řadu příležitostí, které by mohly mít pozitivní environmentální i ekonomické dopady. Může ovlivňovat snižování emisí skleníkových plynů za pomoci lepšího nakládání s odpady a stejně tak i snižování množství využívaných neobnovitelných zdrojů. Kromě toho skrývá potenciál na zajištění spolehlivého dodávání surovin. To je dáno tím, že znovu používáním surovin by mohlo dojít ke snížení výdajů a závislosti na dovozu a zároveň by se zvýšila jejich dostupnost. Z ekonomického hlediska by vývoj tímto směrem měl v různých odvětvích urychlit vznik inovací orientující se na potřeby týkající se úprav materiálů a produktů, aby byly snáze znovu použitelné.[17]

3.6. Zemědělství a potravinářství

EU ve své strategii Evropa 2020 považuje bio-ekonomiku za významný prvek umožňující udržitelný rozvoj, využívání obnovitelných zdrojů a vývoj nových trhů s potravinami a bio produkty. Strategie se zaměřuje na několik základních oblastí, které zahrnují budoucí výzvy týkající se zajištění potravin,

[14] http://www.water-europe.eu/documents/Sustainable%20Water%20Chemical%20Science%20Priorities.pdf
[15] http://www.water-europe.eu/documents/Tomorrow%20starts%20with%20Chemistry.pdf
[16] SusChem: Strategic Innovation and Research Agenda, 2017
[17] http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2016/573899/EPRS_BRI(2016)573899_EN.pdf

udržitelností přírodních zdrojů a snížení závislosti na neobnovitelných zdrojích anebo zmírňování změn klimatu.[18] Strategie pro udržitelnou a konkurenceschopnou Bioekonomiku z roku 2025 [19] se dále specificky zaměřuje na dosažení hlavních cílů v této oblasti.

Průmysl založený na bio-odvětvích si v rámci své strategické agendy inovací a výzkumu stanovil několik cílů, kterých by chtěl dosáhnout do roku 2020 a 2030. Cíle naznačují směr, kterým by se průmysl chtěl ubírat v oblasti zemědělství, např.:

- zajistit bezpečnou a udržitelnou biomasu pro biorafinérie, včetně navýšení nabídky biomasy o 10 % (2020), respektive 20 % (2030)
- napomáhat rozvoji hospodářství na venkově založeném na biorafinériích
- navyšovat zužitkování nevyužitých zdrojů na 15 % (2020), potažmo 25 % (2030), s tím souvisí i co největší zužitkování biomasy (směřování k nulové tvorbě odpadu)
- přispívat k zavádění biochemikálií, biomateriálů a pokročilých biopaliv v průmyslu[20]

Chemický sektor se podobně jako další odvětví zaměřuje na přechod na udržitelný ekonomický model založený na bio-odvětvích. Pro udržitelné zemědělství jsou podstatné biorafinérie, které z obnovitelných biologických zdrojů jako je biomasa (včetně různých druhů odpadů) vytváří bioprodukty zahrnující např. potraviny nebo energii. Snahou je dosáhnout snížení závislosti na fosilních palivech směrem k udržitelnějším zdrojům, které budou brát ohledy na životní prostředí. Ve výsledku bioekonomika přispívá i k udržitelnému a oběhovému hospodářství.

Na začátku hodnotového řetězce stojí zemědělství, které poskytuje udržitelnou biomasu pro chemické využití. Chemický průmysl svými aktivitami zefektivňuje účinnost zdrojů a podílí se na vývoji udržitelných postupů. Dalším přínosem chemického průmyslu pro zemědělství je především v dodávkách průmyslových hnojiv, které ovlivňují výnos z plodin, v dodávkách produktů na ochranu plodin a plastů (zejména produkce obalů a prevence potravinového odpadu) a na zemědělskou infrastrukturu. Napomáhá i při přeměně potravinového odpadu na biopaliva.

Chemický průmysl by pak dle této strategie měl využívat především druhou generaci biomasy (odpady z potravinářství a zemědělství), která má v sobě velký potenciál pro zvýšení efektivnosti zdrojů. Mělo by tak dojít k přechodu ze současného stavu kdy ve velké míře stále využívá i biomasu první generace. Pro oba dva druhy biomasy platí, že budou využívány i v budoucnu, za předpokladu, že budou udržitelné a nebudou na úkor produkce potravin. Biomasa, jako výchozí udržitelná surovina, se potýká s rizikem vyčerpání rostlinných živin v půdě. Proto budou potřeba takové technologie, které budou obnovovat nebo recyklovat zejména fosfor, dusík a draslík. Také se předpokládá, že pro to, aby zásoba surovin pro výrobu bio produktů byla dostatečná, bude zapotřebí využívat další zdroje (např. komunální odpad, recyklované suroviny, řasy, využití CO_2).[21]

Přechodem na bio-ekonomiku by díky bioenergii (tvoří 65 % obnovitelné energie EU) mohlo dojít ke snížení množství emisí skleníkových plynů a zefektivnění postupů v zemědělství, lesnictví a průmyslových biotechnologií, kde by plasty a chemikálie mohly být nahrazeny bio alternativami. S tím

[18] http://ec.europa.eu/research/bioeconomy/pdf/official-strategy_en.pdf
[19] https://environment.ec.europa.eu/strategy/bioeconomy-strategy_en
[20] https://www.bbi-europe.eu/sites/default/files/sira-2017.pdf
[21] SusChem: Strategic Innovation and Research Agenda, 2017

však zároveň souvisí i riziko dalších emisí CO_2, které by mohly být způsobeny přímým nebo nepřímým využíváním půdy nebo využíváním lesních zbytků.[22]

[22] http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2017/595890/EPRS_BRI(2017)595890_EN.pdf

4. Budoucí technologie pro rozvoj udržitelné chemie

V návaznosti na výše uvedené megatrendy a očekávaný vývoj v klíčových oblastech pro aplikace chemického průmyslu byly identifikovány následující výzvy v oblasti technologického rozvoje, kterým je potřebné věnovat pozornost při směřování výzkumných a vývojových aktivit.

4.1. Průmyslové biotechnologie

Biorafinerie - chemikálie a energie z biologických materiálů a biotechnologií

Biorafinace představuje progresivní způsob získávání cenných produktů z rostlinné a živočišné biomasy. Mohou to být jak primární suroviny, které poskytuje sama příroda, tak i případné odpadní druhotné suroviny ze zemědělsko-potravinářského komplexu. Takové procesy se zabývají ekonomicky výhodným a ekologicky přátelským způsobem získávat cenné produkty z rostlinné a živočišné biomasy, které jsou obecně využitelné v řadě odvětví zemědělského, potravinářského a spotřebního průmyslu, nebo v konečné fázi i jako energetické zdroje a biopaliva. Biorafinace významně pozitivně řeší i problematiku životního prostředí, která je u tradičních (fosilních) zdrojů společností vnímána problematicky. Obrovská společenská výhoda biorafinace spočívá také v tom, že na rozdíl od průmyslu založeného na zpracování neobnovitelných fosilních zdrojů (z nichž ropu a zemní plyn je nutno dovážet) je biorafinace nejnadějnější cestou pro vznik nových technologií, využívajících domácí obnovitelné zdroje. Biomasa je jedinečná tím, že má kromě energetického významného využití v chemické technologii a potravinářství. Její zpracování má dále význam pro zdravotnictví, farmacii, kosmetiku i pro ochranu krajiny a životního prostředí.

