

## CHEMICKÝ PRŮMYSL

### CESTOVNÍ MAPA ČESKÉ TECHNOLOGICKÉ PLATFORMY PRO UDRŽITELNOU CHEMII

ANTONÍN MLČOCH<sup>a</sup>, LADISLAV NOVÁK<sup>a</sup>  
a MARTIN ŠILHAN<sup>a,b</sup>

<sup>a</sup> Česká TP pro udržitelnou chemii SUSCHEM CZ, Rubeš-  
ka 393/7, 190 00 Praha 9, <sup>b</sup> Centrum výzkumu Řež, s.r.o,  
Hlavní 130, Řež, 250 68 Husinec  
ladino@seznam.cz

Klíčová slova: chemický průmysl, cestovní mapa, techno-  
logická platforma, udržitelnost, konkurenceschopnost

Došlo 27.1.21, přijato 1.2.21.

#### Obsah

1. Úvod
2. Megatrendy v chemickém průmyslu
3. Aktualizace vize českého chemického průmyslu
4. Hlavní subdomény a související oblasti
  - 4.1. Zpracování ropy, petrochemie
  - 4.2. Průmyslové biotechnologie
  - 4.3. Nanotechnologie
  - 4.4. Pokročilé katalyzátory
  - 4.5. Hnojiva pro udržitelné zemědělství
  - 4.6. Horizontální témata
    - 4.6.1. Problém legislativy
    - 4.6.2. Standardizace
    - 4.6.3. Vzdělávání
5. Závěr – strategie meziodvětvové spolupráce

#### 1. Úvod

O aktivitách České technologické platformy (ČTP) pro udržitelnou chemii (SUSCHEM CZ) jsme informovali dříve<sup>1</sup>. Tento příspěvek představuje výtah klíčových sdělení z Cestovní mapy SUSCHEM CZ, která bude zveřejněna v únoru 2021 (cit.<sup>2</sup> a reference tam uvedené).

Cestovní mapa vychází z identifikace potřeb k vytvoření udržitelného, inovativního a konkurenceschopného rozvoje a role českého chemického průmyslu. Zahrnuje dlouhodobější vizionářské prvky, požadavky na výzkum nad rámec současného stavu techniky, bariéry žádoucího vývoje a cesty dalšího rozvoje mezioborové spolupráce. Požadavky na chemický průmysl se stupňují

s tím, jak se svět stává digitálním a usiluje o udržitelnost. Produkty se digitálně doplňují, lineární dodavatelské řetězce se stávají složitými ekonomickými sítěmi, recyklace materiálů a manipulace s molekulami nabývají na důležitosti. Také chemický průmysl vstupuje do nové fáze s Chemistry 4.0, která vyžaduje nejenom další rozvoj digitalizace, ale i nové obchodní modely.

Cestovní mapa shrnuje rozhodující modernizační a inovační procesy nutné pro naplnění záměrů hlavních megatrendů, cíle, milníky, mezery a překážky (ve znalotech, technologická omezení, tržní strukturální nebo jiné překážky bránící dosažení cílů a milníků). Součástí Cestovní mapy je i odhad rozsahu zapojených zdrojů a schopnost využít další investice do výzkumu a inovace. Cestovní mapa byla zpracována s důrazem na budoucí potřeby chemického průmyslu a navazujících odvětví, řeší vhodné náměty v řadě znalostních domén, jako jsou průmyslová chemie, pokročilé výrobní technologie, pokročilé materiály, nanotechnologie a průmyslové biotechnologie, které významně ovlivňují budoucí konkurenceschopnost a udržitelnost nejenom chemického průmyslu, ale především řadu dalších strategických odvětví. Strategie počítá s dalším rozšiřováním využití digitalizace a umělé inteligence. Představuje vhodné náměty pro společné projekty v rámci Evropského výzkumného prostoru, ale také například pro inovace a podnikatelské záměry v malých a středních podnicích (MSP). Výzvou pro chemický průmysl v ČR bude zajistit potřebné investice do jeho rozvoje tak, aby uspěl v globální konkurenci. Další výzvou je orientace směrem k European Green Deal (EGD – podrobněji v dalším textu), k oběhovému hospodářství a k vyššímu využití chemických látek v rámci recyklačních toků, v dopravě nebo jako součástí energeticky úsporných budov. V této souvislosti zaujímají specifické, interdisciplinární postavení obory chemie, chemické technologie a procesního inženýrství, neboť se uplatňují v mnoha oborech lidské činnosti zajišťujících každodenní potřeby, od biomedicíny až po distribuci energie. Musíme mít na paměti, že veškeré budoucí výrobky mohou počítat jen s důslednou recyklací a obnovitelnými uhlíkatými surovinovými zdroji. Při ekologizaci výrobních procesů hrají důležitou roli také digitální technologie – například internet věcí, velká data, umělá inteligence, inteligentní senzory a robotika. Kromě role, kterou hrají technologie a pokročilé materiály, budou důležité inovace v obchodních modelech a rekvalifikaci pracovníků.

