



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



SUSCHEM^{CZ}

Strategická výzkumná agenda IV

České technologické platformy pro udržitelnou chemii



Zpracováno v rámci projektu CZ.01.1.02/0.0/0.0/15_037/0007182 „SusChem III“, podporovaného v rámci OP PIK, programu Spolupráce – Technologické platformy

duben 2019

Zpracovali: Ing. Antonín Mlčoch, CSc., Ing. Jaromír Lubojacký, MBA, Prof. Ing. Jiří Hanika, DrSc., Ing. Ivan Souček, Ph.D., Ing. Milan Maxa, Ing. Jiří Reiss, CSc., Ing. Alena Krejčová

OBSAH:

1. Souhrn.....	3
2. Úvod.....	4
2.1 Pozice chemického průmyslu v rozvinutých zemích.....	4
2.2 Aktuální pozice českého chemického průmyslu (SVOT analýza současného stavu chemického průmyslu, aplikovaného výzkumu a vzdělávání odborníků).....	6
2.3 SWOT Analýza výzkumu a vývoje chem. procesů v podmínkách ČR.....	8
2.4 SWOT analýza současného stavu českého chemického průmyslu.....	9
2.5 Strategie českého chemického průmyslu - Česká Národní iniciativa Průmysl 4.0.....	10
3. Hlavní očekávané směry rozvoje české chemie.....	11
3.1 Oběhové hospodářství (Cirkulární ekonomika).....	11
3.2 Průmyslové biotechnologie.....	15
3.2.1. Náhrada primárních fosilních surovin bio-zdroji.....	15
3.2.2. Biorafinace jako oběhová technologie.....	17
3.3 Pokročilé procesy a zařízení.....	23
3.4 Nanotechnologie a nanomateriály.....	28
3.5 Pokročilé materiály a technologie.....	37
3.5.1 Materiály pro aditivní výrobu a 3D tisk.....	37
3.5.2 Materiály pro konverzi a skladování energií.....	43
3.5.3 Solární články.....	44
3.5.4 Pokročilé materiály a technologie pro ukládání energie.....	48
3.5.5 Superkapacitory (Superkondenzátory).....	51
3.5.6 Palivové články.....	53
3.5.7 Skladování obnovitelné energie ve formě chemické energie.....	55
3.5.8 Lehké multifunkční materiály a kompozity.....	62
3.5.9 Pokročilé katalyzátory.....	66
3.5.10 Výroba prášků z kovů, funkčních slitin, keramiky a intermetalických látek.....	73
3.5.11 Iontové kapaliny.....	78
3.6 Zpracování ropy.....	81
3.7 Zelená chemie a Nařízení REACH.....	87
3.7.1 Zelená chemie jako výzkumný program.....	88
3.7.2 Nařízení REACH jako stimulátor inovací.....	89
3.8 Hospodaření s vodou.....	91
4. Horizontální otázky (témata)	99
5. Závěr.....	101
6. Seznam použitých zkratk.....	102

1. Souhrn

Záměrem aktualizace jednoho ze základních dokumentů ČTP SusChem bylo upřesnění hlavních očekávaných směrů rozvoje české chemie v horizontu 2025-2030 s ohledem na vývoj v oblasti vědy a výzkumu, nové trendy aplikací pokročilých technologií a materiálů a zhodnocení dosavadního vývoje v naplňování cílů ČTP SusChem. Vycházelo se ze sledování podpořených projektů z oblasti zájmů TP v rámci programu HORIZONT 2020 a dalších dotačních programů pro podporu VaVaI, z aktuálních materiálů Evropské technologické platformy pro udržitelnou chemii a jednání s představiteli dalších evropských TP, z analytického materiálu MPO ČR „Podklad k implementaci Národní RIS3 strategie v programech ESIF a národních programech podpory VaVaI“ a z dokumentu „Technologický foresight chemického průmyslu ČR v kontextu globálního vývoje“. Strategická výzkumná agenda (SVA) byla aktualizována za aktivní účasti odborníků z akademické i podnikatelské sféry, zástupců státní a komunální sféry. K řadě témat byly uspořádány workshopy a odborné konference. Z těchto jednání vyplynula potřeba doplnit stávající SVA vzhledem k aktuálním potřebám ČR a k novému časovému horizontu o další očekávané směry rozvoje české chemie jako jsou cirkulární ekonomika, hospodaření s vodou a substituce nebezpečných látek. Zároveň byly zásadně aktualizovány zejména kapitoly nanotechnologie a nanomateriály, materiály pro aditivní výrobu, materiály pro konverzi a skladování energie a moderní katalyzátory. Aktualizovaná SVA tak řeší vhodné náměty v řadě znalostních domén, jako jsou pokročilé výrobní technologie, pokročilé materiály, nanotechnologie a průmyslové biotechnologie, které významně ovlivňují budoucí konkurenceschopnost a udržitelnost nejenom chemického průmyslu, ale řady dalších strategických odvětví. Představuje vhodné náměty pro společné projekty v rámci Evropského výzkumného prostoru, ale také například pro inovace a podnikatelské záměry i malých a středních podniků.

2. Úvod

Tento dokument byl zpracován Českou technologickou platformou pro udržitelnou chemii, SusChem ČR v rámci projektu „SusChem III“, registrační číslo CZ.01.1.02/0.0/0.0/15 037/0007182, podporovaného Ministerstvem průmyslu a obchodu v rámci OP Podnikání a inovace. Bližší informace o ČTP SusChem, jejích členech, organizační struktuře atd. jsou zveřejněny na jejích webových stránkách <http://suschem.cz/> v oddíle „O ČTP SusChem“. Návrh vychází z posouzení současného vývoje a potřebě zařadit taková aktuální témata jako je hospodaření s vodou, Cirkulární ekonomika a substituce nebezpečných látek.

Základními cíli SusChem ČR jsou:

- podporovat udržitelnost chemického průmyslu v České republice.
- iniciace vědecko-technických výzkumů a komerčního využití vědeckých řešení, vytváření mostu mezi vědou, výzkumem a průmyslem v oblasti chemie.
- propagace inovačních aktivit a vědecko-technického rozvoje v chemickém průmyslu.
- zapojení České republiky do realizace hlavních činností Evropské technologické platformy pro udržitelnou chemii následujícími způsoby:
 - aktualizace programu strategického výzkumu (strategická výzkumná agenda SVA)
 - iniciování vědecko-technických výzkumů
 - aktualizace strategie pro rozvoj moderních chemických technologií (implementační akční plán IAP)
 - spolupráce při vytváření politiky a právních předpisů sloužících k povzbuzení inovačních aktivit
 - součinnost s MPO a MŽP ČR při aplikaci nových nařízení v oblasti ochrany životního prostředí
 - spolupráce při tvorbě a implementaci Národní výzkumné a inovační strategie pro inteligentní specializaci České republiky (Národní RIS3 strategie) 2014 – 2020

Činnost TP SusChem ČR je zaměřena po odborné stránce do základních oblastí:

- průmyslové biotechnologie
- pokročilé materiály a technologie
- procesní inženýrství
- cirkulární ekonomika
- náhrady za chemikálie zakázané REACH
- hospodaření s vodou
- iniciativa Průmysl 4.0

Průřezovou (horizontální) oblastí je zaměřen na:

- standardizaci, regulaci, bezpečnost
- mezinárodní spolupráci
- oblast informační
- oblast finanční
- oblast lidských zdrojů

2.1. Pozice chemického průmyslu v rozvinutých zemích

Chemický průmysl je se svými výrobky neodmyslitelnou základnou pro všechny rezorty národního hospodářství, ale přitom vychází v drtivé míře z fosilních surovin, ať jsou to minerály a rudy pro anorganické výrobky (například hnojiva, pigmenty pro nátěrové hmoty, metalurgii, prostředky pro výrobu skla, keramiky apod.), nebo uhlí, ropa a plyn pro celou plejádu organických výrobků (polymerní materiály, léčiva, potravinové doplňky, barviva, nátěrové hmoty, zemědělské ochranné prostředky, drogistické a kosmetické zboží apod.). Zajišťuje vstupy vlastně do všech výrobních postupů ostatních rezortů. Chemickými procesy se čistí

komunální a průmyslové odpadní vody, odstraňují škodliviny ze spalin tepelných elektráren i dopravních prostředků, produkují se stavební hmoty, zemědělské ochranné prostředky, hnojiva ale také mnoho různorodých materiálů pro věci každodenní potřeby, ať jsou to třeba oděvy, obuv, spotřební elektronika, mobilní telefony či sportovní potřeby.

Samostatnou kapitolou je chemická podpora zemědělské výroby i produkce potravin a pitné vody. Budoucí vývoj celé lidské populace bude patrně v dohledné době poznamenán jejím dosud exponenciálním růstem, omezenými zdroji surovin v zemské kůře, kontaminací složek životního prostředí metabolity z životních procesů lidí i ostatních živočichů, dostupnosti vodních zdrojů.

Chemický průmysl je důležitou součástí zpracovatelského průmyslu v EU i ve světě. Podle posledních publikovaných údajů Cefic (The European Chemical Industry Council) představuje globální obrat chemického průmyslu za rok 2016 hodnoty 3 360 mld. eur. V současnosti zaujímá nejsilnější pozici Čína s 1 331 mld. eur (39,6 %), druhou pozici zastává Evropa s 597 mil. eur (17,8 %) a třetí pozice připadá zemím NAFTA s 15,7 % (North American Free Trade Agreement/obchodní dohoda spojující Kanadu, Spojené státy americké a Mexiko).

Do roku 2030 se očekává zdvojnásobení globálního trhu a podíl Číny by měl vzrůst na 44 %. Dle údajů Cefic 2017 reprezentuje evropský chemický průmysl 29 tis. firem a 1,14 mil. pracovních míst. Dvě třetiny ze své produkce vydá na zásobování ostatních sektorů zpracovatelského průmyslu. Další důležitá propojení existují se sektorem zemědělství a službami. Na úrovni EU je chemický průmysl (kromě léčiv) pátým největším průmyslem. Německo a Francie jsou dva největší výrobci chemikálií v Evropě, následuje Itálie a Nizozemí. Tyto čtyři země dohromady představovaly v roce 2016 celkem 61,7 % prodeje chemikálií v EU. Současný chemický průmysl EU vykazuje slibný trend, neboť produkce dosáhla nejvyšší úrovně za posledních osm let.

Chemický průmysl EU je energeticky náročný a pod silným konkurenčním tlakem. Potýká se s výzvami, jako jsou zvýšená mezinárodní konkurence, zvyšování cen energií a vstupních surovin, tlak na účinnější využívání zdrojů, výrazné kumulativní náklady na regulaci, zejména v oblasti emisí a chemické legislativy, nové předpisy a potřeba inovací. Jako energeticky náročný oddíl je chemický průmysl závislý na požadavcích vyplývajících z politiky v oblasti změn klimatu a energetiky. Navíc, chemický sektor je velmi regulovaný z důvodu ochrany zdraví svých zaměstnanců, zdraví konzumentů a ochrany životního prostředí.

Chemický průmysl je významně ovlivňován řadou regulací ze strany EU (REACH, biocidní látky, cíle pro omezování emisí, nové emisní limity pro auta atd), ale také celními válkami nebo Brexitem.

Výzvou pro chemický průmysl v Evropě bude zajistit potřebné investice do jeho rozvoje tak, aby uspěl v globální konkurenci. Další výzvou je orientace směrem k oběhovému hospodářství a vyššímu využití chemických látek v rámci recyklačních toků, v dopravě nebo jako součást energeticky úsporných budov.

V tomto kontextu 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. Proto si napříště musíme představit, že veškeré budoucí výrobky mohou počítat jen s důslednou recyklací a obnovitelnými uhlíkatými surovinovými zdroji pro chemický průmysl, který, jak bylo již zmíněno výše, jednoznačně podporuje všechny hospodářské rezorty nezbytné pro chod každé rozvinuté společnosti.

2.2. Aktuální pozice českého chemického průmyslu (SVOT analýza současného stavu chemického průmyslu, aplikovaného výzkumu a vzdělávání odborníků)

Výroba chemických látek a chemických přípravků zaujímá v hospodářství České republiky důležitou pozici. Chemický průmysl je druhým největším průmyslovým odvětvím České republiky. Jeho výrobky jsou nezastupitelné pro zajištění spotřeby obyvatelstva a jako surovina pro další průmyslová odvětví a zemědělství (dvě třetiny ze své produkce vydá na zásobování ostatních sektorů zpracovatelského průmyslu), další důležitá propojení existují se sektorem zemědělství a službami). Chemický sektor je silně provázaný s ostatními oddíly zpracovatelského průmyslu, jako jsou výroba plastů a pryže, textilní průmysl, elektronický průmysl, automobilový průmysl a další a představuje pro ně důležité subdodavatelské odvětví. Toto odvětví je náročné na kvalifikovanou pracovní sílu, na zajištění zdrojů neobnovitelných (fosilních) surovin (uhlí, ropa, zemní plyn, minerály a rudy), byť i postupné uplatňování obnovitelných zdrojů zde postupně nachází stále větší uplatnění, dále na dostupnost vody a zajištění tepla a elektrické energie.

Chemický průmysl lze rozdělit na výrobu rafinovaných ropných produktů (zpracování ropy), výrobu chemických látek a chemických přípravků (základní chemie), výrobu hnojiv a dusíkatých sloučenin, výrobu pesticidů a jiných agrochemických přípravků, výrobu základních farmaceutických výrobků a farmaceutických přípravků, zdravotnické techniky a Life Sciences a výrobu pryžových a plastových výrobků.

Podíl na tržbách zpracovatelského průmyslu ČR se pohybuje kolem 5 %. Chemický průmysl se podílí na zaměstnanosti, výsledku hospodaření a dalších významných ekonomických charakteristikách v českém zpracovatelském průmyslu ve výši 12 – 15 %. Přidaná hodnota na zaměstnance a průměrná měsíční mzda zaměstnance je u chemických podniků vyšší než průměr zpracovatelského průmyslu. Váha chemického průmyslu ČR na celkové průmyslové výrobě odpovídá významu odvětví v rozvinutých průmyslových zemích, jako je Německo a Francie, a v produkci na obyvatele je na špičce.

Chemické výrobky nacházejí uplatnění ve všech oblastech ekonomiky a chemický sektor je důležitým dodavatelem vstupních surovin pro mnoho jiných oborů zpracovatelského průmyslu. Významnými odběrateli chemikálií jsou zejména gumárenský a plastikářský průmysl, stavebnictví, průmysl papíru a celulózy a automobilový průmysl. U většiny průmyslových a finančních ukazatelů došlo v porovnání s rokem 2016 k růstu hodnot. Počet pracovníků ve sledovaných agregacích odvětví chemického průmyslu vzrostl meziročně o 3,8 % na 4 692. Vývoz z odvětví chemie vzrostl proti roku 2016 o více než sedm procent na 424,8 mld. Kč, zatímco dovoz se zvýšil jen o 4,3 % na 568,3 mld. Kč. Vzhledem k výše uvedeným skutečnostem lze celkový vývoj odvětví hodnotit velmi pozitivně a věřit, že bude v černých číslech pokračovat i v roce 2018.

Chemický průmysl je v České republice koncentrován především do krajů – Ústeckého, Pardubického, Moravskoslezského a Středočeského. Deset největších chemických podniků v ČR patří do výrobní skupiny CZ-NACE 20.1 (Unipetrol RPA, s.r.o., Synthos Kralupy a.s., Deza, a.s., BorsodChem MCHZ, s.r.o., Spolana, s.r.o., Lovochemie, a.s., Spolchemie – Spolek pro chemickou a hutní výrobu, a.s., Synthesia, a.s., Silon s.r.o. a Linde Gas a.s.). Z ostatních výrobních skupin to pak jsou například Indet Safety a.s., Austin Detonator s.r.o. (CZ-NACE 20.5), Schwan Cosmetics CR, s.r.o., Procter&Gamble (CZ-NACE 20.4), Glanzstoff Bohemia, s.r.o. (CZ-NACE 20.6), EFTEC (Czech Republic), a.s. (CZ-NACE 20.3).

Chemický průmysl se potýká s výzvami, jako jsou zvýšená mezinárodní konkurence, zvyšování cen jednotlivých forem energie a vstupních surovin, je vystaven tlaku na účinnější využívání zdrojů, musí reagovat na nové předpisy, zákony a potřebu inovací. Jako energeticky náročné odvětví je chemický průmysl závislý na hospodářské politice v oblasti změn klimatu a

energetiky. Navíc je chemický sektor velmi regulovaný z důvodu ochrany zdraví svých zaměstnanců, zdraví konzumentů a ochrany životního prostředí.

Na rozdíl od jiných středoevropských zemí si zachoval svou váhu v národním hospodářství, podařilo se mu díky rozvojovým investicím zajistit konkurenceschopnost vůči evropským, ale i asijským výrobcům, byť bilance zahraničního obchodu zůstává dlouhodobě negativní. Přes vysoký objem dovozů chemických výrobků do ČR však chemická produkce českého původu významně přispívá i k exportnímu potenciálu ČR. Český chemický průmysl zaujímá 1 – 2 % podíl tržeb chemického průmyslu EU a ve středoevropském regionu zastává významné postavení.

Kapacity českého chemického průmyslu byly zcela privatizovány a do významné části tohoto odvětví vstoupil zahraniční kapitál. Klíčové technologie komoditní chemie byly po roce 2000 modernizovány a řadí se k vyspělejšími dostupným technologiím střední kapacity s převažujícím exportním zaměřením.

Český chemický průmysl se dokázal vypořádat s následky finanční krize v předchozích letech, optimalizoval svá produktová portfolia, provedl nezbytné procesní a organizační restrukturalizace a dokázal reagovat na nově vznikající tržní příležitosti ve světě.

Chemický průmysl ČR je již delší dobu globalizovaný a ve významné míře řízený automatizovanými systémy. Průmysl 4.0 lze využít jako další příležitost pro zvyšování konkurenceschopnosti, vyšší produktivity, vyššímu podílu kvalifikované práce včetně souvisejících aktivit (např. logistika) a také ke zvyšování bezpečnosti chemických procesů. Je zapotřebí spolupracovat, na národní i evropské úrovni, při vytváření vhodných podmínek – právního rámce, regulace, standardizace a kybernetické bezpečnosti. Mezi klíčová témata dalšího vývoje patří aditivní výroba, senzory a pokročilé technologie.

Pro další rozvoj českého chemického průmyslu bude klíčové zajištění potřebných investic do vědy, výzkumu a inovací a zajištění předvídatelného, méně složitého regulačního rámce. Výrazně se budou na budoucím rozvoji podílet i podmínky obchodování s emisemi skleníkových plynů.

Investice do rozvoje odvětví a do inovací, včetně výzkumu a vývoje, jsou nezbytné pro zachování budoucí konkurenceschopnosti evropského chemického průmyslu. Výdaje na VaV v posledních letech činily průměrně 3,5 mld. Kč, což představuje cca 12 % podíl na výzkumu a vývoji v rámci zpracovatelského průmyslu. K firmám, které čerpaly významný objem účelové podpory ze státního rozpočtu v rámci národních programů MPO (IMPULS, TIP, TRIO) a TA ČR (Alfa, Centra kompetence a Epsilon) v období 2004 - 2017, patří Explosia a.s.; GeneProof a.s.; Contipro Biotech s.r.o.; BOCHEMIE a.s.; Lučební závody Draslovka a.s. Kolín a Synthesia, a.s. Projektů v rámci Horizontu 2020 se účastní Contipro a.s. ve dvou projektech: DRIVE a N2Bpatch, RANIDO, s.r.o. je účastníkem projektu BioMates a UNIPETROL RPA, s.r.o. má projekt COMSYN. Dosavadní systém hodnocení kvality a systém financování výzkumu v ČR působil doposud v mnoha ohledech proti snahám o zvýšení kvality výzkumu.

Po mnoha jednáních se nyní podařilo dodatečně prosadit problematiku chemického průmyslu do aktualizace Národní výzkumné a inovační strategie pro inteligentní specializaci České republiky (Národní RIS3 strategie) 2014 – 2020. Tento materiál akceptuje základní strategické oblasti, které byly vytipovány a pro které existuje nebo je vytvářen v České republice dostatečný vědeckotechnický potenciál. Záměry jsou realizovatelné a mohou významně přispět k řešení potřeb české společnosti a zvýšení konkurenceschopnosti českého chemického průmyslu a následně navazujících odvětví.

Jedná se zejména o:

- průmyslové biotechnologie a využití obnovitelných zdrojů,
- technologie materiálů vč. nanomateriálů,
- výroba a zpracování polymerů a biopolymerů,
- využití plastů po skončení jejich životnosti,

- nové typy reakcí a procesů,
- hospodaření s vodou

Nově k těmto základním směrům přistupují další aktuální témata:

- cirkulární ekonomika,
- náhrada zdravotně a ekologicky problematických látek,
- vodní hospodářství,
- materiály pro energetiku,
- zelená chemie a Nařízení REACH,
- iontové kapaliny,
- speciální polymery,
- prevence zvyšování výskytu odpadních plastů v životním prostředí.

Rezort výzkumu a vývoje v oboru chemických procesů v příštích letech bude patrně využívat následujících příležitostí a předností, naopak se bude potýkat s lokálními nedostatky a globálními výzvami.

2.3. SWOT Analýza výzkumu a vývoje chem. procesů v podmínkách ČR

Silné stránky:

- solidní infrastruktura a vybavení vědeckovýzkumné základny
- konkurenceschopná výchova a vzdělávání odborníků
- dobrá komunikace mezi akademickým, univerzitním a aplikovaným výzkumem
- možnost mezinárodní spolupráce
- rostoucí trend veřejných výdajů na VaV (navzdory hospodářské krizi)
- existence koncepce podpory velkých infrastruktur a Cestovní mapy ČR velkých infrastruktur pro výzkum, experimentální vývoj a inovace

Slabé stránky:

- nízké ohodnocení kvalifikovaných tvůrčích pracovníků
- nekonceptní, krátkodobé a pro podniky příliš komplikované financování aplikovaného výzkumu
- nízký podíl institucionálního financování výzkumu v akademické sféře
- špatné vnímání chemie veřejností
- nedostatečná popularizace chemie v médiích
- nízký stupeň provázanosti výzkumných projektů
- zaostáváme v investicích rizikového kapitálu do VaV
- malý počet mezinárodních patentů

Příležitosti:

- využívání velkých, moderních infrastruktur pro řešení perspektivních témat V&V
- zapojení do mezinárodní spolupráce v rámci ERA
- navazování osobních kontaktů na odborných akcích v tuzemsku (ICCT, CHISA, ...) i v zahraničí

Hrozby:

- vytěžování klesajících surovinových zásob
- exponenciální globální nárůst obyvatelstva
- světová podvýživa
- změna klimatu, oteplování planety, nedostatek vody
- zhoršení životního prostředí
- už za 2 roky přijde ČR o výraznou část peněz, které dostává z Evropské unie na VaV.

Na trhu práce v České republice se v posledních dvou desetiletích prohlubuje nedostatek kvalifikovaných mladých odborníků, kteří by nahradili starší odcházející generaci, a to nejen při zajištění výroby v chemickém průmyslu, ale i při využití chemických látek a technologií v energetice, zemědělství, zdravotnictví, metalurgii, papírenském průmyslu, sklářství, strojírenství včetně automobilového průmyslu a v posledních letech také při zpracování odpadů a jejich recyklaci. Vzniklé nedostatky v personálním zajištění sektoru chemie jsou zesíleny tím, že odborné učňovské školství bylo v posledních letech prakticky zcela zlikvidováno. Za účelem alespoň částečného omezení existujících nedostatků byla realizována řada opatření. Mnoho firem chemického průmyslu bilaterálně spolupracuje se středními odbornými školami a vysokými školami, probíhají praxe studentů ve firmách, které si tím vybírají své budoucí zaměstnance.

2.4. SWOT analýza současného stavu českého chemického průmyslu

Silné stránky:

- vzdělaná pracovní síla (střední odborné a vysokoškolské vzdělání)
- dlouhá historie, průmyslová a technická tradice chemického průmyslu v České republice spojená s technickou kreativitou podporující technické inkrementální inovace
- strategická poloha České republiky v rámci Evropy
- unikátní síť produktovodů v České republice (ropa, zemní plyn, motorová paliva, ethylen, ethylbenzen, propylen)
- pokračování nových investic do chemického průmyslu
- sociální partnerství, dobrá spolupráce mezi podniky a odbory
- napojení na prioritní strategickou specializaci dopravní prostředky, výroba pneumatik, plastů a baterií

Slabé stránky:

- relativně vysoké ceny energií ve srovnání s okolními regiony (zemní plyn, elektrická energie, voda)
- silná závislost na dovozu surovin (především ropy)
- relativně nízká recyklace odpadů (plasty atd.)
- nízký počet výrobních jednotek s konkurenceschopnou kapacitou
- postupně klesající podíl chemického průmyslu na průmyslové výrobě celkem
- nízký podíl specialit
- složitý a nestabilní regulační rámec pro podnikání (složitost, časté a obtížně předvídatelné změny, administrativní náročnost, ochrana investorů ad.)
- vysoká závislost hospodářského vývoje na aktivitách zahraničních firem (závislost na podnikatelských strategiích a rozhodování cizích firem)

Příležitosti:

- posilování významného postavení České republiky ve výrobě pryžových a plastových výrobků (Česká republika je v rámci Evropy významným producentem pneumatik pro průmyslové a zemědělské účely a plastů pro automobilový průmysl)
- vstup zahraničních investic a poskytování know-how do chemického průmyslu
- možnost intenzivnějšího využití vzniklých technologických parků a center excelence
- čerpání dotačních titulů pro podporu výzkumu, vývoje a investic
- využití nového daňového zvýhodnění pro firmy při pořizování výsledků VaV od výzkumných organizací

Hrozby:

- složité a zatěžující právní předpisy ČR a EU
- nutnost investic do technologického vybavení a další modernizace petrochemického a rafinérského průmyslu
- omezení dostupnosti a nárůst cen strategických surovin (především ropy)
- zvýšení dovozu levnějších chemikálií z Číny a Indie
- další zpřísnění regulací ze strany EU (např. pro nano nebo biocidní výrobky)
- změny daňového systému zhoršující podmínky pro podnikový sektor a podnikání v ČR
- četnost a nepředvídatelnost regulatorních změn pro podnikatele i pro výzkumné organizace
- regionální regulace spotřeby vody pro průmyslové podniky v době sucha (příslušné orgány dají přednost obyvatelům a energetikům před ostatním průmyslem).

2.5. Strategie českého chemického průmyslu - Česká Národní iniciativa Průmysl 4.0

Průmysl a celá ekonomika procházejí zásadními změnami, které budou mít důsledky pro celou společnost, a proto byla v roce 2016 zformulována Iniciativa Průmysl 4.0. Ta vyústila v širokou celospolečenskou diskuzi, do které se zapojily nejen podniky, akademická obec a státní správa ale i sociální partneři, a na začátku roku 2017 byla vládou ustavena tzv. Aliance Společnost 4.0. Jejím úkolem, resp. úkolem koordinátora digitální agendy ČR je na této bázi zformulovat Akční plán pro Společnost 4.0.

Cílem Iniciativy Průmysl 4.0 je ukázat možné směry vývoje a nastínit opatření, která by mohla nejen podpořit ekonomiku a průmyslovou základnu ČR, ale též pomoci připravit celou společnost na absorbování této technologické změny. Iniciativa obsahuje základní informaci o nutnosti neodkladných změn vyvolaných nástupem 4. průmyslové revoluce a mapuje možná opatření na podporu investic, aplikovaného výzkumu či standardizace, zpracovává otázky spojené s kybernetickou bezpečností, logistikou i legislativou a co je nejdůležitější a co nejvíce zajímá odbory i zaměstnavatele – zahrnuje impulsy vztahující se k trhu práce, ke vzdělávání a k rozvoji lidských zdrojů.

Je zřejmé, že se změní situace na trhu práce. I když vzniknou nová pracovní místa a profese, jiné, zejména méně kvalifikované pozice, naopak zaniknou. Proto musí být vytvořeny takové podmínky, aby změny nebyly pro vývoj společnosti destruktivní, ale naopak byly příležitostí pro růst kvalifikace lidí. Zvýšení požadavků na technicky vzdělanou pracovní sílu by mělo ale také přirozeně přinést i zvýšení mzdového ohodnocení pracovníků, jak k němu vyzývají zástupci pracujících.

Včasným zachycením nástupu Průmyslu 4.0 dojde ke zvýšení atraktivity ČR pro nové zahraniční investory a stimulaci rozšíření investic zahraničních společností již zde působících. Snížení energetické a surovinové náročnosti výroby, nárůst produktivity ve výrobě, optimalizace logistických tras, technologická řešení pro decentralizované systémy výroby a distribuce energie nebo inteligentní dopravní systémy – to jsou hlavní přínosy Průmyslu 4.0 pro efektivnější využívání zdrojů.

Zavedení koncepce Průmyslu 4.0 umožní komplexně optimalizovat celý vertikální výrobní proces např. v automobilovém průmyslu a v dalších oborech zpracovatelského průmyslu. V plně automatizovaných výrobních provozech bude možné produkovat i malé výrobní dávky, které budou reflektovat aktuální požadavky zákazníků při zachování efektivity hromadné výroby. Dojde ke vzniku tzv. „chytrých továren“, kde budou vznikat „chytré produkty“. Firemní systémy budou v reálném čase pružně reagovat na okamžitou a měnící se poptávku po produktech. Chytré továrny tak otevřou prostor pro nové cesty tvorby přidané hodnoty.

Nástup nových trendů v rámci Průmyslu 4.0 využívajícího výhod digitalizace, automatizace, elektronické komunikace, kyberfyzikálních systémů atd. je globální objektivní realita, která se dotýká i chemického průmyslu. K udržení konkurenceschopnosti je nutné přistupovat aktivně k možnostem, které Průmysl 4.0 přináší, a to přesto, že hrozí i negativní dopady jako zejména očekávaný úbytek některých pracovních pozic.

K aktivnímu přístupu k Průmyslu 4.0 jsou nutné inovativní lidské zdroje, jejich motivace pro technické obory již od základních škol až po doplňování informací celoživotním vzděláváním a podporování aktivity a kreativity ve vyšším věku. Vzdělávání by nemělo být chápáno jako prevence negativních dopadů Průmyslu 4.0, ale jako nutná podmínka a hybná síla pro využití Průmyslu 4.0 jako příležitosti ke zvýšení konkurenceschopnosti českého chemického průmyslu. Chemický průmysl je již delší dobu globalizovaný, vysoce provázaný a ve vysoké míře řízený automatizovanými systémy s nízkými požadavky na přítomnost fyzické obsluhy. Průmysl 4.0 tedy neznamená přímé ohrožení chemického průmyslu, ale lze jej využít jako příležitost pro další zvyšování konkurenceschopnosti vyšší produktivitou a vyšším podílem kvalifikované práce v chemické výrobě vč. souvisejících aktivit (logistika apod.). K tomu je potřebné spolupracovat na národní i evropské úrovni na vytváření vhodných podmínek jako jsou právní rámec, regulace, standardizace, kybernetická bezpečnost apod.

Mezi klíčová témata dalšího vývoje patří aditivní výroba, senzory a pokročilé technologie. Pro další rozvoj českého chemického průmyslu bude klíčové zajištění potřebných investic do vědy, výzkumu a inovací a zajištění předvídatelného, méně složitého regulačního rámce. Výrazně se budou na budoucím rozvoji podílet i podmínky obchodování s emisemi skleníkových plynů.

Zde jsou nutné inovativní lidské zdroje jako podmínka a hybná síla pro Průmysl 4.0 a s tím je spojena podpora vzdělávání jako aktivního nástroje pro využívání příležitostí.

Potřebnými kroky a legislativními změnami na podporu Průmyslu 4.0 jsou:

- Podporovat vzdělávání jako aktivní nástroj pro využívání příležitostí, které Průmysl 4.0 přináší.
- Výrazně a důsledně podporovat dynamický rozvoj moderní veřejné správy, která prioritně využívá digitálních prostředků komunikace jak interně, tak i navenek.
- Podporovat spolupráci v rámci EU k zajištění volného toku dat a jednotného digitálního prostředí.
- Věnovat vysokou pozornost kybernetické bezpečnosti.
- Důsledně rozdělit opatření na krátkodobá a na strategická s uplatňováním projektového řešení a financování.
- Zajistit čerpání z ESIF na projekty rozvoje digitálních témat jako jeden z důležitých zdrojů k rychlému rozvoji digitální ekonomiky.
- Podporovat rozvoj malých a středních podniků zejména prostřednictvím specifických dotačních titulů.

3. Hlavní očekávané směry rozvoje české chemie

3.1. Oběhové hospodářství (Cirkulární ekonomika)

Současné trendy ve vývoji chemických technologií a nezbytných zařízení jsou poznamenány postupným vyčerpáváním vstupních surovin ze zemské kůry. Na prvním místě se jedná o uhlíkaté suroviny, jejichž energetické využití silně konkuruje s petrochemickým využitím pro výrobu řady chemických komodit. Existence příjemného života na naší planetě Zemi závisí nejen na uhlíku, ale všech dalších biogenních i všech nebiogenních prvků, jejichž zásoby jsou limitované. Je celkem evidentní, že imperativa současnosti spočívají v nízkouhlíkové ekonomice (v souladu se Strategiemi RIS3; NIP1), v oběhovém hospodářství (odpadové hospodářství a recyklace všech prvků), efektivní hospodaření s vodou a v neposlední řadě

v náhradě primárních fosilních uhlíkatých surovin bio-zdroji, při uvážení mezirezortních vazeb mezi zemědělským a potravinářským sektorem i lesním hospodářstvím. Významným aspektem pro úsporu surovin a energií je požadavek na prodloužení životnosti výrobků (některé dokumenty uvádějí až 30 let). Splnění tohoto požadavku si vyžádá vývoj celé řady nových materiálů a technologií.

Evropská komise v únoru 2019 předložila k diskusi možné cesty, jak do roku 2030 změnit EU tak, aby byl její rozvoj dlouhodobě udržitelný. Jednou z možností je vytvoření společné strategie, která je založena na přechodu na oběhové hospodářství (dále CE), zahrnuje proměnu energetiky s důrazem na využití obnovitelných zdrojů energie, prosazení inovativních řešení v průmyslu, podpoře rozvoje šetrné mobility, vyšší míře recyklace, udržitelné zemědělství a modernizace budov, která sníží jejich spotřebu energie.

Společnost McKinsey & Company spočítala, že přijetí principů CE může od roku 2030 generovat v Evropě roční úspory v hodnotě 1,8 bil. eur a výnosy ve výši 600 mld. eur ročně. Očekává se, že by se díky tomu ročně snížily emise skleníkových plynů o dvě až čtyři procenta. Nový model hospodářství otevírá také prostor pro inovace a nová pracovní místa.

Vedle zpřísnění legislativních požadavků a tlaku na přechod k CE Evropská komise finančně podpoří zejména výzkumné projekty, které jsou orientované na rychlé uplatnění výsledků výzkumu v praxi. Podporovány budou také technologie pro nižší spotřebu energie či nižší emise a dále technologie, které efektivněji využívají vstupní materiál s malou produkcí odpadních či vedlejších produktů.

CE je systém, ve kterém se snažíme, aby všechny zdroje kolovaly v oběhu v co nejvyšší kvalitě po co nejdelší dobu. Cíle CE představují nové výzvy pro inovace v chemickém průmyslu jako např. vývoj nových generací ekologicky účinných technologií (včetně systémů vytápění a chlazení založené na obnovitelných zdrojích energie, vysoce účinné osvětlení, zachytávání a skladování energie), získávání důležitých surovin z odpadních vod (např. fosfor, případně regeneraci solí z průmyslových vod). Proto bude pokračovat vývoj nových selektivních a energeticky účinných separačních technologií. Je požadováno uplatnění bezpečného a nákladově efektivního opětovného využívání vody, opětovného využívání kritických surovin (např. recyklací elektronického odpadu, starých baterií případně skládek).

Pokyny týkající se CE budou zahrnuty do referenčních dokumentů o nejlepších dostupných technikách (BREF) v řadě průmyslových odvětví.

Bude třeba zajistit jednotnější přístup v rámci pravidel pro klasifikaci chemických látek a odpadů, které mají napomoci zpracovatelům odpadů a příslušným orgánům zaujmout jednotný přístup k charakteristice a klasifikaci odpadů. Recyklaci a opětovnému použití může bránit přítomnost určitých chemických látek. Některé chemické látky představují technické překážky, které brání recyklaci. Stále více těchto látek je identifikováno a podléhá různým omezením nebo zákazům. Tyto chemické látky mohou být přítomny ve výrobcích, jež byly prodány ještě před přijetím těchto omezení, přičemž některé z nich mají dlouhou životnost, a zakázané chemické látky se tak mohou vyskytovat v recyklačních tocích. Zjištění nebo odstranění těchto látek může být nákladné, což vytváří překážky zejména pro malé recyklační subjekty. Cílem je umožnit recyklaci a zlepšit využívání druhotných surovin odstraněním zbytečných překážek a usnadnit přeshraniční pohyb druhotných surovin s cílem zajistit, aby s nimi mohlo být v celé EU snadno obchodováno. Je třeba zajistit, aby všichni aktéři v dodavatelském řetězci měli k dispozici odpovídající informace o látkách vzbuzujících obavy obsažených ve výrobcích a aby se tyto informace dostaly i ke zpracovatelům odpadu. To přispěje k podpoře oběhu netoxických materiálů a lepší řízení rizik. Příkladem problémů se „starými látkami“ existuje celá řada. V recyklovaných plastových výrobcích, včetně hraček a kuchyňského náčiní, byly například zjištěny bromované zpomalovače hoření, které jsou perzistentní, bioakumulativní a toxické. Další příklad se týká některých látek, které byly původně přidávány do PVC jako změkčovače, a jejichž použití je nyní omezeno, což znamená, že by se recyklované PVC obsahující tyto látky

v množství přesahujícím určité hodnoty nemělo v EU používat ani uvádět na trh. Pravidla pro rozhodování o tom, které odpady a chemické látky jsou nebezpečné, nejsou dostatečně sladěna, což má vliv na využívání oběhu druhotných surovin.