Technologie zplynování dřevní biomasy se ukazuje jako velmi perspektivní, zejména pro výrobu tzv. biooleje pyrolýzou nebo zplynování dřevních štěpků na syntetický plyn (směs CO + H_2, případně se stopami CO_2), který může být dále využit k výrobě kvalitního paliva (BtL procesy). Moderním procesním způsobem zplynování je fluidní technika. Zplynování dřevní biomasy je výhodné zejména při aplikaci energetických rostlin využívaných při tzv. fytoremediaci zamořených půd (rostliny svým kořenovým systémem rozloží nebo „nasají“ škodliviny z kontaminovaných lokalit půd); proces je vhodný např. pro separace těžkých kovů ze zamořených lokalit. Těžké kovy jsou po zplynování enkapsulovány do pevného uhlíkatého zbytku (tzv. char), resp. do popele, a nepronikají do ovzduší.

V rámci biorafinačního přístupu je prováděn výzkum zplynování vhodných (energetických) rostlin po jejich předchozím materiálovém využití (např. extrakce vosků). Odpadní plyny po fluidním zplynování mohou být energeticky využity (např. na výrobu motorových paliv nebo tepla), únos tuhých částic je pak separován v cyklonu. Popílek může mj. enkapsulovat těžké kovy (v případě, že jsou využívány dřeviny aplikované při fytoremediaci).

Další možností je biorafinace lignocelulózových materiálů hydrolýzou. Vybrané energetické rostliny, resp. odpadní lesní materiál, jsou hydrolyzovány na rozpustné složky (celulózu a hemicelulózu), které jsou mikrobiologicky konvertovány na etanol, nerozpustný lignin může být buď spalován přímo na teplo a výrobu elektřiny, nebo upraven gasifikací na syntézní plyn (H_2, CO, CO_2, CH4) využitelný jako uhlíková surovina k syntézám, nebo rovněž pro energetické využití.

Lze také využít bioaktivní látky z produkce živočišné výroby. Vedlejší produkty z jateční produkce vepřů, hovězího dobytka a kuřat - kosti, tuk, peří, běháky (roční produkce v rámci ČR lze odhadnout kolem

850 tun) jsou zdrojem bioaktivních látek (keratin, kolagen, chondroitin sulfát, polysacharidové polymery, hyaluronová kyselina, a další).

Biokatalyzátory

Netradiční biomasou pro průmyslové využití skýtají řasy. Zde je obrovský prostor pro výzkum v oblasti kultivace nových kmenů (bohatých na obsah škrobu nebo lipidů) se zaměřením jak na urychlování růstu řas, tak na zvyšování obsahu olejů. Vedle fototropních bioreaktorů je současným výzkumným trendem optimalizace vhodných typů autotrofních fotobioreaktorů (na bázi fermentační produkce řas). Mixotrofní bioreaktory pracují jako fermentory, tj. uhlík potřebný k růstu řas získávají z živin na bázi vhodného sacharidu a přijímají kyslík respirací ze vzduchu, ale přitom umožňují současnou asimilaci uvolněného oxidu uhličitého fotosyntézou.

Řasy poskytují též řadu žádaných produktů pro potravinářství, farmacii a kosmetiku (nenasycené omega 3- a 6- mastné kyseliny, karotenoidy, vitamíny, růstové faktory, chlorofyl apod.), značný obsah bílkovin je předurčuje i jako doplněk stravy a krmiv. Výtěžnosti řas vztažené na plochu potřebnou k pěstování jsou přitom mnohem vyšší než u hospodářských rostlin. Jejich výhodou je i nezávislost na povětrnostních podmínkách a možnost jejich průmyslového pěstování.

Využívání bioproduktů pro syntézu chemických specialit

Biorafinačním postupem lze z obnovitelných zdrojů biomasy získat platformní (základní) chemikálie, které mohou v blízké budoucnosti zcela změnit tvář průmyslové chemie. Na komerční bázi se již dnes z biomasy produkují například oxid uhličitý, kyselina octová, kvasnými procesy jednoduché alifatické alkoholy, aldehydy a též aceton, glycerol, organické kyseliny, třeba octová, mléčná, citronová i řada nutričních aminokyselin či fermentačně syntetizovaných antibiotik.

Průmysl chemického zpracování biomasy, založený na principu biorafinace, bude koncepčně vycházet z jiných základních chemikálií, než je tomu v petrochemii. Významnou roli v chemii biomasy bude hrát její “karbohydrátová” frakce. Dá se předpokládat, že její složky budou biologicky nebo chemicky konvertovány na běžné základní chemikálie, funkčně analogické základním (platformním) petrochemickým chemikáliím (etylen, propylen, olefiny, benzen atp.).

Bio-platformní chemikálie zahrnují řadu látek, jako jsou například glycerol, kyselinu jantarovou, butanol nebo řadu hydroxykyselin využitelných na výrobu biodegradabilních polymerů - polyhydroxyalkanoátů.

4.2. Pokročilé materiály a technologie

Nanotechnologie a nanomateriály

Nanotechnologie bychom mohli definovat jako interdisciplinární a průřezové technologie, zabývající se praktickým využitím nových a neobvyklých vlastností nanomateriálů pro konstrukci nových struktur, materiálů a zařízení. V souladu s nastupující čtvrtou technologickou revolucí byly identifikovány čtyři

perspektivní směry budoucího rozvoje nanotechnologií: senzorika, chytré materiály, generování a uskladňování energie a velká data.

Nanotechnologie a nanomateriály (dále NM) jsou jednou z progresivních technologií, kterým je pro 21. století prognózována velká budoucnost s ohledem na možnosti řešení hlavních současných výzev v oblasti energií, životního prostředí a zdraví obyvatel. Průnik nanotechnologií na trh zatím není tak spontánní, jak se očekávalo, ale přesto se v blízké budoucnosti předpokládá dynamický nárůst s ohledem na přínos pro přidanou hodnotu mnoha výrobků.

Jednou z hlavních překážek rychlejšímu rozvoji výroby a aplikací NM je dosud nedořešená legislativa v oblasti bezpečnosti v celém životním cyklu NM a také nedostatečná standardizace metod posuzování účinnosti a životnosti těchto zcela nových materiálů. Z toho pramení i určité obavy veřejnosti o bezpečnost výroba a aplikace nanomateriálů. Řešení otázek rizik spojených s aplikací NM dlouhodobě pokulhává v celosvětovém kontextu za samotným vývojem nanotechnologií.