Základním strategickým dokumentem v oblasti chemického průmyslu EU pro nadcházející období je materiál „European Green Deal“ (Zelená dohoda pro Evropu, dále jen EGD, cit.<sup>3</sup>), který pokrývá skoro všechny oblasti lidské činnosti – energetiku, dopravu, průmysl (vč. chemického průmyslu), zemědělství a potravinářství, a je ambiciózním projektem s očekávaným rozpočtem v řádu stovek miliard EUR. Očekává se, že zásadně změní politicko-sociální, environmentální i obchodní prostředí v EU,

s enormními dopady do ekonomiky členských států EU. Týká se to také ČR, která vytváří 35 % svého HDP v průmyslu.

Ekonomický náraz po koronaviru urychlí mnohé jevy, které by nastaly i bez pandemie. Koronavirus slouží jako urychlovač mnohých jevů, které by probíhaly i bez něj. Je to bezesporu deglobalizace a s ní spjaté posílení strategického uvažování v ekonomických záležitostech, včetně tématu soběstačnosti, ale také rostoucí nespokojenost řady zemí s pozicí v mezinárodní dělbě práce. Tyto procesy nutně vyžadují silnější roli státu. Zkušenosti z boje s pandemií ukazují na potřebu zvýšení soběstačnosti ČR nejenom v ochranných a desinfekčních prostředcích, ale také ve farmaceutických výrobcích, potravinách, agrochemikáliích a dalších chemických produktech. I když pandemie v roce 2020 značně omezila počet různých odborných chemických konferencí, tak např. 72. sjezd chemiků v září 2020 dokumentoval velkou šíři řešených výzkumných projektů poměrně členitou základnou výzkumu a vývoje. Některé projekty již reagují na aktuální výzvy a potřeby průmyslu související s EGD.

Chemický průmysl je bezesporu významným spotřebitelem energií, vody, neobnovitelných surovin, produktem odpadů a emisí, na druhé straně zásadně ovlivňuje efektivnost a konkurenceschopnost řady dalších odvětví zpracovatelského průmyslu, zdravotnictví a zemědělsko-potravinářského komplexu a výrazně může přispět ke splnění závazků ČR vyplývajících z dohod v rámci EU. Přitom se nejedná jen o chemický průmysl *sensu stricto*, ale především o vývoj nových výrobků a technologií pro řadu navazujících odvětví, na která se tato opatření EU vztahují.

## 2. Megatrendy v chemickém průmyslu

V nadcházejících desetiletích bude život v EU ovlivněn souborem globálních megatrendů, definovaných jako „zásadní posun v environmentálních, sociálních nebo ekonomických podmínkách, které se odehrají v příštích desetiletích“. Základním předpokladem udržitelného rozvoje je maximalizace efektivnosti využívání zdrojů surovin, energií, vody a ochrana životního prostředí. Poznání jejich zákonitostí a schopnost vyhodnotit jejich dopady jsou proto klíčové pro formulaci efektivních politik a dalších strategických dokumentů. Schopnost ČR ovlivnit vývoj globálních megatrendů je omezená, dopad globálních megatrendů na budoucí vývoj vysoce industrializované ČR je však významný.

Megatrendy budoucího vývoje, relevantní pro chemický průmysl jsou:

- Zelená dohoda pro Evropu,
- vodíkové strategie (EU, ČR),
- strategie pro udržitelnost rozvoje v oblasti chemických látek,
- inteligentní specializace ČR,
- cirkulární ekonomika,
- Průmysl 4.0,
- hospodaření s vodou.

Tyto trendy významně ovlivní budoucí vývoj českého

chemického průmyslu, a to i v negativním směru. Potřebné modernizace výrobní základny chemického průmyslu a zavádění pokročilých technologií a inovací budou vyžadovat značné finanční a lidské zdroje. Nelze vyloučit zastavení některých výrobních a snížení zaměstnanosti, na druhé straně je to šance pro četné inovativní MSP.

Základním předpokladem budoucí udržitelnosti chemického průmyslu podle EGD je postupná realizace strategie prostředí bez toxických látek, kde jsou chemikálie vyráběny a používány způsobem, který maximalizuje jejich přínos pro společnost, včetně dosažení zelené a digitální transformace a zabránění škodám na planetě, a jsou vyráběny a používány bezpečné chemikálie. Chemické látky, které mají chronický účinek na lidské zdraví a životní prostředí, by měly být co nejvíce minimalizovány a nahrazeny a postupně vyřazeny, zejména ve spotřebitelských výrobcích. Přejít na chemické látky, které jsou z hlediska designu bezpečné a udržitelné, je nejen společenskou naléhavostí, ale také velkou ekonomickou příležitostí a klíčovou složkou zotavení po krizi COVID-19. Vzhledem k trendům v globální chemické výrobě je to pro chemický průmysl ČR příležitost získat konkurenceschopnost dalším vývojem bezpečných a udržitelných chemikálií a přinést udržitelná řešení napříč odvětvími, zejména v oblasti stavebních materiálů, textilu, nízkouhlíkové mobility, baterií, obnovitelných zdrojů energie, zdravotnictví a zemědělské výroby.

V kontrastu s vnímáním veřejnosti MSP představují významný podíl v chemickém průmyslu EU: 96 % všech chemických společností má totiž méně než 250 zaměstnanců a vytvářejí cca 30 % z celkových tržeb a z 37 % se podílejí na celkové zaměstnanosti v tomto odvětví. Mají významný podíl na transferu inovací generovaných u „upstream“ společností (na začátku hodnotového řetězce) v chemickém hodnotovém řetězci pro následná uživatelská odvětví. Jako producenti specialit jsou MSP často zákazníci větších výrobních jednotek v sektoru, spíše než jejich dodavatelé.