Pro zavádění principů CE je klíčová průmyslová symbióza, mezioborová spolupráce mezi samostatnými výrobními podniky, městskými firmami (provozovatel čistírny odpadních vod, tepláren), správci vodotečí, ale také s odběrateli. Příkladem úspor energií v byznysu pigmentů je nahrazení klasických dodávek práškových pigmentů, což vyžaduje energeticky náročné sušení a následnou mikronizaci, dodávkami suspenzí pigmentů připravených podle požadavku odběratelů. Odběratel ušetří za energeticky a technicky náročnou dispergaci práškového pigmentu, nehledě na nebezpečí zvýšené prašnosti u obou partnerů.

Jelikož podniky při výrobě v CE berou ohled na delší životnost, materiálovou i energetickou efektivnost a opětovné využití nebo recyklaci, dochází k minimalizaci využívání přírodních zdrojů, obnově vytvořených produktů, redukci nákladů na provoz firem a ke snížení množství odpadů. Zároveň však zavedení principů CE zajišťuje firmám lepší soběstačnost v oblasti zdrojů, která se v dnešním dynamickém světě stává zásadní výhodou. V podstatě se totiž jedná o způsob chování, které může díky využití nízkouhlíkových technologií a moderních konceptů ekonomiky (sdílení, zpětné využití surovin a materiálů apod.) zásadní měrou přispět k řešení problematiky změn klimatu a zároveň generovat zisk v dlouhodobém měřítku. Vyžaduje však celkovou proměnu ekonomického smýšlení, a to nejen firem, ale i společnosti jako takové.

Proto bude pokračovat vývoj nových selektivních a energeticky účinných separačních technologií. Je požadováno uplatnění bezpečného a nákladově efektivního opětovného využívání vody, opětovného využívání kritických surovin (např. recyklaci elektronického odpadu, starých baterií případně skládek).

Situace v ČR

V Česku téma CE patří do gesce Ministerstva životního prostředí (MŽP), ale vzhledem k jeho šíři, komplexnosti a nutnosti mezioborové spolupráce, se budou muset zapojit i další resorty. Společné úsilí by mělo vyústit ve vznik strategie Cirkulární Česko 2040, k jejímuž vytvoření se MŽP zavázalo na konci května 2018. Byl vytvořen Institut Cirkulární Ekonomiky, z.ú. v Praze jako nevládní nezisková organizace, která se zaměřuje na inovativní environmentální management a společně se svými partnery pracuje na projektech, které umožňují přechod z lineárního chodu systému na cirkulární.

Již starším příkladem uplatnění oběhového principu a průmyslové symbiózy je zavedení výroby železitých koagulantů pro čištění vod ze zelené skalice, která odpadá při výrobě titanové běloby v Precheza a.s. a byla v minulosti skládkována. Společný podnik finské firmy Kemira a Prechezy přímo v areálu přerovské chemičky zabezpečil nejen zpracování zelené skalice uložené na skládce a tím uvolnil prostor pro dostavbu dálnice, ale pomohl vytvořit podmínky pro významné zvýšení výroby TiO_2 .

Firma SUEZ Využití zdrojů a.s. Brno zvládla přerod společnosti zabývající odpady na oběhovou, a to například úspěšným provozováním nové recyklační linky na odpadní plastové fólie z LDPE (nízko hustotní polyetylen). Technologie s roční kapacitou 5 000 tun běží naplno v nepřetržitém provozu a produkuje surovinu kvalitativně srovnatelnou se surovinou vyrobenou z ropy. Cílem bylo recyklovat konkrétní druh odpadního plastu do regranulátu takové kvality, aby snesl srovnání s granulátem z přírodní suroviny. To se podařilo především díky zvolené technologii a důkladnému dotřídění vstupního materiálu.

CIUR a.s. Praha patří v oblasti výroby kvalitních celulózových vláken z recyklovaného papíru mezi evropskou a světovou špičku. Ekologická celulózová izolace Climatizer Plus® pro tepelnou a akustickou ochranu budov se vyrábí ze sběrového novinového papíru s přísadou minerálních solí. Po uplynutí životnosti izolantu se může využít jako hnojivo, kompost, palivo do bioplynových stanic nebo lze produkt přepracovat na jiný materiál.

NAFIGATE Corporation Praha vyvinula technologii na přepracování upotřebených olejů na biopolymer Hydal, což je první biopolymer na světě vyrobený z odpadního upotřebeného oleje v průmyslovém měřítku a není konzumací zdrojem potravinových řetězců, jako u konkurentů, kteří zpracovávají např. cukr, škrobu nebo kukuřici.

Vývojem pyrolýzy plastových odpadů se zabývá UniCRE a.s. Ústí nad Lab. Produkty mají být použitelné jako alternativní surovina v petrochemickém průmyslu – monomery pro výrobu polymerů, rozpouštědla, mazadla, změkčovadla apod. Oddělený vodík může být použit jako alternativní palivo.

Firma ERVO EnviTech s.r.o. Most se zabývá vývojem, výrobou a distribucí pyrolýzních jednotek a technologického zařízení pro ekologickou likvidaci a recyklaci odpadů (plastů, pneumatik, kalů, bioodpadů).

Fa LBG Moravia a.s., nabízí nízkoteplotní katalytická depolymerizační linku sloužící ke zpracování odpadních plastů. Toto zařízení pracuje na principu depolymerizace (pyrolýza) polymeru na uhlovodíkové produkty, kterými jsou pyrolýzní olej, pyrolýzní plyn a tuhý zbytek – uhlík.

VŠB – Technická univerzita Ostrava testuje na jednotce PYROMATIC pyrolýzní procesy na plasty, odpadní pneumatiky a další materiály.

Fakulta technologie prostředí VŠCHT v Praze otevřela druhý ročník kurzu nástavbového vysokoškolského studia celoživotního vzdělávání s názvem Oběhové hospodářství.

Součástí Mezinárodní chemicko-technologické konference ICCT 2019 je seminář specializovaný na cirkulární ekonomiku organizovaný ve spolupráci se SUSCHEM a problematice jsou věnovány také plenární přednášky.

Uplatnění nových principů CE vyvolalo potřebu změn v legislativě (např. novely směrnice o odpadech, směrnice o skládkách, směrnice o vozidlech s ukončenou životností, o bateriích a akumulátorech, odpadních bateriích a akumulátorech, o odpadních elektrických a elektronických zařízeních a novela směrnice o obalech a obalových odpadech).

Jak již bylo uvedeno výše, CE není jen o pyrolýze různých odpadů. Pro český chemický výzkum a vývoj existuje celá řada dalších výzev jako je vývoj nových separačních metod, biorafinace jako oběhové technologie, nanomateriály, materiály pro konverzi a ukládání energie, pokročilé katalytické procesy, získávání cenných látek z odpadních vod, náhrada ohrožených kovů, návrh materiálů umožňujících ekologickou konstrukci výrobků. Mezi úkoly chemického výzkumu patří i substituce zakázaných chemických látek s cílem zlepšit podmínky pro recyklaci materiálů a výrobků. Zlepšená účinnost výrobních procesů s cílem maximalizovat využití všech zdrojů, které vstupují do systému, včetně primárních a druhotných surovin, vody a energie. Druhotné suroviny jako lignocelulózní biomasa nebo CO₂ z průmyslových spalin by mohly být použity jako alternativní uhlíkové zdroje pro výrobu udržitelnějších materiálů, chemikálií a pohonných hmot. Nízkouhlíková ekonomika postavená na základě cirkulárních řešení představuje velkou příležitost pro české firmy v rámci prosazování udržitelného rozvoje. Potřebná témata pro výzkum a vývoj pro tuto oblast jsou zahrnuta v Aktualizované SVA, zejména v kapitolách Průmyslová biotechnologie, Pokročilé procesy a zařízení, Pokročilé materiály, Hospodaření s vodou, Zpracování ropy a Zelená chemie a nařízení REACH.

Rozhodující bude urychlení uplatnění poznatků výzkumu v praxi.

3.2 Průmyslové biotechnologie

3.2.1. Náhrada primárních fosilních surovin bio-zdroji – imperativ současnosti, nízkouhlíková ekonomika (Strategie RIS3; NIP1; EU BBI)

Na počátku jednadvacátého století, lidstvo bylo postaveno před otázkou, jak nahradit vzácné suroviny založené na fosilních zdrojích. Je zřejmé, že jedinou možností představuje využívání

cenných obnovitelných zdrojů, které představuje pouze biomasa. Z těchto důvodů významnou pozici zaujímá rozvoj a uplatňování biorafinace, v kombinaci s biologickými a biochemickými procesy. Je zřejmé, že prioritou pro ekonomiku společnosti bude nezbytné orientovat na oběhové hospodářství, v případě biogenních prvků (C, H, O, N, P, S) založené výhradně na biologických zdrojích. Nicméně podle původu biomasy nebo biosurovin jsou rafinované suroviny velmi pestré povahy jako je např. celulóza, lignin, hemicelulózy, oleje, extrakty s esenciálními a biologicky aktivními sloučeninami, atd. Komplexní sadu konkrétních technologií a rafinačních procesů je nezbytné vyvinout individuálně pro každý zdroj a typ biomateriálu. Na výzvu vývoje nových biotechnologií reagoval projekt Centra kompetence **BIORAF – Biorafinace pro komplexní zpracování biomasy**, který za koordinace Ústavu chemických procesů AV ČR v letech 2012-2019 finančně podpořila Technologická agentura ČR. Tímto projektem se ČR připojila k výzvě EU, která před tím vyústila do projektu **EUROBIOREF “Návrh udržitelného zpracování biomasy”**, FPA/2007-2013 No. 241718, řešeného 81 partnery z 20 zemí EU, bohužel však bez účasti partnera z ČR. Hlavním výstupem z této celoevropské aktivity bylo ustavení konsorcia „Bio-Based-Industry“.

Společný podnik pro průmysl založený na biotechnologiích (Bio-based Industries Joint Undertaking - BBI JU) zveřejnil pracovní program na rok 2019 s informacemi o tématech, rozpočtu a harmonogramu letošních výzev. Výzva k předkládání projektů by měla být zveřejněna dne 4. dubna 2019 s termínem uzávěrky 4. září 2019.

Společná instituce pro průmysl založený na využití biosurovin (BBI JU) založená v hodnotě 3,7 miliardy EUR (2014-2020) na bázi veřejno-soukromého partnerství mezi EU a Bio-based Industries Consortium. Tento orgán EU působící v rámci programu Horizont 2020, a je řízen podle plánu a agendy pro strategické inovace a výzkum (SIRA) navržených průmyslem.

Řešení hlavních problémů společnosti

Silný Evropský bio-based průmyslový sektor výrazně sníží závislost Evropy na produktech, musí optimalizovat efektivní zpracování prostřednictvím R&D a prokázat jejich účinnost a ekonomickou životaschopnost. Bio-rafinérie založené na fosilních surovinách, přispějí ke splnění cílů v oblasti potlačení změny klimatu a povedou k zelenějšímu a šetrnějšímu růstu EU. Klíčem je vyvinout nové technologie pro biorafinaci obnovitelných přírodních zdrojů a udržitelným způsobem proměnit produkty na bio-výrobky, materiály a paliva. Tento rodící se sektor očekává rychlý růst a vytváření nových trhů, pracovních míst a již přilákal značné investice v USA, Číně a Brazílii. EU má významný průmysl, výzkumu a potenciál obnovitelných zdrojů. Nyní je aktuální otázkou jeho nasazení a udržitelným způsobem konkurovat v globální soutěži bio-hospodaření.

Zaměření:

- **Suroviny:** Podporovat udržitelné dodávky biomasy zvýšením produktivity a vytvářením nových dodavatelských řetězců
 - **Biorafinérie:** Optimalizovat efektivní zpracování prostřednictvím R&D a prokázat jejich účinnost a ekonomickou životaschopnost v demonstračním provozu bio-rafinérie
 - **Politiky, trhy a produkty:** Rozvoj trhu s bioprodukty a optimalizovat dohodnutých rámců
- Výhody pro Evropu

- Rozvíjet využití potenciálu odpadů, stejně jako zbytků ze zemědělství a lesnictví.
- Diverzifikaci a nárůst příjmů zemědělců (až o 40% kvůli existujícím zbytkům).
- Náhrada minimálně 30% z ropy vyráběných chemikálií a materiálů bio-výrobky do roku 2030.
- V Evropě vytvořit konkurenceschopnou infrastrukturu založenou na bio, podpořit tvorbu pracovních míst, z nichž 80 % bude ve venkovských a zaostalých oblastech.
- Dodávky bio- výrobků, které jsou srovnatelné nebo lepší než výrobky na bázi fosilních surovin s ohledem na cenu, výkon, dostupnost a přínosy pro životní prostředí.

- Nové bio založené produkty vzniklé BBI JU v průměru sníží emise CO₂ nejméně o 50 % ve srovnání s jejich fosilními alternativami.

Projekt BIORAF TA ČR se zabýval komplexním využitím biomasy metodami tzv. zelené chemie. Výzkumný tým projektu je tvořen jak akademickými institucemi (ÚCHP AV ČR; BÚ AV ČR; VŠCHT), tak podnikatelskou sférou (Agra, a.s.; Rabbit, a.s.; Brikli, a.s.; Ecofuel, s.r.o.). V rámci řešení projektu BIORAF byla vyvinuta řada biorafinačních technologií zpracovávající v intencích cirkulární ekonomiky přírodní materiály z rostlin, řas, mikroorganismů, živočišných odpadů ze zemědělských výrob i z potravinářského průmyslu za účelem získávání hodnotných výrobků. V rámci spolupráce chemiků, biologů, technologů, chemických, strojních a zemědělských inženýrů byly získány důležité poznatky při řešení širokého spektra dílčích výzkumných témat, jako jsou separace hodnotných látek: glukosamin, chondroitin a hyaluronové kyseliny z chrupavek, resp. hydrolyzátů živočišného odpadu. Aminokyseliny v hydrolyzátech z odpadního kuřecího peří se ukázaly jako biostimulanty pro růst rostlin při současné jejich ochraně před stresovými vlivy (přemíra slunečního osvětlení a nedostatek vláhy); organické kyseliny z mikrobiálních hydrolyzátů; nenasyčené mastné kyseliny z mikrořas; inulinu a fruktózoového sirupu z topinamburu; inhibitory enzymové hydrolýzy biopolymerů; hydrolýza keratinu z živočišného odpadu poskytuje vhodnou přísadu pro krmné směsi hospodářských zvířat. Byla též vyřešena membránová separace složek bioplynu vedoucí ke zvýšení obsahu metanu. V průběhu projektu bylo získáno několik patentů i užitných vzorů a perspektivní výsledky technologií byly ověřeny v poloprovozním měřítku a dále je řešeno rovněž zvětšování měřítka až do výrobního procesu. Hlavní etapy řešení projektu byly následující:

1. Úvod do problematiky biorafinérie
2. Řasy a Cyanobacterie – perspektivní zdroj pro budoucí technologie
3. Mikroorganismy a enzymy pro využití v biotechnologiích
4. Komplexní biorafinace rostlinné biomasy
5. Biorafinace odpadní biomasy živočišného původu
6. Membránová separace bioplynu
7. Pokročilé aplikace a vývoj nových technologií (patenty a užitných, funkčních vzorky, ověřené technologie a pilotní zařízení)

Centrum kompetence BIORAF svými dosavadními výsledky ukázalo, že biorafinačním způsobem lze získat z biomasy zemědělského, lesního, mikrobiálního, rostlinného, živočišného, ale i komunálního původu cenné produkty, využitelné zejména v potravinářství, zemědělství, ale i ve zpracovatelském a energetickém průmyslu či v produktech pro ochranu zdraví a též pro zvýšení komfortu života společnosti. Na tomto místě je důležité poznamenat, že primární surovinou biorafinace je přírodní biomasa a to v její různé podobě bez toxických, xenobiotických i chemických látek, která je navíc obnovitelná. Přírodní biomasa představuje cenný surovinový zdroj, který doposud není zcela racionálně využíván.

Na biorafinační výzkum 7-mi letý výzkum CK BIORAF plynule navazuje od 1. 1. 2019 program projektu **Národního centra kompetence BIOCIRTECH**, financovaného rovněž z prostředků Technologické agentury ČR. Zaměření tohoto projektu na výzkum a vývoj cirkulární odpadové technologie, využívající přírodní suroviny na bázi biomasy formou „obnovitelné chemie“ pro významné sektory národního hospodářství – veškerý průmysl, potravinářství, zemědělství, zdravotnictví.

3.2.2. Biorafinace jako oběhová technologie (BIOCIRTECH)

Za biorafinaci respektující zásady oběhového hospodářství lze považovat využití primární suroviny pomocí biochemických, chemických či fyzikálních metod, s cílem získávání cenných a společností žádaných produktů (nových materiálů, biologicky aktivních složek, bioplastů,

detergentů, léčiv, energeticky využitelných odpadů apod.). Tyto produkty mohou konkurovat obdobným výrobkům běžné produkce, nebo představovat nové produkty, které mohou být vyrobené pouze na biologické bázi. Výhodou je, že odpad z jedné technologie může představovat vstupní surovinu pro další technologické využití. Lze předpokládat, že toto postupné propojení primárních a sekundárních surovinových či odpadových vstupů ve svém důsledku umožní ekonomicky racionalizovat ceny jednotlivých výrobků. Navíc díky posouzení dopadů výrobků metodou hodnocení životního cyklu (LCA) a technologií metodou verifikace environmentálních technologií (ETV) bude jednoznačné, že nové produkty jsou skutečně environmentálně šetrné a ekonomicky výhodné. Použití těchto dvou moderních nástrojů environmentálního managementu umožní dále požádat o ekoznačení vyvinutých výrobků (tzv. EPD – environmentální prohlášení o produktu) a současně zvýší podporu vývozu vyvinutých technologií do zahraničí (dle exportní společnosti EGAP ověření technologií v systému ETV zvyšuje šanci na úspěšný export zejména do zemí jako je Japonsko, Korea, Čína, USA a Kanada). Zároveň se strategie oběhové biorafinace projeví i v případě energetického využití bio-surovin, kdy pozitivně ovlivní poměr energie produktem získané k energii do výroby vložené, což doposud např. pro biopaliva bylo nevýhodné.

„Biorafinace“ jako oběhová technologie BIOCIRTECH je koncipována tak, aby plně odpovídala uvedeným požadavkům a pokrývala celou problematiku zpracování široké škály druhů biomasy včetně té odpadní.

Předmětem zájmu pro aplikace oběhových technologií v projektu BIOCIRTECH je široká škála primárních bio-surovin, které byly na základě výzkumu v programu Centra kompetence BIORAF vybrány a experimentálně ověřeny jako nadějně pro komplexní a potenciálně ekonomicky racionální využití, a to zejména pro případy, kdy je reálné jejich další komerční využití, přičemž produkty budou cenově konkurenčně schopné se současnými výrobky, či poskytnou jedinečné nové materiálové využití. Nové technologie budou dále řešit závažný celospolečenský problém jako je bezodpadové zpracování domácnostního odpadu (obsahujícího významný podíl odpadní biomasy), kdy se dle již platných legislativních pravidel rychle blíží konec jeho skládkování.

Projekt BIOCIRTECH bezprostředně navazuje na zkušenosti získané v průběhu řešení projektu BIORAF, přičemž je předpokládán další rozvoj poznatků, využití duševního vlastnictví a technologického zázemí vzniklého v průběhu končícího projektu BIORAF, kdy byla řešena problematika týkající se využití surovin mikrobiálního, rostlinného i živočišného původu, která pokrývá širokou oblast od kultivace mikrořas (způsob kultivace mikrořas na odpadním glycerolu z transesterifikace lipidů, velkoobjemová autotrofní kultivace řas s využitím odpadního CO₂ z bioplynových stanic) a jejich následného zpracování na produkty s vysokou přidanou hodnotou (např. ω -3 polynenasycené mastné kyseliny, kyselina dokosaheptaenová) až po využití obtížných odpadů pro získávání cenných surovin (hydrolýza peří a chrupavek poskytující směs proteinů a aminokyselin, využití slámy a peří k získání kultivačního média pro mikrobiální produkci bioetanolu, biobutanolu a kyseliny mléčné). Kromě těchto procesů byly vyvinuty také nové technologické aparáty, jako je nízkoteplotní sušárna biomasy se šnekovým posunem materiálu, velkokapacitní filtrační nuč, fotobioreaktor s tenkou vrstvou kultivačního média, reaktor pro hydrolýzu biomasy nebo briketovací a peletovací lisy pro odpadní biomasu. Vzniklo tak rozsáhlé duševní vlastnictví. Nicméně, ukázaly se i další velmi perspektivní cesty v komplexním využití a zpracování biomasy. Co se týká zpracování odpadů vystupujících z jednotlivých technologií zpracování biomasy, poslední koncovkou je obvykle briketace či peletizace nezreagované, či ochuzené zbytkové biomasy pro případné energetické využití jejího obsahu. Bezodpadové oběhové biorafinace musí plně odpovídat současným trendům rozvoje cirkulární ekonomiky.

V projektu BIOCIRTECH bude pozornost věnována například následujícím tématům:

Zplyňování odpadních surovinových uhlíkatých zdrojů v oxidu uhličitém.

Motivací dílčího projektu je vývoj procesu zplyňování odpadních materiálů obsahující uhlík v proudě oxidu uhličitého. Cílem je vyvinout technologii zplyňování odpadních sazí, dalších odpadních uhlíkatých materiálů v proudě odpadního oxidu uhličitého, separovaného z bioplynu. Z uvedených odpadních látek je možné vyrobit syntézní plyn, použitelný pro výrobu motorových paliv Fischer-Tropschovou syntézou, nebo výrobu vodíku.

Metodika bude měření kinetiky zplyňování vybraných odpadních surovin v oxidu uhličitém v závislosti na jejich vlastnostech a pracovních podmínkách při různém uspořádání technologie a budou hledány vhodné promotory a katalyzátory Boudouardovy reakce (redukce oxidu uhličitého uhlíkem) při zplyňování odpadních sazí z procesu parciální oxidace uhlovodíkových nebo bio-materiálů a na uhlík bohatých odpadů.

Energetické využití odpadní biomasy:

rychle rostoucí dřeviny využitelné energeticky společně s odpadní biomasou z mikrořas, sinic a dalších mikroorganismů ve formě strukturovaných pelet či briket s optimalizovaným složením, (a to jak pro větší centrální energetické zdroje - teplárny, elektrárny), tak i pro lokální zdroje,

- energeticky (např. kapalná paliva) a materiálově využitelné lignocelulóзовé rostlinné materiály pro produkty tzv. 2. generace (miscanthus, rychle rostoucí dřeviny apod.) s komplexním využitím ligninu a polysacharidů,
- odpady z živočišné výroby jako zdroj bioaktivních látek pro zdravotní a potravinové doplňky (např. keratin, kolagen, želatina, aminokyseliny, chondroitin sulfát, hyaluronová kyselina, apod.),
- organický podíl komunálního odpadu a čistírenských kalů s novým energetickým (kapalné transportní biosložky) a materiálovým (proteiny, lipidy) technologickým využitím v oběhové ekonomice,

Termolýzní zpracování odpadní biomasy:

- zpracování různých typů zbytkové biomasy rostlinného původu po biorafinacích pomocí kombinované pomalé a rychlé termolýzy, přičemž budou identifikovány optimální podmínky procesu s ohledem na parametry jednotlivých produktových fází pro jejich následné využití: energetický bioplyn s obsahem vodíku, metanu a oxidu uhelnatého, nebo po gasifikaci na syntézní plyn (H_2 , CO) využitelný jako palivo, nebo také jako syntézní plyn - uhlíková surovina, bioolej jako alternativní surovina s obsahem fenolických látek pro organické syntézy a biouhel – sorpční materiál s optimalizovanými nanostrukturními parametry,

Kultivace a rafinační zpracování mikro-biomasy:

- Mikrořasy a sinice obsahující bioaktivní a další cenné látky pro využití v potravinových doplncích, kosmetice a prostředcích osobní péče (nenasycené omega 3- a 6- mastné kyseliny, karotenoidy, vitaminy, růstové faktory, barviva, platformní kyseliny, apod.), v zemědělství (ochrana rostlin, biostimulanty, včetně vývoje kultivačních postupů,
- Mikrořasy s vysokým obsahem škrobu nebo lipidů, zejména žádaných v oblasti zdravé výživy a obecně mikroorganismy, poskytující prekurzory pro biopolymery-plasty, mj. i na bázi chitosanu (zdravotní péče, náhrady orgánů a kostí, nosiče kmenových buněk pro svalovinu apod.),
- Genetické modifikace mikrořas s cílem získání cenných látek (utilizovatelné proteiny pro potraviny apod.),

Hospodárné zpracování komunálního odpadu:

- Bezodpadové zpracování komunálního odpadu běžně obsahujícího značný podíl biosložky. Po separaci skla a kovů a jeho rozdělení na sítě na 2 frakce, bude jemná

frakce obsahující živočišný a rostlinný odpad, drobné úlomky umělých hmot a dalších pevných částic hydrolyzována, přičemž se získají cenné látky pro další použití jako lipidy a polysacharidy. Zároveň dojde k separaci umělých hmot a dalších pevných částic, které se budou dále zpracovávat společně s hrubou frakcí, která díky široké škále různých technologických postupů bude alternativně využitelná jako surovinový zdroj či energeticky,

Ekonomické posouzení nových technologických procesů:

- Hodnocení ekonomické efektivity nově vyvinutých produktů např. (briket, pelet - z komunálního odpadu resp. jiných druhů biomasy) pro energetické využití. Vytvořená metodika bude obsahovat identifikaci klíčových procesů pro produkci briket / pelet a hodnocení rozdílů mezi jednotlivými technologickými postupy při produkci směsného paliva. Metodika bude vyhodnocovat efektivnost produkce paliva z pohledu soukromých investorů a koncových uživatelů. Metodika současně umožní vyhodnotit efektivnost využití různých druhů biomasy ze systémového pohledu a to pomocí nákladového ocenění úspory emisí CO₂ z titulu vytěsnění fosilních paliv.

Návrh a vývoj procesních aparátů

Pro zvolené technologie budou využívány moderní procesy a aparáty termické techniky; např. katalytickou pyrolýzu a gasifikaci, hydrotermální techniky za podmínek subkritické vody, chemické a enzymatické hydrolýzy, chemické a enzymatické katalýzy s nově vyvinutými katalyzátory, nízko- i vysoko tlakové rozklady a syntézy, pomocné fyzikální techniky jako jsou tlakové desintegrace, ultrazvuk, mikrovlnné záření, využívání solárního záření, apod. Značný důraz bude kladen na racionální metody předúpravy biomasy, které byly doposud jednou z hlavních příčin menší konkurenceschopnosti výrobků na biobázi a působily obtíže při převádění technologií do výrobní praxe. Spolupráce se strojírensky zaměřenými spoluřešiteli, cílená na výrobu nových separátorů a bioreaktorů, je nevyhnutelná, stejně jako aplikace moderních metod při posuzování dopadů životního cyklu a cenových kalkulací vyvinutých produktů za použití verifikovaných vstupních dat získaných primárně v rámci centra BIOCIRTECH.

Výsledky projektu BIOCIRTECH přispějí jak k rozvoji vědního poznání, tak budou racionálně využitelné i státními organizacemi při rozhodování a v upřesňování státní průmyslové a potravinové koncepce.

Zaměření NCK BIOCIRTECH je cíleno na perspektivní sektory české ekonomiky dle Národní RIS3 Strategie a zaměří se především na 3 ze 6 klíčových oblastí definovaných v RIS3:

- zvýšení inovační poptávky,
- zvýšení kvality veřejného výzkumu
- zvýšení ekonomických přínosů veřejného výzkumu.

Konsorcium NCK BIOCIRKTECH tvoří 10 veřejných výzkumných institucí včetně 3 univerzit a 6 podnikatelských subjektů. Jednotlivé týmy jsou úzce propojené a jeho členové budou společně navrhovat a řešit dílčí projekty v rámci aktuální problematiky firem za účelem aplikace nových inovačních technologií. Členové konsorcia:

– výzkumné organizace: Ústav chemických procesů AV ČR, (*koordinator*); v.v.i. Biofyzikální ústav AV ČR, v.v.i.; Botanický ústav AV ČR, v.v.i.; Mikrobiologický ústav AV ČR, v.v.i.; Ústav výzkumu globální změny AV ČR, v.v.i.; Výzkumný ústav Silva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví, v.v.i.; Česká zemědělská univerzita v Praze; České vysoké učení technické v Praze; Vysoká škola chemicko-technologická v Praze; Unipetrol výzkumně vzdělávací centrum, a.s.

- podnikatelská sféra: Algamo s.r.o.; Briklis, spol. s r.o.; RABBIT Trhový Štěpánov a.s.; REMA Systém, a.s.; EcoFuel Laboratories s.r.o.; Monas technology, s.r.o. (RNDr. David Novotný, Ph.D.).

Výzkumná mezioborová základna konstituovaná v rámci nového NCK, disponuje řadou význačných osobností i v rámci mezinárodního měřítka, garantující stabilní výzkumnou infrastrukturu odpovídající požadavkům vstupu do mezinárodních projektů a konsorcií. V průběhu řešení projektu NCK se předpokládá zvýšení počtu nových projektů mezinárodní spolupráce. Dialog zkušených výzkumníků společně se zájmem mladých vědců stabilizuje a podpoří také vytvořené výzkumné mezioborové základny k navázání dalších strategických partnerství. Předpokládá se, že vytvoření výzkumné infrastruktury řešící aktuální problematiku firem i celospolečenská témata, podpoří komercializaci předpokládaných výsledků.

Odpadní oběhové technologie zpracování biomasy

Centrum pokrývá celou problematiku zpracování biomasy mikrobiální, rostlinné, živočišné i odpadní včetně komunálního původu či čistírenských kalů pomocí chemických, biochemických i fyzikálních procesů za účelem získání cenných produktů s vysokou přidanou hodnotou využitelných v potravinářství, zemědělství, zpracovatelském i energetickém průmyslu. Cílem jsou také nové technologie pro produkty z obnovitelných zdrojů zpracované ekologicky přátelskými technologiemi odpovídající cirkulační ekonomice řešící aktuální společenská témata (potravinová udržitelnost, sucho, obnovitelná energetika). Výzkumný potenciál pracovišť obohatí komerční sortiment českých výrobců (nejen účastníků projektu) a zvýší jejich konkurenceschopnost ve světě. Významnou surovinou ve světle omezování skládkování se stává i komunální odpad. Kromě toho se předpokládá i významné omezení vyvážení čistírenských kalů na pole a tudíž i tato hmota může sloužit jako surovina pro biorafinační procesy založené zejména na termálních procesech: pyrolýza, zplyňování s následným využitím tzv. bio-oleje, resp syntézního plynu pro výrobu paliv, příp. petrochemikálií (např. methanol, kyselina octová, ethanol aj.).

Biorafinace jako oběhové technologie (BIOCIRTECH)

Centrum kompetence BIORAF svými dosavadními výsledky dokumentuje, že biorafinačním způsobem lze získat z biomasy zemědělského, lesního, mikrobiálního, rostlinného, živočišného, ale i komunálního původu cenné produkty, využitelné zejména v potravinářství, zemědělství, ale i ve zpracovatelském a energetickém průmyslu či v produktech pro ochranu zdraví a též pro zvýšení komfortu života společnosti. Je důležité, že primární surovinou biorafinace je biomasa v její různé podobě bez toxických, xenobiotických i chemických látek, která je navíc obnovitelná. Tato biomasa představuje cenný surovinový zdroj, který není doposud zcela racionálně využíván.

Projekt BIOCIRTECH navazuje na zkušenosti získané v průběhu řešení projektu BIORAF, přičemž je předpokládán další rozvoj poznatků, využití duševního vlastnictví a technologického zázemí vzniklého v průběhu projektu BIORAF. V rámci tohoto projektu byla řešena problematika týkající se využití surovin mikrobiálního, rostlinného i živočišného původu, která pokrývá širokou oblast od kultivace mikrořas (způsob kultivace mikrořas na odpadním glycerolu z transesterifikace lipidů, velkoobjemová autotrofní kultivace řas s využitím odpadního CO₂ z bioplynových stanic) a jejich následného zpracování na produkty s vysokou přidanou hodnotou (např. ω-3 polynenasycené mastné kyseliny, kyselina dokosaheptaenová) až po využití odpadů pro získávání cenných surovin (hydrolýza peří a chrupavek poskytující směs proteinů a aminokyselin, využití slámy a peří k získání kultivačního média pro mikrobiální produkci bioetanolu, biobutanolu a kyseliny mléčné). Kromě těchto procesů byly vyvinuty i technologické celky, jako je nízkoteplotní sušárna biomasy se šnekovým posunem materiálu, velkokapacitní filtrační nuč, fotobioreaktor s tenkou vrstvou kultivačního média, reaktor pro

hydrolýzu biomasy nebo briketovací a peletovací lisy na odpadní biomasu. Vzniklo tak rozsáhlé duševní vlastnictví, nicméně v průběhu řešení projektu se ukázaly a objevují se další velmi perspektivní cesty ve využití a zpracování biomasy. Co se týká zpracování odpadů, vystupujících z jednotlivých technologií zpracování biomasy, poslední koncovkou v projektu BIORAF je briketace či peletizace biomasy a jeden z úspěšných briketovacích lisů byl oceněn Čestným uznáním hodnotitelské komise na 59. Mezinárodním strojírenském veletrhu Brno 2017. Je tedy zřejmé, že je nutné a vhodné hledat, navrhnout a ověřit i další možnosti energetického využití zbytkové odpadní biomasy, které by plně zapadaly do bezodpadové oběhové biorafinace a plně odpovídaly trendům rozvoje cirkulační ekonomiky.

Z tohoto důvodu je předkládaný projekt NCK1 „Biorafinace, jako oběhová technologie“, BIOCIRTECH koncipován tak, aby plně odpovídal těmto požadavkům a pokrýval celou problematiku zpracování široké škály druhů biomasy včetně té odpadní.

Předmětem zájmu pro aplikace oběhových technologií v předkládaném projektu BIOCIRTECH bude široká škála primárních bio-surovin, které byly na základě výzkumu v programu Centra kompetence BIORAF vybrány a parciálně ověřeny jako nadějně pro komplexní a potenciálně ekonomicky racionální využití, a to zejména pro případy, kdy je možné jejich další komerční využití a produkty budou cenově konkurenčně schopné se současnými výrobky, či poskytnou jedinečné nové materiálové využití. Nové technologie budou dále řešit závažný celospolečenský problém, jako je bezodpadové zpracování domácnostního odpadu, (obsahujícího významný podíl odpadní biomasy), kdy se dle již platných legislativních pravidel rychle blíží konec jeho skládkování.

V projektu BIOCIRTECH bude pozornost věnována například následujícím tématům:

- Mikrořasy a sinice obsahující bioaktivní a další cenné látky pro využití v potravinových doplňcích, kosmetice a prostředcích osobní péče (nenasycené omega 3- a 6- mastné kyseliny, karotenoidy, vitaminy, růstové faktory, barviva, platformní kyseliny, apod.), v zemědělství (ochrana rostlin, biostimulanty, včetně vývoje kultivačních postupů,
- Mikrořasy s vysokým obsahem škrobu nebo lipidů, zejména žádaných v oblasti zdravé výživy a obecně mikroorganismy, poskytující prekurzory pro biopolymery-plasty, mj. i na bázi chitosanu (zdravotní péče, náhrady orgánů a kostí, nosiče kmenových buněk pro svalovinu apod.),
- Genetické modifikace mikrořas s cílem získání cenných látek (utilizovatelné proteiny pro potraviny apod.),
- Aplikace řízeného selekčního (evolučního) tlaku na vybrané druhy mikrořas za účelem zvýšení jejich adaptivity na (nepřirozená) produkční prostředí a zvýšení jejich produkční kapacity
- Rychle rostoucí dřeviny využitelné energeticky společně s odpadní biomasou z mikrořas, sinic a dalších mikroorganismů ve formě strukturovaných pelet či briket s optimalizovaným složením, (a to jak pro větší centrální energetické zdroje - teplárny, elektrárny), tak i pro lokální zdroje,
- Energeticky (např. kapalná paliva) a materiálově využitelné lignocelulózové rostlinné materiály pro produkty tzv. 2 generace (miscantus, rychle rostoucí dřeviny apod.) s komplexním využitím ligninu a polysacharidů,
- Odpady z živočišné výroby jako zdroj bioaktivních látek pro zdravotní a potravinové doplňky (např. keratin, kolagen, želatina, aminokyseliny, chondroitin sulfát, hyaluronová kyselina, apod.),
- Organický podíl komunálního odpadu a čistírenských kalů s novým energetickým (kapalné transportní biosložky) a materiálovým (proteiny, lipidy) technologickým využitím v oběhové ekonomice,

- Zpracování různých typů zbytkové biomasy rostlinného původu po biorafinacích pomocí kombinované pomalé a rychlé termolýzy, přičemž budou identifikovány optimální podmínky procesu s ohledem na parametry jednotlivých produktových fází pro jejich následné využití: energetický bioplyn s obsahem vodíku, metanu a oxidu uhelnatého, nebo po gasifikaci na syntézní plyn (H_2 , CO) využitelný jako palivo, nebo také jako syntézní plyn - uhlíková surovina, bioolej jako alternativní surovina s obsahem fenolických látek pro organické syntézy a biouhel – sorpční materiál s optimalizovanými nanostrukturními parametry,
- Bezodpadové zpracování komunálního odpadu běžně obsahujícího značný podíl biosložky. Po separaci skla a kovů a jeho rozdělení na sítěch na 2 frakce, bude jemná frakce obsahující živočišný a rostlinný odpad, drobné úlomky umělých hmot a dalších pevných částic hydrolyzována, přičemž se získají cenné látky pro další použití jako lipidy a polysacharidy. Zároveň dojde k separaci umělých hmot a dalších pevných částic, které se budou dále zpracovávat společně s hrubou frakcí, která díky široké škále různých technologických postupů bude alternativně využitelná jako surovinový zdroj či energeticky,
- Hodnocení ekonomické efektivity nově vyvinutých produktů např. (briket, pelet - z komunálního odpadu resp. jiných druhů biomasy) pro energetické využití. Vytvořená metodika bude obsahovat identifikaci klíčových procesů pro produkci briket / pelet a hodnocení rozdílů mezi jednotlivými technologickými postupy při produkci směsného paliva. Metodika bude vyhodnocovat efektivnost produkce paliva z pohledu soukromých investorů a koncových uživatelů. Metodika současně umožní vyhodnotit efektivnost využití různých druhů biomasy ze systémového pohledu a to pomocí nákladového ocenění úspory emisí CO_2 z titulu vytěsnění fosilních paliv.
- Vývoj a ověřování pyrolytických technologií biomasy, včetně navazujících syntéz s využitím produktů procesu,
- Vývoj technologií zplyňování biomasy, včetně navazujících syntéz s využitím produktů procesu

Zvolené technologie budou využívat moderní termické techniky, např. katalytickou pyrolýzu a gasifikaci, hydrotermální techniky za podmínek subkritické vody, chemické a enzymatické hydrolýzy, chemické a enzymatické katalýzy s nově vyvinutými katalyzátory, nízko- i vysoko tlakové rozklady a syntézy, pomocné fyzikální techniky jako jsou tlakové desintegrace, ultrazvuk, mikrovlnné záření, využívání solárního záření, apod. Značný důraz bude kladen na racionální metody předúpravy biomasy, které byly doposud jednou z hlavních příčin menší konkurenceschopnosti výrobků na biobázi a působily obtíže při převedení technologií do výrobní praxe. Spolupráce se strojírensky zaměřenými spoluřešiteli cílená na výrobu nových separátorů a bioreaktorů je nevyhnutelná, stejně jako aplikace moderních metod při posuzování dopadů životního cyklu a cenových kalkulací vyvinutých produktů za použití verifikovaných vstupních dat získaných primárně v rámci centra BIOCIRTECH (což nebývá obvyklé).