Z hlediska aplikačních odvětví se očekává dynamický rozvoj nanoelektroniky, kde sehrají významnou roli uhlíkové nanotrubičky a fullereny. Očekává se, že se budou rozvíjet metody výroby tenkých nanodrátků do nanosenzorů (např. pro detekci chemických a biologicky nebezpečných látek). NM s vylepšenými vlastnostmi se budou používat při vysoce účinné katalýze v chemických procesech a při přeměně energie ve fotovoltaických a palivových článcích, biokonverzi energie či zpracování odpadů a kontrole ovzduší. V medicíně se budou dále vyvíjet nová diagnostická zařízení, terapeutika, transport léků nebo biokompatibilní materiály pro implantáty a protézy. Samostatný směr vývoje představují tzv. „extrémní nanotechnologie“, jež zahrnuje manipulaci s atomy a molekulami. Jde o samoreplikující se a samosestavující se systémy, které mohou mít uplatněni v elektronice nebo lékařství.

Největší objem NM v současné době je založen na Ag, uhlíku a oxidech Ti, Si a Zn. Do skupiny komerčních NM dále patří CeO_2, FeOx, AlOx, grafen . Za velmi perspektivní prvek je považováno lithium zejména v souvislosti s velmi dynamickým nárůstem trhu s autobateriemi pro elektromobily.

Vzhledem k očekávanému dynamickému růst spotřeby nano TiO_2 je příležitost vyvíjet jeho ekonomicky efektivní výrobu (např. rozprašovací hydrolýzou) a současně rozvíjet přednostně takové aplikace nano TiO_2 kde nehrozí dopad ze změny legislativy. Jedná se zejména o ochranu povrchů, nátěrové hmoty, fotokatalyzátory a katalyzátory, čištění vod a ovzduší, materiály pro elektroniku, stavební materiály, sklo a keramika.

Další směrem s vysokým potenciálem pro budoucí uplatnění je rozvoj aditivní výroby. Mikro- a nano-tiskové techniky nalézají řadu aplikací v oblasti elektroniky, biotechnologie a syntézy materiálů. Spojení aditivní výroby a nanotechnologií skýtá řadu významných technických a výzkumných výzev. Obvykle je třeba řešit komplex otázek jako je vhodná technologie tisku pro požadovaný výrobek, 3D tiskárna, sofistikovaný software, případná konečná úprava po tisku (např. oddělení podložky) a nalezení vhodných základních materiálů. Současné technologie aditivní výroby využívají především termoplasty, elastomery, železné kovy (slitiny oceli), neželezné kovy (např. hliník, bronz, Co-Cr a Ti) a některé keramické materiály (například SiO_2, TiO_2). Nové kompozity s jinými materiály mohou nabídnout větší možnosti rozšíření současných omezení materiálů a vytvoření nové třídy multifunkčních nanokompozitů.

Specifickým oborem aditivní výroby je bioprinting vytvářející trojrozměrné struktury ze živých buněk nebo jiných tkání. Pomocí tohoto přístupu bude možné vyrobit náhradní srdeční chlopně, cévy, uši, části obličeje i jiné poškozené části těla, aniž by hrozila odmítavá imunitní reakce organismu.

Kombinace aditivní výroby a nanotechnologií umožní na jedné straně urychlit a zlevnit chemický výzkum (např. skrze miniaturizované fluidní reaktory jako "mikroplatformy" pro vícestupňové organické chemické syntézy a materiály), zároveň představuje nové příležitostí pro chemický průmysl v oblasti vývoje nových technik „vkládání molekul a atomů“ do tištěných produktů a vývoje nových materiálů pro nano a mikro tisk.

Dalším směrem uplatnění nanotechnologií je výroba prášků z kovů, funkčních slitin, keramiky a intermetalických látek, které jsou využívány pro aplikace v elektronice, nanomedicíně, stavebnictví, ale také v řadě spotřebních výrobků jako např. v autokosmetice a čisticích prostředcích.

Na základě dosavadního vývoje však lze očekávat, že nové materiály na bázi nanotechnologií se budou nadále rozvíjet ve vazbě na požadavky konstrukčních odvětví, jako je automobilový průmysl, strojírenství, elektrotechnika či kosmický průmysl. V těchto odvětví bude kladen důraz na vysoce výkonné zpracování multifunkčních materiálů, lehkých slitin, titanu a kompozitních materiálů splňujících požadavky na unikátní vlastnosti požadovaných materiálů, vysokou jakost a integritu povrchů, recyklovatelnost, ale také nákladovou efektivnost.

V současné době jsou významné příležitosti spatřovány ve vývoji především následujících materiálů:

- Multifunkční materiály s vestavěným snímáním / ovládáním (např. standardní řídicí panel s tištěnou elektronikou)
- Materiály se schopností se samy opravit (např. nárazníky vyhovující požadavkům na recyklaci, ochraně proti UV záření nebo povrchová úprava proti poškrábání)
- Materiály s přizpůsobenými vlastnostmi tepelné nebo elektrické vodivosti (např. pro vnější povrch letadel, pro ochranu proti osvětlení, tepelná vrstva, termoelektrické materiály pro termoelektrické generátory)
- Lehké materiály pro motory (např. keramické pěny)
- Multifunkční materiály s integrovanou elektronikou (např. LED diody a Quantum Dot pro palubní desku automobilu)
- Materiály na bázi bio pro sendvičové panely (například pěny a vlákna na bázi nano celulózy)
- Nano kompozitní povlaky poskytující snížení tření nebo opotřebení pro energetický sektor (např. pístní kroužky a vložky do válců)
- Masově vyráběné nanokompozity pro rekuperaci tepla (např. pro výfukové systémy)
- Nanokompozity se zvýšenými vlastnostmi pro chemickou konverzi energie
- Materiály s nano strukturovanými povrchy (například pro snížení tření získané nanotiskem a nebo nano nanášecími technikami)
- Lehké baterie včetně jejich obalů (např. pro elektrická vozidla nebo vozidla s vysokými požadavky na skladování elektrické energie)
- Materiály s antikorozními vlastnostmi (např. nádrže pro přepravu močoviny nebo pohonných hmot)
- Požárně odolné materiály (například krycí materiál, jako je kůže a textilie, pro interiéry)

Ekologie, zelené průmyslové procesy

Změna klimatu je v současnosti jedním z nejzávažnějších a nejvíce diskutovaných globálních ekologických problémů. Základními antropogenními skleníkovými plyny jsou oxid uhličitý (CO_2), metan (CH_4), oxid dusný (N_2O), fluorované uhlovodíky (HFC, PFC), fluorid sírový (SF_6) a fluorid dusitý (NF_3).