## 3. Aktualizace vize českého chemického průmyslu

Vizí českého chemického průmyslu je udržet konkurenceschopnost i v podmínkách celosvětové hospodářské krize vyvolané pandemií COVID-19 a v nových podmínkách vyplývajících z megatrendů, relevantních pro chemický průmysl. Svými inovovanými výrobky, technologiemi a procesy, zacílením výzkumu, vývoje a inovací (VaVaI) přispívá chemický průmysl ostatním odvětvím národního hospodářství a k prosperitě ČR jako země, jejíž ekonomika je založena na znalostech a schopnosti inovovat.

Hlavní aspekty této vize:

- obnovitelný vodík (vodíková strategie),
- zvýšená energetická účinnost procesních technologií s využitím digitalizace,
- elektrifikace procesů výroby chemikálií s použitím obnovitelných zdrojů energie,
- biotechnologie jako zdroj surovin náhradou za ubývající fosilní suroviny,

- recyklace a zpracování druhotných surovin a odpadů,
- modernizace rafinérsko-petrochemického komplexu,
- energeticky účinné hospodaření s vodou,
- průmyslová symbióza prostřednictvím lepšího zhodnocení energie,
- digitalizace (investice do tzv. Třetí platformy IT, internet věcí),
- alternativní obchodní modely,
- změna struktury zaměstnanců.

Základní výzvy pro výzkum a vývoj technologických inovací:

- vývoj pokročilých materiálů a technologie pro udržitelnou výrobu a pro obnovitelné zdroje energie,
- vývoj komerčních technologií pro zhodnocení průmyslových spalin (např. využití CO<sub>2</sub> pro výrobu obnovitelných surovin pro výrobu plastů a dalších chemikálií),
- procesy pro optimální zhodnocení odpadů a recyklovaných materiálů po skončení jejich životnosti na druhotné suroviny,
- průmyslové ekonomicky akceptovatelné procesy přípravy obnovitelného vodíku,
- pokročilé katalyzátory pro intenzifikaci procesů, pro biotechnologie a petrochemii,
- nové procesy pro optimální integrované vodní hospodářství.

Ekonomický růst ve všech moderních společnostech je vždy velmi úzce spjat s pokrokem v chemii a s rozvojem chemického průmyslu. Nejnáléhavější problémy lidstva vyžadují nová řešení a mnohé z nich mohou být realizovány pouze s pomocí nových materiálů a látek, jež zabezpečuje právě chemický průmysl.

## 4. Hlavní subdomény a související oblasti

### 4.1. Zpracování ropy, petrochemie

Budoucí rozvoj rafinérského průmyslu (tedy výroba motorových paliv) ve světě i u nás nebude ovlivňován omezováním dostupnosti surovin, nýbrž postupně silícími tržními tendencemi i legislativním prostředím spojeným s omezováním tzv. uhlíkové stopy. Evropské petrochemické firmy s různým akcentem a prioritami uvádějí jako nezbytná pro příští dekády svého rozvoje tyto základní předpoklady:

- hlavní hnací silou sektoru chemie pro dopravu je a bude snižování dopadů na životní prostředí, zlepšováním technologií a snižování produkce CO<sub>2</sub>,
- v příštích 20 letech bude nárůst dodávek energie nadále kryt uhlíkovými surovinami, ovšem půjde přednostně o zemní plyn a obnovitelné zdroje. V roce 2030 se předpokládá, že 6 až 7 % světové spotřeby energií bude kryto obnovitelnými zdroji,
- kapalná paliva zůstanou v dopravě dominantní, ovšem ve spojení s dostupnými i nejnovějšími technologiemi pro redukci CO<sub>2</sub> v kombinaci s vysokoúčinnými motory (včetně hybridních) a využíváním biopaliv s vysokým stupněm udržitelnosti,

- v oblasti vyspělejších biopaliv bude výzkum zaměřen na optimalizaci trojúhelníku: udržitelnost / ekonomická přijatelnost / dostupnost. To bude v každém teritoriu (i zemi) odlišné.

Zjednodušeně řečeno, rafinérsko-petrochemický obor bude nucen v Evropě, a tedy i v ČR, aktivně reagovat (investičně, organizačně, výzkumně, kompetenčně, atd.) na následující výzvy, vyvolané dnes již legislativně zakotvenými opatřeními v oblasti uhlíkové neutrality. Půjde zejména o aktivní řešení spojené s:

- a) nástupem neuhlovodíkové mobility a jejím promítnutím do výroby ropných paliv a do petrochemických výrob,
- b) dalším využíváním vyspělých biopaliv,
- c) nutným začleněním vodíkové mobility do struktury rafinérsko-petrochemického komplexu,
- d) nutným začleněním problematiky cirkulární ekonomiky do rafinérsko-petrochemického komplexu,
- e) budoucí roli rafinérsko-petrochemického sektoru při řešení problematiky zachytu a využití CO<sub>2</sub>.

### 4.2. Průmyslové biotechnologie

Biotechnologie jsou dalšími nadějnými klíčovými technologiemi, které mají ambice přispět k transformaci na nízkouhlíkovou ekonomiku, lepší využívání druhotných surovin a odpadů. Biotechnologie mohou být účinným nástrojem, jak postupně v řadě případů dospět k „zeleným“ technologiím, aniž by byl zastaven nebo zbrzděn rozvoj společnosti. Přináší nové impulzy chemickému inženýrství (reaktorová technika, separační metody, bio-katalýza, řízení procesů, environmentální chemické inženýrství). Řadu podnětů přináší i v bio-medicinálním chemickém inženýrství.