Výsledky projektu, vedle přínosu pro rozvoj vědního poznání, budou moci být racionálně využitelné i státními organizacemi při rozhodování a v upřesňování státní energetické a potravinové koncepce. Budou navíc žádaným doplňkem pro technické a ekonomicky zdokonalené využití výsledků získaných do současné doby v Centru kompetence BIORAF.

Přehled projektů výzkumu a inovací týkajících se strategie oběhového hospodářství.

Evropská komise zveřejnila přehled 156 projektů, které přispívají k provádění strategie oběhového hospodářství. Projekty byly vybrány k financování v letech 2016-2017 v pilířích Vedoucího postavení evropského průmyslu a Společenské výzvy programu Horizont 2020.

Uvedené projekty představují příklady dobré praxe akcí financovaných v rámci H2020 v různých fázích oběhového hospodářství od výroby po spotřebu a odpad. Priority projektů se zaměřují na udržitelnou výrobu v nových biologicky rozložitelných a biologicky odbouratelných produktech, na náhradu nebo obnovu surovin, konverzi CO₂, obalů, plastů apod. Celkové finanční zdroje zahrnují přibližně 900 milionů EUR, a z toho 765 milionů EUR z prostředků EU.

Evropská komise zveřejnila výsledky pilotního projektu Evropské rady pro inovace Fast – Nástroj pro malé a střední podniky. Podporu celkově získá 283 projektů. V rámci posledního kola nástroje pro malé a střední podniky bylo vybráno 278 společností z 27 zemí, které si rozdělí celkovou sumu 129 milionů eur (fáze 2 Nástroje pro MSP) a 10 milionů eur z programu Horizont 2020 (fáze 1 Nástroje pro MSP). V rámci programu Fast Track to Innovation bylo vybráno 15 projektů z 16 zemí, které obdrží 34,4 milionů eur. Mezi úspěšnými žadateli o podporu z fáze 1 Nástroje pro MSP jsou také tři české entity, a to firma VUCHZ s projektem technologie výroby 2G biopaliv a biosolventů; dále firma iolevel s.r.o. s projektem optimalizace kompilátoru PeachPie; a firma Yakna s.r.o. s projektem Eddie - inteligentní neurorehabilitační software. VUCHZ, a. s. se podílí na rekonstrukci bioetanolového závodu v Trmicích pro společnost LIBERTA Energy s.r.o., a to pro provozní soubory Hydrolyza, Kvasírna, Destilace a Odvodnění.

3.3. Pokročilé procesy a zařízení

Světová globalizace znamená pro výrobce nutnost neustále optimalizovat své výrobní postupy. Změny, ke kterým dochází v rozhodujících mezinárodních koncernech, jsou obzvláště zaznamenatelné v chodu chemického průmyslu. Intenzifikace procesů jsou účinným nástrojem pro udržení konkurenceschopnosti nejenom chemických výrob, ale i v jiných, navazujících průmyslových odvětvích. Intenzifikace procesů představuje soubor radikálně inovativních principů při navrhování procesů a zařízení, které mohou přinést významné výhody z hlediska efektivity procesů a hodnotového řetězce, kapitálových a provozních nákladů, kvality produkce, spotřeby energií, vody a surovin, minimalizace odpadu, zvyšování bezpečnosti procesů a také zlepšení firemní image ve veřejnosti inovací výroby, přívětivě z pohledu ochrany životního prostředí.

V principu se intenzifikace procesů může soustředit jak na jednotlivé prvky zařízení a aparáty (katalyzátory, reaktory, zařízení pro separační operace zahrnující fyzikální transformace hmoty), tak na aplikace různých, izolačních, purifikačních metod. Vývoj nových katalyzátorů nebo nových transformačních technologií pro modernizaci stávajících procesů je zásadní. Z pokročilých metod můžeme uvést například:

- Multifunkční vícefázové reaktory (s obsahem tvarovaného katalyzátoru a více interagujících fází) s cílem maximalizovat synergické efekty dílčích kroků procesu
- Hybridní separace (reaktivní destilace, extrakce, krystalizace apod.)
- Aplikace alternativních energetických zdrojů (intenzifikace sdílení hmoty, tepla a hybnosti ve vícefázových soustavách s použitím ultrazvuku, UV záření, mikrovlnné energie apod.)
- Zvýšením reakčních rychlostí s použitím sofistikovanější, netradiční konfigurace chemického reaktoru
- Aplikací obnovitelného energetického zdroje

Principem intenzifikace procesu je maximalizace účinnosti intramolekulárních a mezimolekulárních přeměn a interakcí reakčních složek. Jedná se o lepší řízení frekvence kolizí molekul, jejich vzájemnou orientaci při jejich kolizích a jejich vlastní energie. Optimalizace hnacích sil přenosových jevů v každém měřítku reakčního systému a maximalizace

specifických mezifázových povrchů, na které hnací síly působí. Optimalizace přísunu, resp. odvodu energie z místa transformace vazeb molekul surovin na produkty.

Intenzifikace procesů se stává důležitou oblastí kvůli svému potenciálu získat inovativní a více udržitelné alternativy návrhu procesu. Ve fázi vývoje intenzifikace procesu usilujeme o snížení počtu zařízení (typicky jednotkových operací), které urychlí reakční kinetiku, zvýší lepší energetickou účinnost, sníží investiční náklady a zvýší 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 havárií. Intenzifikace a kontinualizace procesů umožňuje dramaticky snížit velikost výrobní jednotky, zvýšit bezpečnost provozu reaktoru, resp. výtěžek, snížit nástřik surovin apod. Současně musí být dosažena vyšší bezpečnosti produkce, která není bezpečná kvůli vysoké reakční rychlosti, nebezpečně exotermní reakci, resp. když reaktanty jsou příliš toxicky nebezpečné.

Následující vybrané příklady ilustrují způsoby intenzifikace procesu jednoduchou úpravou reaktorového uzlu výrobní jednotky, nebo netradičním řešením uspořádání reaktoru. Úprava tvaru, resp. velikosti částic katalyzátoru a jeho orientované nasypání do lože etážového reaktoru.

Reaktivní destilace

Integrace katalytické přeměny a separace reakční směsi umístěním katalyticky aktivní vestavby, výplně do kontinuální reaktivně destilační kolony výrazně snižuje počet aparátů oproti konvenčnímu procesu při spojení reaktoru a uzlu pro zpracování reakční směsi se separací reakčních produktů. Reaktivní destilace představuje moderní, výhodný proces syntézy řady produktů, vznikajících rovnovážnou reakcí, (např. esterifikace/ reesterifikace). K jeho výhodám patří:

- dosažení vyšší konverze reakce, než odpovídá chemické rovnováze
- zjednodušení technologie s menším počtem separačních stupňů
- integrace chemické reakce se separací produktů v multifunkčním aparátu,
- aplikace heterogenního katalyzátoru s dlouhodobou aktivitou,
- pro exotermní reakce lze reakční teplo přímo využít v loži katalyzátoru pro destilaci reakční směsi.

Komerčně byly vyvinuty ve spolupráci Chemopetrol a VŠCHT technologie pro syntézu alkylacetátových rozpouštědel, které představují důležitou skupinu technických rozpouštědel, přívětivých k životnímu prostředí (např. extrakční činidla, nátěrové hmoty). Jejich syntéza esterifikací vychází z kyseliny octové a příslušného alkoholu, katalyzovaných silnou kyselinou, nebo výhodně kyselým iontoměničem. V případě rovnovážných esterifikací lze překonat chemickou rovnováhu a dosáhnout vysoké konverze reakce způsobem oddělování jednoho z reakčních produktů, vody nebo esteru z reakčního prostoru. Elegantní řešení představuje umístění lože heterogenního katalyzátoru do kontinuálně provozované rektifikační kolony. Reakční zóna kolony je nejčastěji tvořena orientovanou výplní s drátěnou strukturou naplněnou částicemi katalyzátoru. Orientovaná struktura v koloně kombinuje přítomnost katalyzátoru nezbytného pro chemickou reakci s účinnou rektifikační separací reaktantů a produktů. Vyvinuté know-how technologií syntézy butylacetátu, 2-methyl-propylacetátu a ethylacetátu bylo následně prodáno firmě Sulzer ChemTech Winterthur.

Rotační diskový reaktor

Reaktor s rotujícím diskem (spinning disc reactor) byl navržen coby nekonvenční průtočný promíchávaný reaktor za účelem intenzifikace procesů s velmi rychlými a silně exotermními reakcemi mezi dvěma omezeně mísitelnými kapalinami jako jsou nitrace, sulfonace, polymerace organických látek. Jedná se o případy reakcí, které jsou silně limitované sdílením

hmoty a tepla, přičemž viskozita reakční směsi obvykle narůstá až o několik řádů s rostoucí konverzí reakce. Tento efekt značně komplikuje dokonalé promíchávání reakční směsi. V případech polymeračních reakcí dochází pak k možnosti tvorby horkých zón v reakční směsi, které významně snižují kvalitu produktu. Tuto nevýhodu může odstranit aplikace rotačního diskového reaktoru, který je konstruován tak, že horizontálně rotující temperovaný disk unáší reakční komponenty na vnitřní, temperovanou stěnu reaktoru a tím se vytváří na ní tenký stékající film reakční směsi, ve kterém dochází k chemické přeměně.

Monolitický reaktor

Tento typ reaktoru je často používán pro katalytické reakce, probíhající v plynné fázi. Je vybaven strukturovanými paralelními kanálky, na jejichž stěnách je zakotven příslušný katalyzátor. Reaktory, jejichž režim je sofistikovaným způsobem řízen, našly široké uplatnění nejen v automobilovém průmyslu pro proces čištění spalín zážehových i vznětových motorů, ale mohou být nasazeny i pro další vícefázové reakční systémy vzhledem k jejich velmi nízké tlakové ztrátě, o jeden až dva řády nižší, než vykazují konvenční reaktory s nasýpaným ložem katalyzátoru. Dále vykazují 1,5 až 4násobnou styčnou plochu katalyzátoru, vztaženou na jednotkový objem reaktoru. Kvůli velice krátké difuzní dráze reakčních složek v tenké katalytické vrstvě katalyzátoru v kanálcích je možné v řadě případů dosáhnout podstatně vyšších hodnot selektivit procesu, kterou jinak snižuje odpor ke sdílení hmoty difuzí v tabletovaných nebo extrudovaných částicích katalyzátorů. Monolitický reaktor může být atraktivní náhradou i za vícefázové reaktory se zkrácenou vrstvou katalyzátoru pro oxidační, hydrogenační a hydrorafinační procesy.

Reaktor se statickými mixery

Aplikace statických mixerů do konvenčních trubkových reaktorů se stacionárním ložem katalyzátoru představuje inovativní myšlenku pro zvýšení účinnosti procesu. Jejich role spočívá v úpravě/modulaci charakteru proudění reakční směsi ložem s cílem dosáhnout zlepšení jejího radiálního promíchávání při současném zvýšení rychlosti sdílení hmoty a tepla v reaktoru. Alternativou pro zvýšení turbulence mobilních fází ve stacionárním loži katalyzátoru představuje také periodické řízení rychlosti nástřiku reakční směsi do reaktoru. Vývoj této technologie byl řešen v projektech EU CYCLOP a MPO ČR v období 2000-2007 na pracovištích VŠCHT Praha, Unipetrol a.s. a ÚCHP AV ČR. Rovnoměrnější tok reakční směsi na průřezu a podél reaktoru současně minimalizuje riziko tvorby horkých zón ve vrstvě katalyzátoru, které mohou iniciovat vážné havárie procesu. Kvůli lepšímu řízení teploty a turbulentnímu toku na lokální úrovni v loži katalyzátoru poskytuje toto uspořádání solidní účinnost a vyšší selektivitu procesu, což má eminentní význam při náročných syntézách chemických specialit, např. farmaceutik.

Mikroreaktory

Mikroreaktorové systémy obsahují sub-milimetrové komponenty, ve kterých kontinuálně proudící směs podléhá reakční přeměně. Mikroreaktory jsou inherentně vysoce bezpečné, neboť mohou pracovat i s malými objemy agresivních látek, přičemž vysoké rychlosti sdílení hmoty a tepla v tomto případě zaručují vysoký výtěžek. Změnu měřítka mikroreaktoru lze dosáhnout samozřejmě zvětšením, nebo snížením počtu kanálků ve voštinové struktuře katalyzátoru. Hlavní výhodou těchto inovativních systémů nových reaktorů spočívají v rychlém a účinném promíchání reagentů, efektivnější sdílení tepla vzhledem ke konvenčním chemickým reaktorům, krátké reakční době, malém množství komponent pro syntézu, což je důležité pro optimalizaci reakčních podmínek (rychlost nástřiku, reakční doba, tlak, teplota) a bezpečné i přesné měření. Na příklad pro nitrace se konvenčně používá přebytek kyselin dusičné a sírové. Tato reakce je silně exotermní, a tak je obtížné řídit teplotu, pokud je syntéza provozována ve velkém objemu. Použití mikroreaktoru s uniformní teplotou při reakci pak představuje atraktivní a bezpečné řešení tohoto problému.

Rotující lože katalyzátoru:

Zvýšení rychlosti sdílení hmoty v heterogenních reagujících soustavách může být iniciováno zrychlením vzájemného pohybu reagujících fází na principu centrifugy. Rotující lože katalyzátoru v reaktoru představuje další inovační alternativu pro intenzifikaci procesů, jako jsou čištění plynů, destilace, nebo aplikační syntézy nano-materiálů. Toto neobvyklé uspořádání, které je charakteristické náhradou obvyklé gravitace za odstředivou sílu cirkulačního pohybu, je slibné relativně nízkými investičními náklady. Slibnou variantou do budoucna jsou aplikace nejen pro desulfurizační proces v rafineriích, ale obecně pro významné separační procesy absorpce, destilace, stripování, extrakce atd.

Kavitační jevy pro intenzifikaci procesu

Jednou z možností intenzifikace chemických procesů je využití kavitačních jevů k turbulizaci toku fází reakční směsi v různých typech reaktorů. Kavitační efekty lze vyvolat přidáním intenzivní energie na podporu toku reakčních médií reakčním prostorem nebo výhodně také ultrazvukem. Aplikace této metody byla publikována na příklad pro extrakce, emulzifikace a krystalizace podporované ultrazvukem (ultrasonic extraction, emulsification). Kavitační kolaps prázdného prostoru, vytvořeného energetickým tokem lokální změnou rychlosti proudění tekutiny, nebo ultrazvukem může ovlivnit fyzikálně chemické transformace v různých systémech. Vytvořené kavity obvykle obsahují páru kapalného média nebo rozpuštěných těkavých složek nebo plynu. V průběhu kolapsu jsou tyto páry vystaveny v krátkém časovém okamžiku extrémním podmínkám – teplotě a tlaku, způsobujících fragmentaci molekul či tvorbu radikálů, které mohou následně reagovat již v kavitách, či následně v objemu kapaliny. Náhlý kolaps bublin vyvolává následně střizné síly v jejich okolí, takže dochází buď k destrukci materiálu, dispergovaného v kapalině, nebo rovněž k porušení mezní vrstvy u fázových rozhraní, které významným způsobem usnadní transport hmoty a tepla v daném místě. Klíčovými parametry pro kavitační proces jsou výběr rozpouštědla a operační teplota. Při zvýšeném tlaku par rozpouštědla se snižuje maximální teplota a tlak pro kolaps bublin. Tedy, pokud kavitační kolaps je primární podmínkou aktivace molekul, je vhodná nízká operační teplota, a to zvláště při použití nízkovroucího rozpouštědla. Avšak, je-li reakční rychlost omezena pouze přenosovými jevy, pak srovnatelného efektu lze dosáhnout tradičním mechanickým mícháním s vysokou frekvencí otáček míchadla vhodného typu. Kavitační aktivace v heterogenní soustavě kapalina-tuhá látka přináší vedle kolapsu bublin také strukturální a mechanické defekty u povrchu tuhé fáze. Kolaps na tuhém povrchu zvláště v případě prášků rezultuje v jejich fragmentaci. Operace s ultrazvukem přispívá tak k vyššímu mezifázovému povrchu pro reakci, podporuje jeho aktivaci a současně zvyšuje intenzitu promíchávání reakčního prostoru a přenos hmoty. Současně je třeba upozornit, že i přítomné rozpouštědlo může podléhat energetické aktivaci, a tudíž nemusí být za reálných podmínek úplně inertní.

V soustavách omezeně mísitelných kapalin kavitační kolaps způsobí vedle intenzivního míchání rovněž rozrušení mezifázového povrchu. Výsledkem pak je tvorba velmi jemných, stabilních emulzí, což následně zvýší mezifázový povrch, a to může příznivě urychlit reakci mezi oběma omezeně mísitelnými fázemi. K vytvoření stabilních emulzí tak není v některých případech nutné dodávat do soustavy surfaktanty. Toto je zvláště výhodné v případech použití katalyzátorů přenosu fází ve dvoufázových reakčních soustavách. Použití chemických aparátů s ultrazvukovým generátorem představuje lukrativní přístup k intenzifikaci procesu při různých chemických i fyzikálních operacích. Ultrazvukem asistované chemické operace souvisejí také s koncepcí „zelené“ chemie pro zvýšení rychlosti a selektivity procesu, pro aplikace méně problémových rozpouštědel, nižší energetické náklady, snížení operační doby, pro hlubší využití surovin a katalyzátorů a zpracování obnovitelných surovinových zdrojů.

Situace v ČR

Chemické procesy jsou podle Inovační strategie ČR 2019–2030 jednou z klíčových znalostních domén.

Excelentním vědeckým centrem s dlouholetými zkušenostmi je Ústav chemických procesů AV ČR, v. v. i. Ústav je významným centrem výzkumu v oblasti chemie, biotechnologie, katalýzy a ochrany životního prostředí a působí jako školicí pracoviště doktorandského studia v oboru chemického inženýrství, fyzikální chemie, chemické technologie a biotechnologie. Výzkum a vývoj aplikací mikroreaktorů pro chemické syntézy byl nastartován od roku 2004 v rámci evropského projektu IMPULSE, na jehož řešení se podíleli odborníci z ÚCHP AV ČR a VŠCHT Praha. Od roku 2019 řídí Národní centrum kompetence pro vývoj cirkulačních technologií pro zpracování odpadů na bázi biomasy (BIOCIRTECH).

ÚCHP AV ČR, v. v. i. tradičně spolupracuje s komerčními subjekty v rámci bilaterálních projektů, servisních zakázek či smluvního výzkumu s využitím multidisciplinárního týmu odborníků. Výsledkem takové spolupráce je synergie nezbytná pro řešení aktuálních komplexních problémů.

Pro ilustraci lze uvést některé následující příklady aktuální spolupráce ÚCHP AV ČR s podnikatelskou sférou:

- Synthomer, a.s. Sokolov – výzkum katalytické oxidace v mikroreaktorovém uspořádání
- MEGA, a.s.; Membrain s.r.o. Stráž pod Ralskem – membránová separace plyných směsí, např. bioplynu
- Lach-Ner, s.r.o. Neratovice – syntéza chemických specialit na bázi helicenů
- Briklis, s.r.o. Malšice – vývoj aparátů pro mechanické zpracování tuhých surovin a odpadů
- SINTEX a.s. Česká Třebová – řešení emisí prachových částic, hodnocení svíčkových filtrů

Výrazným krokem propojujícím akademickou a podnikatelskou sféru bylo založení České asociace pro pyrolýzu a zplyňování biomasy s posláním zvýšit v ČR důvěryhodnost technologií využívajících termické procesy zplyňování a pyrolýzy a přispět k rozšíření jejich aplikace, zejména pro účely energetického využití biomasy a odpadů. Ústav byl i spoluřešitelem projektu Intenzifikace procesů adaptabilními katalytickými reaktory vyrobenými 3D tiskem v rámci H2020.

Dalším významným centrem výzkumu chemických procesů je VŠCHT Praha, především fakulty FCHT a FCHI, které řeší mimo jiné vícefázové reakční soustavy, interakci přenosových jevů s chemickými přeměnami, zejména pak návrhy reaktorů pro reakce mezi plynem, kapalinou a v přítomnosti tuhé fáze, heterogenního katalyzátoru nebo biomasy. Dále je třeba uvést Univerzitu Pardubice, a její Fakultu chemické technologie, Technickou univerzitu v Liberci a další.

České chemické strojírenství sice v poslední době poněkud ztratilo svoje postavení (např. tradiční dodavatel investičních celků Chepos a.s. nebo projekční organizace Chemoprojekt a.s.), na druhé straně se poměrně úspěšně rozvíjejí různé membránové technologie (např. firma Asio technologie čištění odpadních vod z různých průmyslových odvětví, SepPro Consult, s. r. o. Brno, MemBrain s.r.o., Aquarex WATERPROFIT s.r.o. Uherské Hradiště a další) a existují různé dodavatelské strojírenské organizace.

V chemickém průmyslu ČR je poměrně široké uplatnění digitalizace, v posledních letech byly instalovány nejmodernější membránové technologie elektrolýzy ve Spolchemii v Ústí nad Labem, významná byla intenzifikace výroby titanové běloby v Precheze a.s. Přerov, vybudování nové výrobní jednotky polyethylenu v Litvínově a řada dalších.

Prioritní výzkumná témata

- vývoj nových katalyzátorů nebo nových transformačních technologií pro modernizaci stávajících procesů;

- vývoj vysoce efektivních procesních zařízení pro kontinuální procesy, optimalizaci stálosti procesů s jednodušší údržbou a malým dopadem na životní prostředí;
- vývoj hybridních a multifunkčních technologií, jako je integrace reakce a separace, výměna tepla nebo fázové přechody umožňující zlepšení energetické účinnosti a konkurenceschopnosti procesu;
- využívání nových forem energie (fotochemické, mikrovlnné, ultrazvukové, elektronové paprsky), které mohou být využívány v tepelných procesech a mohly by nabídnout nižší spotřebu energie a lepší řízení procesu;
- rozvoj flexibilnějších škálovatelných procesních a výrobních kapacit pro řešení rozvíjejících se trhů a snížení závislosti na investicích do velkých aktiv;
- zvyšování kapacity fluidního krakování
- vývoj spolehlivých a nákladově efektivních rychlých on-line monitoringu a měření: pokroky v oblasti mikroelektroniky, nanotechnologií a ICT mohou poskytnout chemickému průmyslu inteligentní senzorové sítě se schopnostmi, poskytující masivní informace („big-data“) o chemické produkci, složení, kvalitě výrobků, preventivní údržbě technologických zařízení, využívání zdrojů a energie a kompenzaci dopadů na životní prostředí.

3.4. Nanotechnologie a nanomateriály

Nanotechnologie a nanomateriály (NM) jsou jednou z perspektivních oblastí, kterým je pro 21. století prognózována velká budoucnost s ohledem na možnosti řešení hlavních současných problémů lidstva jako jsou energie, ochrana přírodních zdrojů a zdraví obyvatel. Úspěšná realizace záměrů Národní Strategie inteligentní specializace ČR a zejména Průmyslu 4.0 není reálná bez široké aplikace NM a nanotechnologií.

Nanotechnologie není nějaké nové průmyslové odvětví, je to zcela nový technologický přístup, který jde napříč prakticky všemi obory od chemického průmyslu až třeba po kosmický vývoj. Nanotechnologie bychom mohli definovat jako interdisciplinární a průřezové technologie, zabývající se praktickým využitím nových a neobvyklých vlastností NM pro konstrukci nových struktur, materiálů a zařízení.

Průnik nanotechnologií na trhu však zatím není tak spontánní, jak se očekávalo, zejména kvůli zaostávání příslušné legislativy a disproporcím mezi dynamicky se rozvíjejícím výzkumem a průmyslovou aplikací výsledků vědy a výzkumu. Významné podněty přicházejí z rozvoje kosmického výzkumu, zbrojařského průmyslu, automobilového průmyslu a elektrotechniky. Nejnovější studie fy Allied Market Research ocenila trh s nanomateriály v roce 2015 na 14 742 mil USD a očekává dosažení 55 016 mil USD v roce 2022 s CAGR 20,7 %. Studie fy Knowledge Sourcing Intelligence z června 2017 ocenila předpokládaný růst trhu s nanomateriály v období 2015–2021 s CAGR 20,25 % (zvýšení na 16,731 miliard USD z 5,534 miliard). Fredonia ocenila velikost tohoto trhu v roce 2016 na 5,5 miliard USD. Zpráva společnosti Research and Markets uvádí, že celosvětově by nanotechnologický průmysl měl růst až do roku 2024 každoročně o 17 %. Studie Industry ARC předpokládá, že hodnota nanotechnologického trhu do roku 2021 překročí 12 miliard dolarů díky komercializaci napříč odvětvími. To by představovalo složenou roční míru růstu 16,9 procent. Experti předpokládají, že během nadcházející dekády se podaří odstranit překážky mezi základním výzkumem NM a jejich aplikací v reálné praxi a růst globálního trhu s nanomateriály v příštím desetiletí by měl růst meziročně přibližně o 17 – 23,1 %. Často se však jedná o investice s vysokou mírou rizika. Vysoká přidaná hodnota, kterou generují nanotechnologie, pochází převážně z hotových výrobků obsahujících nanotechnologie, jako jsou náterové hmoty, automobily, oděvy, letadla, textil, kosmetika atd. Zprávy Lux Research a dalších marketingových společností o trhu se týkají

většinou „evoluční nanotechnologie“, což se týká pouze zlepšení existujících procesů, materiálů a aplikací tím, že se využijí jedinečné kvantové a povrchové jevy na úrovni nanometrů. Tento trend je řízen zvýšeným úsilím společností o zlepšení stávajících výrobků vytvářením stále menších součástí a kvalitnějších materiálů s nižšími náklady. Přínosy z „revoluční nanotechnologie“ kde jsou funkční zařízení a celé výrobní systémy založené na manipulaci s atomy a molekulami, obvykle nejsou zahrnuty do těchto zpráv. V současné době je obtížné odhadnout tržní hodnotu vizionářských technologií a jejich budoucích produktů. V příštích letech bude podporovat dynamiku trhu s nanomateriály hlavně poptávka obranného sektoru a zdravotnictví, tedy oborů, které v tak velké míře (jako některá jiná odvětví) nepodléhají výkyvům hospodářského cyklu.

EU vynakládá zhruba 740 milionů eur ročně z veřejných finančních prostředků na výzkum nanotechnologií. Velká podpora ze strany EU je také zaměřena na rozvoj mezinárodní spolupráce v nanotechnologiích. EU se chystá finančně podpořit např. budování evropských výroben pokročilých baterií pro elektromobily. Podle Investing News Network TOP aplikace nanotechnologií lze očekávat zejména v následujících oblastech:

1. Pokročilé materiály a povrchy

NM pro aditivní výrobu a 3D tisk. Pokročilé materiály a povrchy jsou potřebné ve strojírenství pro přípravu super tvrdých povrchů s nízkým třením, obráběcí nástroje, nové konstrukční materiály atd. automobilovém průmyslu se jedná o nanokompozity, katalyzátory, nesmáčivé povrchy, samočisticí nepoškrabatelné laky, filtry, frikční materiály, baterie pro elektromobily, čidla a senzory.

V chemickém průmyslu se jedná o nanotrubice, nanokompozity, selektivní katalýzu, aerogely, chemikálie pro čištění vod, náhradu nedostatkových surovin, filtrační zařízení. 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, zpracování odpadů a kontrole ovzduší.

Ve stavebnictví jako nové izolační materiály, samočisticí fasádní nátěry, antiadhezní obklady, pevnější a vodě odolnější betony.

V textilním průmyslu nemačkávé, hydrofobní a nešpinící se tkaniny.

Významná role nanotechnologií je v oblasti ochrany životního prostředí např. odstraňování nečistot, biodegradace, čištění vody a půdy.

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).

2. Medicína

Aplikace nanotechnologií v tomto oboru zahrnují terapie, nová diagnostická zařízení, komplexní systémy transportu léků, antivirové léky, biokompatibilní materiály pro implantáty a protézy, umělé klouby, chlopně, náhrada tkání, desinfekční roztoky nové generace, ochranné roušky, analyzátory. Velké naděje se vkládají do budoucího využití tzv. „extrémní nanotechnologie“, která zahrnuje manipulaci s atomy a molekulami.

3. Elektronika

Elektrické obvody se stále zmenšují a nanotechnologie umožňuje takové pokroky. Neustále se dynamicky rozvíjí paměťová média, spintronika, bio elektronika, kvantová elektronika. Z hlediska dlouhodobé perspektivy jsou hlavními kandidáty využití výsledků výzkumu v oblasti nanotechnologií informační a komunikační technologie, jenž nahradí stávající mikroelektroniku nanoelektronikou. Zde 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).

Mimořádná očekávání z přínosu nanotechnologií jsou v elektrotechnickém průmyslu (např. vysokokapacitní záznamová média, fotomateriály, palivové články, moderní baterie).

Počítačové čipy vyžadují najít nové materiály pro budoucí technologie, poněvadž pomalu končí křemíkový věk. Nanofilmy se uplatňují ve fotonice, bezdrátové komunikaci nebo v polovodičích.

4. Energetika

Aplikace nanotechnologií v energetickém sektoru zahrnují využití jak pro skladování energie, tak v odvětví obnovitelných zdrojů energie, např. rozšíření solárních článků. Vybíjejí se nové solární články, kde se úspěšně uplatňují nanofilmy, grafen a další nanomateriály.

Biologické nano reaktory skvěle katalyzují výrobu vodíku.

5. Úprava vody a vzduchu

Nanotechnologie jsou důležité v celé řadě aplikací v oblasti životního prostředí a zdraví, včetně úpravy ovzduší, vody a půdy. Zejména dekontaminace znečištěných vod, filtrace vzduchu s využitím nanovláken ve filtračních zařízeních s cílem zachytit částice poletavého prachu. Mimořádné aspirace mají NM v oblasti hospodaření s vodou. Nanotechnologie zásadně ovlivní budoucnost energeticky přijatelného odsolování mořské vody, rozvoj nízkouhlíkaté společnosti.

6. Potraviny

Nanotechnologie hrají důležitou roli v budoucnosti potravin. Nanotechnologie může být použita ke zlepšení struktury a chuti a k lepší ochraně potravin před mikrobi prostřednictvím obalů, které využívají nanotechnologii. V některých zemích (USA, Čína, Tchaj-wan, Korea, Japonsko) jsou na trhu již potraviny (např. přídatné látky, doplňky stravy) a materiály přicházející do styku s potravinami (chladničky, kontejnery na potraviny, kuchyňské náčiní, nápojové láhve, fólie) připravené pomocí nanotechnologií. Další výrobky a aplikace jsou ve stádiu výzkumu a vývoje. Potravinářský sektor je významným spotřebitelem nano TiO_2 . Aplikace NM zásadně ovlivní připravované regulace. Jedním z málo dosud schválených NM je TiN pro materiály přicházející do styku s potravinami.

Zatímco v současnosti je největším spotřebitelským sektorem výroba nátěrových hmot, rychlejším růstem spotřeby NM v elektronice v dohledné době překročí jejich aplikace 30 % podíl na trhu. Největší objem nanomateriálů v současné době je založen na Ag, uhlíku a oxidech Ti, Si a Zn. Do skupiny komerčních nanomateriálů 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. Z novějších výzkumných prací vyplývá, že selen je lepší než stříbro v oblasti antialergické aplikace, další práce se věnují tantalu, selenu, niklu, zlatu, kobaltu a dalším materiálům.

Nanotechnologie již dávno nejsou záležitostí jen výzkumu a laboratoří. V řadě případů jsme svědky nástupu průmyslové realizace dosavadních výsledků VaV. Jedním z příkladů uplatnění revolučního NM je grafen. Za přelomový rok pro grafen je považován rok 2018. Mimořádnou dynamiku výzkumu v segmentu grafen dokumentuje zpráva Research and Markets z listopadu 2018, kde je uvedeno, že koncem roku 2017 bylo celosvětově registrováno 13 371 patentů týkajících se grafenu, přičemž to bylo o 30,7 % více než v roce 2016 a nárůst počtu patentů mezi roky 2010 a 2017 dosáhl 60,9 %. Zhruba 45 % těchto patentů jsou čínské patenty. Kromě vynikající elektrické vodivosti je grafen také propustný pro světlo, takže se dá využít při výrobě displejů a fotovoltaiických článků. Může tak nahradit stávající zařízení z tenkých vrstviček oxidů kovů. Displej z grafenu je navíc pevnější než doposud vyráběné z oxidů india a cínu. Díky polovodivosti a tloušťce sítky pouhý jeden atom je možné z grafenu vyrobit tranzistory, které jsou teoreticky schopné pracovat až do frekvence 1 THz. Navíc je lze skládat do velice kompaktních celků. Díky těmto vlastnostem se do budoucna počítá s využitím grafenu v mikroprocesorech a pamětech.

Zatímco se objevují další a další potenciální aplikace tohoto mimořádného materiálu, zůstává hlavním problémem zavedení jeho dostatečně efektivní průmyslové výroby. Současné metody výroby grafenu vyžadují spoustu energie, příprava probíhá v prostředí nebezpečných chemikálií (kyselina sírová, dusičnan sodný, manganistan draselný nebo například hydrazin) při vysokých teplotách kolem jednoho tisíce stupňů Celsia. Výsledkem je ale stejně nízká výtěžnost. Modernější způsoby výroby grafenu by měly být energeticky méně náročné, bez nutnosti používat nebezpečné chemikálie. Vedle starších metod přípravy grafenu z grafitu exfoliací jsou vyvíjeny metody jako CVD (Chemical Vapor Deposition), elektrochemická příprava, hydrotermální self-assembly metoda, uložení krystalického překryvu na krystalovém substrátu (tzv. epitaxi), termický rozklad SiC a další.

Zatímco v ČR převažuje spíše základní výzkum grafenu a jeho derivátů, v Polsku s podporou státu a EU se soustřeďují na zavedení jeho průmyslové výroby. Bylo oznámeno několik investičních projektů průmyslové výroby grafenu v Polsku (např. polská chemická společnost Skupina Azoty investovala již v roce 2017 do výrobní linky grafenu v továrně v Tarnowě 1,4 milionu EUR, polská společnost Graphene Solutions investovala 1,14 milionů EUR na zahájení výroby grafenových komponent. Společnost Nano Carbon, založená v roce 2011, se zabývá vývojem průmyslové výroby grafenu s využitím technologie Ústavu elektronických materiálů ve Varšavě.

Základními požadavky na průmyslově akceptovatelnou metodu přípravy grafenu je vedle snížení výrobních a energetických nákladů, především zabránění poruch a dosažení požadované čistoty.

Jednoduché 2D konstrukce uhlíkových atomů nabízí neuvěřitelné vlastnosti – jedná se o nejpevnější materiál na světě a elektrony se skrze něj dokáží pohybovat takřka rychlostí světla. Průmyslově vyráběný grafen může způsobit díky svým specifickým vlastnostem revoluci v oblasti tranzistorů, v solárních článcích s neuvěřitelně vysokou efektivitou nebo nabídnout baterie s vysokou kapacitou, které lze extrémně rychle nabíjet. Jeho aplikace nabízí výrazný pokrok ve fotelektrických zobrazovacích materiálech, nových elektrických vozech, technologiích pro ukládání energie, osvětlovacích systémech LED a v celé řadě dalších oborů. Grafen – oxid je NM bohatý na uhlík a kyslík, který může potenciálně zvýšit míru spalování při přidávání do tryskového paliva. Přídavek grafenu má také potenciál posílit pohonnou sílu letadel a zvýšit výkon pozemních plynových turbín.

Čína patří mezi země s intenzivním rozvojem těchto aplikací, a proto průkopník průmyslu čínského grafenu firma Tunghsu Optoelectronic vytvořila spolu s další čínskou firmou tzv. fond průmyslu grafenu, který bude podporovat provozování a realizaci projektů industrializace grafenu.

Dalším aktuálním příkladem je oznámení kanadské firmy NanoXplore v červenci 2018, že má k dispozici studii proveditelnosti na výstavbu závodu na výrobu grafenu o kapacitě 10 000 t/rok, která by se stala největší výrobnou tohoto materiálu na světě. Společnost NanoXplore dále uvedla, že průměrné provozní náklady byly propočteny ve výši 4 402 USD za tunu. Celková náklady na investici byly odhadnuty na 40,1 milionu dolarů. Zařízení se má skládat z pěti výrobních linek, z nichž každá má kapacitu 2 000 tun / rok. Každá z těchto linií by se skládala ze čtyř modulů výroby grafenu s kapacitou 500 tun za rok. První výrobní linka na práškový grafen by měla být uvedena do provozu v lednu 2020, s dosažením plné produkce 10 000 tun počítají během roku 2022.