Chemické a inženýrské vědy a chemické technologie významně přispívají k udržitelnému rozvoji celé řady průmyslových oborů, v energetice, stavebnictví, dopravě, hutnictví, zdravotnictví a zemědělství. Chemický průmysl dodává nové materiály, katalyzátory a technologie, postupně připravuje realizaci strategie nízkouhlíkové ekonomiky založené na obnovitelných zdrojích energií a využití CO_2 jako základního zdroje uhlíku. Důležitý je i vývoj inovativních postupů a technologií využití biomasy pro energetické účely (výroba pohonných hmot, tepelné aj. energie) a jako suroviny pro zpracovatelský průmysl.

Kromě problémů souvisejících se zatížením atmosféry antropogenními skleníkovými plyny je pro dlouhodobý rozvoj významné také hospodárné nakládání s řadou primárních surovin, které zajišťují současný životní standard. Vedle fosilních paliv jsou to vzácné zeminy, prvky skupiny platiny, dále pak bór, niob, indium, germanium, galium, beryllium či grafit. Z hlediska produkce kvalitních materiálů je problémem rovněž postupné vyčerpávání ložisek chromu, antimonu, manganu, wolframu a kobaltu. Avšak pro udržitelný život jsou nesmírně závažné i tenčící se zásoby fluoru, hořčíku a především fosforu.

Úplná recyklace všech biogenních prvků (nejen koloběh uhlíku a vody, ale i fosforu, dusíku, síry, hořčíku, železa, vápníku, sodíku, draslíku) nezbytných pro reprodukci života a recyklace všech prvků těžených z přírodních zdrojů jsou nezbytné nejenom kvůli zabezpečení čistoty životního prostředí, ale i pro zabezpečení udržitelnosti v podmínkách měnícího se klimatu.

Dlouhodobý cíl politiky ochrany klimatu EU je obsažen v „Plánu přechodu na konkurenceschopné nízkouhlíkové hospodářství do roku 2050“, který předpokládá snížení celkových emisí skleníkových plynů EU o 80 – 95 % do roku 2050 v porovnání s rokem 1990. V lednu 2017 byl schválen Národní akční plán adaptace na změnu klimatu, který mimo jiné stanovuje úkol do roku 2020 snížit roční emise SO_2 o cca 91 kt, NOX o cca 40 kt a tuhých znečišťujících látek o cca 3 kt (tj. cca 2,5 kt PM). Mezi hlavní oblasti, na které se politika ochrany klimatu soustředí, patří ochrana ovzduší, ochrana zdrojů vody, skládkování odpad a recyklace biogenních prvků.

Chemický průmysl, jakožto sektor, který přidává hodnotu surovinám, může přispět k rozvoji udržitelné oběhové ekonomiky tím, že bude co nejlépe využívat suroviny ve svých vlastních procesech a ve spolupráci s dalšími průmyslovými subjekty. Hlavní výzvy technologického rozvoje lze v této souvislosti spatřovat především ve využití alternativních surovin, ve vývoji nových materiálů pro environmentálně šetrnou výrobu a ve zlepšení účinnosti výrobních procesů nebo jejich náhradě udržitelnějšími technologiemi.

Materiály pro konverzi a skladování energií

Klíčovým tématem současného vývoje globální společnosti je zabezpečení udržitelné, bezpečné, konkurenceschopné a cenově dostupné energie. To se odráží v řadě výzkumných aktivit realizovaných v oblasti snížení energetické náročnosti a zvýšení odolnosti elektrické rozvodné sítě, efektivní

transformace energie a její využití v průmyslu a v dopravě, přenos energie a její skladování, palivové články a vodík, zachycování uhlíku a technologie jeho skladování s cílem redukce emisí skleníkových plynů z fosilních paliv a biopaliv.

V oblasti skladování energií se současný výzkumný a technologický rozvoj zaměřuje především na zvýšení efektivity baterií, rozvoj elektrochemických kondenzátorů a vývoj palivových článků. V oblasti vývoje baterií je věnováno úsilí zvýšení výkonu lithiových baterií snížením difuzních vzdáleností lithia-iontů, ale výstupy zůstávají daleko pod úrovní elektrochemických kondenzátorů a pod úrovní požadovanou pro mnoho aplikací. Nadějná řešení jsou hledána v alternativním přístupu založeném na redoxních reakcích funkčních skupin na povrchu uhlíkových nanotrubic. Těchto materiálů se například využívá pro výrobu vícevrstvých elektrod složených z velmi tenkých vrstev těchto nanotrubic.

Dalším představitelem elektrochemických řešení ukládání energie v pevné fázi jsou superkondenzátory nazývané také elektrochemické kondenzátory. Superkondenzátory uchovávají energii buď pomocí iontové adsorpce (elektrochemické kondenzátory s dvojitou vrstvou) nebo pomocí rychlých redoxních reakcí (pseudokonzervátory). Zlepšení výkonnosti superkondenzátorů bylo dosaženo zvýšením hustoty energie pomocí kombinace nanostrukturovaných lithiových elektrod. Většina současných výzkumů se soustředí na polovodičové kvantové tečky, jelikož vykazují zřetelné "efekty kvantové velikosti". Pro realizaci superkondenzátorů jako zdrojů elektrické energie s velmi vysokými hodnotami měrné energie a výkonu a je potřeba zkoumat nové materiály, fyzikální a chemické procesy probíhající v okolí a na povrchu elektrod. Je zapotřebí plně porozumět mechanismům uchovávání náboje a navrhnout nové druhy elektrodových materiálů. Je nezbytné zkoumat nové druhy elektrolytů, které budou mít vysokou vodivost společně s elektrochemickou, chemickou a tepelnou stabilitou.

Dalším vývojovým směrem pro uchování energie jsou palivové články, které představují elektrochemické zařízení přeměňující přímo chemickou energii paliva a okysličovadla na energii elektrickou za vzniku menšího množství tepla. Nejjednodušší a nejpropracovanější jsou palivové články založené na slučování vodíku s kyslíkem. V současnosti se nejvíce nadějí vkládá do kyslíko-vodíkového palivového článku v rámci vodíkového pohonu automobilů. Velká pozornost je nyní věnována možnosti využití etanolu s ohledem na vyšší hustotu energie kapalných látek. Potenciálně zajímavou oblastí využití palivových článků jsou i přenosná elektronická zařízení, jako jsou notebooky, mobilní telefony nebo videokamery.

Moderní katalyzátory

Katalýza je jednou z nejrozsáhlejších a nejdůležitějších disciplín v chemickém průmyslu. Katalytické materiály mají zásadní význam pro snížení dnešních a budoucích zátěží v oblasti životního prostředí a mohou přispět k ekologičtějšímu a udržitelnějšímu vývoji produktů, ke snížení emisí CO_2 nebo k řešení budoucích energetických problémů. Úspěšná realizace nových katalytických řešení a technologií vyžaduje integraci odborných znalostí z chemie, fyziky, biologie, matematiky do chemického a materiálového inženýrství a aplikované průmyslová chemie. Integrace teoretického modelování in situ k pochopení reakčních mechanismů, vědy o přípravě katalyzátoru na úrovni nanometrů, pokročilé mikro kinetiky a modelování reaktorů jsou příklady současných trendů v katalýze. Dalším úkolem je dosáhnout jednotného přístupu pro homogenní, heterogenní a bio katalýzu.