S aplikacemi těchto technologií se setkáváme při výrobě bioplynu, syntézního plynu, biopaliv v biorafinériích, biokatalyzátorů, specialit pro farmacii a čistých chemikálií. Jedním z již komerčně zavedených biopaliv je bioethanol, jeho výroba je však spojena s využíváním zemědělské půdy využitelné pro produkci potravin, a navíc nasazení ethanolu místo benzínu kvůli zplodinám vyprodukovaným při jeho výrobě a nižší efektivitě při spalování oproti benzínu snižuje celkové emise CO<sub>2</sub> jen o 13 %.

Důležitou skupinou výrobků připravovaných biotechnologií jsou biopaliva. Při současných cenových relacích a dostupných kapacitách zdrojů fosilních paliv jsou pro možnost užití biomasy jako zdroje motorových paliv hlavní limitující faktory:

- kapacita biomasy (výhledově se předpokládá „boj o biomasu“),
- náklady na výrobu paliva z ní a na ochranu životního prostředí,
- logistika (problém dopravy částečně zpracované biomasy k finálnímu zpracovateli na biopalivo).

Jako primární zdroj biomasy využitelné pro palivové účely je již desetiletí považována ligno-celulosová biomasa, která nezabírá jinak zemědělsky využitelné půdy. Vhodnými termickými způsoby je z ní možno připravit tzv. syntézní plyn, který je dále možno známými technologickými postupy převést na motorová paliva.

Dalším biologickým materiálem, který lze zpracovat na cenné produkty, je bioplyn, jehož produkce v Evropě má k roku 2030 dosáhnout  $20 \cdot 10^9 \text{ Nm}^3$ . Přes velký potenciál výroby bioplynu však praktické využití jeho energetického potenciálu omezují relativně vysoké výrobní náklady a přítomnost polutantů jako  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{NH}_3$  a těkavých organických látek a má i nežádoucí skleníkový efekt. Jeho energetické využití je v malých a středních zařízeních bez větší finanční podpory neekonomické. Vzhledem k tomu, že technologie velkoobjemové výroby bioplynu je dnes velmi propracovaná, lze ji aplikovat k využití místních surovin (živočišná kejda, biologicky rozložitelný komunální odpad apod.). Vzhledem k vysokému obsahu methanu představuje upravený bioplyn vhodnou surovinou pro výrobu biopaliva s kvalitou podobnou zemnímu plynu a rovněž cenný biochemický substrát pro výrobu biopolymerů, methanolu a tuků s vysokou přidanou hodnotou. Některé z těchto technologií se již úspěšně ověřují v poloprovozním měřítku.

Největší výhodou biologických katalyzátorů pak zejména spočívá v jejich specifčnosti a v možnostech katalyzovat reakční mechanismy, které nejsou čistě chemickými (syntetickými) katalyzátory vůbec dostupné. Biokatalyzátory umožňují nové chemické reakce, pracují za mírných reakčních podmínek a snižuje se riziko vzniku vedlejších produktů a operační stupně se obvykle zjednodušují. Biokatalýza je bezesporu považována za důležitý nástroj průmyslových syntéz některých základních chemikálií. Možnosti aplikací jsou zatím omezené z důvodů omezené dostupnosti vhodných biokatalyzátorů. Nicméně rozvoj genového inženýrství a řízená evoluce enzymů důslednou exploatací bio-diverzity by mohly pomoci tuto bariéru překonat. Lze očekávat mnoho průmyslových aplikací od jednostupňových enzymatických konverzí až k víceúrovňovým mikrobiálním syntézám. Zvláště atraktivní produkty biokatalýzy jsou bezesporu vysoce stereoselektivní a tudíž enantiomerně čisté látky.

### 4.3. Nanotechnologie

Vysoká přidaná hodnota, kterou generují nanotechnologie, pochází převážně z hotových výrobků obsahujících nanotechnologické prvky, jako jsou zařízení pro ukládání a přenos informací, transfer a ukládání energie, nanotechnologie pro aplikaci v senzorech, nanobiotechnologie a nanomedicína, nanotechnologie pro elektrochemické technologie zpracování a nanomateriály. Ty nacházejí stále širší uplatnění při výrobě nátěrových hmot, automobilů a letadel, oděvů, textilu, kosmetiky, katalyzátorů, chytrých materiálů. Mimořádnou roli sehrávají nanotechnologie v kosmickém průmyslu (např. katalyzátory, odolné povrchy satelitů, konstrukční prvky raketoplánů, zdroje energie, čištění kapalných odpadů) a ve zbrojním průmyslu (např. nanosenzory, neviditelné povrchové úpravy, mobilní zdroje energie). Nanotechnologie se významně prosadí i v „opravování“ lidského těla a ve finále i v přímém propojení člověka se strojem a jednou možná dojde k trvalému propojení umělé inteligence s lidskými mozky.