V roce 2017 byl světový trh s grafenem asi 85 mil USD, v minulém roce došlo k nárůstu na 200 mil USD. Research and Markets předpokládá, že tento trh by mohl do roku 2023 vzrůst až na 1 miliardu USD. Na druhé straně Global Market Insights odhadla, že v roce 2023 by trh s grafenem mohl dosáhnout hodnoty až 57,8 miliard USD. Meanwhile Market Research Future předpovídá dosažení 811 mil USD v roce 2023. Další marketingová společnost Grand View Research ve své zprávě z ledna 2019 očekává nárůst trhu s grafenem do roku 2025 na 552,3 mil

USD. Zatímco marketingové firmy uvádějí různé odhady budoucí tržní hodnoty trhu s grafenem, je jisté, že tento unikátní NM má velkou budoucnost díky překonání hlavní překážky, a to zvládnutí velkotonážní průmyslové výroby. Právě strategické propojování výzkumných organizací, investorů ve výrobě grafenu a rozhodujících aplikátorů tohoto nanomateriálu jsou rozhodující cestou k industrializaci grafenu a získávání konkurenčních výhod.

Některé výzkumné práce poukazují na možnosti sulfidu molybdeničitého (minerál molybdenit) coby základ tranzistorů příští generace. Ten by údajně mohl konkurovat jak křemíku, tak i grafenu. Tranzistory z molybdenitu by oproti těm současným mohly být menší a energeticky úspornější. Molybdenit totiž může snadno fungovat i jako prakticky dvourozměrná struktura. Účinnost pohybu elektronů v 0,65 nm vrstvě je stejná jako v křemíkovém plátku tlustém 2 nm. U křemíku dnes navíc nemáme technologie, jak tloušťku dále snižovat, naopak molybdenit funguje i v monomolekulární vrstvě. Oproti grafenu má mít velikost vodivostního pásu zase jiné výhody, tranzistory z molybdenitu mají být méně chybové. A kromě tranzistorů by se molybdenit mohl uplatnit i v diodách LED nebo ve fotovoltaických článcích.

Globálně stojí VaV před řešením celé řady problémů se zaváděním nanotechnologií a NM. Především již zmíněné složité otázky bezpečné výroby a aplikace NM, ale také v rozvoji ekonomických průmyslových metod výroby NM, jejich efektivních aplikací (např. přípravy stabilních disperzí NM nebo materiálů pro aditivní výrobu a 3D tisk). NM mohou být připraveny prostřednictvím širokého spektra různých cest. Výsledné materiály mohou mít značně rozdílné vlastnosti, v závislosti na zvoleném postupu jejich výroby. Podrobně je problematika přípravy NM diskutována v III. SVA z roku 2017. V popředí zájmu vývojářů dnes stojí takové metody jako procesy „Form-in-place“ a procesy v plynné fázi (např. Chemical Vapour Dekomposition technologie, plamenová pyrolýza, elektro-expozice, laserové ablace, napařování za vysoké teploty a syntézy plazmové techniky).

Výroba fullerenu a uhlíkových nanotrubiček je specifická podskupina syntézy v plynné fázi. Všechny postupy v podstatě zahrnují kontrolovaný růst nanotrubičky na částice katalyzátoru při krakování plynů bohatých na uhlík, jako je metan, acetylen. Pro dosažení požadované vysoké čistoty NM 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 NM.

Významnou výzvou pro chemický výzkum jsou v poslední době rychle se rozvíjející metody aditivní výroby a implementace 3 D nano a mikro tisku. Jedná se zejména o vývoj inovativních surovin pro 3D tisk. Tyto inovace se týkají především molekulárních syntéz a nových procesů pro transformaci hmoty.

Nm a nanotechnologie přispějí k rozvoji nových typů baterií (viz kapitola 3.5.2.), kde díky rozvoji nanotechnologií bude možné např. nahradit uhlík za křemík. Čistý křemík totiž dosahuje energetické hustoty až 4 200 mAh na gram, což by mohlo vést teoreticky k dosažení až desetinásobné kapacity Li-Ion baterií. Chemickou nesnášenlivost křemíku s ionty lithia se podařilo norským vědcům vyřešit tak, že uhlíkové anody opatřili nanodrátky křemíku. Výsledky ukazují možnost až pětinasobného zvýšení kapacity Li-ion baterií při zachování odolnosti proti opotřebení během nabíjecích cyklů.

Pochopení nano-architektury a její úlohy při řízení funkčních výkonů zůstává hlavní výzvou pro výzkum katalytických NM. (viz kap. 3.5.9.). Mezi úkoly VaV v segmentu katalyzátorů využívajících nanotechnologie patří např. vývoj funkčních nano-architektur a nanočástic v katalyzátorech, struktury jádra-pláště, duté kuličky nebo vývoj molekulových katalyzátorů.

S pomocí nanotechnologií odborníci řeší další celospolečensky závažný problém – narůstající odolnost bakterií a virů vůči antibiotikům.

Další výzvu v segmentu nanotechnologií představuje vývoj cenově výhodných průmyslových technologií pro syntézu plniv a technologií pro jejich dispergaci (např. nano oxidy, nano

keramika, nanodisperze, hybridní nano prášky) a rozvoj technologií NM pro náhradu kritických surovin (např. aplikacemi TiN nebo využití uhlíkových nano trubiček a grafenu).

Velký prostor bude věnován výzkumu a vývoji v oblasti tzv. „extrémní nanotechnologie“, která zahrnuje manipulaci s atomy a molekulami. Jde o samo replikující se a samo sestavující se systémy, které mohou mít uplatnění zejména v elektronice nebo lékařství. Ve střednědobém horizontu se bude jednat o vývoj syntéz tzv. „hostujících“ nano částic pro nanomedicinu, pro výrobu pokročilých čidel pro monitorování životního prostředí, pro zvýšení účinnosti solárních článků

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 výroby a aplikace NM. Řešení otázek rizik spojených s aplikací NM dlouhodobě pokulhává za samotným vývojem nanotechnologií. Posouzení možných rizik musí předcházet studium unikátních vlastností NM a jejich možné toxicity, zejména mechanismů této toxicity. Je třeba identifikovat klíčové fyzikálně chemické vlastnosti NM, které určují jejich biologické účinky, tj. jejich transport buněčnými stěnami a interakce s DNA, RNA, proteiny a lipidy.

Situace v ČR

Někteří naši politici rádi používají slogan „Česko je nano“. V oblasti nanotechnologií patří Česká republika v některých segmentech k světové špičce a výsledky těchto inovací se nám daří převádět do praxe, do konkrétních produktů, které se úspěšně uplatňují na trhu. Řada výzkumných projektů uváděná v dřívějších verzích SVA je dnes již ve fázi zavedení výroby a rozvoje aplikací jako např. nanovlákná, povrchy čistící vzduch, materiály pro čištění podzemních vod, filtry s nano vláknennou membránou, textilní materiály s antialergickou úpravou, nulmocné železo, nano ZnO, nano TiO₂, nano optika měnící podobu světelných zdrojů, sanitární a autokosmetika a další. Za velmi úspěšný projekt je považována technologie Nanospider pro průmyslovou výrobu nanovláknenných textilií vyvinutou TU Liberec ve spolupráci se soukromou firmou ELMARCO. Technologie Nanospider je založena na principu zvláknování v silném elektrickém poli. (elektrospinning). Rozvoj výroby nanovláknitých textilií současně přispívá k jejich dalším aplikacím. Nanofiltry pardubické firmy Pardam nahrazují dnes používané celulózové desky, oproti kterým nezanechávají pachů a lze je použít opakovaně. České nanotechnologie v lůžkovinách s nanovláknennou bariérou pomáhají alergikům.

Nemalé ambice jsou vkládány do zavedení výroby 3D lithium-iontových baterií nové generace firmou HE3DA v Horní Suché u Havířova. Tento projekt je financován z privátních zdrojů. Český patent 3D nanobaterie firmy H3DA má potenciál přispět k řešení problému s uskladňováním energie z obnovitelných zdrojů.

Poměrně rychle se rozvíjí aplikace 3D tisku (např. pro různé implantáty pro zdravotnictví).

Komerčně je úspěšná i technologie hybridní asymetrické selektivní membránové separace z Výzkumného technologického institutu s.r.o. Praha. Revoluční česká nanooptika firmy IQ Structures mění zavedené principy osvětlení díky nanotechnologii. Do rozměru jedné klasické čočky o velikosti 1 cm dokázali vměstnat 1000 i více malých nanočoček, které dodávají funkce klasickou optikou nedosažitelné – jsou ploché, lehké, malé, ale především precizní a velmi přizpůsobivé.

Pro rozvoj výroby NM v ČR je významnou příležitostí Národní RIS3 strategie, zejména na takové obory jako je výroba dopravních prostředků, elektronika, energetika, péče o zdraví lidí. Přes 250 subjektů veřejného a soukromého sektoru se v ČR zabývá nanotechnologiemi. A zájem o tento průřezový obor budoucnosti stále stoupá, zvláště mezi firmami. Vidí v něm šanci, jak se vzdálit konkurenci a pouštět se do průmyslového využití nanotechnologií, zejména do

výroby NM. Nejvíce konkrétních výzkumných úkolů se podařilo dovést do praxe právě v chemickém průmyslu. Řada těchto projektů je úspěšně prezentována i v zahraničí (např. v USA, Anglii, Německu, Rakousku a jinde). Obor nanotechnologií je v současnosti ve fázi, kdy malé a střední firmy s velkým inovačním potenciálem a dynamikou růstu nemají dostatečné zdroje na profinancování rozvojových projektů. Proto je tak důležité využívat např. granty na předaplikační vývoj, vytvoření Národního inovačního fondu, vytvořit podmínky pro větší podporu podnikatelského sektoru rizikovým kapitálem a cíleně orientovaných investičních pobídek. Z Evropských strukturálních a investičních fondů lze finančně podpořit budování mostu mezi excelentním výzkumem a případným transferem technologií. Vědci mají tak možnost své výzkumy dopracovat, ověřit, zda jsou vhodné pro komerční uplatnění, a také správně nastavit jejich právní ochranu ve vztahu k podmínkám budoucí licence či jiného způsobu přenosu do praxe. Průmyslovým aplikacím napomáhají i vědecko-technologické parky, kde potom mohou vznikat firmy, které mohou spolupracovat s vědeckými centry a využívat jejich unikátní techniku a znalosti.

V ČR byla vybudována poměrně členitá struktura různých výzkumných organizací, které se zabývají multidisciplinárními aspekty nanotechnologií. Nanotechnologickou mapu ČR v posledních 5 letech rozšířilo nejméně 8 regionálních výzkumných center, které se ve větší či menší míře zabývají aplikovaným výzkumem nanotechnologií. Jejich vznik byl podpořen ze strukturálních fondů EU a státního rozpočtu ČR úhrnnou částkou 170 milionů EUR. Převážně základní nanotechnologický výzkum probíhá též v šesti velkých výzkumných Centrech excellence vybudovaných nákladem 840 milionů EUR z fondů EU a ČR v Dolních Břežanech, Brně, Řeži u Prahy, Ostravě a ve Vestci u Prahy. Mezi významná vědecká centra zabývajících se nanotechnologiemi patří Středoevropský technologický institut (CEITEC) se sídlem v Brně, Centrum pro inovace v oboru nanomateriálů a nanotechnologií, Ústav fyzikální chemie J. Heyrovského AV ČR, Centrum pro nanomateriály, pokročilé technologie a inovace, Technická univerzita Liberec, Regionální VaV centrum pro nízkonákladové plazmové a nanotechnologické povrchové úpravy, Masarykova univerzita Brno, Regionální centrum pokročilých technologií a materiálů (RCPTM), UP Olomouc, Centrum pro vývoj a aplikace nanokompozitů na bázi grafenu, Ústav anorganické chemie AV ČR, Centrum nanotechnologií VŠB – TU Ostrava a další.

Tato moderní vědecká centra jsou dnes vybavena špičkovou technikou (např. nejvýkonnější laser v Centru Eli Beamlines v Dolních Břežanech, superpočítač Salomon v Ostravě, skenovací elektronový mikroskop s vysokým rozlišením s fokusovaným iontovým svazkem, který umožní detailně studovat vnitřní strukturu materiálů v RCPTM UP Olomouc). Na práci těchto center se podílejí i zahraniční odborníci a některé výzkumné práce jsou součástí významných evropských projektů.

Na dlouhodobou výzkumnou spolupráci akademické sféry s průmyslovými firmami v nanotechnologiích je zaměřeno rovněž 10 tzv. Center kompetence podpořených Technologickou agenturou ČR. Jedno z těchto center se zabývá využitím šetrných nanotechnologií a biotechnologií pro čištění vod a půd, další vývojem a aplikacemi nanokompozitů na bázi 3D tisku grafenu nebo výzkumem povrchových úprav. V Olomouci se postupně buduje přední evropské mikroskopické centrum za účasti odborníků nejen z tuzemska, ale i z USA, Hongkongu nebo Itálie. Projekt „Nanotechnologie pro budoucnost“ předpokládá zapojení 12 nových špičkových vědců ze zahraničí. Získané finanční prostředky mají být také sloužit k výraznému posílení mobility a zahraniční spolupráce.

Vedle klasických akademických organizací se vývojem nanotechnologií zabývají další pracoviště.

Můžeme uvést Výzkumný ústav syntetických pryskyřic a.s. Pardubice (např. Multifunctional Polymer Composites Doped with Novel 2 D Nanoparticles for Advanced Applications), Advanced Materials-JTT s.r.o. (aplikace fotokatalyzátorů) a další. Další výzkumná pracoviště

mají i někteří výrobci NM jako Precheza a.s. Přerov, Bochemie a.s. Bohumín, Synthomer a.s. Sokolov (výzkum možností zabudování nanočástic do polymerů), které spolupracují s akademickými centry na vývoji výroby a aplikací konkrétních NM.

Čeští vědci řeší řadu vědeckých otázek související se zcela unikátním NM – grafenem a jeho deriváty. Popsali využití grafenu k vývoji prvních nekovových 2 D magnetů nebo nejmenších částic magnetických kovů. Našli nový revoluční způsob pro řízení elektronických a magnetických vlastností molekul. Možnost opakovaně měnit elektronickou strukturu molekul a jejich magnetické vlastnosti zajímá vědce posledních několik desetiletí díky velkému aplikačnímu potenciálu. Takové přepínání z jednoho magnetického stavu do druhého je s ohledem na malou velikost molekul velmi obtížné, ale zároveň velmi důležité pro vývoj budoucích molekulárních počítačů.

Chemicky upravený grafen by mohl sloužit k vývoji nových optických senzorů, fotoluminiscenčních materiálů, katalyzátorů nebo léčiv. Byla popsána řada dalších možných aplikací grafenu a jeho derivátů. Např. nový uhlíkový materiál využitelný pro výrobu superkondenzátorů pro ukládání elektrické energie, který vznikl z fluorografenu, na jehož dvourozměrný skelet připojili chemickou spojkou molekulu ftalocyaninu. Připravený grafenový derivát má navíc výbornou stabilitu, dobrou vodivost a jeho kapacita neklesá ani po vysokém množství nabíjecích cyklů. Jako elektrolyt slouží bezpečný siran sodný.

Co však chybí je potenciální velký investor, který by realizoval v ČR výrobu grafenu, a tak odstartoval praktické možnosti využití výše popsaných aplikací.

Vedle nanotechnologických výzkumných kapacit v ČR přibývá i firem, které v nanotechnologiích vidí zajímavou podnikatelskou šanci. Počet subjektů zabývajících se v ČR výzkumem, vývojem nanotechnologií a výrobou konkrétních nano aplikací se za posledních 7 let ztrojnásobil. Největší dynamika je přitom patrná mezi malými a středními firmami. Mnohé z nich mají nanotechnologie součástí core businessu. Jedná se například o nano vlákenné filtry a membrány, antialergické lůžkoviny, funkční nátěry, oblečení s hydrofobním povrchem, čističky vody s nanotechnologiemi, nano vlákenné struktury pro regenerativní medicínu a další. Také se dokáže pomocí 3D nanotiskárny postavit jemný skelet pro vytváření náhradních lidských orgánů.

Již dnes existují v tomto segmentu v ČR výrobní závody nebo výrobní poloprovozy, např. Nano Iron (nano železo), CS Cabot (saze), Precheza (výrobní poloprovoz nano TiO₂ a výrobní závod v Číně), Bochemie (nano ZnO).

Využití nanotechnologií a nanomateriálů je velmi rozsáhlé, již v současnosti nacházejí uplatnění v mnoha tradičních oborech v ČR, jako jsou výroba nátěrových hmot, kosmetika, gumárenský a plastikářský průmysl, fotovoltaika, zdravotnictví, textilní průmysl, strojírenství, automobilový průmysl, stavebnictví, elektronika, ochrana životního prostředí, chemický průmysl, elektrotechnický průmysl, optický průmysl, potravinářství, výroba obalů a další.

V souladu s nastupující další technologickou revolucí byly identifikovány čtyři perspektivní směry budoucího rozvoje nanotechnologií: senzorika, chytré materiály, generování a uskladňování energie a zpracování velkých objemů dat. Další výzkum se soustředí na nadějně aplikace grafenu a jeho derivátů např. v environmentální oblasti, elektronice a strojírenství, ale také ve stavebnictví (nový pevnější a odolnější beton). Určité naděje se dávají využití dusíkem dopovaného grafen oxidu a sulfidu niklu pro přípravu kompozitního elektrokatalyzátoru pro elektrochemické štěpení vody. Žádoucí výzkumnou oblastí jsou multifunkční nanohybridní materiály, nanokompozity a senzory.

Vždy je potřebná úzká spolupráce s koncovým uživatelem NM.

Prioritní výzkumná témata

- rozvoj aplikací nano ZnO v gumárenském průmyslu, v kosmetice, výrobě nátěrových hmot a plastů;
- vývoj nanomateriálů na bázi levných fotokatalyticky aktivních oxidů kovů;
- lepší syntetické metody k vytvoření a řízení morfologie částic;
- zvýšit výkonnost a životnost funkčních nanopovlaků;
- vývoj velkokapacitní průmyslové výroby grafenu;
- dvoudimenzionální chemie směrem ke grafenovým derivátům;
- výzkumu nanočástic oxidů kovů pro katalytické, magnetické a biomedicínské aplikace;
- kompozitní nanomateriály na bázi grafenu s jedinečnými vlastnostmi pro environmentální aplikace;
- vývoj transparentních nanohybridních systémů s mimořádnou odolností proti UV záření a extrémním teplotám;
- vývoj uhlíkové nano struktury pro senzorové aplikace;
- vývoj magnetických nano struktur pro aplikace v oblastech technologických, medicínských a environmentálních;
- vývoj kompozitního materiálu jako konkurenceschopnou alternativu k doposud používaným a drahým komerčním oxidům na bázi vzácných kovů;
- výzkum optických kvantových a nelineárních jevů a kvantové informatiky, výzkum nestandardních detekčních systémů na bázi optiky s citlivostí na jednotlivé fotony, speciálních mikro/nano optických povrchů a tomu odpovídajících optických technologií a měřicích metod;
- vývoj nových metod funkcionalizace a chemické modifikace grafenu, experimentální popis interakce grafenu s kovy a rozpouštědly;
- výzkum fluorescenčních uhlíkových kvantových teček a jejich aplikace pro značení buněk a studium porézních uhlíkových nanostruktur pro environmentální a katalytické aplikace;
- nové komplexní sloučeniny přechodných prvků, vývoj nových typů biologicky aktivních sloučenin s medicínským aplikačním potenciálem (biologicky aktivní komplexy a molekulární magnety);
- vývoj nové třídy vícesložkových hybridních systémů složených z centrálního materiálu, (obvykle polovodičů oxidů kovů jako TiO_2 , $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$, ZnO , WO_3 , BiVO_4 atd.) a materiálu na bázi uhlíku s řízeným tvarem a rozměrem (např. 1D-nanotrubičky, 2D ultratenké filmy, 3D rozvětvené nano architektury atd.), které budou pracovat jako vysoce fotokatalyticky a elektrokatalyticky aktivní materiály pro široké portfolio energetických a environmentálních aplikací včetně přímého rozkladu vody, fotokatalýzy, elektrokatalýzy, solárních článků atd.;
- vývoj multifunkčních polymerních kompozitů dopovaných 2D nanočásticemi pro pokročilé aplikace;
- vývoj nové generace funkčně modifikovaných vrstevnatých nanočástic s lepší manipulací a zpracováním v polymerní matici;
- standardizace různých postupů souvisejících s charakterizací a využitím nanočástic;
- bezpečnostní hlediska aplikací založených na nanotechnologiích a podpora regulačních opatření;

3.5. Pokročilé materiály a technologie

Pokročilé materiály spolu s nanotechnologiemi, biotechnologiemi a moderními procesy a aparáty patří mezi základní pilíře Průmysl 4.0. Pokročilé materiály by měly mít lepší užitné vlastnosti, měly by být lehčí, větší životnost, levnější a měly by být snadno recyklovatelné. Patří sem i materiály, které slouží jako ochranné povlaky proti různým vlivům nebo materiály, které mají „inteligentní funkce“. Technologie jejich přípravy by měly být méně energeticky náročné, s minimálními odpady a dopadem na životní prostředí. Pokročilé materiály a technologie byly identifikovány v Národní RIS3 strategii jako klíčové znalostní domény. Cílem výzkumu v oblasti pokročilých materiálů je porozumět vztahům mezi složením a mikrostrukturou materiálů a jeho technickými vlastnostmi, tj. jak mikrostruktura ovlivňuje chování.

3.5.1. Materiály pro aditivní výrobu a 3D tisk

Aditivní výroba (AM) je proces tvorby třídimenzionálních pevných objektů z digitálního souboru pokládáním souvislých vrstev materiálů, dokud není celý projekt dokončen. Obvykle se proces realizuje na vhodné 3D tiskárně. Promyšlené a důsledné zavádění této technologie v rámci Průmyslu 4.0 může znamenat klíčový rozdíl mezi úspěchem a neúspěchem na trhu. AM pomáhá zhmotnit dobrý nápad, navrhnout optimální výrobek, přizpůsobit jej na míru zákazníkům, uvést jej dříve na trh, přináší významné úspory nákladů, minimalizuje odpady. AM mění dosavadní fungování dodavatelských řetězců, rozvíjí zakázkovou výrobu a přeměňuje celá průmyslová odvětví. Při jejím správném uchopení s ohledem na design výrobků se 3D tisk se postupně stává produktivním také v sériové výrobě.

Vzhledem k rychlému rozvoji AM musejí výrobci materiálů pro 3D tisk reagovat na rostoucí poptávku. Marketingové studie, zveřejněná společností Allied Market Research, předpovídá, že globální trh materiálů pro 3D tisk dosáhne 1871 milionů USD do roku 2022, přičemž v období 2016-2022 předpokládají CAGR ve výši 18,3 %. Velikost trhu s těmito materiály v roce 2030 je odhadována firmou IDTechEx dokonce až na 16 miliard USD. Očekává se, že segment polymerů zůstane největším zdrojem příjmů, USA si zachovají vedoucí pozici. Segment kovů během tohoto období však zaznamená nejvyšší CAGR o 24,4 % v důsledku rostoucího proniknutí do průmyslových odvětví, jako jsou letecký a kosmický průmysl. Podle zprávy fy McKinsey' trh s polymery a chemikáliemi používanými v AM roste až o 30 % ročně a vzroste z 0,7 miliard USD v roce 2015 až na 2,5 miliard USD v roce 2020. Předpokládají, že trh upřednostní používání na míru připravených polymerů a chemikálií pro různé systémy AM, které by mohly otevřít nové inovace a obchodní příležitosti pro společnosti vyrábějící fotopolymery, vysoce výkonné termoplasty a další chemikálie používané v těchto procesech.

Hlavními tahouny růstu bude letecký a automobilový průmysl, zbrojní průmysl, spotřebitelské produkty a zdravotnictví. Trh 3D tiskových materiálů je stále ve vývojové fázi. Všichni hráči v oboru investují nesmírně do hledání nových obchodních cest pro své produktové segmenty prostřednictvím strategického partnerství a spolupráce. Některé z hlavních faktorů, které pohánějí poptávku po 3D tiskových materiálech, zahrnují vypršení klíčových patentů pro 3D tiskárny, dostupnost levnějších 3D tiskáren, snadnost vývoje prototypů, výroba jader a forem a snížená složitost při výrobě výrobků nebo částí. Mezi roky 2015 a 2017 vzrostlo využití 3D tisku v oblastech výzkumu a vývoje o téměř dvě třetiny, při samotné navrhování o více než polovinu. Faktory, jako je toxicita pro člověka, flóru a faunu, spolu s vysokými náklady na materiály budou bránit růstu trhu.

Technologie 3D tisku patří k důležitým nástrojům pro získání či udržení konkurenceschopnosti v řadě odvětví. 3D tisk je jedním z nejrychleji rostoucím segmentem výrobních technologií, už několik let roste dvojčíferným tempem. Podle zprávy společnosti Wohlers rostly v roce 2017

celosvětové tržby 3D tisku o 21 procent, tiskáren pro kovový tisk se prodalo o 80 procent víc než v roce 2016.

Vývoj technologií AM prošel od první stereolitografie v roce 1986 bouřlivým vývojem a zdaleka ještě nebyl dokončen. Existuje asi 20 různých procesů, které mají jednu společnou vlastnost – vrstevnaté pokládání tiskárnou. Mezi ně patří Selective Laser Sintering, Direct Metal Laser Sintering, SHS – Selective Heat Sintering Binder Jetting, Multi Jet Printing, Electronic Beam Melting, Fused Deposition Modeling, Fused Filament Fabrication, Digital Light Processing, Selective Laser Melting, Layered Powder Metallurgy, DMLS – Direct Metal Laser Sintering, POLYJET MATRIX, Multi Jet Fusion a další.

Každá technologie byla vyvinuta společně se specifickým typem 3D tiskárny a vyžaduje různé formy materiálů pro tisk. Se správnou tiskárnou může být 3D vytištěno vše, co lze navrhnout v CAD systému. Dokonce je možné vyrábět součásti s použitím několika různých materiálů. Výběr technologie a používaných materiálů se řídí požadavky na finální výrobek. Například selektivní tavení laserem (Selective Laser Melting), tavení elektronovým paprskem (Electron Beam Melting) lze použít k vytváření 3D tištěných kovových předmětů pro nekritické letecké aplikace, ortopedické implantáty, klenoty a kritické letecké části, jako jsou palivové trysky. Inkoustové tryskové fotopolymery (Ink-jetting of photopolymers) se používají k výrobě prototypů, rekvizit pro filmový průmysl, bot a modelů pro lékařská studia. Selektivní laserové slinování termoplastových prášků (Selective Laser Sintering of Thermoplastic Powders) se používá k výrobě nekritických částí pro letecký průmysl, ortopedických implantátů, několik komponent pro družici KySat-2, dekorativní kryty, pro konstrukční podložky a boty. Multi Jet Fusion umožňuje dosáhnout nových úrovní kvality dílů při průlomové rychlosti tisku. Díly vytištěné z polyamidu mají vysokou pevnost a přesnost.

Některé technologie vyžadují finální úpravu tištěného výrobku. Např. odstranění povrchových poruch nebo leštění povrchu. Pak se jedná vlastně o hybridní technologii používající jak aditivní, tak subtraktivní procesy.

V souvislosti s Průmyslem 4.0 se hovoří o nové technologii aditivní výroby tzv. 4D tisku, která umožní tisknout 3D materiály schopné měnit svoji strukturu v průběhu času. Pod pojmem 4D tisk se myslí zhotovení 3D produktu, který se později může měnit, přetvářet. Čtvrtou dimenzí je tedy čas, zatímco produkt sám o sobě se zhotoví na běžných 3D tiskárnách. Rozdíl je vlastně jenom v materiálech použitých pro tisk – zatímco běžný materiál po 3D tisku nemění svůj tvar, materiál pro 4D tisk je „předprogramován“ pro určité změny, které nastanou později působením určitého stimulu. Příkladem je například materiál, který v reakci na teplotu deformuje tvar produktu. Další publikované příklady vývoje popisují změnu struktury v reakci na vodu, tlak, teplotu, gravitaci nebo vzduch.

S tím, jak se 4D tisk přenáší z vývoje do praxe, vývojáři se zaměřují na zhotovení struktur, které se změny definovaným způsobem v reakci na určitý podnět. Podle studie publikované v časopisu Nature Materials by hlavním využitím 4D tisku mohlo být v tkáňovém inženýrství, další uvádějí umožnění výroby elektronických součástí na plastové folii s organickými tenkovrstvými tranzistory, zhotovených z vodivých polymerů. Není pochyb, že technologie 4D tisku přinese významné změny ve způsobu, jakým jsou produkty navrženy při využití klasických výrobních technik. Tak například při skladování a přepravě bude možné mít výrobky v plochém tvaru, zatímco teprve aktivováním stimulu se v místě určení změny ve skutečné 3D předměty. Ušetří se místo i náklady na přepravu. I když je vývoj této technologie v počáteční fázi může chemický průmysl používat programovatelné materiály pro vytváření nových produktů pro zákazníky v odvětví leteckého a kosmického průmyslu, automobilového průmyslu, stavebnictví a zdravotnictví. Podle analytiků společnosti Grandview Research se odhaduje, že celosvětový trh s 4D tiskem dosáhne 64,5 milionů USD v roce 2019, pak se očekává růst přesahující 33,2 procent do roku 2025.

Technologií, která je zatím v počáteční fázi vývoje je tzv. biotisk. Bioprinting vytváří trojrozměrné struktury ze živých buněk nebo jiných tkání. Dělá se to tak, že buňky odebrané z pacienta a namnožené se nastříkují ve zvláštním gelu na určená místa, kde se uchytí a vytvoří tkáň požadovaného tvaru a vlastností. Zkoumá se možnost vyrobit náhradní srdeční chlopně, cévy, uši, části obličeje i jiné poškozené části těla, aniž by hrozila odmítavá imunitní reakce organismu. 3D biotištěné orgány, především srdce, se stávají užitečné pro lékaře po celém světě. 3D bioprinting je použití aditivních výrobních technik, které kombinují buňky, sloučeniny a biomateriály a vytvářejí struktury používané v medicínském a tkáňovém inženýrství. Na rozdíl od tradičního 3D tisku FDM (Fused Deposition Modeling), který používá vlákno nebo plast, bioprint používá "bioinkoust", což je směs biomateriálů a buněk. Jeho primární využití by bylo zachránit životy milionů pacientů, kteří potřebují náhradní orgán nebo transplantaci. Dosud však nebyl úspěšně připraven kompletní umělý 3D biotištěný orgán.

Rychlý rozvoj 3D tisku jako komerční výrobní technologie akceleruje poptávku po 3D tiskových materiálech. Některé tiskárny pracují s práškovými surovinami, jiné s různými inkousty, další potřebují tzv. filamenty (tiskové struny), často v různých barevných variantách. Nejčastěji se používají různé plastické materiály, zejména akrylonitril butadien styren (ABS), kyselina polylaktová (PLA) a polyamidy jsou hlavními polymery, které se používají jak v komerčních, tak i v obecných aplikacích. ABS a PLA jsou v 3D technologiích využívány v technologii FDM (Fusible Deposition Modeling). Polyamidy se používají v práškové formě v technologii Selective Laser Sintering (SLS). Další používané plasty jsou nylon, PET, HIPS – houževnatý polystyren, různé pryskyřice jako fotopolymery, TPU (termoplastický polyuretan), polyanilin, polypyrrol, fluorované polymery, silikon a další.

Z hlediska budoucího vývoje je rostoucí potřeba kovových materiálů pro AM. Titan je jedním z nejvíce preferovaných kovových prášků používaných v různých odvětvích konečného použití. Dále se používají kovy jako hliník, měď, dále ocel nebo železo. Z dalších materiálů se jedná o keramiku, sklo, písek sádku, papír, uhlík a řadu dalších někdy neobvyklých materiálů jako např. živé buňky. Zvolený materiál významně determinuje výsledné vlastnosti finálního výrobku např. rozměrovou stálost, odolnost teplotě, tvrdost, ale také např. recyklovatelnost.

Každý materiál vyžaduje nastavení specifických parametrů. Špatným nastavením může dojít k poškození nejen výsledného tisku, ale může se poškodit samotná tiskárna. Jedná se zejména o volbu technologie 3D tisku (a tedy typu tiskárny), teplota trysky, teploty podložky, rychlosti tisku, přilnavosti k podložce (potřeba zvýšit adhezi), případně intenzity chlazení atd.

Pro 3D tisk není problém tisknout i v rozměrech nanosvětla. Tradiční způsob navrhování materiálů obvykle vychází z materiálových vlastností na makro úrovni. V uplynulých letech se však objevila pokročilejší vlna konstrukce materiálů, která zahrnuje výrobu materiálů na úrovni nanometrů. Tato nová paradigma v leteckém a automobilovém průmyslu, strojírenství a elektrotechnice umožňuje inženýrům navrhnout novou třídu materiálů, které jsou pevnější, lehčí, pružnější, mají další uživatelsky žádoucí vlastnosti a jsou méně nákladné při výrobě.

V nanoměřítku mohou objekty vykazovat jedinečné optické, tepelné a elektrochemické vlastnosti, které se liší od vlastností sypaného materiálu nebo molekul. Tyto vlastnosti významně závisí na velikosti a tvaru nanostruktur. Existuje široká škála NM, včetně nanočástic uhlíku, nanovláken, nano trubiček, grafenu, kovových a keramických nanočástic a kvantových teček, které se uvažují využít k 3D tisku. Tyto materiály mají jedinečné vlastnosti, které umožňují aplikace v oblastech, jako je snímání, separace, plasmonika, katalýza, nanoelektronika, terapeutika a biologické zobrazování a diagnostika.

Moderní technologie AM používají takové materiály, jako jsou kapalné, pevné a práškové polymery, práškové kovy, keramika. Jednotlivé varianty materiálů jsou tedy omezeny na termoplasty, elastomery, železné kovy (slitiny oceli), neželezné kovy (např. hliník, bronz, Co-Cr a Ti) a některé keramické materiály (například SiO₂, TiO₂). Nové kompozity s jinými

materiály mohou nabídnout větší možnosti rozšíření současných omezení materiálů v aditivní výrobě.

Mikro a nano tiskové techniky našly řadu aplikací v oblasti elektroniky, biotechnologie a syntézy materiálů. Technologie 3D tisku má velký potenciál pro vytvoření nové třídy multifunkčních nanokompozitů.

Přidání kovových nanočástic obecně snižuje teploty slinování, zlepšuje hustotu dílů a snižuje smrštění a deformaci tištěných částí. Kovové nanočástice zabudované do polymerních materiálů mohou rovněž poskytovat lepší elektrickou vodivost ve vyrobených objektech. Začlenění uhlíkových nanotrubiček do tiskových médií nabízí potenciální způsob, jak zlepšit mechanické vlastnosti konečných součástí a zvýšit elektrickou a tepelnou vodivost. Přidání uhlíkových nanotrubiček do „bioscaffold“ může poskytnout vynikající zvýšení proliferace buněk. Přidání polovodičových a keramických nanočástic do tiskového média může vést ke zlepšení mechanických vlastností konečných součástí. Keramické nanočástice mohou být efektivně použity pro inženýrství kostních tkání.

Ve spojení AM a nanotechnologií existuje mnoho příležitostí, ale také významné technické a vědecké výzvy. 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 materiálů.

Uplatnění konceptů 3D tisku na nanotechnologie může přinést řadu výhod – rychlost, přesnost, méně odpadu, ekonomickou životaschopnost. Například tisk trojrozměrných objektů s neuvěřitelně jemnými detaily je již možné pomocí přímé metody laserového tisku nazývané dvoufotonová litografie. Aplikace této nové pokročilé technologie jsou určeny zejména pro mikroelektroniku, pro výrobu čipů, senzorů, speciální úpravu povrchů, výrobu baterií, nové generace solárních článků, palivových článků, OLED a další.

Technologie nano 3D tisku má extrémně širokou škálu možných aplikací: povrchové inženýrství, organická chemie, molekulární biologie, polovodičová fyzika, mikrofabrikace, molekulární inženýrství, nanomedicína, nanoelektronika, biomateriály, výroba energie, spotřební výrobky, může být užitečná i pro nanotechnologické procesy s ekologickými aplikacemi jako je čištění vody. Byly prováděny zkoušky čištění ropných skvrn pomocí nano zařízení. 3D tisk může být jedním ze způsobů, jak urychlit výrobu nanočlánků a zařízení potřebných pro tyto aplikace. Byly publikovány práce o vývoji nanosenzorů pro identifikaci NH_3 nebo NO_2 .

Přestože aditivní procesy jsou na trhu k dispozici již přes tři desetiletí, až v současné době začíná rozšiřování jejich aplikací, včetně nanotechnologií. Jedním z hlavních směrů vývoje je rozšíření doposud omezeného sortimentu materiálů použitelného pro aditivní výroby.

Evropští odborníci se shodli v potřebě vyvíjet následující nové materiály pro 3D tisk:

- plastové nanostruktury jako inteligentní povrchy (např. lotosový efekt);
- polymerní mikrooptiku jako čočky nebo pyramidy;
- hybridní optika pro LED a osvětlení;
- různé polymerní součástky pro MEMS a optická zařízení;
- nové kombinace substrátových inkoustů;
- transparentní vodivé oxidy pro tištěnou keramiku;
- materiály pro tištěnou organickou elektroniku;
- materiály pro laserovou polymeraci;
- materiály pro integrované obvody a pevná paměťová zařízení;
- materiály pro optickou fotoniku integrovanou na Si;
- plazmonická zařízení;
- tisknutelné polovodičové a dielektrické materiály pro tištěnou elektroniku;
- vývoj řady inovativních monokrystalových vodivých inkoustů.