V současné době se obor katalýzy vyvíjí od popisu k predikci. Důležitými prvky takového přístupu jsou výpočetní modelování katalytických procesů a pokročilé syntetické přístupy zaměřené na přípravu materiálů s vylepšeným katalytickým výkonem. Reprezentativním příkladem této koncepce jsou nanomateriály na bázi uhlíku dopované lehkými hetero atomy, které představují třídu katalytických systémů bez kovů, s potenciálem katalyzovat řadu klíčových chemických reakce v rámci environmentálních technologií. Přestože heterogenní katalýza bude pravděpodobně stále dominovat budoucímu průmyslovému využití katalýzy, je zřejmé, že mnohé nové výzvy, kterým katalýza čelí, od využití sluneční energie až po použití biomasy, vyžadují integraci homogenních, heterogenních a bio-katalýz.

Katalýza a katalytické procesy představují přímo nebo nepřímo asi 20 – 30 % světového HDP. Výroba katalyzátorů v Evropě má velký ekonomický dopad, který činí zhruba 3 – 4 miliardy EUR. Technická zlepšení katalyzátorů a výrobních procesů by mohly do roku 2050 snížit energetickou náročnost výrobků o 20 % až 40 %. V absolutních číslech by zlepšení mohlo ušetřit ročně až 13 EJ (exajouly) a 1 Gt ekvivalentu oxidu uhličitého (CO_2 ekv.) Katalýza je proto zásadní pro snížení tohoto zatížení životního prostředí. Více než 85 % všech současných chemických produktů se vyrábí pomocí katalytických procesů a katalytické procesy umožňují moderní rafinování paliv. Katalýza neovlivňuje jen chemický průmysl a ropné rafinérie. Má rozhodující úlohu při umožnění udržitelného využívání energie, například v palivových článcích a bateriích, při výrobě biopaliv, jakož i při ochraně životního prostředí a klimatu. Neustále roste také význam nanomateriálů v katalýze, kde je zapotřebí věnovat mimořádnou pozornost hodnocení jejich bezpečnosti v rámci celého životného cyklu.

Významné výzkumné záměry jsou zaměřeny na hledání nových teoretických přístupů k přípravě katalyzátorů pomocí efektivního modelování. Je třeba získat další znalosti o molekulárních mechanismech heterogenní katalýzy a aktivace / deaktivace katalyzátorů v nano rozměrech. V cyklické ekonomice je CO_2 stále častěji vnímán chemickým průmyslem jako stavební kamen spíše než výroba chemických odpadů. Pokračuje úsilí o reakci CO_2 s olefiny, dieny a alkyny za vzniku karboxylátů, karbonátů a karbamátů. Mnohé z těchto procesů jsou katalytické. V současné době se mnoho chemických procesů spoléhá na syntézní plyn ($CO + H_2$), budoucí cesty jsou však naznačeny v rozvoji chemie založené na $CO_2 + H_2$, neboť příprava uhličitanů a polykarbonátů z CO_2 nabízí přímý přístup na rozsáhlé trhy v chemickém a plastikářském průmyslu. V krátkodobém až střednědobém horizontu bude pokračovat rozvoj využití CO_2 , zejména v oblastech, které jsou technologicky pokročilejší (např. polymery obsahující CO_2, hydrogenace CO_2). Konverze CO_2 bude mít také rostoucí úlohu při využívání obnovitelných zdrojů energie nebo při snižování nestability na síti (související s diskontinuální výrobou energie z obnovitelných zdrojů, tedy s chemickou konverzí jako způsobem skladování a distribuce energie).

Z dlouhodobého hlediska bude využívání CO_2 klíčovým prvkem udržitelného nízkouhlíkového hospodářství v chemických a energetických společnostech. Očekávaná změna surovinové základny při vyčerpávání zdrojů fosilního uhlíku vyvolává potřebu postupné evoluce struktury chemického průmyslu.

Z hlediska budoucího technologického rozvoje lze v současnosti identifikovat především následující trendy ve vývoji a využití katalyzátorů: nové katalyzátory pro výrobu energie z tradičních i alternativních zdrojů, katalyzátory pro intenzifikaci chemických procesů, katalytická úprava vody a čištění odpadních vod, katalýza pro hygienu a biologickou bezpečnost, katalytické zpracování

průmyslových plynů a výfukových plynů ze spalovacích motorů, katalytické spalování a nové směry fotoelektrické a fotochemické katalýzy především v oblasti zpracování CO_2.

4.3. Chemické procesy a zařízení

Intenzifikace chemických procesů se stává důležitou oblastí technologického rozvoje díky svému potenciálu získat inovativní a více udržitelné alternativy návrhu procesu. Ve fázi vývoje intenzifikace procesu typicky zahrnuje snížení počtu zařízení (typicky jednotkových operací), které zlepší reakční kinetiku, zvýší lepší energetickou účinnost, sníží investiční náklady a zlepší bezpečnost procesu. Významné je také hledisko inherentní bezpečnosti chemických procesů v souvislosti s jejich udržitelností. Je evidentní, že procesy, prováděné v menším měřítku jsou nepochybně bezpečnější. Velkokapacitní jednotky, zpracovávající nebezpečné látky byly v minulém století hlavními příčinami nejvážnějších chemických katastrof. Intenzifikace procesů umožňuje dramaticky snížit velikost výrobní jednotky, zlepšit reaktor, resp. výtěžek, snížit nástřik surovin apod. Současně se dosáhne vyšší bezpečnosti produkce, která není bezpečná kvůli vysoké reakční rychlosti, nebezpečně exotermní reakci, resp. když reaktanty jsou příliš nebezpečné. Dalším důležitým benefitem intenzifikace chemického procesu lze očekávat ve zlepšení dopadu provozu na životní prostředí, spotřebu energie a také zlepšení firemní image ve veřejnosti inovací výroby, přívětivé z pohledu ochrany životního prostředí.

Z technologického hlediska se intenzifikace procesů zaměřuje principiálně na maximalizaci účinnosti intramolekulárních a mezimolekulárních přeměn, optimalizaci hnacích sil přenosových jevů v každém měřítku reakčního systému, přísun, resp. odvod energie z místa transformace vazeb molekul surovin na produkty a maximalizaci synergických efektů dílčích kroků procesu s využitím multifunkčnosti zařízení.

4.4. Zpracování ropy

Rafinérský a petrochemický průmysl transformuje energetické suroviny do velmi kvalifikovaných produktů, které zásadním způsobem přispívají k mobilitě (motorová paliva) a zvyšování životní úrovně obyvatel (suroviny pro petrochemický průmysl). Tvoří významný článek logistického toku energie z ložisek ke spotřebitelům a dokázalo reagovat na zásadní požadavky týkající se dopadů těžby a zpracování ropy na životní prostředí (zelená chemie, uhlíková stopa, čistá paliva, zakomponování biopaliv do rafinérských/petrochemických produktů).