Evoluční nanotechnologie se týká zlepšení existujících procesů, materiálů a aplikací tím, že se využijí jedinečné kvantové a povrchové jevy na úrovni nanometru. Tento trend je řízen zvýšeným úsilím společností o zlepšení stávajících výrobků vytvářením stále menších a lehčích součástí a kvalitnějších materiálů s nižšími náklady. Často se využívají specificky upravené chemické techniky jako mokré chemické procesy (např. koloidní chemie, hydrotermální metody, sol-gel metody), syntézy v plynné fázi (např. výroba fullerenů a uhlíkových nanotrubiček), plazmové procesy a plazmové modifikace povrchů a řada dalších. Revoluční (extrémní) nanotechnologie zahrnuje manipulaci s atomy a molekulami. Jde o samoreplikující se a samosestavující se systémy a zařízení o molekulárních rozměrech, které mohou mít uplatnění např. v elektronice nebo lékařství. Dalším perspektivním oborem je příprava předprogramovaných materiálů schopných měnit svůj objem nebo tvar na základě vnějšího impulzu. Významný posun nanotechnologií představuje rozvoj dvoudimenzionální chemie iniciované objevem grafenu. Rozvoj dvoudimenzionální chemie umožní výrobu a aplikace zcela nových pokročilých materiálů, jako je grafen a jeho deriváty či další hybridní materiály.

Perspektivním výzkumným programem jsou chemické reakce, které umožňují přeměnu skleníkového plynu na látku využitelnou jako zdroj energie či jako průmyslovou surovinu. Využívá se výhod grafenové kyseliny k přípravě nanobiokatalyzátoru pro přeměnu  $\text{CO}_2$  na methanol nebo využití hybridních materiálů na bázi derivátů grafenu pro přímou syntézu obnovitelného vodíku z vody. Biosyntéza nanomateriálů a nanobiotechnologie se zabývají využitím biologických nanosystémů v technických systémech, od sensorové technologie po fotovoltaiku. Používají též nanotechnologické postupy při zkoumání biologických systémů, z čehož budou mít velký prospěch zejména oblasti lékařské techniky a molekulární diagnostiky. Pro dosažení požadované vysoké čistoty nanomateriálů je nutno často pracovat při vysokých teplotách a tlacích, za použití velkého množství organických rozpouštědel pro udržení příznivých podmínek pro jejich výrobu. Tyto skutečnosti jsou příčinou vysoké spotřeby energií při výrobě některých nanomateriálů a iniciují další vývoj nanotechnologií.

Výroba fullerenů a uhlíkových nanotrubiček je specifická podskupina syntézy v plynné fázi (Chemical Vapour Decomposition technologie – CVD). Všechny postupy v podstatě zahrnují kontrolovaný růst nanotrubičky na částice katalyzátoru při krakování plynů bohatých na uhlík, jako je methan či acetylen.

Rozvoj generování nano-funkcí jako rozsáhlý a nízkonákladový zdroj nanomateriálů a úspěšné přizpůsobení nanotechnologií konečným produktům vyžaduje v mnoha případech využití materiálů, které jsou schopny rozvíjet své nano-funkčnosti během standardního procesu výroby polotovaru i konečného výrobku. Jako příklady lze uvést přísady do plastů, které krystalizují v nanočástice během vstřikování, tvarování kovové fáze během kování, nebo hierarchickou strukturu, která spontánně vzniká během nanášení povlaku. Je žádoucí sledovat možnost získání

nanofukčních vlastností přímo v průběhu výroby. Takový proces pak výrazně snižuje bezpečnostní rizika související s používáním volných nanočástic.

Jedním z příkladů úspěšné národní inteligentní specializace je rozvoj výroby nanovláken, původně založený na originální české technologii Nanospider (elektrospinning). Toto odvětví se úspěšně dále rozvíjí přes technologii odstředování k slibné technologii AC zvlákňování, která by v blízké budoucnosti mohla nahradit DC elektrospinning. Dnes již více než 5 výrobních organizací nabízí různé aplikace nanovláken – od výroby povlečení pro alergiky až po speciální nanomembrány. Úspěšnost takové specializace se významně prokázala při současné pandemii, řada hlavně MSP byla schopná operativně zavést výrobu ochranných prostředků. Světovost tohoto oboru je založena na efektivní spolupráci výzkumu s průmyslem, ale také na podpoře státu.

#### 4.4. Pokročilé katalyzátory

Pokročilé katalyzátory výrazně pomohou k žádoucímu zvýšení efektivnosti stávajících procesů nejenom v chemickém průmyslu, ke snížení energetické náročnosti a negativního vlivu na životní prostředí, k realizaci nových technologií, které doposud nebyly možné. Více než 85 % všech současných chemických produktů se vyrábí pomocí katalytických procesů a katalytické procesy umožňují i moderní rafinování paliv. Katalýza má rozhodující úlohu i při umožnění udržitelného využívání energie, například v palivových článcích a bateriích, při výrobě biopaliv, jakož i při ochraně životního prostředí a klimatu. Katalýza a katalytické procesy tvoří přímo nebo nepřímo asi 20–30 % světového HDP. Také výroba katalyzátorů v Evropě má velký ekonomický dopad, přibližně 3–4 miliardy EUR.

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 vylepšenou katalytickou aktivitou a selektivitou. Reprezentativním příkladem této koncepce jsou nanomateriály na bázi uhlíku dopované lehkými heteroprvky, které představují třídu katalytických systémů bez kovů, s potenciálem katalyzovat řadu klíčových chemických reakcí v rámci environmentálně šetrných technologií.