Ve vývoji nových technologií a materiálů, ale i při vlastním procesu 3D tisku hraje klíčovou roli digitalizace a umělá inteligence. Strojové učení a prediktivní modelování, se používá k urychlení objevů těchto nových materiálů. Návrháři jednoduše zadávají požadované vlastnosti do programu a algoritmy předpovídají, které chemické stavební bloky lze kombinovat na mikro úrovni pro vytvoření struktury s požadovanými funkcemi a vlastnostmi. Využívají se poznatky z fyziky a chemie a aplikují je na kvantovou mechaniku. Do algoritmu se zpětně ukládají výsledky vývoje, případné chyby, a tak je tento systém stále chytřejší. Budoucnost umělé inteligence v moderních materiálech, designu a inženýrství je slibná. Bude sloužit jako základní kámen budoucích inovací v téměř každém odvětví. Ale problémy přetrvávají. Hlavní mezi nimi: potřeba školení. Aby se využil plný potenciál umělé inteligence ve vědě o materiálech, inženýři, výzkumní pracovníci a vědci se musí dozvědět o nejmodernějších nástrojích a technologiích, které bezpochyby změní průmysl a možná vytvoří další pozoruhodné materiály. Monitorování a řízení procesů je v současnosti pravděpodobně tou nejdůležitější aplikační oblastí výzkumu AM a v dalších 10 nebo více letech bude hlavním impulzem k inovacím AM. Často se hovoří o možném dopadu AM na chemický průmysl, ale to není jednosměrný vztah. Chemie zlepšuje spoustu 3D technologií tisku, a dokonce připravuje svou budoucnost tím, že umožňuje tzv. 4D tisk. Tyto nové technologie mohou urychlit a zlevnit chemický výzkum. Díky 3D tisku je nyní možné vytvářet spolehlivé a robustní miniaturizované fluidní reaktory jako "mikroplatformy" pro vícestupňové organické chemické syntézy a materiály tištěné za pár hodin s levnými materiály. Tyto mikroreaktory umožňují vytvářet cílovou molekulu pomocí vícestupňové syntézy, stejně jako rozbíjení molekulárních struktur a detekci stavebních bloků pomocí čidel, které by mohly být vloženy během procesu 3D tisku. Mikroreaktory mohou být také použity jako malé prototypy pro simulaci výrobních procesů. Ve srovnání s klasickým laboratorním vybavením nabízí reakční software větší finanční nezávislost a novou příležitost k realizaci chemické syntézy.

Chemický výzkum může přispět k urychlení 3D tisku jednak vývojem nových technik „vkládání molekul a atomů“ do tištěných produktů a také vývojem vhodných akceleratorů procesů tisku. Dynamický rozvoj AM představuje však mnoho výzev pro chemický výzkum, zejména příležitosti vyvinout inovativní suroviny a získat výrobu výrobků s vyšší přidanou hodnotou. Důležitým požadavkem na vhodné materiály pro zdravotnictví je biokompatibilita. Tyto inovace se týkají především molekulárních syntéz a nových procesů pro transformaci hmoty, které vyžadují využití digitalizaci a umělou inteligenci. Existuje i celá řada technologických otázek, které by měly být řešeny, abychom mohli získat tržní 3D tiskové produkty. Jedná se o zavedení kontinuální výroby, zabezpečení reprodukovatelnosti špičkové kvality, začlenění přípravy příslušné nanostruktury do výrobní linky s 3D tiskem. Potřeba vyvinout nové propojovací technologie, které mohou využívat submikronové prvky (zejména pro silné fólie), vývoj alternativy pro submikronovou litografii přizpůsobenou pro velkoplošný flexibilní podklad, vývoj tiskových systémů, které mohou obsahovat nano strukturované materiály jako příze z uhlíkových nano trubiček nebo filtry na bázi nanovláken. Nadějným tématem VaVaI jsou monokrystalové vodivé inkousty, které umožní využívat rychlé a nenákladné technologie inkoustového tisku na řadě flexibilních podkladů a tisknout 3D elektroniku. Grafen je látka, které je věnována mimořádná pozornost i v našich vědeckých a výzkumných centrech. 3D tištěné grafenové aero gelové elektrody pro superkapacitory předčí srovnatelné elektrody vyrobené klasickým postupem.

Nové trendy 3D tisku jsou díky schopnosti připravit tvarově složité produkty konečné podoby na základě trojrozměrného počítačového modelu významným přínosem také v oblasti medicíny. Náhrady tvrdých kostních tkání je nyní díky 3D tisku možné připravit přesně dle fyziologických požadavků pacienta.

Situace v ČR

V ČR byly první průmyslové 3D tiskárny instalovány v polovině devadesátých let brněnskou společností MCAE Systems. Jejich zařízení využívá například Škoda Auto, Tescoma nebo mnozí dodavatelé v automobilovém a leteckém průmyslu. Ve světě získaly dobré jméno 3D tiskárny Prusa, které patří mezi nejoblíbenější osobní tiskárny na světě. Firma Fillamentum je zase ve výrobě strun pro 3D tisk jednou z nejrenomovanějších na světě. Fillamentum se chystá v USA budovat továrnu. Peníze na tuto investici získala díky úspěšnému vstupu na burzu.

V Praze a Ostravě probíhají první instalace inovativní průmyslové 3D tiskárny HP Jet Fusion pro sériovou výrobu plastových dílů a prototypů. Do ČR vstupuje 3D tiskárna firmy HP jen krátce po prvních instalacích v USA, Francii a v Německu a jsme tak vůbec první zemí střední a východní Evropy, kde se 3D tisk uplatňuje v sériové výrobě. Dalším příkladem je brněnské společnosti MSR Engines, která používá technologii HP v sériové výrobě plastových dílů do spalovacích motorů.

Ve společnosti Saar Gummi Czech se zabývají výrobou gumových těsnění pro automobily. Jsou známé aplikace AM při přípravě různých výrobků pro zdravotnictví. Jedná se např. náhrady kolenního kloubu nebo kolagenové implantáty pro záchranu kolenního kloubu. Společnost ING Corporation je průkopníkem ve vývoji a výrobě zakázkových ortotických a protetických zdravotnických pomůcek, společně s firmou Invent Medical Group vyvíjí unikátní kraniální ortézy, které pomáhají správnému vývoji dětských hlaviček. Dosud se tyto ortézy vyráběly manuálně. 3D tisk celý proces nejen zjednoduší a urychlí, ale také zlevní. Podle nedávno provedeného průzkumu více než polovina výrobních společností v Česku využívá technologii 3D tisku nebo ji plánuje využít v příštích pěti letech. Věřící, že jim pomůže snížit náklady, zvýšit konkurenceschopnost a ulehčí výrobu na míru zákazníkům. ČR však zůstává pozadu například oproti sousednímu Německu, kde je 3D tisk v průmyslu už nyní používán v masivnějším měřítku. Technologii 3D tisku aktivně využívají především české společnosti v automobilovém průmyslu a firmy orientující se na výrobu strojů a zařízení.

Mezi akademickými institucemi, které se zabývají výzkumem v oblasti AM, patří Ústav anorganické chemie AV ČR, VUT v Brně, RCPTM v Olomouci, VŠB-TU Ostrava, Ústav pro nanomateriály, pokročilé technologie a inovace Technická univerzita v Liberci, Centrum aplikovaného výzkumu v Dobříši, Technologické centrum AV, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, ČVUT Praha a řada dalších.

Z hlediska zaměření VaVaI lze uvést, že velká pozornost je věnována možnostem využití grafenu a jeho derivátů v různých aplikacích AM jako je příprava vodivého inkoustu nebo výzkum senzorů obsahujících grafen. Tyto senzory by se měly používat například v inteligentních textiliích, měly by hlásit přítomnost plynů v ovzduší. Využívala by se tak další vlastnost grafenu, a to jeho nepropustnost pro plyny. Plánovaná další použití – požární hlásiče, monitorování stavu pacientů.

Probíhá výzkum využití vysoce vodivého materiálu s uhlíkovými nanotrubičkami pro monitorování složení kapalin nebo detekci toxických kapalin. Velmi nadějnou oblastí jsou tzv. tištěné vodivé polymery. V současnosti je používána technika pro ukládání stávajících vodivých polymerů odstředováním.

Další významnou oblastí je vývoj vhodných materiálů pro kostní náhrady připravené 3D tiskem (např. porézní kovové materiály). Chemický výzkum se zabývá celou řadou hybridních organických materiálů a NM, které by mohly sloužit pro AM, vývojem použití Al keramiky, pokročilými plnivy pro výrobu extrudovaných kompozitních profilů a další. Efektivní rozšíření využití AM a 3D tisku k přípravě výzkumných aparatur snižujících náklady a potřebný čas na výzkum je na pořadu dne. TU Liberec se zabývá např. spékáním kovových prášků různými technologiemi AM a využitím skla v těchto technologiích.

Nejrychleji rostoucím trhem je právě kovový 3D tisk, který dokáže vytvořit bez nutnosti svarů či spojů součástky se složitou vnitřní strukturou. Společnost GE Aviation vyvíjí v Praze letadlový motor Catalyst. Stane se jedním z prvních motorů, který bude v reálném provozu používat vytištěné díly z kovu. Celkem 855 původních kovových dílů nahradí 12 dílů z AM. Největším posunem poslední doby je skutečnost, že firmy přicházejí s 3D tiskárnami, které umožňují tisknout kovové díly za dostupnější ceny, než tomu bylo doposud.

Prioritní výzkumná témata

- rozvoj aplikací digitalizace a umělé inteligence při vývoji nových materiálů pro AM;
- vývoj vhodných nanomateriálů pro jednotlivé aplikace 3D tisku;
- příprava tenkých fotokatalytických vrstev TiO₂ pomocí piezoelektrického tisku;
- inovativní tištěný senzor pro detekci přítomnosti těžkých kovů ve vodném prostředí;
- příprava inkoustu s oxidem grafenu;
- příprava vysoce vodivého Ag inkoustu;
- vývoj nano-epoxidových dielektrických inkoustů;
- flexibilní tištěná mikroelektronika s využitím organických a hybridních materiálů;
- syntézy nanomateriálů a samosestavování struktur za použití 3 D tisku;
- tištěné optické chemické senzory;
- implementace pokročilých plniv do výroby extrudovaných kompozitních profilů využívaných progresivními aditivními technologiemi;
- vývoj porézních kovových materiálů pro kostní náhrady připravené 3D tiskem;
- vývoj slinování speciálních ocelí pomocí AM materiálů;

3.5.2. Materiály pro konverzi a skladování energií

Slunce poskytuje zemi dostatek energie, jen je třeba jí efektivně konvertovat a uschovat. Evropská rada schválila cíl ve snížení emisí skleníkových plynů alespoň o 40 % do roku 2030 ve srovnání s rokem 1990, stanovila cíl výroby alespoň 27 % energie z obnovitelných zdrojů a také orientační cíl úspor energie do roku 2030. Hlavním cílem výzkumu a vývoje realizovaného v oblasti energetiky je zajištění rostoucích energetických potřeb při současném snížení ekologické zátěže a zmírnění možných dopadů nových geopolitických rizik. Elektrina se stala centrální komoditou při přechodu na obnovitelné energie s využitím sluneční energie. Tato řešení jsou akcelerována i uvažovaným rozšířením elektromobility, která na druhé straně podle Agentury pro životní prostředí zvýší celosvětovou poptávku po elektřině o 10 % do roku 2050.

Technologie na zachycování slunečního záření a zvyšování účinnosti solárních panelů se neustále vyvíjejí, doposud však zůstává jeden zásadní problém – jak energii skladovat. Energie musí být uložena tak, aby bylo možno uložit nadbytečnou energii a dodat ji do sítě až v případě potřeby. Obnovitelné zdroje energie mají intermitentní charakter, jejich výkon závisí na kolísající intenzitě slunečního záření nebo větru. Tato nerovnoměrnost zvyšuje nesoulad mezi produkcí a spotřebou energie, která je sama o sobě velmi nerovnoměrná v denním, týdenním i ročním cyklu. Dramaticky proto narůstá potřeba skladování energie za účelem vyrovnaní její produkce a spotřeby. Inteligentní sítě jsou klíčovým prvkem v budoucí energetické infrastruktuře a budou tvořit páteř budoucího nízkouhlíkového energetického systému.

Obrovskou výhodou fosilních paliv, která jsou jistou formou skladování sluneční energie, je jejich velká energetická hustota. Konverzí elektrické energie na chemickou energii umožňuje flexibilnější využívání energie v různých aplikacích (doprava, obytné budovy, průmysl atd.). Fotovoltaika patří k nejperspektivnějším zdrojům energie a očekává se, že během relativně krátké doby budou solární panely vyrábět až desetinu celosvětové spotřeby energie.

Podle nejnovější studie Global Market Outlook For Solar Power (2018–2022) by za optimálních podmínek mohla světová kapacita solárních elektráren dosáhnout 1 270,5 GW, pravděpodobněji 1 026,2 GW. Navzdory pozoruhodnému tempu růstu v posledních letech je stále ještě dlouhá cesta pro levnou solární a obnovitelnou energii – celkový podíl obnovitelných zdrojů energie dosáhl v roce 2017 12,1 % celkového světového výkonu. Podle Allied Market Research globální průmysl se solární energií dosáhne 422 miliard USD v roce 2022, což představuje v porovnání s 86 miliardami USD v roce 2015 CAGR 24,2 %.

Vývoj zařízení na přeměnu a ukládání energie je v popředí výzkumu zaměřeného na udržitelnou budoucnost. Existuje však mnoho problémů, které brání rozsáhlému využívání těchto technologií, včetně nákladů, výkonu a trvanlivosti. Tato omezení mohou být přímo spojena s použitými materiály. Očekává se, že vývoj a výroba nano strukturovaných hybridních materiálů poskytne průlom pro rozvoj těchto technologií. V popředí zájmů VaVaI jsou nano strukturní keramika, keramicko-uhlíkové kompozity, keramicko-uhlík-kovové kompozity a kovy se speciální morfologií.

Vzhledem k mimořádnému zájmu o obnovitelné zdroje, VaVaI na celém světě vyhledává technologie pro ukládání velkých množství energie. Grafen a nano kompozitní hybridy jsou považovány za vynikající kandidáty na zlepšení výkonu elektrodových materiálů v zařízeních pro ukládání a konverzi energie vzhledem k jejich vlastnostem. Grafen má jedinečné vlastnosti pro použití v bateriích a superkapacitorech, jako je vysoký specifický povrch (2630 m²/g), dobrá chemická stabilita a vynikající elektrickou vodivost. A proto je mu předvídána mimořádná budoucnost pro skladování energie. Řada společností vyvíjí aplikace grafenu jako potencionální náhradu grafitových elektrod v bateriích, superkondenzátorech a palivových článcích.

Je třeba věnovat pozornost také budoucí likvidaci modulů, jejichž články obsahují sloučeniny kovů kadmia, telluru nebo selenu, případně dalších. Při výrobě solárních komponentů z těchto kovových sloučenin se používá také fluorid dusitý (NF₃), který je 17 000krát účinnější při oteplování atmosféry než CO₂ se stejnou hmotností. V posledních letech se ročně jeho množství v atmosféře zvyšuje o 11 %.

Technickými aspekty níže uvedených skupin výrobků a technologií jsme se zabývali v III. SVA z roku 2017. Nyní se zabýváme především technicko obchodními aspekty a cestami naplnění vytýčených hlavních cílů. To jsou důležité faktory pro alokaci veřejných a privátních prostředků do vývoje a eventuální realizace investic.

3.5.3 Solární články

Již dnes se na světový trh dodávají fotovoltaické články nejrůznějších provedení: monokrystalické křemíkové (vyšší účinnost, ale také dražší), polykrystalické křemíkové panely, amorfní panely (tenká křemíková vrstva napařovaná na sklo nebo fólii), ale také novější varianty jako jsou tenkovrstvé solární články CGIS (pevný kompozitní polovodičový materiál složený z mědi, india, galia a selenu), Cd-Te (kadmium-telurid) tenkovrstvé křemíkové panely, organické solární články (články s využitím TiO₂ a metalo-organické senzibilizace).

Poměrně novou alternativou jsou solární tašky nazývané též fotovoltaické tašky, popř. šindele. Ty mají solární panely navrženy tak, aby vypadaly a fungovaly jako běžné střešní materiály a zároveň vyráběly elektřinu. Používá se buď tenkovrstvé technologie (např. CIGS) nebo standardní monokrystalické nebo polykrystalické křemíkové solární články. Instalace těchto tašek je snazší než instalace tradičních panelů, protože nevyžadují umístění krokví. Nevýhoda tašek je prozatím nižší výkon oproti solárním panelům. Tašky dosahují momentálně výjimečně nominálního výkonu lehce přes 200 Wp, zatímco solární panely přesahují již 300 Wp. Solární

tašky proto čeká nejspíš ještě dlouhý vývoj za vyšší efektivitou. Přesto se očekává růst trhu se solárními taškami z 5 miliard USD v roce 2015 na 10 miliard dolarů USD v roce 2020.

Podle studie společnosti Global Market Insights globální trh solárních článků dosáhne do roku 2024 hodnoty 100 miliard USD. Podle Solar Power Europe Instalovaná kapacita Cd – Te tenkovrstvených článků byla v roce 2015 téměř 8 GW a jejich tržní hodnota má do roku 2024 vzrůst na 20 miliard USD. Technologie ultra tenkých filmových fotovoltaiických článků dosáhla v roce 2015 téměř 3 miliony USD a do roku 2024 by jejich objem měl vzrůst o více než 30 %. Současně upozorňují na mimořádně rychlý růst v roce 2017, kdy bylo instalováno téměř tolik solárních panelů za rok, jako byla jejich globální kapacita v roce 2012 - 100,9 GW. V roce 2007 byla instalovaná kapacita solárních panelů 9,2 GW, v roce 2015 200 GW, v roce 2016 306 GW a v roce 2017 dosáhla 404,5 GW.

Situaci na trhu významně ovlivnila cenová politika hlavních hráčů. Zatímco EU stimulována podporou poptávky prostřednictvím garantovaných výkupních cen elektřiny ze solárních elektráren napříč kontinentem, Čína se rozhodla dotovat přímo výrobu panelů a tím zcela ovládla tento trh. Kvůli propadu ceny solárních panelů o téměř 30 %, který byl způsoben zejména poklesem poptávky po solárních panelech v Číně, řada výrobců v Americe a Evropě doplácí na přesycený trh se solárními panely. V EU se jedná o zavedení cel pro dovoz solárních panelů u Číny.

Každý typ solárního článku má své výhody, ale také nevýhody. Vedle ceny a náročnosti na instalaci, se posuzuje účinnost konverze sluneční energie, životnost, bezpečnost při výrobě a recyklaci solárních článků. Ve svém důsledku jde především o výslednou cenu takto vyrobené elektrické energie.

Monokrystalické a polykrystalické křemíkové články zaznamenaly vysokou poptávku zejména v obytných aplikacích. Předpokládá se, že aplikace teluridu kadmia a amorfních křemíkových článků mají příležitost růstu díky nízkým materiálovým nákladům. Výhodou tenkovrstvých technologií je především nižší výrobní náročnost. Výroba oproti polykrystalické technologii vyžaduje méně času, práce a energie a využívá o 98 % méně polovodičového materiálu.

Solární panely z polykrystalického křemíku mají teoretickou maximální účinnost 29 %. Z důvodů vysokých nákladů mají ovšem sériově vyráběné panely účinnost nižší a tato technologie již naráží na své limity determinované přírodními zákony. Deskové křemíkové články mají relativně dlouhou dobu energetické návratnosti, kterou nelze zkrátit jinak než použitím tenčích desek nebo tenkovrstvých technologií. Křemíkové tenkovrstvé články potřebují cca 100× méně křemíku, a i přes nižší účinnost přeměny dosahují cca 2× kratší doby ekonomické návratnosti. Nicméně jejich nižší účinnost v kombinaci s ostatními náklady je postupně vyřadila z perspektivního trhu.

Doposud se však všechny konstrukce stavěly na křemíku a vlastnostech polovodičového pn přechodu, ať již šlo o monokrystalické, polykrystalické, nebo amorfní křemíkové struktury. I když za celý jejich dlouhý vývoj již bylo v tomto směru dosaženo značného pokroku, prvně jmenované monokrystalické křemíkové solární články sice již dnes dosahují účinnosti až 30 %, ale jsou moc objemné a obtížně aplikovatelné, zatímco velmi ohebné a jen několik setin mm silné články z amorfního křemíku mají právě díky své malé tloušťce jen cca poloviční účinnost. Problémem je náročná výroba a s tím spojená i vysoká cena solárních panelů i vysoká cena jimi vyráběné elektrické energie, kvůli čemuž se jen velmi těžko masově prosazují. Tento problém lze řešit buď výrazným zvýšením účinnosti stávajících křemíkových struktur, dnes často pomocí různých čoček a speciálních vrstev méně odrážející (lépe pohlcující) dopadající záření, nebo použitím úplně jiné a na výrobu méně náročné technologie z jiných levnějších materiálů, které by také poskytovaly velmi dobrou účinnost přeměny světla na elektřinu, ale zároveň by jejich výroba byla velmi jednoduchá a ceny solárních článků tak v řádu několika centů US dolaru.

Vzhledem k nárůstu výdajů na VaVal lze předpokládat, že poroste význam solárních článků tzv. třetí generace. Mezi současné nejperspektivnější technologie pro levné solární články patří:

- tenkovrstvé kompozitní CIGS solární články
- články PERC (s pasivovanou zadní stranou)
- barvivové solární články (nazývané také jako nano solární články)
- solární články s nano krystaly (kvantovými tečkami)
- polymerové (plastové) solární články (s fullereny)
- organické solární panely
- nano solární články ve formě antén nebo věží.

CIGS je pevný kompozitní polovodičový materiál složený z mědi, india, galia a selenu. V případě CIGS solárních článků se nejběžněji používají ve formě polykrystalické tenké vrstvy. Na rozdíl od křemíku, který světlo absorbuje až hluboko v objemu, u CIGS se až 95 % veškerého dopadajícího záření zachytí již v prvním mikrometru materiálu pod povrchem. Strukturu CIGS článků lze provozovat nejen jako hetero přechod společně s dvojevrstvičkou CdS jako n-polovodičem a se ZnO jako elektrodou (katoda) nebo pouze jako komplexní hetero přechod s CIGS polovodičem s přímo na něj nanesenou průhlednou ZnO₂ elektrodou. Takto lze solární články vyrábět jako velmi tenké (jen několik mikrometrů). Obě struktury pak bývají umístěny na podložce ze skla pokrytého molybdenem, z hliníku nebo nerezové oceli, které tvoří anodu. U takto provedených konstrukcí se již povedlo laboratorně dosáhnout účinnost přes 19 %, i když první komerční produkty zatím dosahují „jen“ až 14 %.

Trošku jinou cestou se pak vydala společnost Nanosolar, která CIGS polovodičovou strukturu připravuje ve formě nanočástec jednotlivých jeho komponent implementovaných ve speciálním roztoku (jakémsi inkoustu), který lze snadno nanášet na libovolnou pružnou podložku (papír, metalická fólie) pomocí běžného tisku. Vznikla tak unikátní architektura nanokompozitních solárních článků. V případě použití metalické fólie jako nosné vrstvy (například hliníkové), která zároveň slouží jako elektroda (anoda), celou strukturu již jen stačí doplnit „natištěním“ vrchní transparentní elektrody (katody). Zatímco první pevné podložky se třeba hodí pro solární panely ve formě střešních šindelů, fólie umožňuje vyrobit velmi pružné a několik mm tenké panely, které lze srolovat i do malého průměru.

Také technologie přípravy PERC solárních článků se dále vyvíjí. Vedle technologie jednostranné pasivace vrstvou AlOx metodu plazmatické depozice s chemickým odpařováním, tak firma Risen rozvíjí technologie oboustranné pasivace AlOx. Společnost Risen se jako technologický lídr v oboru odlišuje a přijímá výzvu rozvoje nejslibnější technologie, a to navzdory náročnosti tohoto typu technologie. Tato technika využívá vrstvy AlOx k pasivování jak přední, tak zadní části článku PERC zároveň. Prostřednictvím řady optimalizačních postupů v oblasti selektivních emitorů, oxidace, pasivace a metalizace dosáhla společnost průlomového pokroku v účinnosti oboustranných článků PERC s vrstvou AlOx. V současné době překračuje průměrná účinnost oboustranných článků PERC s vrstvou AlOx úroveň 22,19 %, přičemž nejvyšší účinnost článků z výrobní linky dosáhla 22,51. Sériová výroba oboustranných modulů o výkonu 400 W je plánována v roce 2019. Články PERC se stávají populární díky mnoha výhodám, včetně vysoké účinnosti konverze, nízkému tepelnému koeficientu, vysokému stupni produkce energie atd.

Organické fotovoltaické moduly představují zajímavou a perspektivní alternativu ke stávajícím fotovoltaickým zařízením. V těchto modulech je pro fotovoltaickou přeměnu využita tenká vrstva směsi aktivního organického materiálu na bázi polymeru, případně nízkomolekulárních látek nebo elektrolytu. Vrstvy jsou deponovány na transparentní fólii opatřené tenkou transparentní vodivou elektrodou (často z vodivého polymeru), protipól tvoří kovová elektroda na opačné straně sendvičové struktury. Celá struktura je překryta další polymerní fólií, která spolu se spodní fólií chrání celý systém před vlivy okolní atmosféry a vlhkosti. Tímto způsobem

je možno vytvořit solární moduly tvořené plně polymerními materiály s jednou kovovou elektrodou, a proto jsou tyto moduly někdy označovány jako plastové solární články. Díky možnosti využít pro fotovoltaickou přeměnu v organických materiálech i rozptýlené difuzní světlo s nízkou intenzitou a možnosti konstruovat transparentní solární články tak organická fotovoltaika možná brzy pronikne i do interiérů budov, uplatní se v okenních tabulích a fasádních systémech.

Každá zde uvedená technologie pracuje na jiném principu a využívají odlišné materiály, mají však jedno společné. A to je nasazení nanostruktur, které sice samy negenerují z dopadajícího záření volné elektrony vytvářející elektrický proud, ale slouží buď jako takové kanály či cestičky pro uvolněné elektrony (např. TiO₂ nanotrubičky), nebo jako vodiče fotonů dopadajícího světla (uhlíkové nanotrubičky). V obou případech dochází k výraznému zvýšení účinnosti přeměny.

Cíle a očekávané přínosy z VaVal:

Pro zvýšení podílu výroby elektřiny ze sluneční energie:

- vyrábět ze slunečního záření energii za srovnatelné náklady s konvenčními elektrárnami (snížit nákladovou cenu pod 2 americké centy/kWh);
- zvýšit účinnost přeměny energie u komerčních fotovoltaických článků o 10 %;
- vývoj pokročilých materiálů pro tenkovrstvé anorganické solární panely se zaměřením na různé polovodičové materiály (včetně absorpčních materiálů, které se neopírají o kritické kovy, jako je Cu, Zn, Sn sulfid technologie), nové materiály pro zpětné a vyrovnávací vrstvy, nákladově efektivní multifunkční nátěry, funkční (nano)materiály pro nanášení bez vakuového absorpčního procesu nebo řízení světla pomocí plasmonických efektů a vývoj ultra tenkých (monokrystalických) křemíkových vrstev pod 50 mikronů k nahrazení současných křemíkových destiček;
- vývoj pokročilých materiálů pro tenkovrstvé organické fotovoltaické panely s důrazem na optimalizaci pro zvýšenou účinnost s širší spektrální odezvou pro jednoduché a vícenásobné spojení. Je třeba řešit trvanlivost těchto materiálů. Procesy s vysokou propustností potřebují pokročilé materiály přizpůsobené formulacím inkoustu. Zvýšení efektivity řízení světla plazmonickými účinky a rozptylu v aktivních vrstvách i na různých dalších rozhraních bude vyžadovat funkční nanomateriály s řízeným a škálovatelným výrobním procesem;
- rozvinout efektivní propojení solárních zdrojů se systémy skladování energie;
- vývoj pokročilých materiálů pro podklady solárních panelů snadno integrovatelných do budov;
- vývoj pokročilých materiálů pro zlepšené uzavírací vrstvy a lepidla na bariérové vrstvy, které zahrnují nové pružné, lehké, průhledné bariérové materiály (včetně kompozitních materiálů) s odpovídajícími rychlostí přenosu vodních par;

Pro zlepšení hospodaření s přírodními zdroji je potřeba

- recyklaci starých solárních článků získávat zejména cenné kovy

3.5.4. Pokročilé materiály a technologie pro ukládání energie

Technologie uchovávající energii jsou systémy, které jsou schopny absorbovat a uchovat energii a na vyžádání ji opět uvolnit. Je nutné vyvíjet nové technologie v této oblasti, které mají větší výkonnost a jsou integrovány do systému s obnovitelnými zdroji energie, které dodávají energii často nepředvídatelně a přerušovaně. Technologie na uchování energie velkých rozměrů jsou tedy využívány na vyrovnání výkyvů energie a výrazně ovlivňují energetickou bezpečnost. Malé, přenosné uchovatele energie mají komerční využití, např. v elektromobilech, přenosných elektronických zařízeních, v domovních systémech využití obnovitelných zdrojů.

Větší využití fotovoltaiky stále omezují nedostatky současných technologií skladování energie a jejich nedostatečné kapacity. Vedle skladování energie pomocí přečerpávacích vodních elektráren se jedná o baterie, palivové články, superkondenzátory, výrobu vodíku. Z pohledu dlouhodobé udržitelnosti však v blízké budoucnosti sehraje významnou roli skladování obnovitelné energie ve formě chemické energie. Problémem zatím je cenová dostupnost vhodného řešení skladování elektřiny i v kontextu neustálého zvyšování výkonu alternativních zdrojů energií. Energetická regulace a optimalizace pomocí skladování energie ve velkokapacitních bateriích a systémů pro ukládání energií je jednou z výzev zabezpečení udržitelného rozvoje a energetické bezpečnosti.

Baterie

Globální trh s bateriemi má podle viceprezidenta Evropské komise Šefčoviče v roce 2025 dosáhnout 250 miliard eur. Podíl Evropy na celkové spotřebě má být zhruba třetinový. Špatný, ale pravděpodobný scénář vypadá tak, že evropské země nahradí závislost na ruské a blízkovýchodní ropě dovozem baterií z Číny a Koreje. EU proto chce povolit státní podporu výzkumu elektrických baterií a nabídnout firmám, které chtějí stavět velké závody na jejich výrobu spolufinancování v řádu miliard EURO.

Podle společnosti Orbis Research by celosvětový trh s bateriemi, který v roce 2017 dosáhl 29,86 miliard USD, měl do roku 2026 přesáhnout 140 miliard USD, přičemž růst bude činit téměř 19 %. Významné postavení na globálním trhu má Čína, která již dnes má k dispozici výrobní kapacitu 17,5 GWh úložné kapacity za rok, v roce 2020 to má být již 50 GWh.

Rozvoj lithiových baterií nastal především s boomem mobilních telefonů a další přenosné elektroniky. Proti o generaci starším NiMH bateriím mají vyšší energetickou hustotu. Také netrpí paměťovým efektem a samovolně se nevybíjí. Kobalt, grafit, lithium, mangan a nikl jsou nezbytné pro výrobu lithium-iontových baterií, které pohánějí elektrická a hybridní vozidla. To zásadně ovlivňuje situaci na světových trzích s těmito materiály a je podnětem pro nové investice v těchto segmentech.

Byznys s bateriemi se daří, trh každoročně roste o více než čtyři procenta a v roce 2025 by měla jeho hodnota přesáhnout hranici devadesát miliard dolarů. Vyplývá to z globální studie poradenské společnosti Arthur D. Little. Ta současně dodává, že elektromobily, coby nejviditelnější příklad využití nových typů akumulátorů, mohou zatím cenově stále jen obtížně konkurovat vozům se spalovacím motorem. Současná elektrická vozidla, jež jsou vybavena bateriemi s cenou v rozmezí 190 až 250 dolarů za kilowatthodinu, mohou tak obtížně konkurovat tradičním automobilům se spalovacím motorem. Poslední studie ukázala, že v roce 2017 si elektromobily a elektrické autobusy vyžádaly 44 GWh lithium-iontových baterií za rok. V roce 2030 se předpokládá 1500 GWh za rok. Celé odvětví ovšem láká k investicím velké firmy jako Tesla, Panasonic nebo Daimler. Ty v příštích letech chtějí investovat celkem přes třináct miliard dolarů do byznysu s bateriemi. Studie však zároveň upozorňuje na to, že aby byly například elektromobily konkurenceschopné, cena jejich akumulátorů musí výrazně

klesnout. Elektromobily bez státních dotací mohou na trhu přežít, pouze pokud klesne cena baterií pod sto dolarů za kilowatthodinu.

Trh s bateriemi zažívá rozmach srovnatelný s rozvojem trhu se solárními panely, který odstartoval před deseti lety. Z tržního koláče s lithiovými bateriemi, jehož velikost může v příštím desetiletí přesáhnout 100 miliard dolarů, by si také Evropa velmi ráda ukousla svůj podíl. Vlajkovou lodí evropských baterií má být švédská společnost Northvolt, která by do roku 2023 chtěla vyrábět baterie o kapacitě 32 GWh ročně. Na realizaci ambiciózního projektu je ovšem třeba získat investory, kteří musí uvěřit tomu, že evropská baterie dokáže v konkurenci s asijskými výrobci obstát.

V poslední době bylo oznámeno mnoho projektů na výstavbu továren na výrobu lithium – iontových baterií. Největším investorem je americká firma Tesla, která s nemalými problémy buduje magazín v Nevadě, který by měl v roce 2020 vyrábět baterie o celkové kapacitě 50 GWh. Německý výrobce chemikálií BASF plánuje továrnu na baterie za 400 milionů EUR. Další projekty jsou v Maďarsku (Samsung SDI s výrobní kapacitou 50 tisíc baterií za rok, jihokorejský koncern SK Innovation oznámil investici v téměř 800 milionů dolarů). Polsko si zvolilo jihokorejský koncern LG Chem, který má v nejbližších týdnech spustit výrobu ve Wroclawi a v první fázi bude produkovat baterie pro 100 tisíc elektromobilů ročně. Další projekty byly oznámeny v Rakousku, Německu, ale i v ČR.

Čína realizuje projekt na velkokapacitní bateriové úložiště za účelem maximalizace využití elektrické energie z obnovitelných zdrojů a zvýšení stability přenosové soustavy. Kapacita bateriového úložiště s vanadovými redox průtočnými bateriemi bude 720 MWh a úložiště bude schopné dodávat špičkový výkon 180 MW po 4 hodiny. Očekávaný termín dokončení je již rok 2019. Jedná se o největší baterii na světě.

Vedle nesporných výhod oproti starším Ni-MH bateriím, mají lithium-iontové baterie některé zásadní nevýhody:

- stále ještě nedostatečná kapacita pro dostatečný dojezd automobilů
- vysoká cena baterií
- baterie stárne, tedy ztrácí maximální kapacitu nehledě na to, jestli je nebo není používána, rychlost tohoto stárnutí se zvyšuje s vyšší teplotou, vyšším stavem nabití, a vyšším vybíjecím zatížením
- nebezpečí výbuchu nebo vznícení při nesprávném používání (zkratování, nabíjení na vyšší kapacitu, než je baterie schopna pojmout)
- vadí jí úplné vybití, když se dostane pod napětí 2,8 V, je velmi těžké ji znovu „oživit“
- baterie, která je dlouhou dobu ponechána vybitá, může „zemřít“ (sama se vybit pod přípustnou hodnotu)
- baterie vyžadují chlazení

Problémy s přehříváním, samovznícením nebo s vybuchováním baterií má mnoho světových technologických firem. Tyto výzvy se snaží VaVaI řešit hledáním nových technologií a nových materiálů a existují stovky různých námětů, která však vyžadují další vývoj. Elektromotorické napětí na galvanickém článku vzniká z rozdílu potenciálů na elektrodách, elektrické potenciály jsou důsledkem chemických reakcí mezi elektrodami a elektrolytem.

Vhodnými a nejčastěji používanými látkami pro zápornou elektrodu jsou zinek, lithium, kadmium a hydridy různých kovů, pro kladnou elektrodu oxid manganičitý (MnO_2 , burel), oxid-hydroxid niklitý ($\text{NiO}(\text{OH})$) a oxid stříbrný (Ag_2O). Jako elektrolyt se používají vodné roztoky alkalických hydroxidů (nejčastěji hydroxid draselný), silných kyselin nebo jejich solí. Kromě toho se používají také bezvodé elektrolyty, které obsahují vhodnou sůl rozpuštěnou v organickém rozpouštědle. Případné další látky v galvanických článcích mají za úkol regulovat chemické reakce tak, aby se např. prodloužila životnost článku, snížila možnost úniku nebezpečných látek.

Mnoho úsilí je věnováno 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. Techniky vrstvy po vrstvě se používají k sestavení elektrody, která se skládá z funkcionalizovaných multivrstev uhlíkových nanotrubic. Elektroda o tloušťce několika mikrometrů, dokáže uchovávat lithium až do reverzibilní gravimetrické kapacity ~ 200 mA/kg elektrody a současně dodává výkon 100 kW/kg elektrody a poskytuje životnost přesahující tisíce cyklů. Zařízení s elektrodou s nanotrubicemi jako s kladnou elektrodou a s oxidem lithným a titanem jako zápornou elektrodou vykazuje gravimetrickou energii asi 5krát vyšší než konvenční elektrochemické kondenzátory a 10krát vyšší výkon než běžné lithium-iontové baterie. Grafenové nano destičky mohou zvýšit účinnost lithium-iontových baterií, když se použijí k výrobě elektrod, což umožní mnohem kratší doby dobíjení. Největší prioritou pro rozšíření elektromobilů není kapacita, ale cena za kapacitu jednotky uložení energie.

Existuje celá řada dalších vyvíjených baterií jako např. NiCd baterie, vanadové redoxní průtočné baterie, polovodičové baterie, solid-state baterie, hořčkové nebo nikl-metal hydridové akumulátory a baterie na bázi grafenu. Poslední jmenované baterie fungují na principu tenkých grafenových plátek s tloušťkou jednoho atomu, velkého množství vrstev křemíku a miniaturních otvorů o velikosti 10 až 20 nm. Ty slouží pro zkrácení cesty lithiových iontů samotným materiálem. Světový VaV nabízí další „převratné“ alternativy baterií. Zejména NM poskytují jedinečné vlastnosti nebo kombinace vlastností pro elektrody a elektrolyty v řadě energetických zařízení. Začíná se rozvíjet i technologie výroby baterií 3D tiskem. V řadě případů se však jedná zatím o první výzkumné práce nebo náměty, které vyžadují další vývoj, četné zkoušky a uplyne ještě nějaký čas, než se nové baterie objeví na komerčním trhu. Budoucnost je především předpokládána u pevnolátkových baterií. Ten, kdo dokáže vyrábět použitelné baterie na bázi pevného skupenství, tak může ovládnout trh.