Přestože rafinérský a petrochemický průmysl nebude v nejbližší době pravděpodobně nahrazen jiným řešením, dlouhodobá vyčerpatelnost zásob ropy a zemního plynu a tlak na snižování emisí antropogenních skleníkových plynů klade trvale nároky na chemické a inženýrské vědy v oblasti udržitelné oběhové ekonomiky a efektivního využívání surovin ve svých vlastních procesech a ve spolupráci s dalšími průmyslovými subjekty.

S ohledem na současné trendy lze očekávat, že vývoj technologií v rafinerském a petrochemickém průmysl bude intenzivní především v oblasti využití alternativních surovin a ve zlepšení účinnosti výrobních procesů.

Cílem využití alternativních surovin je omezit závislost výrobních procesů a produktů na ropě a zemním plynu. Mezi alternativní suroviny v tomto kontextu patří například zemědělské suroviny (pěstované ne na úkor potravinových zdrojů), druhotné zemědělské suroviny (ligno-celulózová biomasa, jako je dřevní štěpka a sláma z různých zemědělských plodin), biotechnologie (zaměřené zejména na využití bakteriálních efektů, využití řas apod. pro syntézu různých uhlovodíků) výhledově i komunální odpad nebo CO_2 z průmyslových spalin, které by mohly být použity jako alternativní uhlíkové zdroje pro výrobu pohonných hmot

V oblasti zlepšení účinnosti výrobních procesů je cílem maximalizovat využití všech zdrojů, které vstupují do systému, včetně primárních a sekundárních surovin, vody a energii prostřednictvím zlepšení účinnosti procesu zpracování ropných frakcí (např. zlepšené katalyzátory včetně biokatalyzátorů, zintenzivnění procesů, IT a modelování), uzavírání recyklace zdrojů na výrobních místech, zvýšení účinnosti zdrojů a energie mezi různými výrobními místy / sektory prostřednictvím průmyslové symbiózy.

Přestože nedostatek ropy v nejbližších letech bezprostředně nehrozí, lze očekávat, že na trhu se bude zvyšovat podíl rop s větším obsahem těžkých frakcí, síry a dalších nečistot. Současně lze očekávat, že část klasické ropy bude postupně nahrazena syntetickou ropou vyrobenou petrochemicky Fischer-Tropsch (FT) syntézou, nejprve především na bázi zemního plynu (technologie GTL), popřípadě i uhlí (CTL). Další možností je proces ko-elektrolýzy, kdy jako suroviny pro výboru paliv slouží oxid uhličitý a voda. Odhaduje se, že realizace technologie GTL bude ekonomicky ekvivalentní objevu několika desítek miliard tun nové ropy. Projekty tak umožní využívat zemní plyn jako surovinu v rafinérsko-petrochemickém průmyslu ve významně větší míře, než tomu bylo dosud. Nelze pominout ani zdroje nefosilních petrochemických surovin vycházející z oblasti recyklace plastů nebo přímé syntézy založené na využití CO_2.

Z hlediska rozvoje rafinérských a petrochemických technologií jsou za perspektivní rafinérské technologie považovány především hydro-krakování a hydrogenační rafinace. Tyto technologie naleznou uplatnění jak v nových, tak i modernizovaných rafineriích. Využity budou pro hydrogenační konverzi ropných zbytků, výrobu „bez-sirných“ motorových paliv a v neposlední řadě i pro konverzi biomasy na komponenty do motorových paliv, resp. pro její společné zpracování („coprocessing“) s ropnými frakcemi na motorová paliva. S ohledem na pokroky technologické i pokroky ve vývoji hydro-rafinačních katalyzátorů bude u konverzních procesů výhodnější rafinovat surovinu než produkty získané její konverzí a rozšířit si tak zdroje surovin. Vodík pro hydrogenační technologie v rafinerii a petrochemii bude místo z katalytického reformování stále více získáván parním reformováním lehkých uhlovodíků (alternativní uplatnění např. pro benzinové uhlovodíky) a především elektrolýzou s využitím bezemisních zdrojů energie, například jaderných zdrojů. Rostoucí spotřeba vodíku určují současný i budoucí technologický trend reformování, kterým je jednoznačně katalytické reformování s kontinuální regenerací katalyzátoru. U katalytického reformování s kontinuální regenerací katalyzátoru se dává v současnosti přednost katalyzátorům Pt/Sn před katalyzátory Pt/Re. Pt/Sn katalyzátory sice mají ve srovnání s katalyzátory Pt/Re menší stabilitu, ale umožňují dosáhnout podstatně větších výtěžků vodíku a tedy i vyššího oktanového výnosu i výtěžku reformátu.

Kromě rozšíření portfolia surovin pro rafinérie a petrochemii bude docházet, na rozhraní mezi rafinacemi a petrochemickými procesy, i k významnému vývoji alternativních produktů k ropným uhlovodíkům. Příkladem jsou kombinace ropných uhlovodíku a biosložek ve standardních motorových

palivech, vysoce koncentrovaná biopaliva, zejména na bázi FAME (100 % - vznětové motory) a etanolu (E85 – zážehové motory), CNG pro pohon automobilů či vodík pro pohon automobilů.

Jelikož rafinerský a petrochemický průmysl negativně ovlivňuje životní prostředí, bude posilována snaha rozvíjet aktivity a technologie, které tyto negativní dopady zmírní. Z hlediska dopadů využívání rafinérských a petrochemických produktů na životní prostředí je nejvýznamnějším opatřením omezení emisí z nově vyráběných automobilů, tj. zejména snížení spotřeby a zavádění hybridních nebo plně elektrických pohonů, kde to bude možné. V nedávné minulosti byl zaveden v celém systému zpracování a distribuce motorových paliv systém rekuperace uhlovodíkových par. Budou se zdokonalovat i metody prevence a včasné identifikace úniků uhlovodíku z dopravních systémů. Z hlediska rafinérií bude klíčový především další vývoj zvyšování kvality motorových paliv, hlavně automobilového benzinu a motorové nafty

Přímo v rafinerském a petrochemickém průmyslu dochází k omezení výroby některých produktů (např. rozpouštědel na bázi lehkých benzinových uhlovodíků) a k omezení tradičních výrobních postupů (např. selektivní rafinace frakcí pro výrobu mazacích olejů).

Také samo zpracování ropy je energeticky náročné, rafinerie a petrochemické jednotky proto patří k významným emitentům CO_2, proto omezení uhlíkové stopy výrobních procesů patří mezi důležité technologické výzvy rafinerského a petrochemického průmyslu.

Mezi klíčové technologické výzvy současnosti a blízké budoucnosti bezesporu patří vyřešení efektivní metody jímání CO_2 z různých zdrojů, jeho dopravu a skladování.