Jednou ze strategických výzkumných oblastí jsou originální konstrukce katalyzátorů založené na nanočásticích a organických komplexech kovů s nekovalentními vazbami pro katalytické aplikace a studium strukturních a elektronických vlastností těchto supramolekulárních systémů. Supramolekulární nanočástice obsahující různé ušlechtilé nebo přechodné kovy byly shledány jako vhodné katalyzátory pro širokou škálu reakcí: např. hydrogenace, hydrosilylace, hydrolýza, oxidační reakce a přímá přeměna energie fotonů na chemickou energii v palivových článcích. Nanokatalyzátory by mohly v brzké době zamezit například nepříznivým dopadům na životní prostředí, které jsou spojeny s uvolňováním emisí z elektráren, průmyslových podniků či automobilů. Tento problém je dobře řešitelný pomocí nanokatalyzátorů, které

pracují při nízkých teplotách a za běžných podmínek. Nové hybridní nanostruktury najdou uplatnění jako vysoce aktivní katalyzátory při výrobě vodíku fotoelektrochemickým a elektrokatalytickým štěpením vody. V souvislosti s předpokládaným dynamickým rozvojem průmyslových biotechnologií je výzvou pro chemický výzkum příprava vhodných typů biokatalyzátorů.

V krátkodobém až střednědobém horizontu bude pokračovat rozvoj využití CO<sub>2</sub>, zejména v oblastech, které jsou technologicky pokročilejší (např. polymery obsahující CO<sub>2</sub>, hydrogenace CO<sub>2</sub>). Konverze CO<sub>2</sub> 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).

Katalýza je klíčovým aspektem k překonání současných limitů. Je třeba vyvinout nové koncepty, jako je katalýza zabývající se vysoce energetickými formami hmoty, jako jsou fotonové elektrony, fragmenty generované plazmou. Mnoho z těchto výzev v katalýze musí být překonáno konstrukcí nových materiálů. Nanokarbyny a katalyzátory typu jádro-obal jsou příklady tříd katalytických materiálů, které nabízejí mnoho nových možností pro vývoj koncepčně nových katalyzátorů, např. pro pokročilé operace s elektrony nebo fotony (elektro- a fotokatalyzátory).

Další výzvou je intenzifikace procesů s využitím molekulární katalýzy, která nabízí příležitosti pro energetickou a efektivní chemickou transformaci uhlíku, ale má dva hlavní současné limity: často omezenou produktivitu založenou na objemu reaktoru a omezenou schopnost realizovat vícestupňové chemické procesy. Molekulární katalýza nabízí také jedinečné možnosti oproti pevným katalyzátorům, pokud jde o pochopení reakčního mechanismu, a vývoj lepších katalyzátorů založených na znalostech. Některé z uvedených oblastí znamenají zlepšení současných katalyzátorů nebo jejich přizpůsobení novým surovinám, například při přechodu z ropných surovin na biologické suroviny. Některé oblasti, například při přímé přeměně methanu nebo při výrobě solárních paliv, však vyžadují nové typy katalýzy. Existuje mnoho dalších příkladů nových směrů katalýzy:

- foto- nebo foto-elektro katalytické výroby obnovitelného vodíku,
- nové katalyzátory pro přímou konverzi methanu,
- nové syntetické katalytické strategie jako např. fotokarboxylace nebo integrace chemických elektrokatalytických kroků při regeneraci kofaktorů v enzymových katalytických cyklech,
- vývoj nových katalyzátorů pro stabilizaci a modernizaci katalytického krakování pyrolýzních olejů, které jsou odolnější vůči různým formám deaktivace.

#### 4.5. Hnojiva pro udržitelné zemědělství

Zabezpečení dostatečného množství potravin pro existující a budoucí populaci v našem regionu, ale i v EU je jedním z klíčových cílů z hlediska udržitelnosti životní

úrovně, hospodářského růstu, potravinové soběstačnosti a také národní bezpečnosti. Poptávka po potravinách má rostoucí charakter, a to nejen díky zvyšování lokální spotřeby, ale i kvůli exportu potravin do jiných, rychle se rozvíjejících částí světa. Výměra zemědělské půdy v regionu nemá potenciál dalšího růstu. Naopak, dochází k relativně dramatickému snižování výměry zemědělské půdy využíváním na nezemědělské aktivity, anebo k pěstování plodin pro jiné než potravinářské účely. Příkladem je výstavba průmyslových zón v okolí měst nebo produkce biopaliv ze zemědělských produktů. Z těchto důvodů není možné zabezpečit dostatek potravin extenzivním způsobem hospodaření na zemědělské půdě a je nevyhnutelné zvyšovat hektarové výnosy zemědělských plodin. Jednou ze základních podmínek zvyšování výnosů zemědělské produkce je zabezpečení dostatečného množství živin pro potřebu výživy jednotlivých zemědělských plodin, a to bez negativního dopadu na kvalitu půdy, vody, ovzduší a také zdravotního stavu obyvatel.

Vývoj technologií pro výrobu minerálních hnojiv bude v budoucnu nutné (podobně jako v současnosti) směřovat k následujícím cílům:

- snižování znečišťování ovzduší, vody a půdy (požadavek pochází z legislativy EU),
- zvyšování úrovně bezpečnosti provozování (požadavek pochází z legislativy EU),
- využívání alternativních surovinových a energetických zdrojů (požadavek pochází z legislativy EU),
- efektivnější využívání surovinových a energetických zdrojů (tlak na ceny surovin i produktů),
- zavádění nových produktů (tlak na inovace s cílem zajistit vyšší komfort pro konečného uživatele).