Protonová baterie kombinuje to nejlepší z vodíkových palivových článků a akumulátorových baterií, používá materiály šetrné k životnímu prostředí a má potenciál dosažení vyšší energetické hustoty oproti současným lithium-iontovým akumulátorům. Nejnovější verze protonové baterie kombinuje uhlíkovou elektrodu, pro ukládání vodíku v pevném stavu, s palivovým článkem, který je reverzibilní, aby mohlo docházet i k dobíjení baterie. Využívání protonů má potenciál být ekonomicky výhodnější oproti použití iontů lithia, které jsou vyrobeny ze vzácných zdrojů. Uhlík, který je primárním zdrojem používaným v protonové baterii, je hojný a levný v porovnání s kovovými slitinami pro skladování vodíku a lithiem potřebným pro lithium-iontové akumulátory. Během nabíjení protony produkované rozkladem vody v reverzibilním palivovém článku procházejí přes buněčnou membránu a přímo se vážou se zásobním materiálem pomocí elektronů dodávaných aplikovaným napětím, to vše bez tvorby vodíku ve formě plynu. V režimu dodávky elektřiny je tento proces obrácen. Atomy vodíku se uvolňují ze zásobníku a ztrácejí elektron, aby se znovu staly protony. Tyto protony pak procházejí zpět přes buněčnou membránu, kde se kombinují s kyslíkem a elektrony z vnějšího okruhu, aby znovu vytvořily vodu. Energetická hustota je potenciálně vyšší než u současných Li-ion baterií. Hlavní potenciální výhodou protonové baterie je mnohem vyšší energetická účinnost ve srovnání s běžnými vodíkovými systémy, což ji činí srovnatelnou s lithium-iontovými bateriemi. To je dáno eliminací ztrát spojených s vznikem plynného vodíku a jeho zpětné štěpení na protony.

Cíle a očekávané přínosy z VaV:

- snížení ceny současných lithium – iontových baterií pod sto USD za kilowatthodinu. Současná elektrická vozidla, jež jsou vybavena bateriemi s cenou v rozmezí 190 až 250 USD za kilowatthodinu, mohou jen velmi obtížně konkurovat tradičním automobilům se spalovacím motorem;
- vývoj nových elektrod pro baterie. Ukazuje se jako možná náhrada uhlíku za křemík. Čistý křemík totiž dosahuje energetické hustoty až 4 200 mAh na gram, což by mohlo vést k dosažení až desetinásobné kapacity Li-ion baterií. Chemickou nesnášenlivost křemíku s ionty lithia řešit tak, že uhlíkové anody budou opatřeny nanodrátky křemíku;
- vyvinout baterie s energetickou hustotou až 10x vyšší, než je u současných Li-ion bateriích (např. vývojem baterie "lithium-vzduchové"). Vyžaduje to vývoj nových materiálů elektrod s vylepšeným životním cyklem a výkonem, dále nových keramických a skleněných membrán, stejně jako nových elektrolytů a kompozitní lithiové elektrody;
- nahrazení lithium-iontových baterií. Vývoj nikl-metal hydridových akumulátorů, skleněných elektrolytů místo kapaliny, baterií/palivových článků na principu hliníku-vzduchu, zejména revolučních solid-state baterií jako baterií s pevným elektrolytem, které jsou označovány za přelomového nástupce současných Li-Ion baterií;
- zlepšení výkonu a hustoty energie použitím tenkých vrstvených materiálů na bázi uhlíku, jako je grafen, s cílem vytvoření protonové baterie, která bude konkurenceschopná s lithium-iontovými bateriemi;
- vývoj cenově výhodných membránových materiálů s dlouhou životností a souvisejících alternativních elektrolytů pro vanadové redox průtočné baterie.

3.5.5 Superkapacitory (Superkondenzátory)

Dalším představitelem elektrochemických řešení ukládání energie v pevné fázi jsou superkondenzátory nazývané také elektrochemické kondenzátory. Superkapacitory uchovávají energii buď pomocí iontové adsorpce (elektrochemické kondenzátory s dvojitou vrstvou) nebo pomocí rychlých redoxních reakcí (pseudokondenzátory). Mohou doplňovat nebo nahrazovat baterie v aplikacích pro skladování a odběr elektrické energie, pokud je potřeba vysoký výkon nebo příjem.

Komerčně prodávané superkondenzátory mají kapacitu až několik tisíc faradů a nabíjecí/vybíjecí proud v rozmezí od jednotek ampér až po stovky ampér. Svými energetickými vlastnostmi vyplňují prázdné místo mezi bateriemi a klasickými kondenzátory. Během posledních deseti let se jejich vývoj rozdělil do dvou směrů. Na jedné straně jsou to převážně velká vysokonapěťová a vysokokapacitní pole pro vozidla s hybridním pohonem, na druhé straně i se jedná o zavedení nové řady malých nízkoprofilových prizmatických pulzních superkondenzátorů.

V posledních letech se trh se superkondenzátory rozvíjí v souvislosti s rozvojem hybridních pohonů aut, autobusů a výtahů. Superkondenzátory dodávají energii při rozjezdu a ukládají energii získanou rekuperací při brzdění. Rozšiřuje se jejich aplikace ve větrných a fotovoltaických elektrárnách, ve vlacích a letadlech. Podle analytické společnosti NanoMarkets celosvětový obchod se superkondenzátory dosáhnul v roce 2016 úrovně 3 miliard USD. Podle společnosti Allied Market Research lze předpokládat, že globální trh superkapacitátorů dosáhne 6,3 miliardy USD v roce 2022 a bude růst od roku 2016 do roku 2022 na úrovni CAGR 28,7 %.

Výhodou superkapacitorů je poměrně vysoká účinnost akumulace (až 95 %). Nevýhodou je závislost napětí na uloženém náboji, což lze minimalizovat použitím napěťových měničů. Rovněž cena je zatím poměrně vysoká, ale s objemem zavedení v průmyslu a s nárůstem sériovosti výroby lze předpokládat její pokles. Superkondenzátory je vhodné používat v oblasti

fotovoltaiky především jako vyrovnávací akumulátory elektrické energie pro menší systémy spojené se sítí, kde mohou kompenzovat krátkodobé výkyvy výkonu.

Nová generace pulzních superkondenzátorů může dodávat špičkový proud dle potřeby a zároveň mohou být dobíjeny v režimu „trickle charge“ primárně z Li-ion nebo ze standardních AA/AAA baterií. Díky nízkoprofilové konstrukci mohou být použity pro datové přenosy s vysokou hustotou v mobilních zařízeních. U těchto aplikací je vyžadována špičková energie, která představuje dvojnásobný proud, než který je schopna dodat primárně použitá baterie. Tato špičková energie je nutná k rychlému přenosu dat nebo při zpracování megabitů dat u digitálních fotoaparátů a video aplikací, kdy blesk soupeří o energii se zpracováním signálu focení v režimu focení „série snímků“ a se zápisem mnoha souborů během jedné sekundy.

Pozoruhodné zlepšení výkonnosti bylo dosaženo nedávným pokrokem v porozumění mechanismu ukládání nábojů a vývoji pokročilých nanostrukturních materiálů. Objev, že iontová desolvace se vyskytuje v pórech menších než solvatované ionty, vedla k vyšší kapacitě pro elektrochemické dvojvrstvé kondenzátory používající uhlíkové elektrody se subnanometrovými póry a otevřela dveře pro navrhování zařízení s vysokou hustotou energie s použitím různých elektrolytů. Kombinace nanostrukturovaných lithiových elektrod umožnila zvýšit hustotu energie elektrochemických kondenzátorů blíž k hustotě baterií.

Dalšího pokroku bylo dosaženo nahrazením grafitové elektrody grafenovou elektrodou. Ta byla navržena tak, aby se superkondenzátor nabíjel a uvolňoval energii mnohem rychleji než běžné baterie. Superkondenzátory byly kombinovány se solárními systémy, ale jejich širší využití jako skladovacího řešení je omezeno z důvodu jejich omezené kapacity.

Většina současných výzkumů se soustřeďuje na polovodičové kvantové tečky, jelikož vykazují zřetelné "efekty kvantové velikosti". Vyzařované světlo může být naladěno na požadovanou vlnovou délku změnou velikosti částic přes pečlivou kontrolu kroků růstu.

Za pomoci využití nanotechnologií se podařilo sestavit superkondenzátor složený z 10 miliard miniaturních kondenzátorů na centimetr čtvereční, každý o velikosti zhruba 50 nm. Všechny jsou vzájemně propojené, a tak fungují jako jeden celek.

Množství energie uložené v kondenzátoru je závislé na velikosti napětí. Pokud bude tedy jakýkoliv systém ukládat energii při vyšším napětí, bude mnohem účinnější. Kondenzátor má v těchto systémech dvojí funkci: a) ukládat vytěženou energii a také poskytovat proud pro jakékoliv vzdálené napájené zařízení; b) v případě bezdrátových zařízení zvyšuje navíc technologie protonových polymerů účinnost systému díky udržení vysoké kapacity během pracovního cyklu.

Hlavní výhodou superkondenzátorů proti bateriím je jejich schopnost ultra-rychlého nabití a vybití a delší životnost, k tomu i nízká hmotnost. Nevýhodou je nízká kapacita. To se ale postupně mění díky technologii grafenových superkondenzátorů. Už dnes se tyto superkondenzátory využívají v mnoha různých typech aplikací od hybridních nákladních aut, autobusů, větrných turbín přes vesmírné satelity až po UPS či řízení rozvodné sítě. Nejdůležitějším faktorem výkonu takového superkondenzátoru je grafenová elektroda, ve které se ukládá energie. Ve srovnání se současnou konkurencí nabízejí až pětinasobnou hustotu výkonu a dvojnásobnou energetickou hustotu (specifický výkon 45 kW/kg, energetická hustota 57 kW/l). Nabíjení elektromobilů by díky těmto výkonným superkondenzátorům mohlo trvat sekundy, a ne minuty až hodiny.

Cíle a očekávané přínosy z VaV

- vývoj hybridního baterio kondenzátorového systému využitelného v elektromobilech;
- výzkum fyzikálních a chemických procesů probíhajících v okolí a na povrchu elektrod, včetně aplikace nových materiálů s cílem připravit superkondenzátor s velmi vysokou měrnou energií a výkonem;
- výzkum nových druhů elektrolytů, které by měly vysokou vodivost a elektrochemickou, chemickou a tepelnou stabilitu;
- vývoj „protonových polymerů“ pro systém separátorů. Tato technologie přináší řadu výhod jako vysokou kapacitu pro stejnosměrné napětí, vysoké zachování kapacity v milisekundových mezerách mezi pulzy, dlouhou životnost a další. Současně řeší problém snižování efektivní kapacity superkondenzátoru s rostoucí frekvencí pulzů nebo pracovního cyklu;
- vývoj pokročilých elektrod s využitím 3D tisku z grafenového aerogelu.

3.5.6 Palivové články

Palivový článek je elektrochemické zařízení přeměňující přímo chemickou energii paliva a okysličovadla na energii elektrickou za vzniku menšího množství tepla. Kontinuálně musí být přiváděno palivo i okysličovadlo k elektrodám a odváděny spaliny. Palivové články získávají elektrickou energii přímo z chemické formy, a proto by měly být účinnější, jednodušší a spolehlivější. Zatím však jejich využití částečně brání technické překážky a vysoké investiční náklady.

Výhodou palivového článku je skutečnost, že elektrody nevstupují do chemické reakce, tudíž nedochází provozem článku ke strukturálním změnám elektrod a článek má teoreticky nekonečnou životnost. Aktivní látky jsou k elektrodám přiváděny z vnějšku a doba činnosti závisí pouze na přivádění reaktantů.

V roce 2016 představoval globální trh s palivovými články 3,21 miliard USD a očekává se jeho expanse s CAGR 20,9 %. Podle nové zprávy společnosti Grand View Research Inc. by měl tento trh dosáhnout 24,81 miliardy USD do roku 2025 zejména díky mezinárodnímu tlaku na diverzifikaci energií směrem k vyššímu využívání obnovitelných zdrojů. Segment palivových článků je jedním z nejrychleji rostoucích alternativních možností skladování a zálohování energie, především kvůli jejich schopnosti vyrábět elektrinu za použití různých paliv. Kromě toho jsou ekologické, protože jejich vedlejší produkt nepředstavuje hrozbu pro životní prostředí, na rozdíl od konvenčních zdrojů.

Dodávky v tomto tržním segmentu zaznamenaly v posledních třech letech růst, což přimělo výrobce, aby zvýšili své kapacity výroby. Díky významným inovacím došlo ke snížení nákladů a zvýšení efektivnosti. V roce 2016 bylo na trh dodáno cca 78 000 jednotek palivových článků. Z toho v USA 8 205 jednotek. Dominovaly jednotky s výměnnou membránou (PEMFC), které např. v USA tvořily 76 % dodaných jednotek v roce 2016. Je pravděpodobné, že palivové články na bázi pevných oxidů (SOFC) se stanou nejrychleji se rozvíjejícím segmentem a očekává se, že v období do roku 2025 především v USA zaznamenají odhadovaný CAGR 39,3 %.

Palivové články lze třídit dle provozní teploty na nízkoteplotní a vysokoteplotní. Dalším kritériem je použitý elektrolyt – s alkalickým elektrolytem (AFC) především ve vesmírných a vojenských aplikacích, s kyselinou fosforečnou (PAFC) využívaných v kogeneračních jednotkách, články s tavenými uhlíčitany (MCFC) využívaných v kogeneračních jednotkách a elektrárnách a palivové články s polymerní membránou (PEMFC).

U PEMFC článků funkci elektrolytu plní polymerní membrána vodivá pro vodíkové ionty (protony), která však musí být zvlhčována. Nejčastěji se jedná o sulfonované fluoropolymery.

Jako katalyzátor se používá platina, nebo slitiny platinových kovů, které jsou nanesené na povrch plynově difúzní vrstvy, a tak se vytváří plynově difúzní elektroda se zafixovaným katalyzátorem. Jako palivo slouží vodík, nebo metanol a jako okysličovadlo kyslík, nebo vzduch. Tento palivový článek se hodí pro mobilní zařízení.

Další perspektivní skupinu tvoří palivové články s tuhými oxidy (SOFC). Jako pevný elektrolyt slouží keramické membrány na bázi ZrO_2 stabilizované Y_2O_3 . Velikou výhodou je, že nemusíme používat drahé katalyzátory. Vzhledem k faktu, že tyto palivové články pracují při teplotě okolo 800–1000 °C, lze použít reakční produkty v expanzní turbíně, což vede k dalšímu zvýšení účinnosti. Jako palivo slouží zemní plyn, bioplyn, plyn z parního reformingu fosilních paliv a bioplynu a jako oxidační činidlo vzduch. Vysoká teplota způsobuje problémy s konstrukčními materiály, zvláště pak s těsněním a tepelnou dilatací jednotlivých komponent. Tyto palivové články skýtají možnost využití v kogeneračních jednotkách a elektrárnách.

Nejjednodušší a nejpropracovanější jsou palivové články založené na slučování vodíku s kyslíkem. Porézní elektrody jsou odděleny elektrolytem, v oblasti pórů vzniká třífázové rozhraní, kde dochází k elektrochemické oxidaci paliva a k redukci okysličovadla. Pórovitá elektroda umožňuje elektrolytu vzlínat do pórů, ale tlak plynu za elektrodou nedovoluje kapalině póry pronikat. Elektrody bývají z ušlechtilých materiálů (např. platiny) a fungují i jako katalyzátory chemických reakcí.

V současnosti se nejvíce nadějí vkládá do kyslíko-vodíkového palivového článku v rámci vodíkového pohonu automobilů. Potřebný vodík může být získán například pomocí elektrolýzy vody, potřebný kyslík pro palivový článek, je možno získávat z atmosféry. Komerčně úspěšný je nízkoteplotní PEMFC palivový článek. Úspěšnost tohoto systému je dána pokrokem ve výzkumu a vývoji membrány, katalyzátoru a struktury článku atd. Tyto palivové články vodík-vzduch jsou v hledáčku mnoha výzkumných týmů s cílem dosáhnout potřebných technologických parametrů s cenou pod 500 USD/kW pro stacionární aplikace.

Existují palivové články různých konstrukcí, rozměrů a maximálních výkonů. Podle konstrukce a typu mohou pracovat při teplotách od 60 do 1 000 °C, jako palivo mohou používat kromě vodíku např. metan (CH_4), metanol (CH_3OH), hydrazin (N_2H_4) apod., elektrolytem může být např. roztok kyseliny fosforečné (H_3PO_4), hydroxidu draselného (KOH), tavenina alkalických uhličitů či pevný oxidický elektrolyt (Y_2O_3). Současné palivové články však vyžadují vodík vysoké čistoty (99,999 %).

Existují náměty na využití palivových článků pro elektrické mikrosítě ve výpočetních centrech. Žádná jiná energetická technika nenabízí tak vysokou spolehlivost, modulární rozšiřitelnost a všechny přednosti energií z obnovitelných zdrojů bez závislosti na trhu s konvenčními energiemi.

Vývoj a výzkum se zaměřuje na palivové články s tavenými uhličitany (Molten Carbonate Fuel Cell) a s pevnými oxidy (Solid Oxide Fuel Cell), které pracují s teplotami 500 – 1000 °C, což jim umožňuje přímé využívání např. zemního plynu.

Existuje velký výzkumný program na vývoje palivového článku typu lithium-air technologie, které mají potenciál výrazně překonat svou energetickou hustotou dnešní Li-ion akumulátory. V současné době všechny velké automobilové společnosti vyvíjí či testují prototypy nebo vývojové série vodíkových vozidel. Obecně je lze rozdělit dle způsobu využití vodíku na ty, které vsadily na upravené spalovací motory nebo na membránové palivové články. Významného aplikačního úspěchu s vysokoteplotními membránovými palivovými články dosáhla německá firma Siemens v pohonu německých ponorek. Produkováno teplo z palivových článků je využito k ohřevu hydridů, který posléze uvolňuje vodík, čímž je zvýšena účinnost celého procesu až na 72 % při plném zatížení.

Zajímavou oblastí využití palivových článků jsou přenosná elektronická zařízení, jako jsou notebooky, mobilní telefony nebo videokamery. Zde se dá očekávat větší využití metanolu místo vodíku, s ohledem na vyšší hustotu energie kapalných látek. Takové palivové články

jsou nazývány jako metanolové palivové články DMFC (Direct Methanol Fuel Cell). Velkou výhodou palivových článků DMFC je, že pracují při poměrně nízkých teplotách kolem 70 °C. Metanol přitom slučuje mnoho výhod, jako je snadná dostupnost, jednoduchá a bezpečná manipulace, velká energetická hustota a příznivá cena. Vyrábí-li se metanol z obnovitelných zdrojů energie, tedy např. z biomasy, je výsledný provoz palivového článku téměř bez emisí CO₂.

Proti ostatním energetickým zdrojům mají palivové články řadu výhod, z nichž na prvním místě lze jmenovat významně vyšší účinnost a ekologický provoz. Účinnost samotného palivového článku je obecně v rozmezí 40–60 %. Účinnost spalovacích motorů současných automobilů se pohybuje v rozmezí 20–25 %, přičemž účinnost na pohyb kol automobilů se dále snižuje na 16 až 19 % kvůli ztrátám v převodech. U elektromotorů s palivovými články je účinnost proti spalovacím motorům přibližně dvojnásobná a vztaheno na pohyb kol může být i trojnásobná.

Cíle a očekávané přínosy z VaV

- zvýšit účinnost palivových článků na 60 %;
- hledat cesty ke snížení výrobních nákladů- např. u membránových palivových článků se na jejich vysoké ceně podílí hlavně velmi drahé fluorované membrány, platinový katalyzátor elektrodových reakcí a uhlíkaté součásti palivových článků. Náklady na výrobu palivových článků a produktů z nich jsou stále příliš vysoké, aby mohly být schopné konkurence. Ceny jednotlivých druhů se pohybují od 5 000 do 10 000 \$/kW instalovaného výkonu.
- vývoj levnějších nefluorovaných membrán pro použití v palivových člancích;
- vývoj nové generace palivových článků a technologií;
- vývoj metanolových palivových článků DMFC se zaměřením na snížení jejich ceny;
- vývoj účinnějšího a kompaktnějšího systému mikropalivových článků DMFC.

3.5.7 Skladování obnovitelné energie ve formě chemické energie

Jedná se o procesní technologie, jako jsou vodíkové a CO₂ nosiče energie, tj. technologie pro dodávku energie z plynu a energie z kapaliny a skladování tepelné energie (prostřednictvím materiálů s fázovou změnou nebo reverzibilních termochemických reakcí). Obecně tedy je elektrická energie přeměňována na chemickou v plynné fázi, jako je vodík nebo metan, které lze skladovat ve stávajícím distribuční síti plynu, nebo do kapalně fáze jako je metanol, etanol a další.

Převod elektrické energie na chemickou energii výrobou vhodných energetických vektorů umožňuje flexibilnější využívání energie v různých aplikacích (doprava, obytné budovy, průmysl atd.). Vhodné energetické vektory mohou být také použity jako základní suroviny pro chemický průmysl, kterému nabízejí novou nízkouhlíkovou variantu.

V současné době je vodík nejčastěji používán jako surovina při chemické výrobě čpavku a v rafinériích ropy. Přibližně 99 % vodíku se vyrábí z fosilních paliv, především zemního plynu. Celosvětová roční produkce vodíku je více jako 50 milionů tun, což představuje 2% spotřeby energie ve světě. Současná cena vodíku je stále vysoká, přičemž z fosilních paliv je výrazně nižší. Asi 50% celosvětové poptávky po vodíku je v současné době uspokojováno parním reformingem, téměř 30 % reformováním rafinérských nebo průmyslových odpadních plynů, zhruba 17 % se získává zplyňováním uhlí a zbývající část elektrolýzou vody a z dalších zdrojů. Podle studie fy Freedonia celosvětový trh s produkcí vodíku představoval v roce 2017 103,20 miliardy dolarů a očekávají, že dosáhne 207,48 miliardy dolarů do roku 2026 a bude růst na úrovni CAGR 8,1 % do roku 2026. V roce 2018 dosáhla světová spotřeba vodíku 302,5 miliard

Nm³. Podle studie Market Research Report byl světový trh s vodíkem v roce 2016 odhadován na 108,1 miliardy USD a do roku 2025 bude vykazovat CAGR ve výši 5,8 %. Významným iniciátorem takového vývoje je především automobilový průmysl, ale také energetika a chemický průmysl.

Vývoj procesů pro výrobu obnovitelného vodíku s nižšími náklady bude klíčem pro některé procesy přeměny CO₂ a může přispět k zavádění udržitelného oběhového hospodářství. Podstatou je využití určitého druhu energie k výrobě vodíku a poté jeho jímání a skladování pro pozdější použití. Takto akumulovaná energie může být později přeměněna oxidací vodíku na jiný druh energie, např. elektrickou, mechanickou či tepelnou. V současnosti je energeticky nejúčinnějším způsobem výroby vodíku přímá přeměna fosilních paliv parciální oxidací zemního plynu a odpadních uhlovodíkových frakcí, parní reforming s účinností kolem 70 %. Jako další možnost se nabízí elektrolýza vody s hlavním vstupem v podobě elektrické energie a s účinností 60–70 %. Využití elektřiny pro získání vodíku je výhodné ve spolupráci s jadernou elektrárnou v době energetického sedla, kdy je přebytek nabídky energie. Zatím velkou část elektřiny produkují uhelné elektrárny, jejichž celková účinnost se pohybuje kolem 40 % a někdy i podstatně níže. Účinnost samotného palivového článku je obecně v rozmezí 40–60 %, takže účinnost přeměny (elektřina → vodík → elektřina) dosahuje jen asi 30–40 %. Celková účinnost přeměny (uhlí → elektřina → vodík → elektřina) pak vychází přibližně 12–16 %. Pro srovnání lze uvést například vznětový motor s účinností přeměny (nafta → mechanická práce) kolem 40 % a lithium-iontový akumulátor s účinností přeměny (elektřina → chemická energie → elektřina) 80–90 %. Je tedy zřejmé, že pro dosažení dobré účinnosti celého řetězce je potřeba minimalizovat počet přeměn. K výrobě 1 kg vodíku elektrolýzou vody je třeba energie asi 38 kWh při účinnosti elektrolyzátorů 90 % a ke zkapalnění 1 kg vodíku ještě dalších 10 kWh. Vodík se již nepovažuje jen za alternativní palivo v mobilních aplikacích pro případ ropné krize. Kvůli vysoké měrné energii nabízí další možnosti: například pro využití přebytků energie z decentralizovaných zdrojů. Vodík získaný elektrolýzou lze využít v chemickém průmyslu či k pohonu automobilů využívajících palivové články i spalovací motory. Lze jej také přimíchávat do rozvodů zemního plynu.

Jednou z perspektivních metod využití obnovitelných zdrojů energie pro přípravu vodíku je elektrolýza. V současné době je většina komerčních elektrolyzátorů s kapalným zásaditým elektrolytem na střídavý (AC) proud. To umožňuje pro výrobu vodíku použití elektrické sítě nebo jiného energetického systému. Nicméně v tomto případě hybridní energetický systém potřebuje DC-AC měnič. Je-li elektrolyzátor stejnosměrného typu (DC), může být spojen s fotovoltaickými panely přímo, nebo přes DC-DC měnič, pomocí kterého lze získat vhodné napětí pro elektrolyzátor. Velký technologický pokrok byl v posledních dvou desetiletích uskutečněn v oblasti membránových elektrolyzátorů. Probíhá výzkum různých typů elektrolyzátorů, včetně vysokoteplotních technologií.

Vysokoteplotní elektrolýza

Vodík lze vyrábět z dodávané energie ve formě tepla a elektřiny pomocí elektrolýzy s vysokou teplotou (HTE). Vzhledem k tomu, že část energie v HTE je dodávána ve formě tepla, a proto je zapotřebí mnohem méně energie na kilogram vyrobeného vodíku.

Zatímco jaderná elektřina může být použita pro elektrolýzu, jaderné teplo může být přímo aplikováno na výrobu vodíku z vody. Vysokoteplotní (950–1000 °C) plynem chlazené jaderné reaktory mají potenciál vyrábět vodík z vody pomocí termochemických procesů s využitím jaderného tepla. Výzkum vysokoteplotních jaderných reaktorů může nakonec vést k dodávce vodíku, která je konkurenceschopná s parním reformingem zemního plynu. Vysokoteplotní elektrolýza byla prokázána v laboratořích, ale nikoliv v komerčním měřítku. Kromě toho takto vyrobený vodík nemá dostatečnou kvalitu pro použití v palivových článcích.

Vysokotlaká elektrolýza

Vysokotlakou elektrolýzou je příprava vodíku a kyslíku pomocí elektrického proudu procházejícího vodou. Stlačením vodíku v elektrolyzáru procesem známým jako chemická komprese, se eliminuje potřeba externího vodíkového kompresoru. Největší evropská elektrárna na výrobu vodíku vysokotlakou elektrolýzou pracuje v Kokkola ve Finsku.

Termochemická výroba vodíku.

Existuje více než 352 termochemických cyklů, které mohou být použity pro rozklad vody, asi 12 z těchto cyklů, jako je cyklus oxidu železa, cyklus oxidu ceru (IV) oxidu ceru (III), cyklus zinku a zinku, sírový jód cyklus, cyklus mědi a chlóru a hybridní cyklus síry jsou ve fázi výzkumu a testování, kdy se vyrábí vodík a kyslík z vody a tepla bez použití elektřiny. Tyto procesy mohou být účinnější než vysokoteplotní elektrolýza, typická účinnost v rozmezí od 35 % do 49 %. Žádný z termochemických procesů výroby vodíku nebyl zatím realizován v průmyslovém měřítku, ačkoli několik bylo prokázáno v laboratořích.

Fotoelektrochemický rozklad vody

Použití elektřiny vyrobené fotovoltaickými systémy nabízí nejčistší způsob výroby vodíku. Voda je rozklána na vodík a kyslík elektrolýzou – procesem fotoelektrochemických buněk (PEC), který je také nazýván umělou fotosyntézou. Přímá konverze je realizována pomocí tenkovrstvé amorfni křemíkové desky ponořené přímo do vody. Vodík vznikl na povrchu předního amorfniho křemíku dopované různými katalyzátory, zatímco kyslík vyvíjel ze zadního kovového substrátu. Nafionová membrána nad deskou poskytla cestu pro transport iontů. Výzkum pokračuje směrem k rozvoji vysoce efektivní technologie, a pokud bude tento proces realizován s fotokatalyzátory suspendovanými přímo ve vodě namísto použití fotovoltaického a elektrolytického systému, bude reakce pouze v jednom kroku, což může zlepšit účinnost.

Pravděpodobným trendem do budoucna je výroba speciálních zařízení nazývaných generátor slunečního vodíku, kde dochází k rozkladu vody přímo slunečním zářením ve speciálně upravených solárních článcích. Obecně lze přímý rozklad realizovat pomocí solárních článků, filmových solárních článků z mikrokrytalických silikonových fólií nebo pomocí fotoelektrochemických solárních článků.

Množství vodíku vzniklé rozkladem vody je zásadně omezeno pomalejší polovinou reakce – tvorbou kyslíku. Řada výzkumných prací je proto zaměřena na vývoj účinného kyslíkového katalyzátoru, který by měl být vysoce průhledný pro maximalizaci propuštěného slunečního záření do solárního článku, dlouhodobě stabilní a využíval levné materiály. V současné době nejvýkonnější kyslíkové katalyzátory jsou většinou vyrobeny z vzácných prvků, jako je iridium a ruthenium. Jedno z řešení nabízí vývoj křemíkové soustavy mikrodrátků jako fotokatodové materiály pro výrobu slunečního vodíku. Otázky špatné kinetiky a degradace materiálu byly řešeny potažením křemíku tenkými vrstvami CoS₂ nebo CoSe₂, které působí jako kokatalyzátor a pasivační vrstva. Důležitým aspektem patentované technologie Hyper Solars jsou integrované struktury polí s vysokou hustotou nanočásticových solárních článků. Generátor je tak tvořen miliardami nanočástic na čtverečním centimetru. Tyto nanočástice jsou potaženy samostatným patentovaným ochranným povlakem, který zabraňuje korozi během prodloužených období výroby vodíku. Cílem těchto nanočástic je vysoká účinnost konverze a nízké náklady. Každá částice je kompletním vodíkovým generátorem, který obsahuje nový vysokonapěťový solární článek spojený s chemickými katalyzátory vlastním enkapsulačním povlakem.

Perspektivním kyslíkovým katalyzátorem jsou velmi tenké vrstvičky amorfnih chalcogenidů, např. kobaltu. Povlak tenkých vrstev disulfidu kobaltu a diselenidu kobaltu působí jako kokatalyzátory a pasivační vrstvy, aby zlepšily výkonnost a stabilitu fotokatod křemíkových

mikrovláken. Další vyvíjené technologie jsou založeny na fotobiologickém principu (některé řasy a bakterie mohou za vhodných podmínek produkovat vodík) nebo vysokoteplotním termochemickým principu.

Vedle levné výroby vodíku s využitím obnovitelných zdrojů energie je třeba řešit jeho skladování. Vodík je možné skladovat buď jako plyn nebo jako kapalinu. V současné době je nejběžnější formou skladování stlačeného vodíku v tlakových lahvích. Ty jsou široce dostupné v průmyslu technických plynů. Bohužel měrná hustota energie tohoto skladovacího média je nízká. Je zřejmé, že při použití vyšším tlaku vzrůstají náklady a zvyšují se požadavky na bezpečnost. Další variantou je skladování vodíku v metalhydridových materiálech (a nejnověji v nanouhlíkatých materiálech), kdy se vodík interkalací zabudovává do struktury základního materiálu. Výhodou těchto variant je vyšší objemová hustota skladovaného vodíku při nižších provozních tlacích. Nevýhodou jsou vyšší celková váha slitin pro skladování, omezená kapacita materiálů, obtíže při zpětném uvolňování vodíku, tepelný proces a celkové vysoké náklady na tento systém. V některých zemích je realizováno ukládání vodíku do podzemních zásobníků.

Národní RIS3 strategie k ukládání obnovitelné energie vedle vodíku preferuje metan. Obnovitelný vodík může snadno reagovat s oxidem uhličitým za vzniku uhlíkově neutrálního a obnovitelného metanu tzv. Sabatierovu reakcí. Jedná se o metanizaci, což je katalytický hydrogenační proces exotermní syntézy metanu reakcí oxidu uhličitého s vodíkem při použití vhodného katalyzátoru za zvýšeného tlaku a teploty. Významná úspora nákladů na skladování oproti vodíku. Kapalný metan má 3,2násobek energetické hustoty kapalného vodíku. Hlavní oblastí použití metanu je energetika, kde slouží ve směsi s jinými uhlovodíky jako plynné palivo. V automobilové dopravě představuje jednu z pohonných látek, pod označením CNG (Compressed Natural Gas), stlačený zemní plyn, jehož hlavní složku tvoří právě metan. Experimentálně byl kapalný metan použit ve směsi s kapalným kyslíkem jako pohonná látka v raketových motorech.

Další varianty využití obnovitelné energie představuje výroba snadno použitelných paliv jako je metanol nebo etanol. Často při rozhodování o použitých variantách rozhoduje, zda se jedná o krátkodobě skladování (tam je nejlépe využít baterií nebo superkapacitoru) nebo dlouhodobější skladování energie, kde experti doporučí zvolit přípravu metanu nebo alkoholy, které mohou být skladovány neomezeně při relativně nízkých nákladech nebo mohou být přímo použity v některých typech palivových článků pro elektrická vozidla.

Přeměnou CO₂ na metanol, metan, oxid uhelnatý nebo dimethyléter s využitím obnovitelných energií lze získat díky vysokému energetickému obsahu a snadnosti skladování a přepravy vysoce hodnotná paliva a chemikálie. Metanol, Dimetyl éter (DME) a oxymetylen étery (OME). OME se považují za představitele nové energetické chemie, protože jejich výroba a použití vykazují jedinečné rysy flexibility, což je jedna z hlavních požadavků pro budoucí scénář energetické chemie. Metanol může být používán jako chemický a surovinový materiál pro velkoobjemové chemické látky nebo jako palivo. DME a OME se v budoucnu považují za důležité čisté palivo.

Rozsáhlé použití vodíku jako pohonné hmoty závisí kriticky na schopnosti skladovat vodík při vysokých objemových a gravimetrických hustotách, stejně jako na schopnost ukládat je dostatečně rychle. Problematika skladování vodíku je determinována jeho fyzikálními a chemickými vlastnostmi – velmi nízká kritická teplota (-240,18 °C), výbušnost, chemická reaktivita, objemová a gravimetrická hustota vodíku ve skladovacím materiálu. Schopnost jednoduše skladovat sluneční energii ve formě paliva (např. kyslík a vodík) je velmi atraktivní, zvláště ve srovnání s komplikovanějšími konfiguracemi, které jsou založeny na solárních článcích a lithium-iontových bateriích. Současné metody skladování založené na fyzikálních prostředcích – plynu pod vysokým tlakem nebo (kryogenickém) zkapalňování neuspokojují cíle týkající se výkonu a nákladů, a proto se globální výzkum zaměřuje na vývoj chemických prostředků pro skladování vodíku v kondenzovaných fázích. V současné době žádný známý

materiál nevykazuje kombinaci vlastností, které by umožnily velké objemy automobilových aplikací, ale vývoj nových materiálů přináší významný pokrok.

Určitou variantou je skladování vodíku v metalhydridových materiálech, v hydroxidech lehkých kovů, v boranech nebo adsorpční skladování adsorbentů s vysokou povrchovou plochou. Nejnověji v nanouhlíkatých materiálech, jako např. uhlíkové nanotrubičky, kdy se vodík interkalací zabudovává do struktury základního materiálu.

Výroba vodíku a jeho další použití jako úložiště energie z obnovitelných zdrojů elektrické energie stále vyžaduje vývojové práce vedoucí ke snížení energetické náročnosti i ceny zařízení a palivové články jsou stále výkonem i cenou daleko za hospodářskou konkurenceschopností. Očekává se však, že v následujících desetiletích palivové články a vodík vyrobený z fosilních, obnovitelných a jaderných zdrojů energie vstoupí na energetický trh, stejně jako do oblasti dopravy, průmyslu a bydlení. Vodík se stane konkurenceschopným dalším palivům a bude hrát významnou roli při snižování emisí a zvyšování bezpečnosti světové energetiky.

Cíle a očekávané přínosy z VaV

- vývoj zařízení s účinností generování solárního vodíku cca o 20 % vyšší, než je účinnost fotovoltaické technologie (nové hybridní nanomateriály na bázi oxidů kovů, jež budou schopny s využitím slunečního záření rozkládat vodu na kyslík a vodík. Přes mnoho výhod, jako jsou především nízká cena, netoxicitu, dostupnost ve velkém měřítku nebo chemická stabilita, vykazují tyto materiály některé nedostatky, které prozatím znemožňují jejich velkokapacitní uplatnění při produkci zelené a levné energie;
- vývoj účinného kompozitního elektrokatalyzátoru pro reakce uvolnění vodíku a kyslíku pro js elektrochemického štěpení vody. Katalyzátor využívá unikátní kombinace dusíkem dopovaného grafenu oxidu a sulfidu niklu připraveného transformací nikelnaté kovové organické sítě;
- vývoj účinných kyslíkových katalyzátorů pro elektrolýzu vody;
- vývoj vysokoteplotní elektrolýzy, využívají teplo z jaderných elektráren;

Postupné zavedení vodíkové ekonomiky vyžaduje několik fází od výzkumu a vývoje zaměřeného na uspokojení potřeb potencionálních spotřebitelů a vytvoření základů pro budoucí komercializaci, k postupné komercializaci přenosných a stacionárních dopravních systémů, následně příprava potřebných investic v infrastruktuře za podpory vládních institucí. Následovat budou rozsáhlé investice pro komercializaci dostupné výroby vodíku a jeho dopravy až k plnému rozvoji trhu a infrastruktury. Experti očekávají, že k plnému rozvoji vodíkové ekonomiky by mohlo dojít postupně po roce 2025.