5. Dopady megatrendů na chemický průmysl v ČR

5.1. Mapování megatrendů na český kontext

Český chemický průmysl je s ohledem na jeho proexportní zaměření vůči megatrendům vysoce citlivý, přičemž rozhodující roli hrají zejména energetická transformace, dostupnost nových surovinových vstupů a schopnost financovat technologickou modernizaci. Relevance jednotlivých globálních megatrendů pro český chemický průmysl je dána především jeho strukturou, vysokou energetickou náročností, a pozicí v nižších patrech globálních hodnotových řetězců. Z tohoto pohledu lze identifikovat několik trendů, které mají pro český kontext zásadní význam.

Nejvyšší citlivost vykazuje odvětví vůči trendu **dekarbonizace a energetické transformace**. Vzhledem k výrazné závislosti na fosilních zdrojích a vysokému podílu nákladů na energie představuje tento trend klíčový faktor budoucí konkurenceschopnosti. Zatímco v globálním měřítku jde o univerzální transformační tlak, v českém kontextu je jeho dopad zesílen strukturou průmyslu a omezenými domácími zdroji levné energie. Tento trend proto působí jako zásadní selekční mechanismus mezi technologicky adaptivními a stagnujícími podniky.

Přechod chemického průmyslu k uhlíkové neutralitě není v českém kontextu pouze environmentálním požadavkem, ale zásadním strukturálním faktorem přežití odvětví. Studie (SCHP, 2025b) jednoznačně ukazuje, že dosažení uhlíkové neutrality bude vyžadovat kombinaci opatření, jejichž význam i časování jsou diferencované – například zvyšování energetické účinnosti a rekuperace tepla v krátkodobém horizontu, zatímco nahrazování fosilních paliv nízkoemisní energií až v horizontu po roce 2035. To znamená, že transformace bude dlouhodobý, kapitálově náročný proces, jehož tempo bude silně závislé na dostupnosti technologických a energetických řešení.

Zcela zásadní význam má rovněž transformace energetického systému, která je v českém případě klíčovou podmínkou jakékoliv hlubší průmyslové transformace. Elektrifikace chemického průmyslu je nezbytným předpokladem dekarbonizace, avšak její realizace je podmíněna dostupností cenově přijatelné nízkoemisní elektřiny, kterou nelze zajistit pouze z interních zdrojů podniků (SCHP, 2025b). Tento faktor výrazně zvyšuje citlivost českého chemického průmyslu vůči energetické politice státu a EU.

Dalším silně relevantním megatrendem je změna surovinové základny a přechod k alternativním zdrojům uhlíku. Vedle dostupnosti cenově přijatelné nízkoemisní elektřiny bude hrát klíčovou roli také dostupnost biomasy, surovin z recyklovaných odpadů a technologií zachycování uhlíku. Tyto vstupy však nejsou neomezené a jejich dostupnost bude předmětem mezisektorové konkurence, což dále zvyšuje nejistotu transformačního procesu.

Významnou roli má i megatrend **digitalizace**, který je v českém kontextu explicitně vnímán jako nástroj zvyšování efektivity a snižování nákladů. Z tohoto pohledu lze digitalizaci výrobních procesů vnímat jako jedno z klíčových opatření pro zvýšení konkurenceschopnosti a zvládnutí transformačního tlaku. S ohledem na připravované legislativní úpravy (digitální pas výrobků, evidence a certifikace výroby atd.) půjde i o zásadní podmínku existence výrobních podniků v EU.

5.2. Dopady na jednotlivé oblasti

Megatrendy se v českém chemickém průmyslu promítají do několika klíčových oblastí, jejichž vývoj bude určovat jeho budoucí konkurenceschopnost. V oblasti ekonomiky a konkurenceschopnosti představuje transformace směrem k nízkouhlíkové výrobě zásadní nákladový tlak. Jak potvrzuje studie Svazu chemického průmyslu ČR (SCHP, 2025b), dosažení uhlíkové neutrality bude vyžadovat rozsáhlé kapitálové investice (CAPEX) v horizontu několika dekád, přičemž bez odpovídajících tržních a regulatorních podmínek nemusí být tyto investice realizovatelné. V kombinaci s již nyní vysokými náklady na energie to vytváří riziko ztráty konkurenceschopnosti vůči regionům s nižšími náklady. Na druhé straně transformace otevírá nové příležitosti v oblasti nízkouhlíkových produktů a materiálů, což může vést k postupnému posunu směrem k vyšší přidané hodnotě.

V oblasti technologií a inovací bude klíčová schopnost implementovat nové výrobní procesy, zejména elektrifikaci, využití vodíku, biomasy a technologií zachycování uhlíku. Studie SCHP, 2025b identifikuje několik technologických trajektorií (např. scénáře „elektrifikace“ nebo „udržitelná biomasa“), které představují alternativní cesty transformace. Tyto scénáře ukazují, že technologická transformace není jednoznačná a bude záviset na kombinaci dostupných zdrojů, cenových signálů a politických rozhodnutí. Digitalizace přitom funguje jako průřezový „enabling“ faktor, který zvyšuje efektivitu a umožňuje optimalizaci procesů.

Dopady na trh práce a dovednosti jsou v analyzované studii reflektovány zejména v kontextu sociální dimenze transformace. Přechod k novým technologiím bude vyžadovat nové kompetence, zejména v oblasti energetiky, digitalizace a pokročilých výrobních procesů. Současně může docházet k útlumu tradičních pracovních pozic, což klade důraz na rekvalifikaci a adaptaci pracovní síly.

V oblasti dodavatelských řetězců bude transformace znamenat zásadní změnu struktury vstupů. Rostoucí význam nízkoemisní elektřiny, biomasy a recyklovaných materiálů povede k větší integraci chemického průmyslu s energetikou a odpadovým hospodářstvím. Zároveň se zvýší konkurence o tyto zdroje, což může ovlivnit jejich dostupnost i cenu. Zajištění přístupu k těmto zdrojům je klíčovou podmínkou odolnosti odvětví.

Z hlediska regionálního rozvoje bude transformace chemického průmyslu mít diferencované dopady. Regiony s vysokou koncentrací chemické výroby mohou čelit významným strukturálním změnám, zejména pokud nedojde k včasné modernizaci výrobní základny. Na druhé straně mohou tyto regiony profitovat z nových investic do energetické infrastruktury, inovací a cirkulární ekonomiky, pokud se transformace podaří zvládnout. Nezbytnou podmínkou pro zvládnutí transformace bude meziregionální spolupráce.

5.3. Identifikace klíčových nejistot

Budoucí vývoj chemického průmyslu v ČR je zatížen vysokou mírou nejistoty, která souvisí především s podmínkami transformačního procesu.

Nejzásadnější nejistotou je **dostupnost a cena nízkoemisní energie**. Elektrifikace je identifikována jako klíčový pilíř dekarbonizace, avšak její realizace je podmíněna dostatečnou kapacitou energetické infrastruktury a dostupností cenově konkurenceschopné elektřiny. Nedostatek těchto podmínek by mohl vést k omezení investic a případnému odlivu výroby.