Tento vývoj je již v současné době a nadále bude podmíněn politickým a společenským tlakem stejně jako tlakem provozovatelů na udržení nebo zlepšování pozice na trhu a ekonomické efektivity výrob. Pokud výrobní technologie nedokážou splnit uvedené cíle, jejich provozování může být ukončeno, ať už v důsledku nesouladu s budoucí legislativou, anebo jako důsledek konkurenčního boje. Z hlediska udržení úrovně našeho regionu, jeho zaměstnanosti a sociálních standardů je důležité podporovat výzkum a vývoj technologií ve směru ke splnění výše uvedených cílů.

Hlavní směry budoucího vývoje:

- změna struktury zemědělských plodin (snížení požadavku na dusíkatá hnojiva),
- zvýšení podílu geneticky upravovaných plodin (snížení požadavku na pesticidy),
- vývoj chemikálií pro lepší zadržování vody v krajině.

Bariéry:

- cena zemního plynu dodaného do EU vs. jeho cena v Rusku, příp. Číně nebo USA,
- dostupnost surovin pro chemickou výrobu fosforečných hnojiv,
- dovoz hotových fosforečných hnojiv z oblastí mimo EU,
- pokles výkonnosti tuzemského zemědělství vlivem omezení využívání hnojiv a pesticidů.

#### 4.6. Horizontální témata

Při formulaci horizontálních témat pro účely této Cestovní mapy jsme vzali v potaz již námi v předešlém období definované globální megatrendy vývoje ve světě<sup>1</sup>, které ovlivňují a budou i nadále ovlivňovat naši budoucnost. Vnímání uvedených trendů se v roce 2020 zásadně přeměnilo. Důvody jsou dva: první je EGD, účelově připravený novou evropskou politickou reprezentací. Druhým důvodem je pokračující pandemie způsobená virem COVID-19, před rokem neznámým *ad hoc* faktorem.

Zásadní strategická rozhodnutí, která ovlivní vývoj nejenom chemického průmyslu příštích 30 let jsou přijímána bez zpracování dopadových studií, nejsou zohledněny specifické podmínky jednotlivých států (např. Farm to Fork), nejsou respektována stanoviska a připomínky resortních ministerstev ani odvětvových svazů. Podle sdělení orgánů EU konkrétní legislativní návrhy k jednotlivým kapitolám EGD budou doprovázeny dopadovými studiemi. SUSCHEM CZ nabídl spolupráci při zpracování dopadových studií.

##### 4.6.1. Problém legislativy

Jednou z hlavních překážek rychlejšího rozvoje výroby nových materiálů a nových procesů je dosud nedeřešená legislativa v oblasti bezpečnosti v celém životním cyklu (včetně recyklace) a také nedostatečná standardizace metod posuzování účinnosti a životnosti těchto zcela nových materiálů. Z toho pramení i určité obavy veřejnosti o bezpečnost výroby a aplikace takových materiálů, jako jsou např. nanomateriály. Řešení otázek rizik spojených s aplikací nanomateriálů dlouhodobě pokulhává za samotným vývojem nanotechnologií.

##### 4.6.2. Standardizace

Je třeba vyvinout nové standardy specifické pro odlišné technologické a aplikační oblasti a důsledně odkazovat na stávající normy v konkrétních oblastech, jako jsou normy ASTM, ISO, nebo IE. Zavedení nových materiálů a technologií iniciuje rovněž potřebu nových norem a předpisů, které se ve stávajících systémech dosud nepředpokládají. Obecné a zavedené charakterizační nástroje pro hodnocení výkonu a bezpečnosti jsou zásadní pro definování zkušebních a certifikačních metod specifických pro různé provozní prostředí, v různých odvětvích a zejména pro nejkritičtější oblasti použití z hlediska veřejné bezpečnosti, a nakonec pro prokázání souladu nových materiálů a procesů s normami a předpisy. Co se týče bezpečnosti, je možné účinnou synergií různých aktérů působících v dané oblasti s jejich vlastními zvláštními rolami, včetně iniciativ Evropské komise, navrhnout a naplánovat společný, rozumný a schválený soubor nástrojů pro hodnocení bezpečnosti např. nanotechnologií. Příkladem pro potřebné změny české legislativy je Zákon o ochraně veřejného zdraví (205/2020 Sb). Nezahrnuje možnosti použití nových inovativních technologií k prevenci šíření infekčních onemocnění. České nanotechnologické firmy disponují vedle často zmiňovaných nanovlákných respirátorů a ústních roušek

také nanotechnologiemi pro čištění vzduchu pomocí fotokatalýzy od organických nečistot včetně virů a bakterií a dalšími řešeními, která mohou významně snížit riziko nákazy infekčními nemocemi.

#### 4.6.3. Vzdělávání

Realizace inovací a modernizací v souladu se zmíněnými megatrendy bude vyžadovat rekvalifikaci a zvyšování kvalifikace pracovníků podílejících se na výrobě a používání chemikálií směrem k zelené a digitální transformaci. Rozvoj a povědomí o udržitelné chemii jsou možné pouze za předpokladu, že nastupující generace bude znát principy, metody a techniky udržitelné chemie a technologie, kdy se veřejnost nebude bát výrazů „chemie a chemický“ a spojovat je s něčím negativním.