Situace v ČR

Národní akční plán pro obnovitelné zdroje energie (NAP) vychází ze směrnice Evropského parlamentu a Rady o podpoře využívání energie z obnovitelných zdrojů. Pro Českou republiku byl Evropskou Komisí stanoven cíl dosáhnout v roce 2020 minimálně 13 % podíl energie z obnovitelných zdrojů na hrubé konečné spotřebě energie. V roce 2005 byl tento podíl 6 %, současný podíl je něco přes 9 %. Splnění tohoto cíle musí zároveň zajistit minimálně 10% podíl obnovitelných zdrojů v dopravě. Podle aktualizované státní energetické koncepce k roku 2040 se předpokládá téměř 50% podíl jádra na hrubé výrobě elektřiny. Druhým nejvýznamnějším zdrojem elektrické energie se mají stát obnovitelné a druhotné zdroje, u kterých se počítá s nárůstem výroby téměř na dvojnásobek v porovnání s rokem 2015.

K naplnění těchto náročných cílů jsou přijímána různá legislativní opatření, vyčleňovány nemalé prostředky na výzkum a vývoj, mimořádné dotace pro majitele fotovoltaických, větrných a vodních elektráren. Česko platí v průměru na 1 MWh nejvyšší dotace na obnovitelné zdroje v Evropě. Elektřina z dotovaných zdrojů reprezentuje pouze 9,3 % celkové produkce

elektriny, což nás řadí v EU na 11. příčku od konce. Průměr sledovaných zemí EU je 16,7 %. V roce 2016 například dotované obnovitelné zdroje v ČR vyprodukovaly 7,725 TWh a v roce 2017 pak pouze o 6 % více.

Na řešení úkolů v oblasti zvýšení využívání obnovitelných zdrojů energie se podílí vedle výzkumných organizací i řada výrobních podniků. Výroba solárních panelů je v ČR realizována např. v SOLARTEC HOLDING a.s. Rožnov pod Radhoštěm nebo v společnosti AUO Solar v Brně, která nabízí špičkové solární panely, pod značkami BenQ Solar/AUO Solar. Tyto panely jsou preferovány zákazníky po celé Evropě zejména na střešních instalacích. V současnosti se jedná o největší výrobní závod svého druhu u nás, kde se ročně vyrobí téměř 800 000 fotovoltaických panelů s kapacitou cca 200 MW. Od 2. pololetí 2019 firma AUO Solar plánuje zahájit výrobu nejvyšší řady panelů SunBravo ve své továrně v Brně. Panely tak budou k dispozici investorům za velmi výhodných cenových podmínek.

K největšímu nárůstu instalovaného výkonu fotovoltaických zdrojů v Česku z hodnoty v jednotkách MW_p na téměř 2000 MW_p došlo zejména v letech 2009-2010. Tři největší jsou Ralsko RA 1 s výkonem 38,3 MW_p, Vepřek s výkonem 35,1 MW_p a Ševětín s výkonem 29,9 MW_p. Celkově vyrobí fotovoltaické zdroje u nás v současné době okolo 2,2 TWh GWh. V roce 2020 očekává Státní energetická koncepce výrobu elektriny ze solárních zdrojů na úrovni 2,4 TWh a v roce 2030 na úrovni 3,22 TWh. Společnost ČEZ plánuje v následujících 15 letech investovat do rozvoje obnovitelných zdrojů energie celkem 30 miliard korun, zkouší mimo jiné solární panely s nanovláknem od Elmarco.

Ve Spolku pro chemickou výrobu Ústí nad Labem byla vybudována nejmodernější membránová elektrolyza. S ohledem na význam automobilového průmyslu pro českou ekonomiku jsou důležité inovace v segmentu baterií pro elektromobily.

V Ostravě byla vloni zahájena výroba iont – lithiových baterií původně americkou firmou A123 Systems, kterou však převzala čínská firma ze skupiny Wanxiang Group. Kapacita min 800 000 autobaterií /rok. Česká společnost HE3DA zahájila v Praze-Letňanech v druhé polovině prosince 2016 pilotní výrobu svých revolučních 3D baterií a plánuje vybudovat výrobu tzv. nano iont- lithiových baterií s celkovou roční kapacitou 30 MWh v Horní Suché v Moravskoslezském kraji. Nové baterie společnosti HE3DA mohou být použity jako energetická banka pro skladování velkého množství energie za nízkou cenu, přitom však s vysokou bezpečností. Druhý typ, s tenčími elektrodami, umožňuje mnohem rychlejší nabíjení a vybíjení a bude mít využití v elektromobilech nebo v energetice jako zásobárna velmi rychle dostupné energie. Jedná se o významnou investici k realizaci výsledků VaV z privátních zdrojů.

Start-up Pinflow energy storage zahájil výrobu vanadových redoxních průtočných baterií např. pro využití ve fotovoltaice integrované do budov.

Společnost Valeo staví v Žebráku halu na výrobu chlazení baterií pro elektromobily, zahájení výroby se očekává koncem roku 2019. Baterie musí totiž zůstat v rozmezí 15-45 °C, aby fungovala s co nejvyšší účinností a nezkracovala se její životnost

V ČR se problematikou superkondenzátorů zabývá mimo např. Ústav elektrotechnologie VUT Brno a Západočeská univerzita v Plzni.

Palivové články byly využity u projektu TriHyBus, což je český hybridní autobus na vodíkový pohon, čerpající energii z palivových článků, který byl vyvíjen Ústavem jaderného výzkumu v Řeži.

Postupně byly zahájeny projekty na budování velkých uložišť elektriny. Například projekt společnosti Solar Global, a.s., která vybuďovala velkokapacitní úložiště energie s kapacitou 1,2 MWh jako součást své solární elektrárny u obce Praksice na Uherskohradištsku. Byly použity lithium-iontové baterie. Velkou baterii vybuďoval i EON. Vlastní projekt má naplánován také ČEZ, který skladování energie zařadil mezi devět základních oblastí výzkumu.

Globální význam konverze a skladování energie je podpořen finančními prostředky jak z EU, tak z rozpočtu ČR na vědu a výzkum. Většina rozhodujících akademických institucí a dalších

výzkumných organizací se zapojují jak do fundamentálního materiálového výzkumu, tak do vývoje nových technologií a do aplikačního vývoje. Např. se studují materiály perspektivní nejenom pro konverzi a skladování energií, ale i termochemické materiály pro ukládání tepla, možnosti náhrady lithia v bateriích sodíkem, zlepšení vlastností baterií nanotechnologiemi, dále kapalně organické vodíkové nosiče. Termochemické materiály ukládají energii do chemických vazeb. Jejich výhodou je vysoká hustota energie, řádově vyšší než u tradičních tepelných akumulátorů využívajících tepelnou kapacitu vody. V řadě případů jsou výzkumné projekty řešeny za široké mezinárodní účasti.

Na VŠCHT Praha se vyvíjejí nové technologie elektrolytické přípravy vodíku z vody (např. vysokoteplotní elektrolyza jako efektivní výroba vodíku v návaznosti na budoucí jaderné reaktory nové generace). Vědci z Ústavu fyzikální chemie J. Heyrovského AV ČR se podíleli na vývoji na Li – iontové baterie HE3DA, zaměřují se i na nové technologie lithium-vzduchových a sodík-iontových baterií (Na-ion). Použití NM v těchto technologiích může zdokonalit jejich vlastnosti, například použití křemíkových nanovláken.

Vědci v Ústavu chemických procesů AV ČR se zabývají materiály, které by šlo využít ke skladování tepelné energie.

Nový dvojrozměrný derivát grafenu vyvinuli vědci z Regionálního centra pokročilých technologií a materiálů (RCPTM) Univerzity Palackého. Podle nich je materiál předurčený pro výrobu superkondenzátorů pro ukládání elektrické energie, které by mohly překonat slabiny v současné době využívaných baterií či kondenzátorů.

Společná laboratoř Ústavu chemických procesů AV ČR a Ústavu termomechaniky AV ČR se zaměřila na experimenty rozvíjející výzkumné a demonstrační aktivity v oboru skladování tepelné energie. Ve ŠKODĚ ELECTRIC a.s. řeší vývoj systému trakčních baterií.

To jsou jen vybrané příklady realizace výsledků VaV v ČR.

Při současném růstu fotovoltaiky k terawattovým výkonům (očekávaným ještě před rokem 2030) je tak nutné věnovat zvýšenou pozornost i jejím možným dopadům na životní prostředí. Řada chemikálií použitá pro výrobu solárních článků mohou tvořit nebezpečný odpad jak při výrobě, tak při následné likvidaci článků. Tato situace otevírá příležitosti pro výzkum nových generací tenkovrstvých fotovoltaických článků s vyšší účinností (samozřejmě při zachování nízkých výrobních nákladů).

ČR v podpoře vodíkových technologií zatím za Evropou zaostává, což může mít důsledky pro konkurenceschopnost českého průmyslu. Přes rychlý vývoj v oblasti nových materiálů jsou současné výzkumné aktivity na poli fotovoltaiky spíše roztržité, nezacílené a často pouze sledují módní trendy. To se týká jak fundamentálního, tak i aplikovaného výzkumu. Základním požadavkem je využít kvalitní výzkumnou základnu ve fyzikálně chemických a inženýrských oborech a v nanotechnologiích pro rozvoj materiálů a technologií aplikovatelných v průmyslu při zachování ekonomické konkurenceschopnosti navržených řešení.

Témata pro další vývoj a výzkum

- vývoj zařízení s účinností generování solárního vodíku cca o 20 % vyšší, než je účinnost současné fotovoltaické technologie;
- vývoj amorfních Si-hybridních materiálů pro solární články;
- vývoj přípravy velmi čistých látek pro fotovoltaiku;
- vývoj mikrovláken pro fotovoltaiku, včetně využití křemíkových nanovláken ke zvýšení nabíjecí kapacity lithium-iontových baterií;
- vývoj technologie elektrolyzy pro přeměnu obnovitelné elektřiny na vodík založené na levných a dostupných katalytických kovech;
- vývoj elektrolytické výroby vodíku pomocí fotoelektrochemického rozkladu vody;
- vysokoteplotní elektrolyza jako efektivní výroba vodíku v návaznosti na budoucí jaderné reaktory nové generace;

- vývoj NM pro fotovoltaické články, superkondenzátory a baterie a pro výrobu vodíku a jiných solárních paliv;
- vývoj grafenové baterie a grafenové katody pro superkondenzátory;
- vývoj vodivého polymeru pro konstrukci vysokorychlostního superkondenzátoru;
- vývoj ekonomicky úspornějších palivových článků;
- vývoj levnějších nefluorovaných membrán pro použití v palivových člancích;
- nanotechnologie a pokročilé materiály pro nízkouhlíkové technologie v energetice a velkokapacitní zásobníky energie založené na nano strukturách nitridů kovů;
- vývoj katalyzátorů, které budou schopny s využitím slunečního záření rozkládat vodu na vodík a kyslík;
- vývoj přípravy kompozitního elektrokatalyzátoru pro elektrochemické štěpení vody s využitím dusíkem dopovaného grafen oxidu a sulfidu niklu;
- chemické materiály a pokročilé hybridní nanostruktury pro konverzi a skladování energií;
- katalytické technologie k ukládání obnovitelné elektřiny nebo obnovitelného vodíku v kapalných palivech;
- vývoj elektricky odolné technologie Na-ion solárních článků pro náhradu nedostatkového lithia.

V dlouhodobém horizontu:

- koncentrační fotovoltaika budoucí generace fotovoltaické architektury, která bude využívat nanotechnologie a další pokročilé technologie, např. nanodrátky nebo polovodičové kvantové tečky;
- vývoj solárních článků třetí generace (např. DYE sensitized solar cells DSC);
- vývoj vícevrstvých solárních článků (z tenkých vrstev) a solárních článků s vícenásobnými pásy;
- výzkum termofotovoltaické přeměny;

3.5.8 Lehké multifunkční materiály a kompozity

Automobilový, letecký a kosmický průmysl potřebují materiály co nejlehčí při zachování nebo zlepšení užitných vlastností zejména z důvodu úspory paliv a tím snížení uhlíkové stopy.

Dalšími aplikačními obory je výroba větrných elektráren, elektrotechnický průmysl, pokročilé obalové materiály, obranný průmysl, stavební a infrastrukturní průmysl. Podle Markets and Markets trh s multifunkčními materiály a kompozity poroste ze 72,58 miliard USD v roce 2016 na 115,43 miliardy USD do roku 2022, na úroveň CAGR 8,13 % mezi roky 2017 a 2022. Podle dílčích údajů fy Freedonia byl v roce 2015 podíl automobilového průmyslu téměř 77 %, leteckého průmyslu necelých 19.5 %. Dále uvádějí, že nanokompozity do roku 2025 představují trh s 9 miliardami USD s objemem téměř 5 milionů tun. Předpokládají, že nanokompozity na bázi komoditních plastů, jako je polypropylen, polyethylen a PVC, budou ovládat trh.

Podle BBC Research se celosvětová spotřeba nanokompozitů v roce 2016 výrazně zvýšila a dosáhla 309 351 tun s odhadovanou hodnotou téměř 1,5 miliardy USD. Rychlý růst spotřeby nanokompozitů by měl trh do roku 2022 dosáhnout téměř 1,1 milionu tun, což naznačuje CAGR o objemu 23,1 % v letech 2017 až 2022. Evropská spotřeba nanokompozitů by měla v roce 2022 dosáhnout 2,7 miliardy USD s největším podílem obalových materiálů (60,4 %).

Jiní evropští prognostici jsou poněkud opatrnější s ohledem na předpokládané tempo komercializace levných efektivních nanomateriálů a hlavní boom očekávají až kolem roku 2025.

Vlastnosti, které lze ovlivňovat při aplikaci multifunkčních materiálů jsou váha, pevnost, tuhost, tvrdost, odolnost vůči okolnímu prostředí (např. UV záření, mechanickému poškození), teplotní odolnost, stálost, životnost, ale také snadná recyklovatelnost. Konstrukteři, tlačení požadavky na nižší hmotnost a lepší parametry svých konstrukcí, stále více neváhají využít ve svých návrzích materiály, které byly dříve vyhrazeny pouze pro nejnáročnější high-tech aplikace. Vysoce výkonné zpracování multifunkčních materiálů, lehkých slitin, titanu a kompozitních materiálů, často unikátní vlastnosti požadovaných materiálů, vysoké nároky na jakost a integritu povrchů, recyklovatelnost, ale také nákladovost, jsou hlavními žádanými parametry pro další vývoj. Zvýšení efektivity na úrovni systému a multifunkčnosti výrobků a komponent je jednou z hlavních výhod použití některých nových polyvalentních materiálů a konstrukcí. Tato polyvalence nebo multifunkčnost je v současné době významným tématem ve vědeckých a inženýrských kruzích a získává stále větší pozornost.

Výzkum a vývoj je v současné době zaměřen zejména na sofistikované metody přípravy pokročilých materiálů (nanostrukturních, inteligentních, aktivních, funkčních) z keramiky, skla, plastů, aramidových a uhlíkových vláken, nejrůznějších nanomateriálů atd. Kompozity vyztužené skelnými a uhlíkovými vlákny a systémy tzv. multimateriálů (CFRP - kovové vícevrstvé kompozity) se stávají čím dál víc běžnější v automobilovém průmyslu, tzv. lehký design hraje klíčovou roli při zavádění elektromobilů, v rozvoji větrné energetiky, ale také v kosmickém výzkumu apod.

Další zásadní oblastí je vývoj a výzkum materiálů se zvýšeným vnitřním tlumením. Vibrace jsou jednou z největších překážek ve strojírenství a řešení pomocí zvyšování tuhosti vede ke zvyšování hmotnosti. Řízené zvyšování tlumení konstrukcí pomocí nových materiálů nebo přídavných materiálů přinese řadu zásadních inovací v oborech strojírenství.

Pro sektor strojírenství, výrobu dopravních prostředků a elektroniky jsou důležité pokroky v technologiích zaměřených na funkční povrchové vrstvy. Zásadním úkolem je řešení průmyslové zpracovatelnosti, aplikace na složité a rozměrné povrchy, zajištění procesní spolehlivosti, a především trvanlivosti vlastností. Neméně důležitou jsou dále technologie zaměřené na snižování pasivních odporů a vyztužování materiálů nebo modifikaci jejich vnitřních strukturálních vlastností. Kompozitní materiály mají díky těmto vlastnostem velký potenciál pro redukce hmotnosti vozidla.

Řada stávajících kompozitních materiálů je založena na termosetových pryskyřicích, které již nelze recyklovat. Vývoj nových kompozitních materiálů na bázi termoplastických pryskyřic je nadějnější kvůli jejich snadnější recyklaci. Kompozity s termoplastovou maticí (Fibre Reinforced Thermoplastics – FRTC) jako jeden z klíčových materiálů budou v dalších letech více využívány ve strojírenství pro konstrukci lehkých dílců. FRTC jsou velkou skupinou kompozitních materiálů, jejichž struktura je tvořena termoplastovou maticí a vláknovou výztuží. Mezi nejčastěji používané materiály matic patří PEEK, PEKK, PPS a PA12. Matrice může být vyztužena jednosměrnými vlákny nebo tkaninou nejčastěji z uhlíkových nebo skelných vláken.

Jednou z nejdůležitějších oblastí rozvoje multifunkčních materiálů a kompozitů jsou nanokompozity. Důvodem použití aktivní látky ve formě nanočástic jsou její kvalitativně odlišné fyzikální vlastnosti oproti běžným plnivům. Vlastnosti nanokompozitů se odvíjejí jednak od složení, ale zároveň od velikosti částic, jejich morfologie a uspořádání. Kompozitní nanomateriály mají velmi široké použití t. pro ukládání informací, magnetické chlazení, ferrofluidy, zobrazovací metody v medicíně, různé senzory, elektromechanické a magnetomechanické měniče, antiseptická vlákna, namáhané součásti letadel. Velký zájem je o "inteligentní materiály" - např. materiály, které budou sledovat a hlásit své vlastní „zdraví“. To vyžaduje vývoj mnoha nových senzorů, z nichž některé musí být nedílnou součástí materiálu. Mimořádné fyzikálně-chemické vlastnosti nanomateriálů, jako jsou mechanické, katalytické, magnetické, optické a další vlastnosti, zvýší jejich pronikání do řady aplikačních

oblastí a přinesou výrazné zlepšení konečných produktů. Polymerní nanokompozity s anorganickými nanoplňivy (jíly, oxidy, kovové prášky, prášky z intermetalických látek nebo keramiky) mají dnes již poměrně široké průmyslové využití, např. v automobilovém, leteckém a obranném průmyslu. Jednou ze stěžejních otázek přípravy těchto materiálů ale zůstává dispergace nanoplňiva v matrici a jeho adheze k polymeru. Perspektivní jsou plastové konstrukční materiály, které budou mít vyšší pevnost, tvrdost, tvarovou stálost, větší tepelnou stabilitu a menší hořlavost. Polymerní nanokompozity se také uplatňují v případě nátěrových hmot a povrchových úprav. Takto lze použitím očekávat zlepšení odolnosti proti poškrábání, zlepšení tepelné odolnosti, vzrůst tvrdosti, zlepšení ořezuvzdornosti, zlepšení bariérového efektu (nižší propustnost pro kapaliny, plyny a páru), zvýšení odolnosti proti UV záření, snížení koeficientu tření na povrchu úpravy, snížení hodnoty expanzního koeficientu, snížení hořlavosti, antimikrobiální vlastnosti, rozměrovou stálost, zvýšenou odolnost proti šíření trhlin. Je tak možnost ovlivnit životnost materiálu a zachování žádoucí funkčnosti.

Základním cílem pro vývoj těchto materiálů do roku 2020 je dosažení zlepšení vlastností různých tříd materiálů o 20 až 25 % oproti současnému stavu. To si vyžádá další vývoj zejména multifunkčních materiálů.

Prioritní výzkumná témata

- výzkum užitečných vlastností a aplikačních možností lehkých polymerních kompozitů pro stavbu karoserií;
- výzkum vlivu úpravy povrchu na zvýšení životnosti a provozní spolehlivosti exponovaných komponent vodních turbín;
- výzkum a vývoj nanokompozitních materiálů
- vývoj ekonomicky schůdné metody výroby zpěněných kovů;
- studium možností přípravy kompozitních materiálů pomocí metod plastické deformace;
- výzkum technologií přípravy mikro – a nanočástic a jejich aplikace v tenké vrstvě na povrch substrátů;
- výroba kompozitů na bázi textilií s aplikací vrstev s obsahem nanočástic se zaměřením na zvýšení vodivosti a mechanických parametrů materiálu;
- komplexní řešení problematiky distribuce částic v nátěrovém materiálu ve formě pasty, pěny nebo suspenze;
- příprava nových kompozitních materiálů na bázi grafenoxidu a podvojných vrstevnatých hydroxidů jako sorbentů těžkých kovů z vodných roztoků;
- vývoj nových termosetových a termoplastických polymerních systémů pro lehké kompozity plněné uhlíkovými vlákny;
- vývoj inovativních lehkých, vysoce výkonných kovových konstrukčních materiálů s přizpůsobenou mikrostrukturou;
- rozvoj nových pokročilých multifunkčních ploch splňujících požadavky trhu na superhydrofobitu, schopnost samočištění nebo odolnost proti námraze při zachování nebo zlepšení tribologických vlastností povrchů;
- výzkum pokročilých technologií úprav povrchů se zaměřením zejména na automobilový průmysl a výrobu dopravních prostředků;
- vývoj materiálů se schopností se samy opravit (např. nárazníky vyhovující požadavkům na recyklaci, odolné UV záření nebo povrchová úprava proti poškrábání);
- výzkum materiálů s přizpůsobenými vlastnostmi tepelné nebo elektrické vodivosti (např. pro vnější povrch letadel, pro ochranu proti osvětlení, termoelektrické materiály pro termoelektrické generátory);
- vývoj lehkých materiálů pro motory (např. keramické pěny);

- vývoj multifunkčních materiálů s integrovanou elektronikou (např. LED diody a Quantum Dot pro palubní desku automobilu);
- vývoj kompozitních povlaků snižujících tření nebo opotřebení pro energetický sektor (např. pístní kroužky a vložky do válců), materiály získané 3D tiskem nebo nano nanášecími technikami);
- vývoj materiálů s antikorozními vlastnostmi (např. nádrže pro přepravu močoviny nebo pohonných hmot);
- požárně odolné materiály (například krycí materiál, jako je kůže a textilie, pro interiéry)
- vývoj nových termosetových a termoplastických polymerních systémů pro struktury s uhlíkovými vlákny;
- vývoj materiálů pro Smart obaly fungující nejenom jako ochrana proti znečištění a proti oxidaci, ale současně fungující jako senzory kvality;
- výzkum technologií přípravy mikro – a nanočástic a jejich aplikace v tenké vrstvě na povrch substrátů

Situace v ČR

Národní RIS3 strategie uvažuje posilovat a rozvíjet mimo jiné výrobu dopravních prostředků a zařízení, strojírenství, elektroniku a elektrotechniku. To jsou obory, které kladou nejvyšší nároky a určují špičkové požadované parametry na dodávané komponenty a materiály. Rozvoj tohoto segmentu pokročilých materiálů je spojován s Iniciativou Průmysl 4.0, je součástí programu Horizon+ 2020 a výzev MPO ČR pro aplikovaný výzkum.

Řada firem sice vyrábí klasické sklolaminátové produkty a polykarbonátové výrobky zejména pro automobilový průmysl, výrobu různých bazénů, lodí a další, ale skutečný rozvoj výroby multifunkčních materiálů a kompozitů poněkud zaostává.

Existuje vědecko výzkumná základna, které se daří zapojovat se i do větších mezinárodních projektů nebo získávat granty na své projekty. Zapojené různých profesí, výzkumných organizací a budoucích uživatelů je efektivním trendem. To umožňuje nejen řešit výběr vhodných surovin, ale také vlastní proces přípravy multifunkčního materiálu a jeho následné zpracování na konečný výrobek.

Jako příklad může sloužit mezinárodní projekt Fibrechain (Integrated Process Chain for Automated and Flexible Production of Fibre-Reinforced Plastic Products) zaměřený na vývoj technologií pro automatickou výrobu dílců z FRTP vedený Fraunhofer IPT. Na řešení se podílelo sedmáct partnerů (z Německa, Nizozemska, Belgie, Francie, Švýcarska, Velké Británie a ČR. Česká republika byla v konsorciu zastoupena firmou Strojírna Tyc a Výzkumným centrem pro strojírenskou výrobní techniku a technologie ČVUT v Praze.

Ústav anorganické chemie AV ve spolupráci s ROKOSPOL a.s., Toseda s.r.o. a Ústavem jaderného výzkumu Řež řešil projekt „Nové perspektivní nano – kompozitní materiály na bázi chalkogenidů přechodných kovů pro fotovoltaické nátěrové hmoty“ a projekt „Kompozitní nanomateriály na bázi grafenu s jedinečnými vlastnostmi pro environmentální aplikace“ a projekt „Transparentní nanohybridní systémy s mimořádnou odolností proti UV záření a extrémním teplotám“.

Tým odborníků z INVOS, SYNPO, UTB, Mendelovy univerzity a Univerzity Palackého řešil projekt „Využití nanomateriálů a přírodních extraktů jako funkčních látek ve vývoji aktivních obalových materiálů s bariérovým efektem, antimikrobiálním, protektivním a kyslík pohlcujícím efektem“.

Synpo a.s. Pardubice v centru kompetence ve spolupráci s COLORLAK, a.s., GALATEK a.s., Honeywell Aerospace Olomouc s.r.o., Honeywell International s.r.o., Masarykova univerzita, Univerzita Pardubice / Fakulta chemicko-technologická, Ústav fyziky plazmatu AV ČR, v. v. i., VITON s.r.o., Vysoké učení technické v Brně / Středoevropský technologický institut,

Výzkumný a zkušební letecký ústav, a.s., ZVVZ MACHINERY řeší projekt „Kompozitní materiály na bázi modifikovaných uhlíkových nanostruktur a vodivých polymerů“.

Možným směrem vývoje nanokompozitů by mohla být i aplikace nanovláken. Tato vlákna na bázi různých polymerů i anorganických sloučenin (TiO_2 , ZrO_2 , TiN) jsou v ČR vyvíjena na Technické Univerzitě v Liberci v úzké spolupráci s firmou Elmarco.

Témata pro další vývoj a výzkum

- vývoj aplikací grafenu a jeho derivátů pro přípravu speciálních nanokompozitů;
- vývoj aplikací v ČR vyráběných nano TiO_2 a ZnO pro nanokompozity;
- výzkumu povlakových technologií se specializací zejména na automobilový průmysl a výrobu dopravních prostředků;
- studium možností náhrady klasických (kovových) materiálů pomocí kompozitů s vlastnostmi upravenými na míru;
- vývoj povrchových úprav se zlepšenými vlastnostmi a odolností proti různým, zejména povětrnostním vlivům;
- výzkum podmínek přípravy nových, netradičních typů nanokompozitních materiálů na bázi montmorillonitických jíílů a dalších typů anorganických nanočástic;
- vývoj aplikací nanovláken z TiO_2 , ZrO_2 , TiN v nanokompozitech;
- vývoj samo organizovatelných kompozitních materiálů a “chytrých povrchů”.
- rozvoj nových pokročilých multifunkčních ploch splňujících požadavky trhu na superhydrofobitu, schopnost samočištění nebo odolnost proti námraze při zachování nebo zlepšení tribologických vlastností povrchů;
- příprava nových kompozitních materiálů na bázi grafenoxidu a podvojných vrstevnatých hydroxidů jako sorbentů těžkých kovů z vodných roztoků;

3.5.9 Pokročilé katalyzátory

Katalyzátory jsou chemické speciality s vysokou přidanou hodnotou a know how. Katalýza a katalytické procesy představují přímo nebo nepřímo asi 20–30 % světového HDP. 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. 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, ropné rafinérie a výrobu plastů. Má rozhodující úlohu při rozvoji udržitelného využívání energie, v zavádění nízkouhlíkové ekonomiky, při výrobě biopaliv, jakož i při ochraně životního prostředí, vody a klimatu. Může přispět k řešení snížení spotřeby ohrožených surovin, jako jsou prvky vzácných zemin a další. Katalýza je jedním z rozhodujících řešení zachování konkurenceschopnosti a je jednou z klíčových technologií pro většinu ze sedmi společenských výzev v programu Horizon 2020.

Podle Allied Market Research globální trh s katalyzátory byl v roce 2015 oceněn na 28 567 milionů USD a očekává se, že v roce 2022 dosáhne 40 000 milionů dolarů a bude růst s CAGR 4,8 %. Podle nejnovější studie Grand View Research se očekává, že globální trh v roce 2024 dosáhne 34,3 miliardy USD. Výroba katalyzátorů v Evropě byla odhadnuta na 4 miliardy EUR ročně.

Trh chemických sloučenin jako katalyzátorů předpokládá v letech 2016-2024 růst při CAGR 4,2 %. Očekává se rostoucí aplikace aminů jako katalyzátorů pro výrobu polyuretanové pěny kvůli zvýšení rychlosti reakce mezi polyoly a polyuretanem. Zároveň se předpokládá zvýšení požadavku na polyuretanové pěny.

V roce 2015 představoval globální trh s katalyzátory objem 6, 6467 kt, z toho bylo kovových katalyzátorů 1,568.4 kt, požadavky na katalyzátory v petrochemii a polymerech činily 1, 419,1 kt. Očekává se rostoucí poptávka po katalyzátorech pro rafinerie, výrobu technických plastů v automobilovém, leteckém, elektronickém a energetickém sektoru.

Katalyzátory pro chemické syntézy představovaly 29,1 % celkového objemu trhu v roce 2015. Environmentální aplikace porostou v letech 2016-2024 nejrychleji na úrovni CAGR 4,4 %. Očekává se, že posílení aplikace katalyzátorů pro procesy sanace životního prostředí, včetně průmyslových a komunálních odpadů a systémů pro regulaci emisí, bude mít pozitivní dopad na trh.

Chemické sloučeniny, včetně peroxidů, aminů a kyselých sloučenin, představovaly v roce 2015 41,0 % objemu v průmyslu katalyzátorů. V dalším období porostou požadavky na kovové katalyzátory díky rostoucího uplatnění v organické syntéze chemikálií a průmyslové výrobě chemických produktů. Jako katalyzátory pro zvýšení rychlosti reakce při chemickém zpracování, rafinaci a výrobě polymerů se používají kovy jako nikl, měď, chrom, kobalt, molybden, paladium, platina, zlato, ruthenium a rhodium.

U výrobků na bázi zeolitu se očekávají růstu na úrovni CAGR 4,9 % v letech 2016 až 2024 z důvodu jejich vlastností, jako je vysoká pórovitost a nastavitelná kyselost. Rozšíření aplikací FCC pro přeměnu uhlovodíků s vysokou molekulovou hmotností do lehkých řezů, jako je benzín a nafta v USA, by mělo vést k zvýšení poptávky po zeolitových katalyzátorech během následujícího období.

Heterogenní katalyzátory se v roce 2015 podílely na celkovém objemu trhu 73,6 %. Očekává se, že nízké ceny a snadný přístup na trh u heterogenních katalyzátorů zůstávají příštích osm let příznivými faktory. Předpokládá se, že homogenní katalyzátory dosáhnou nejrychlejšího růstu při CAGR o 4,4 % od roku 2016 do roku 2024. Dobrá rozpustnost homogenních katalyzátorů v reakční fázi je základním rysem, který podmiňuje použití při výrobě chemikálií, petrochemikálií a polymerů.

Klíčovou charakteristikou katalýzy jako vědní disciplíny je její interdisciplinární charakter. Úspěšná realizace nových katalytických řešení a technologií vyžaduje integraci odborných znalostí z chemie, fyziky, biologie, matematiky do chemického a materiálového inženýrství a aplikované průmyslové chemie. Integrace teoretického modelování in situ k pochopení reakčních mechanismů, vědy o přípravě katalyzátoru na úrovni nanometrů, pokročilé mikrokinetiky a modelování reaktorů jsou příklady současných trendů v katalýze. 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. Složení katalyzátoru není prozatím možné odvodit pouze za použití teoretického popisu, experimentální výzkum má v katalýze stále nezastupitelné místo. Moderním je výpočetní modelování katalytických procesů a pokročilé syntetické přístupy zaměřené na přípravu materiálů s vylepšenými katalytickými vlastnostmi.

Řadu technických a výzkumných aspektů ve vybraných segmentech katalyzátorů jsme rozebrali v III.SVA. Zejména se jednalo o katalyzátory pro udržitelné energie, strukturované katalyzátory pro procesy intenzifikace, katalyzátory pro rafinerskou výrobu a katalyzátory pro ekologické aplikace. Některé v dřívější SVA uváděné náměty pro výzkum jsou stále aktuální, jiné dokonce by bylo třeba urychlit. Příkladem mohou být ne zrovna levná opatření v automobilovém průmyslu vynucená novými emisními předpisy. Navíc prognózovaný rozvoj nových motorů a nových paliv vyžaduje souběžně řešit vývoj nových katalytických systémů. Další oblasti jako využití katalyzátorů pro čištění vod, pro konverzi energie, výrobu solárního vodíku, rozvoj nanotechnologií a nanomateriálů jsou diskutovány v příslušných kapitolách současné SVA.

Jednou ze základních cest ke zvýšení konkurenceschopnosti a udržitelného rozvoje jsou procesy intenzifikace stávajících výrobních procesů v chemickém průmyslu, energetice a v dalších odvětvích. Jejich cílem je výrazné zvýšení efektivnosti využívání zdrojů z hlediska spotřeby materiálu a energií, což má zajistit další ekonomickou udržitelnost procesů do budoucna. Potřeba účinnějších procesů, včetně dalších flexibilních konstrukčních návrhů a současně zvýšení bezpečnosti a snížení environmentálního dopadu těchto procesů, vyvolává požadavky na nový výzkum v této oblasti. Zlepšení transportních procesů v chemických reaktorech může hrát klíčovou úlohu při intenzifikaci procesů, povede rovněž ke kompaktnějším a efektivnějším zařízením a umožní lepší integraci procesů, což zase vede ke snížení počtu procesních kroků (např. multifunkční reaktory). Intenzifikace procesů katalýzou a integrace katalýzy s jinými technologiemi (např. membránovými technologiemi) povede rovněž ke snížení počtu kroků procesu.

Konverze oxidu uhličitého na solární paliva nebo solární chemikálie přináší vlastní výzvy k vývoji účinné konverze založené na nejrůznějších formách obnovitelné energie. Z krátkodobého hlediska je kritickým faktorem snížení nákladů na výrobu vodíku díky lepšímu designu katalyzátoru v elektrolyzérech, avšak v dlouhodobém horizontu by měla být obnovitelné energie využívána bezprostředně bez meziprojektu vodíku ke konverzi CO₂ na solární paliva a chemikálie. To mimo jiné vyžaduje další vývoj elektrokatalýzy, která může pracovat v synergii s fotoaktivními materiály a katalyzátory.

Vyvinout nové katalyzátory pro stabilizaci a modernizaci katalytického krakování pyrolýzních olejů, které jsou odolnější vůči různým formám deaktivace. Tento výzkum společného procesu fluidního krakování by měl být rozšířen na všechny hlavní procesy konvenčních rafinérií. Vývoj termických a netermických katalyzátorů (elektro a fotokatalyzátorů) pro selektivní konverzi nízko kvalitní suroviny (např. biomasy, glycerin glycerol atd.) na chemikálie s vysokou přidanou hodnotou.

Pochopení nano-architektury a její úlohy při řízení funkčních výkonů zůstává hlavní výzvou pro katalytické nanomateriály. Příkladem je vývoj pokročilých elektrod. Existují klíčové technologické oblasti energetického odvětví, které vyžadují lepší elektrodovou nanostrukturu, aby překonaly běžné hranice a zvýšily svůj výkon.

Strukturované katalyzátory a reaktory poskytují velkou příležitost pro implementaci těchto strategií do průmyslové praxe. Několik studií jednoznačně prokázalo potenciál výrazně zvýšit přenos tepla a hmoty na mezifázovém rozhraní (plyn / pevná látka a plyn / kapalina / pevná látka) při současném zachování omezených poklesů tlaku, stejně jako celkový přenos tepla v reaktoru. Nové příležitosti pro budoucí aplikace strukturovaných katalyzátorů mohou vyplývat z kombinace pokročilého modelování geometrie reaktoru, schopného poskytnout přesný popis všech relevantních chemických a fyzikálních jevů na různých stupních s novými technologiemi výroby aditiv, která umožní realizaci komplexních a vysoce specializovaných geometrií zařízení. Příkladem je monolitický, membránový, mikro kanálkový a hierarchický návrh nebo 3D tisk. Taková kombinace modelové optimalizace s přizpůsobenou výrobou by vedla k technologickému procesu se zvýšenou výkonností, které lze aplikovat jak na výrobní procesy velkotonážních chemických produktů, tak na výrobu chemických specialit, jakož i na vysoce inovativní energetické a environmentální technologie zahrnující chemickou transformaci.

Stále se objevují nové trendy ve vývoji nových katalytických materiálů, zařízení a procesů. V některých oblastech se jedná o zlepšení stávajících katalyzátorů nebo jejich přizpůsobení novým surovinám, jako je přechod z ropy na biologické suroviny. Jedním z příkladů je fixace dusíku. Výroba amoniaku je jedním z nejvíce energeticky náročných procesů s více než 2,5 TJ energetické spotřeby a produkcí 350 Mt CO₂ emisí/rok. Výroba NH₃ za mírných podmínek, například elektrokatalýzou nebo fotokatalýzou za použití obnovitelných zdrojů energie by

mohla zcela změnit dopady výroby amoniaku na životní prostředí a současně poskytnout nový základ pro konkurenceschopnost chemického průmyslu.

Zcela mimořádný význam má katalýza pro rafinersko-petrochemický průmysl, pro flexibilitu výroby, kvalitu výrobků a udržení konkurenceschopnosti. Podrobněji je tato problematika diskutována v kapitole 3.6. Zpracování ropy.