Další významnou nejistotou je **dostupnost alternativních surovin**, zejména biomasy a recyklovaných surovin. Tyto zdroje jsou omezené a budou předmětem konkurence mezi sektory, což může zásadně ovlivnit trajektorii dekarbonizace. Problematický je i pomalý rozvoj recyklačních kapacit, způsobený regulační nejasností, která má vliv na investory a vysokou cenou energií při nízkých maržích u recyklovaných surovin a materiálů.

Velmi významnou nejistotu představuje také **investiční prostředí**. Transformace chemického průmyslu vyžaduje dlouhodobé a kapitálově náročné investice, jejichž realizace je podmíněna stabilním regulatorním rámcem, dostupností veřejné podpory a dostatečnou návratností. V případě nepříznivých podmínek reálně hrozí, že investice nebudou realizovány v Evropě, ale přesunou se do jiných regionů.

Další nejistotou je **vývoj regulatorního rámce**, zejména v oblasti klimatické politiky, státní podpory a povolovacích procesů. Pro předvídatelné investiční prostředí pro transformaci chemického průmyslu v ČR je nezbytné zjednodušení a urychlení povolovacích procesů pro nové investice.

V neposlední řadě existuje nejistota spojená s **technologickým vývojem** a volbou optimální transformační trajektorie. Scénáře založené na elektrifikaci, biomase nebo kombinaci různých technologií ukazují, že neexistuje jednoznačné řešení a že budoucí vývoj bude záviset na kombinaci technologických, ekonomických a politických faktorů (SCHP, 2025b). Mnoho předpokladů je postaveno i na průmyslové dostupnosti dosud nedostatečně ověřených technologií.

6. Závěr

Jak bylo popsáno, významným hybatelem budoucího rozvoje chemického průmyslu bude rostoucí důraz společnosti na omezování negativních vlivů ekonomické činnosti na životní prostředí, včetně striktního požadavku EK na dekarbonizaci průmyslu do roku 2050. V této souvislosti existují technologické výzvy chemického průmyslu především v oblastech souvisejících s budoucími energetickými potřebami, snižováním spotřeby energií, vody a emisemi, oběhovým hospodářstvím a nakládáním s odpady, zkvalitňováním měst a míst pro život a efektivním využíváním základních surovin. Tyto aspekty technologického rozvoje chemického průmyslu budou posilovány také poptávkou po environmentálně šetrných technologiích a materiálech ze strany klíčových aplikačních sektorů pro chemický průmysl, jako je energetika, doprava, stavebnictví či zemědělství.

Ve vazbě na identifikované megatrendy a očekávaný vývoj v klíčových oblastech pro aplikace chemického průmyslu lze významný potenciál pro budoucí technologický vývoj chemického průmyslu spatřovat zejména v rozvoji průmyslových biotechnologií, vývoji pokročilých materiálů založených na nanotechnologiích, optimalizaci chemických procesů a zařízení, zajištění cirkularity surovin a materiálů či snížení negativních environmentálních vlivů výrobků a procesů petrochemického průmyslu.

Analýza megatrendů a jejich dopadů na chemický průmysl v České republice ukazuje, že odvětví vstupuje do období hluboké strukturální transformace, která zásadně mění jeho technologické, ekonomické i institucionální fungování. Chemický průmysl zůstává klíčovým pilířem ekonomiky s významným podílem na průmyslové produkci, zaměstnanosti a exportu, zároveň je však vystaven kombinaci tlaků, které významně zpochybňují jeho budoucí konkurenceschopnost v evropském i globálním kontextu.

Současná transformační dynamika není cyklického, ale strukturálního charakteru. Zatímco v minulosti byl vývoj odvětví ovlivňován především hospodářskými cykly a cenami surovin, v současnosti je determinován souběhem dlouhodobých megatrendů, zejména dekarbonizace, změny surovinové základny, technologické transformace a restrukturalizace globálních hodnotových řetězců. Tyto faktory společně vedou k postupnému odklonu od tradičního modelu chemického průmyslu založeného na fosilních zdrojích a komoditní produkci směrem k modelu založenému na udržitelnosti, inovacích a vyšší přidané hodnotě.

Český chemický průmysl je vůči těmto trendům vysoce citlivý, a to především v důsledku své energetické náročnosti, závislosti na fosilních surovinách a silné exportní orientaci. Vysoký podíl energeticky náročných a emisně intenzivních segmentů, silná závislost na fosilních surovinách a pozice v nižších patrech globálních hodnotových řetězců zvyšují jeho zranitelnost vůči rostoucím nákladům, regulatorním požadavkům i změnám v globální konkurenci. Zvláště kritickým faktorem je dostupnost cenově konkurenceschopné energie, která se ukazuje jako klíčová podmínka jak pro udržení stávající výroby, tak pro realizaci investic do nízkouhlíkových technologií.

Současně však analýza potvrzuje, že chemický průmysl v ČR disponuje významnými silnými stránkami, které mohou být základem jeho budoucí transformace. Patří mezi ně zejména dlouhodobá průmyslová tradice, relativně robustní výrobní základna, kvalitní lidský kapitál a existující výzkumné kapacity. Tyto faktory vytvářejí potenciál pro posun směrem k segmentům s vyšší přidanou hodnotou, zejména v oblasti specializované chemie, pokročilých materiálů a udržitelných řešení.

Z hlediska veřejných politik vyplývá z analýzy několik klíčových doporučení. Prioritou je zajistit dostupnou nízkoemisní energii jako základní podmínku konkurenceschopnosti. Stejně důležité je vytvořit stabilní a předvídatelné regulatorní prostředí, které sníží investiční nejistotu a urychlí povolovací procesy. Dále je nezbytné posílit podporu výzkumu, vývoje a inovací a zlepšit propojení mezi akademickou sférou a průmyslem. Významnou roli hraje také rozvoj dovedností a adaptace pracovního trhu na nové technologické požadavky.

Chemický průmysl v České republice stojí na rozcestí. Na jedné straně čelí významným rizikům spojeným s dekarbonizací, vysokými náklady a globální konkurencí, na druhé straně má potenciál stát se součástí nové, udržitelnější a technologicky pokročilejší průmyslové struktury. Výsledek této transformace bude záviset na schopnosti propojit strategické řízení na úrovni státu s adaptační kapacitou jednotlivých podniků a efektivně využít příležitostí, které současné megatrendy přinášejí.

Zdroje

Cayuela, V., R., The Future of the Chemical Industry 2050, www.chemanageronline.com, 6.6.2013.

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

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

OECD (2016), OECD Science, Technology and Innovation Outlook 2016, OECD Publishing, Paris. http://dx.doi.org/10.1787/sti_in_outlook-2016-en

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

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

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

SCHP, 2025b. Podmínky pro přechod chemického průmyslu k uhlíkové neutralitě – Česká republika. Svaz chemického průmyslu ČR.

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