V budoucnu bude každá práce zelenou prací ve smyslu, že bude v různé míře přispívat k neustálému zlepšování energetické účinnosti a účinnosti zdrojů. Je však nutné vzít v úvahu, že pochopení dopadu povolání na udržitelnost je třeba začlenit do systémů vzdělávání a odborné přípravy, které podporují spolupráci mezi vzdělávacími zařízeními a podniky. Kromě rozvoje zvláštních odborných znalostí v otázkách životního prostředí a udržitelnosti a zelené ekonomiky (např. posuzování vlivů na životní prostředí, ekonomika udržitelnosti, technologie, právo a politika) je také třeba zvýšit povědomí a know-how ve všech oblastech práce (např. procesní manažeři, designéři, dělníci v továrně a servisní pracovníci), aby bylo zajištěno, že dopad na udržitelnost bude maximalizován ve všech úkolech a profesích.

## 5. Závěr – strategie meziodvětvové spolupráce

Splnění cílů Cestovní mapy SUSCHEM CZ vyžaduje rozvíjet efektivní spolupráci s celou řadou partnerů jak v ČR, tak v zahraničí. Především se jedná o výrazné rozšíření spolupráce s hlavními aktéry v chemickém průmyslu a v navazujících strategických odvětvích, jako je energetika, automobilový, elektrotechnický průmysl, zemědělství, potravinářství, zdravotnictví, ale také s MSP, které již v minulých letech prokázaly velký inovační potenciál.

Cílem je maximalizovat využití české výzkumné základny pro inovace s vyšším řádem a urychlení obnovy české ekonomiky.

Důležité bude dále rozvíjet spolupráci s velkými výzkumnými infrastrukturami, které v době nouzového stavu prokázaly svou flexibilitu a schopnost využít svůj odborný potenciál a moderní přístrojové vybavení k řešení problémů spojených s bojem s COVID-19 (např. při testování obyvatel, při vývoji a výrobě ochranných prostředků, různých desinfekčních prostředků, vývoji plicních ventilátorů). Význam meziresortní spolupráce lze dokumentovat i podílem mimochemických odvětví na výzkumu nanotechnologií, kdy v roce 2018 a 2019 bylo vynaloženo na výzkum nanotechnologií z veřejné podpory v odvětvích pokročilé stroje a technologie, strojírenství a mechatronika výrazně více než na průmyslovou chemii. Vzhle-

dem k významnému dopadu výzkumu a inovací v chemickém průmyslu je žádoucí spolupráce při zpracování cestovních map průmyslové modernizace a zavádění pokročilých technologií právě v těchto navazujících odvětvích.

Změnit by se měl i dosavadní časový horizont státní podpory ČTP s ohledem na dlouhodobost strategie realizace potřebných modernizací a inovací českého průmyslu ve vazbě na nové megatrendy. Dosavadní systém s tříletými cykly (s více jak ročním zpožděním úhrady) neodpovídá reálným inovačním cyklům. Považujeme za účelné přesněji definovat postavení ČTP v poměrně složité hierarchii různých orgánů a organizací, které se dnes řízením VaVaI v ČR zabývají (např. v novelizaci zákona 130/2002 Sb).

Dále je třeba řešit problém nedostatečné motivace průmyslových podniků k využívání akademických výstupů výzkumu. Nejde přitom pouze o podniky se zahraniční majetkovou účastí, ale i velké české firmy. Je skutečností, že evropské velké chemické koncerny využívají všechny možnosti navrhování témat pro nové projekty např. v rámci Horizon 2020+. Obvykle mají zastoupení svých zástupců v přípravných výborech programových výzev, které se často již připravují na míru konstitujícím se konsorciím. Bez systémové podpory na nejvyšších místech nelze dosáhnout většího zastoupení českých vědců a odborníků v těchto strukturách.

Pokud stát nedokáže ochránit národní zájmy v oblasti chemického průmyslu (např. v důsledku EGD nebo další nepřiměřené regulace chemických látek), je ohrožen další udržitelný rozvoj našeho odvětví s mimořádně velkými dopady do řady dalších odvětví v ČR, úrovně národní ekonomiky a v neposlední míře životní úrovně našich obyvatel. Dlouhodobé podfinancování chemického průmyslu samo o sobě představuje významné riziko pro udržitelný rozvoj.

## LITERATURA

1. Novák L., Šilhan M.: Chem. Listy 114, 485 (2020).
2. www.suschem.cz, staženo 26. 1. 2021.
3. Communication from Commission to the European Parliament, the European Council, The European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions, Com(2019), final.

**A. Mlčoch<sup>a</sup>, L. Novák<sup>a</sup>, and M. Šilhan<sup>a,b</sup>** (<sup>a</sup> *Czech Technology Platform for Sustainable Chemistry, Prague*, <sup>b</sup> *Research Center Řež, Husinec - Řež*): **Roadmap of the Czech Technology Platform for Sustainable Chemistry**

The paper informs about activities of the Czech Technology Platform for Sustainable Chemistry (SUSCHEM CZ), in particular about the Roadmap.

Keywords: chemical industry, roadmap, technology platform, sustainability, competitiveness