Katalytické spalovací procesy přinášejí nejen racionalizovaný a nízkoemisní prostředek pro konverzi energie do hořáků, plynových turbín, reformátorů a palivových článků, ale mohou být také použity pro následné zpracování výfukových plynů v stacionárních a mobilních systémech. Katalytické spalování nabízí důležité výhody ve snížení množství znečišťujících látek a vyšší stupeň účinnosti. Jednou z dosud otevřených otázek je potřeba nahradit katalyzátory na bázi vzácných kovů (Pt, Ir, Au a další). Hledání levnějších alternativních materiálů ukázalo, že relativně dobré katalytické aktivity lze dosáhnout také s oxidy a smíšenými oxidy, avšak další zlepšení je žádoucí. Jedním z úkolů je udržení vysokých specifických povrchů stabilních i při vysokých teplotách (plynové turbíny). Současné výzvy ve vývoji katalytických hořáků zahrnují zlepšení v oblasti výkonnosti, zlepšení dlouhodobé stability a snížení nákladů. Mezi oblastmi dalšího vývoje patří vývoj robustních katalyzátorů pro spalování metanu při nízkých teplotách, mimo jiné pro následné zpracování výfukových plynů na vozidlech poháněných zemním plynem, katalyzátorů pro použití v iniciačních reaktorech pro reformování benzínu a nafty, které jsou velmi robustní a odolné vůči katalytickým jedům a koksování a katalyzátorů pro snižování emisí NO_x , NO a SO_2 .

Intenzifikace výrobních procesů katalýzou a integrace katalýzy s jinými technologiemi (např. membránovými technologiemi) vede ke snížení počtu operací a ke snížení spotřeby energií, významně přispívá ke zvýšení efektivnosti výrobních procesů. Za efektivní katalytické procesy jsou považovány: vysoce selektivní katalýza, nízkoenergetické operace, komplexní a variabilní vstupní suroviny, multifunkční "inteligentní" katalýza, zvyšování a uplatnění enzymatické katalytické biologie v oblastech tradičně patřících k heterogenní katalýze.

Další strategicky významnou oblastí rozvoje katalýzy je uplatnění principů nízkouhlíkové ekonomiky a chemie založené na slunečním záření. Mezi základní výzvy pro VaV patří katalytické procesy pro efektivní využití uhlíkatých energetických surovin, výzkum a vývoj katalyzátoru na bázi oxidu zirkoničitého a jeho aplikace pro izomeraci C_5 a C_6 uhlovodíkové frakce, vývoj termických a netermických katalyzátorů (elektro a fotokatalyzátorů) pro selektivní konverzi nízko kvalitní suroviny (např. biomasy, glycerín glycerol atd.) na chemikálie s vysokou přidanou hodnotou.

V současné době sice existují průmyslové technologie, s jejichž pomocí lze z metanu vyrobit zajímavé produkty, obvykle ale fungují za vysokých teplot a tlaků, a bývají komplikované. Metan zpracovávají na finální produkty jenom s malou účinností a vyplatí se jediné při produkci ve velmi velkém měřítku. V současné době je ale přitom poptávka po ekonomicky výhodných technologiích zpracování metanu na zajímavé uhlovodíky ze zdrojů, které jsou malé, jen dočasné, anebo obtížně dostupné. Jediný známý katalyzátor, ať už jde o průmyslové nebo biologické procesy, který umožňuje přeměnu metanu na metanol za pokojových podmínek a se slušnou účinností, je enzym metan-monooxygenáza (MMO).

V cirkulární ekonomice je CO_2 vnímán chemickým průmyslem jako stavební kámen spíše než objekt likvidace 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. Některé procesy jsou endergonické, a tedy je lze obtížněji realizovat. Zpravidla se mnoho chemických procesů spoléhá na syntézní plyn ($\text{CO} + \text{H}_2$), např. Fischer-Tropschova syntéza, hydroformylace a karbonylace. Je třeba zkoumat možnosti rozvoje chemie založené na $\text{CO}_2 + \text{H}_2$ namísto $\text{CO} + \text{H}_2$ jako vhodného způsobu funkcionalizace uhlovodíků. Příprava uhličitánů a polykarbonátů z CO_2 nabízí přímý přístup na rozsáhlé trhy v chemickém a plastikářském sektoru. Nedávno došlo v oblasti katalýzy k významnému pokroku. Katalytická karboxylace

nabízí nové způsoby výroby karboxylových kyselin. Elektrokatalytická konverze CO_2 představuje další velmi elegantní způsob použití oxidu uhličitého. Nedávný pokrok ukázal nejen schopnost snižovat CO_2 v životním prostředí, ale také vytvářet vazby C-C během konverze, což je například otevření nových cest syntézy kyseliny octové.

Samostatnou kapitolou jsou fotokatalyzátory. Tyto materiály mají díky fotokatalýze schopnost rozkládat organické látky v přímém kontaktu s aktivovaným povrchem, mají samočisticí vlastnosti, rozkládají znečišťující látky z ovzduší: NO_x , SO_x , NH_3 , CO , aromatické uhlovodíky, aldehydy, organické chloridy a jiné. Aplikace nano forem TiO_2 se neustále rozšiřují a vedle již delší dobu zavedených aplikací vznikají stále nové náměty. Významná část těchto aplikací využívá fotokatalytického efektu povrchu TiO_2 pokud je osvětlen světlem nebo vysoké absorpční schopnosti vůči UV záření. Mezi rychle se rozvíjející aplikace nano TiO_2 patří samočisticí povrchy (keramika, náterové hmoty, vlákna, stavební materiály, zvukové bariéry, plasty, sklo, textil) a fotokatalyzátory (čištění vody, vzduchu, kontaminované zeminy). V současné době cca 54 % nano TiO_2 je používáno pro výrobu katalyzátorů. Velmi čistý nano oxid titaničitý je vhodným prekurzorem pro výrobu DeNO_x katalyzátorů, katalyzátorů pro Clausův proces odsíření ropy a zemního plynu, pro oxidaci SO_2 na SO_3 , katalyzátorů pro epoxidaci olefinů, pro Fisher-Tropschovu syntézu, konverzi o-xylenu na ftalanhydrid, konverzi toluenu na benzaldehyd, pro parciální oxidaci CH_4 na formaldehyd nebo hydrodesulfurizaci.

Významnou oblastí využití katalýzy jsou environmentální technologie. Tato oblast zahrnuje například: environmentální heterogenní katalýzu, oxidaci VOC a Cl-VOC, odstraňování organochlorovaných sloučenin a snižování emisí ze spalování. Dále vývoj nových fotokatalyzátorů a fotokatalytických technologií pro čištění vody a vzduchu a pro sterilizaci ve zdravotnictví a hygieně. Nové katalytické procesy k snížení ekologického dopadu nebo rizika výroby speciálních chemických látek (včetně katalyzátorů pro asymetrické syntézy, organokatalýzy a enzymatického procesu, tandemového procesu).

Velké téma je zpracování výfukových plynů ze spalovacích motorů, protože ty tvoří významnou část znečištění ovzduší. Přísnější legislativní omezení (EURO VI c) vyžadují přidání katalyzátorů typu De-NO_x k oxidačním katalyzátorům (DOC) a katalytický filtr sazí (CSF nebo DPF). Mezi výzkumná témata patří např. snížení počtu syntézních stupňů použitím multifunkčních katalyzátorů, snížení obsahu drahých kovů v katalyzátorech zlepšením znalostí o slinování, vývoj aplikací nano TiO_2 v katalýze výfukových plynů, nové koncepce technologického inženýrství pro recyklační katalyzátory, zvýšení účinnosti stávajících automobilových katalytických filtrů k odstraňování velmi malých částic a další související s uvažovanou změnou struktury motorů a paliv.

Zcela nové výzvy pro vývoj v oblasti katalýzy přináší strategie tzv. solárně řízené chemie, která vychází z budoucího scénáře výroby chemikálií založené na nahrazení fosilních materiálů jako zdroje energie a surovin. Klíčovým aspektem tohoto scénáře je vytvoření krátkého cyklu využití obnovitelných zdrojů energie pro výrobu chemických látek a energetických vektorů. Toto zintenzivnění při přeměně ze sluneční energie na chemickou energii je klíčovým prvkem udržitelnosti. Změnou paradigmatu v chemické (a energetické) výrobě se jedná o posun od selektivity "uhlíkových atomů" s ohledem na výchozí surovinu na vysokou energetickou účinnost při ukládání obnovitelné energie v chemických vazbách.

Klíčem k úspěchu je vývoj nových materiálů a katalyzátorů, rozvoj elektrokatalytické cesty, bioprosesů na bázi enzymů nebo bakterií, využití sluneční tepelné energie, použití polovodičů absorbujících fotony, pokročilá elektrolyza spojená s obnovitelnou elektrickou energií, katalytické systémy v plynné nebo kapalně fázi s využitím odpadu nebo vedlejších produktů transformace biomasy a mikrobiální elektrolyzy. Základním předpokladem nové koncepce chemického průmyslu je levná energie (v přebytku) a tedy levný vodík a CO_2 jako obnovitelný zdroj uhlíku pro celý výrobní řetězec chemického průmyslu. Metanol, dimethylether

(DME) a oxymethylen-ethery (OME) se nacházejí na křižovatce nové energetické chemie, protože jejich výroba a použití vykazují jedinečné rysy flexibility, což je jeden z hlavních požadavků budoucího scénáře.

Aplikace dostupných přechodových a hlavních skupin kovů v zeolitech (Zn, Cu, Ga atd.) otevírá nové zajímavé možnosti pro nové transformace plynů a kapalných fází, např. metanolu, olefinů apod. Nové procesy konverze metanu založené na homogenních nebo biokatalyzátorech ukazují zajímavé vyhlídky, ekonomika těchto procesů však vyžaduje zlepšení. Kombinace s pevnými (foto) katalyzátory vede ke zvýšení rychlosti reakce nebo cyklizaci, což je další vznikající oblast vývoje.

Vzhledem k nízkým reaktivním nebo dokonce inertním molekulám, jako je oxid uhličitý, dusík nebo alkany, počet účinných katalytických postupů pro jejich použití jako suroviny téměř neexistuje. V nejlepším případě vyžadují velmi drsné podmínky. Dosavadní vývoj katalýzy ukazuje, že právě ty substráty, které vykazují chemickou inertnost jako CO_2 , N_2 nebo $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$, nebyly zkoumány extenzivně. Jeden budoucí směr v této oblasti by tedy měl směřovat k modifikaci inertních molekul, jako je oxid uhličitý, dusík nebo alkány, které mohou být efektivně přeměněny na komoditní nebo speciální chemikálie. V souladu se současným zájmem průmyslu by měly být vyvinuty nové katalytické systémy pro selektivní částečnou oxidaci metanu, které by měly být odolné vůči ukládání uhlíku na povrchu katalyzátoru a vykazovat vysokou konverzi metanu při nízké teplotě a vysokou selektivitu vůči vodíku. Takové cíle lze řešit vhodnými volbami nosiče a použitím aktivního katalytického kovu, zejména niklu, a případně přidáním vhodných dopantů.

Katalyzátory metalocenového typu umožňují za přítomnosti kokatalyzátoru polymeraci i kopolymeraci etylenu a vyšších olefinů, polymeraci norbornenu, kopolymeraci 1,5-hexadienů, polymeraci vinyleterů a isobutylenu a v neposlední řadě styrenu na vysoce stereo regulární syndiotaktický polystyren. CGC katalyzátory - (ansa – cyklopentadienylamido sloučeniny kovů ze 4. skupiny přechodové řady prvků) jsou vhodné pro kopolymeraci etylenu se styrenem a monocyklopentadienylové sloučeniny titanu pro polymeraci styrenu na syndiotaktický polystyren. Katalyzátory na bázi metalocenu vykazují velmi specifické charakteristiky. Kokatalyzátory (např. methylaluminiumoxid) jsou obecně používány při polymeraci. Pátou generací katalyzátorů pro výrobu polyethylenu lze kombinovat se Ziegler-Nattovými katalyzátory, což vede k četným novým možnostem.

Z četných požadavků na další VaVaI jen některé např. katalytické procesy pro efektivní využití uhlíkatých energetických surovin, zlepšení elektrokatalyzátorů s cílem snížit spotřebu energie; nové katalyzátory pro přímou dekompozici metanu, vývoj aplikací molekulární katalýzy v energetických procesech, vývoj katalyzátorů na bázi metalocenu a jejich aplikací, zlepšení katalytických procesů, jako je hydrogenace, zplyňování odolné proti síře, vývoj selektivní konverze aromátů z uhlénoho dehtu, vývoj bifunkčních (oxidačně / redukčních) elektrokatalyzátorů pro aplikace na přeměnu a ukládání energie a další.

Řada souvisejících námětů je uvedena v dalších kapitolách aktualizované SVA.

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 zpracování biomasy, vyžadují integraci homogenních, heterogenních a biokatalýz. Je zapotřebí vytvořit nový koncepční návrh katalýzy pro práci v synergii s plazmou. Aktuální katalyzátory nejsou vhodné pro efektivní práci s radikálovými a vibračně excitovanými prvky přítomnými v plazmě.

Situace v ČR

ČR má významnou fundovanou vědeckou základnu pro procesní inženýrství a vývoj katalyzátorů, včetně fotokatalyzátorů. Výrobní základna je však malá a většina katalyzátorů se tak dováží. Jedním z mála výrobců katalyzátorů v ČR je firma Euro Support Manufacturing

Czechia s.r.o. v Litvínově, která se specializuje na vývoj a výrobu heterogenních katalyzátorů, zejména zakázkovou výrobu. Firma získala na projekt „Linka pro přípravu a tvarování anorganických materiálů pro heterogenní katalyzátory“ dotaci celkové 161 mil. Kč, z toho dotace EU 56 mil. Kč. Precheza a.s. zkušebně vyrábí nano TiO₂ využitelné v auto katalyzátorech. Výrobou a vývojem katalyzátorů pro výrobu polyuretanů se zabývá Borsod Chem MCHZ s.r.o. v Ostravě.

Jedním z hlavních vědeckých center v oblasti katalyzátorů je Ústav fyzikální chemie J. Heyrovského AV ČR, v.v.i. Praha, který spolupracuje s UNICRE Litvínov a firmou ASTIN Catalysts and Chemicals, s.r.o. na vývoji nových katalytických systémů technologií výroby epoxidů přímou katalytickou epoxidací alkenů, zejména allylchloridu, peroxidem vodíku. Podílejí se na vývoji deoxygenačního katalyzátoru pro transformaci obnovitelných surovin, konkrétně triglyceridů, na uhlovodíky. Dále vyvíjejí přípravu katalyzátorů na bázi zeolitu a odstraňování oxidů dusíku z průmyslového znečištění. Studují možnosti přípravy nových nanoporézních materiálů a jejich adsorpčních a katalytických vlastností a možnosti bioaplikací.

VŠCHT Praha se dlouhodobě věnuje vývoji nových typů katalyzátorů pro hydrogenační procesy v plynné fázi. Tento výzkum je součástí vyvíjených nových technologických procesů, které úspěšně aplikuje po celém světě. V minulosti byl vyvinut katalyzátor pro nejmodernější výrobu anilinu v Moravských chemických závodech Ostrava (dnes Borsod Chem MCHZ, s.r.o.). Spolu s originální technologií je katalyzátor úspěšně aplikován nejenom v Ostravě, ale i v Japonsku. Tímto postupem je vyráběno 10% světové produkce anilinu. Podobně byly vyvinuty procesy včetně katalyzátoru pro výrobu cyklohexylaminu, dicyklohexylaminu, izopropylaminu, metylizobutylketonu, cyclopentylaminu, N,N-dimethylcyklohexylaminu, N,N-dimethylisopropylaminu, N,N-dimethylpropylaminu, 1,4-diazabicyklo [2.2.2]oktanu a další. Většina vyvinutých katalyzátorů se v ČR vyrábí.

Kromě BC-MCHZ spolupracuje tým profesora Paška s dalšími podniky v české republice i ve světě (Diamo Stráž pod Ralskem, Chemoprojekt, Chemopetrol Litvínov, Unipetrol RPA Litvínov, DEZA Valašské Meziříčí, Kaučuk Kralupy, Spolek Ústí n/L, TEMPERATOR s.r.o. Liberec, VUCHT Bratislava, Duslo Šála, Chemko Strážské, Sulzer Švýcarsko, Fuxin Čína, Taminco Gent, Taminco St. Gabriel USA, Taminco Pace USA, Taminco Leuna, Tosoh Tokuyama Japonsko, Pigment Tambov Rusko).

UNIPETROL RPA, s.r.o. - POLYMER INSTITUTE BRNO, odštěpný závod vyvíjí katalyzátory pro polymeraci ethylenu a propylenu pomocí heterogenních Zieglerových-Nattových, chromových, případně metalocenových katalytických systémů. Experimentální zařízení umožňuje rovněž studium vlivu katalytických jedů na chování polymeračních katalyzátorů.

Ústav chemických procesů AV v.v.i. Praha se zabývá mimo jiné přípravou tuhých látek definovaných vlastností pro katalytické i nekatalytické procesy, stanovením reaktivity, aktivity a selektivity heterogenních katalyzátorů v hydrogenačních, oxidačních a hydrodesulfurizačních reakcích. Studují Imobilizované biokatalyzátory, reakce katalyzované esterázami. Prováděl pro Interpharma, a.s. Praha hodnocení hydrogenačních katalyzátorů a s UNICRE, a.s. Litvínov prováděl výzkum katalytických procesů.

VUT Brno provádí vývoj elektrochemického katalyzátoru pro kladnou elektrodu palivového článku s cílem úspory Pt.

V ČR byl vyvinut nový materiál v podobě vláknenného sorbentu z oxidu křemičitého s velkým měrným povrchem technologií odstředivého zvlákňování, který dokáže excelentně ochránit proti vlhkosti jakýkoliv materiál a zároveň dokáže velmi dobře zachytit různé nežádoucí látky ze vzduchu a bude jej možné použít jako nosič pro katalytické nanočástice, což umožní konstrukci unikátních katalytických filtrů pro spalovací motory.

Recyklaci drahých kovů z katalyzátorů se zabývá Safina a.s. Vestec.

Témata pro další vývoj a výzkum

- vylepšení prediktivní schopnosti výpočetního modelování k předvídání skutečných katalyzátorů pro racionální návrhy katalyzátoru, jeho charakterizaci a testování;
- vývoj organokovových komplexů, imobilizovaných organokovových katalyzátorů nebo molekulových katalyzátorů;
- vývoj syntézy pokročilých a hybridních katalytických systémů s přizpůsobenou reaktivitou;
- vývoj katalýzy pro materiály se specifickými vlastnostmi (elektronické, fotonické, magnetické);
- snížení obsahu drahých kovů v katalyzátorech zlepšením znalostí o slinování;
- vývoj aplikací nano TiO₂ v katalýze výfukových plynů;
- vývoj deoxygenačního katalyzátoru pro transformaci obnovitelných surovin na uhlovodíky;
- vývoj katalytického systému pro selektivní částečnou oxidaci metanu, který by měl být odolný vůči ukládání uhlíku;
- vývoj vhodných katalyzátorů pro katalytickou pyrolýzu;
- vývoj technologie a katalyzátorů pro výrobu metanu z obnovitelného vodíku a CO₂.

3.5.10 Výroba prášků z kovů, funkčních slitin, keramiky a intermetalických látek

Výroba prášků z různých kovových i nekovových materiálů představuje významný sektor pokročilých materiálů s rozsáhlým sortimentem chemickým látek a technologií. Z navazujících technologií je třeba zmínit AM a práškovou metalurgii. Vzhledem k nárůstu významu AM a nanotechnologií došlo k vyčlenění těchto témat do samostatných částí aktualizované SVA. Prášková metalurgie umožňuje přípravu materiálů, které nemohly být zpracovány klasickou technologií tavení a lití, např. vysokotavitelné kovy (Pt, W, Mo, Ta apod.). Zpracování práškových kovů lze realizovat i řadou jiných klasických technologií, např. sléváním, tvářením, obráběním, ale technologie práškové metalurgie je technicky a ekonomicky mnohem výhodnější. Zpracování práškových kovů tvářením, např. kování, protlačováním, válcováním umožňuje současné zlepšení užitných vlastností a ekonomie výroby. Další výhodou je možnost výroby tzv. pseudoslitin z navzájem jinak nemísitelných kovů – slitiny téhož složení nelze vyrobit klasickou metalurgickou technologií.

Podle Markets and Markets se předpokládá, že celosvětový trh s kovovými prášky pro práškovou metalurgii poroste do roku 2020 tempem na úrovni CAGR 3,80 %, v dalších letech až 6,5 %. V roce 2020 dosáhne tento trh hodnoty 4,06 miliard USD a v roce 2023 hodnoty 7,8 miliard USD. Asijsko-pacifický region je nejrychleji rostoucí trh s nejvyšším CAGR ve výši 5,01 %. Severní Amerika představuje přibližně 40,4 % celkového podílu na trhu. Práškové železo tvořilo v roce 2014 73,6 % podíl na trhu kovových prášků. V období do roku 2020 se však předpokládá rychlejší nárůst spotřeby neželezných práškových materiálů. Podle Transparency Market Research však trh s prášky pro práškovou metalurgii měl již v roce 2013 dosáhnout hodnoty 6,06 miliard USD a do roku 2020 byl při růst s CAGR 5,4 % dosáhnout až k 9 miliardám USD. Dále uvádějí, že automobilový průmysl představuje zhruba 65 % podíl na trhu. Podle studie Global Market Insights z roku 2018 trh s kovovými prášky po aditivní výrobu překročí do roku 2024 1,1 miliardy USD, což představuje objem 4,5 kt. Trh s prášky z nerezavějící ocele pro AM by mohl v roce 2024 překročit 240 mil USD. Podle zprávy společnosti BCC Research globální trh pro pokročilé a nano keramické prášky bude růst z téměř 14,6 miliard USD v roce 2016 na 22,3 miliardy dolarů do roku 2021, což odpovídá pětiletému

složenému ročním tempu růstu (CAGR) 8,9 %. Pokročilé keramické prášky, které představovaly 81,6 % trhu v roce 2015, by měly do roku 2021 vzrůst na 16 miliard USD z 11,7 miliard v roce 2016, při pětiletý CAGR 6,5 %. Segment nano prášků by však měl během tohoto období růst rychleji a jeho tržní podíl by měl do roku 2021 vzrůst na 28,1 %. Zpráva Market and Markets uvádí, že celosvětový trh s veškerou keramikou dosáhl v roce 2015 výše 56,7 miliard USD.

Hlavními aplikačními segmenty těchto pokročilých materiálů jsou automobilový průmysl, výroba letadel, elektronika, energetika, petrochemický a rafinérský průmysl.

Pokročilé keramické prášky se využívají zejména pro řezné nástroje, mechanické ucpávky, keramické vložky, ložiska, vodiče nití a bioimplantáty. Vybíjejí se velké úsilí o použití strukturální keramiky pro snadno opotřebitelné součástky, turbodmychadla a různé součásti dieselových motorů, jako jsou plynové turbíny pro regenerátory, rekuperátory a stacionární prvky. Významná je i spotřeba pro vysoce výkonné keramické povlaky.

V posledních letech došlo v tomto segmentu k významnému vývoji nových materiálů a technologií. Jsou vyvíjeny nové slitiny, ať jsou to lehké materiály na bázi Mg a Al, materiály s tvarovou pamětí využívající vratné martenzitické fázové přeměny pro říditelné změny tvaru, a tudíž s velkým potenciálem možných aplikací jako funkční nebo dokonce inteligentní materiály. Významné jsou intermetalické slitiny s vysokým poměrem pevnosti a měrné hmotnosti pro konstrukční řešení použití za vysokých teplot, kvazikrystalické slitiny, niklové superslitiny. Moderní technologie jsou založeny na přípravě ultrajemných materiálů metodami práškové metalurgie včetně explozivní kompaktizace, prudkým zakalením taveniny nebo velkou deformací. Pro získání materiálů se zlepšenými užitnými vlastnostmi je třeba zabezpečit řízení jejich struktury s kontrolovanou velikostí, tvarem a rozložením disperzí, případně charakterem a uspořádáním jednotlivých defektů v materiálu.

Nejdůležitějšími faktory při výrobě prášků působícími na jejich technologické vlastnosti jsou vztah povrchu částic k jejich objemu a také zvýšení hustoty vnitřních poruch. Zmenšením průměrné velikosti částic prášku se zvyšuje jeho měrný povrch, snižuje se i povrchová drsnost. Toto vede ke zvýšení kapilárních sil v objemu prášku a označuje se jako "geometrická aktivita". U částic prášků je povrchová oblast silně narušena a obsahuje mnoho prvků, které nejsou tak silně svázány s krystalickou mřížkou základu. Vysoká zbytková energie povrchu vzhledem ke kompaktnímu tělesu způsobuje i zvýšenou reakční schopnost označovanou jako "strukturní aktivitu" prášku. Aktivita prášku a s ní spojené chování při lisování a slinování, i konečné vlastnosti hotového výrobku, závisí tedy od způsobu zhotovení prášku. Zlepšení slinovatelnosti se může dosáhnout i dalším zpracováním (mletí, mechanická aktivace), které spolu se zvýšením měrného povrchu zvyšuje i hustotu poruch. Tyto prášky však na druhé straně vykazují vyšší odpor proti plastické deformaci při lisování.

Existuje celá řada technologií přípravy prášků. Od jednodušších mechanických metod (mletí a mikronizace, atomizace z taveniny), sublimační metody přes řadu chemických procesů. Mezi chemické metody patří např. chemická redukce a rozklad (např. karbidotermická redukce oxidů ve směsi s karbidy stejného kovu), elektrolýza roztoků solí příslušného kovu a další. Karbidotermická redukce se používá při přípravě prášků Cr, V a Nb.

Elektrolýzou kovových solí lze získat asi 60 práškových kovů. Pro práškovou metalurgii mají největší význam prášky Ta, Cu, Fe, Ni, Ti. Elektrolytické prášky se vyznačují vysokou čistotou a velkou aktivitou při slinování. Nejčastěji se provádí elektrolýza z vodních roztoků kovových solí. Výroba měděného prášku používá roztoku síranu měďnatého a kyseliny sírové, jež zaručuje vhodnou vodivost elektrolytu.

V průmyslových podmínkách nachází uplatnění i redukce vodních roztoků solí kovů plyny (obvykle vodíkem nebo oxidem uhelnatým) hlavně při výrobě prášků mědi, niklu a kobaltu. Vedle rostoucího uplatňování chemických metod se v budoucnosti předpokládá nejrychlejší aplikace metod studeného zhutňování.

Mechanochemická syntéza je relativně nová technologie výroby prášků. Lze jí připravit např. keramický materiál na bázi bariu stroncím titanátu (BaTiO_3 0,70% a SrTiO_3 0,30%) pro feroelektrické aplikace.

Takto připravené prášky je obvykle nutno dále upravovat podle typu výrobku - např. třídění dle velikosti zrna, případně vyplavování, dále magnetická separace (odstranění nemagnetických příměsí z feromagnetických prášků), případně tepelné zpracování, redukce k odstranění povrchových oxidických vrstev atd. Pro získání rovnoměrného rozdělení jednotlivých fází v heterogenních slitinách je nutné mísení. K práškům se často přidávají pomocné látky zlepšující lisovatelnost (plastifikátory, maziva), zmenšující tření mezi částicemi prášku i mezi stěnou formy, což snižuje její opotřebení i možnost zadření. Maziva nutno odstranit před spékáním, aby nezabraňovala vzniku a růstu kovových spojů. Požadovaného tvaru, rozměrů a vlastností výrobků z prášků se dosáhne zhutňováním (formování). Při vývoji nových technologií je snaha dosáhnout homogenity zhutnění v celém objemu, minimální pórovitosti slinutého materiálu, zvětšení hmotnosti zhotovovaných výrobků s vyšší rozmanitostí tvarů (zhutňování s použitím tlaku, izostatické lisování explozí, válcování atp.).

Řadu kovových prášků byla speciálně vyvinuta pro technologie Laser Metal Deposition (LMD), Selective Laser Melting (SLM) a Electron Beam Melting (EBM). Tyto prášky byly optimalizovány tak, aby zaručily spolehlivý a kvalitní produkt za přijatelnou cenu. Mezi perspektivní materiály jsou zařazeny i nitridy přechodných kovů, které získaly velkou oblibu díky jejich jedinečným chemickým a fyzikálním vlastnostem. Mezi těmito materiály je zajímavý především TiN. Má vynikající tvrdost, dobrou tepelnou stabilitu, vysokou odolnost proti opotřebení, vynikající odolnost korozi a relativně vysokou elektrickou vodivost. Může se používat jako materiál na úpravu povrchů řezných nástrojů, difuzní bariéra v mikroelektronických zařízeních a ochranná vrstva na optických součástech. Důležitou metodou pro přípravu TiN prášků je spalovací proces, který umožňuje přípravu TiN s různou morfologií.

Samostatnou kapitolu tohoto segmentu pokročilých materiálů tvoří prášky z keramiky. Asi 35 % z celkové spotřeby keramických prášků tvoří alumina, další je zirkoničitá keramika, keramiky tvořené komplexními oxidy a další. Řada těchto prášků je vyráběna energicky náročnými víceetapovými postupy za vysoké teploty. Záleží na tom, z jaké základní suroviny se vychází. Komerční techniky přípravy keramických prášků (sol-gel proces, společné srážení z roztoku, hydrotermální syntézy, pyrolýza aerosolů, vymrazování, srážení z plynné fáze, mechanochemická syntéza, hydrotermální metoda společného srážení, aj.) mají jeden nebo více problémů nebo nedostatků jako je nízký výtěžek, nízká rychlost, vysoká energetická spotřeba, vysoké výrobní náklady, vznik polydispersních prášků, problémy s dosažením požadované mimořádné čistoty materiálu. U jiných metod (např. mletí a mikronizace) vznikají příliš polydisperzní částice. Dostatečně je prokázáno, že řada žádaných funkcí je dosahována právě zmenšováním velikosti částic (například fotokatalytický efekt, antimikrobiální aktivita, vulkanizační aktivita ZnO), ale také se zvyšuje životnost požadované funkcionality.

Relativně snadnou a ekonomickou metodou pro přípravu velkého množství pokročilých materiálů je samospouštějící se vysokoteplotní syntéza (SHS). Mezi rozsáhlé aplikace syntézy spalování patří příprava různých druhů keramických prášků včetně nitridů (Si_3N_4 , AlN, TiN, BN, SiAlON atd.), karbidů (SiC , TiC , ZrC , Ti_3SiC_2 , Ti_3AlC_2 , Ti_2AlC atd.), boridů (MgB_2 , TiB_2 , ZrB_2 atd.), silicidů (například MoSi_2) a oxidů (například ferity, supravodič Y-Ba-Cu-O). Velikost zrna a morfologie keramických prášků mohou být manipulovány ovládáním parametrů zpracování a volbou surovin.

Poměrně novou skupinou pokročilých materiálů jsou prášky z intermetalických látek. Ty jsou sloučeninou nejméně dvou kovů, případně kovu a křemíku. Vyznačují se specifickými fyzikálními a mechanickými vlastnostmi, např. značně vysokou teplotu tání, pevností za vysokých teplot či naopak křehkostí. Typickými intermetaliky pro vysoké teploty jsou silicidy

(např. MoSi) pro topné články elektrických odporových pecí, a dále pak aluminidy niklu využívané zejména ve formě ochranných povrchových vrstev. Kromě těchto materiálů je rozsáhlý vývoj již řadu let soustředěn na intermetalické fáze v systému Ti-Al, především Ti₃Al a TiAl, a na uspořádané tuhé roztoky železa s hliníkem (Fe₃Al a FeAl). Další skupinu tvoří intermetalika typu Sendust (slitina Fe-5 % Al-10 % Si), které jsou často využívány na výrobu magnetických hlav ve videorekordérech. Relativně nové využití intermetalik vyplynulo z rozvoje nových supravodivých materiálů na bázi intermetalických sloučenin označovaných symbolem A15. Jedná se o skupinu intermetalik s obecným chemickým vzorcem A₃B, kde prvek A reprezentuje přechodný prvek, B může být buď přechodný či nepřechodný prvek. Tyto sloučeniny se vyznačují fenomenální supravodivostí a používají se jako vinutí supravodivých magnetů. Významnou skupinou funkčních materiálů na bázi intermetalik jsou slitiny s tvarovou pamětí využívající martenzitické fázové přeměny (např. intermetalikum NiTi). Potencionální skupinu využitelnou pro ukládání vodíku jsou intermetalika s Mg nebo Mg₂Ni. Jiným příkladem intermetalik pro vratné uchovávání vodíku je fáze LaNi₅, využívaná v NiMH akumulátorech. Pro budoucí aplikace v dopravě a v mobilní elektronice je však nepříznivá vysoká hustota této fáze a rovněž vysoká cena.

Slitiny intermetalických sloučenin mohou být připraveny plazmovou a vakuovou metalurgií (speciálních slitin niklu a titanu) nebo procesem směrové krystalizace. Proces krystalizace kovů, jejich slitin a sloučenin významně ovlivňuje vlastnosti těchto materiálů. Řízením procesu krystalizace lze připravovat materiály s definovanou strukturou, velikosti zrna a jeho orientací.

Přes úspěchy komercializace výroby prášků v posledních letech, zůstává jedním z hlavních technických problémů dispergace těchto materiálů a stabilita těchto disperzí. Jsou potřebná nová řešení, která umožní účinnou dispergaci částic v suspenzi a pastách připravených pro průmyslové aplikace, usnadňující manipulaci a zpracování těchto materiálů. Technologie založené na mokřích metodách vyžadují lepší pochopení vztahu mezi procesem a materiály, reprodukovatelností a spolehlivostí stabilizace disperzí částic v médiích za účelem lepšího ovládní rozhraní.

Anorganicko-organické hybridní a práškové materiály jsou poměrně novou a rychle se rozvíjející oblastí materiálového výzkumu a vývoje, kdy kombinací jednotlivých složek až na molekulární úrovni lze dosáhnout unikátních vlastností výsledného materiálu. VaV v této oblasti vyžaduje úzkou spolupráci chemiků, metalurgů a materiálových inženýrů.

Odhlédneme-li od požadavků na materiálový a metalurgický výzkum, hlavním zadáním pro chemický průmysl jsou:

- rozvoj cenově výhodné průmyslové technologie pro syntézu prášků z kovů, funkčních slitin, keramiky a intermetalických látek; další rozvoj technologie pro dispergaci prášků z kovů, slitin a keramiky v příslušných pojivech. Na příklad rozvojem přípravy pokovených prášků připravených chemickým pokovovacím procesem za mokra bez použití elektrického pole. Prášky různých materiálů (např. Cu, Al, SiO₂) a tvarů (např. sférický, flakes, dendritický) pokovené stříbrem jsou používány pro snižování nákladů a současně pro zachování elektrické a tepelné vodivosti na úrovni srovnatelné s čistým stříbrným práškem. Vedle stříbrem pokovených měděných (Ag/Cu) a skleněných (Ag/SiO₂) prášků lze připravovat i další produkty např. hliníkový prášek (Ag/Al);
- vývoj aplikací intermetalických materiálů pro ukládání vodíku;
- hledat možnosti náhrady kriticky ohrožených kovů při výrobě materiálů s vysokou tvrdostí, pevností, tepelnou stabilitou a odolností, se schopností elastického zotavení a s odolností proti korozi. Nitridy přechodných kovů díky jejich jedinečným chemickým a fyzikálním vlastnostem by mohly být jedním z řešení, zejména TiN;
- vývoj aplikací strukturální keramiky. Pokročilé keramické prášky naleznou aplikaci v ochraně povrchů vystavených současnému působení zvýšené teploty, agresivních médií a

různých druhů opotřebení. Jedná se především o nástroje pro řezání a vrtání, tvářecí válce, části leteckých motorů, plynové turbíny a kompresory, kluzná ložiska a trysky pro vytlačování skla a minerálních vláken. Jednou z cest náhrady kriticky ohrožených kovů je využití zajímavých vlastností intermetalických sloučenin. Koncept spočívá ve vytvoření kompozitního materiálu s keramickou výztuží, avšak matrice není tvořena kovy nebo slitinami na bázi tuhého roztoku, ale vhodným typem intermetalické sloučeniny. Jako perspektivní se jeví intermetalická sloučenina NiTi vyztužená karbidem titanu nebo TiAl s výztuží TiC nebo Al₂O₃. Tyto materiály je nejlépe zpracovávat moderními postupy práškové metalurgie s využitím mechanického legování a slinování metodou Spark Plasma Sintering, díky čemuž dosáhnou jemnozrné struktury;

- vývoj povrchových úprav se zlepšenými vlastnostmi a odolností proti různým, zejména povětrnostním a mechanickým vlivům;

Situace v ČR

ČR disponuje v těchto oborech rozvinutou vědecko-výzkumnou základnou (např. Středoevropský technologický institut v Brně), ale i postupně se rozvíjející výrobní základnou např. výroba nultmocného železa, TiO₂ a mikro ZnO vyžadují však další inovace. Oblast povrchového inženýrství, zkoumání povrchových úpravy s využitím různých materiálů s různými funkcionalitami a metalurgie patří mezi silné stránky VaV v ČR.

Dále je možno uvést Ústav materiálových věd a inženýrství na VUT v Brně, VŠCHT Praha, VŠB – TU v Ostravě, několik speciálních organizací zabývajících se metalurgií atd.

Postupně se rozvíjí výroba speciálních typů TiO₂, ZnO, nano nultmocného železa.

Safina a.s. Vestec vyrábí práškové zlato, stříbrno, platinu, rhodium, paladium a měď z různých odpadů, disponuje technologiemi chemického srážení, atomizace a nově vyvinuli pokovené metalické prášky core – sheet technologií nebo metodou PVD (physical vapour deposition).

Firmy Lascam Systems s.r.o. Praha a fa Renishaw dodávají různé práškové materiály pro aditivní výrobu. Patří mezi ně i práškový titan, prášky z Ti6Al4V, hliníkové slitiny AlSi10Mg, kobalt-chromová slitina CoCr a, niklové slitiny a nerezová ocel. Fa Wirpo s.r.o. Brno je dodavatelem práškového železa pro bezpečné, vysoce efektivní řezání plamenem.

Témata pro další vývoj a výzkum

- vývoj povrchových úprav se zlepšenými vlastnostmi a odolností proti různým, zejména povětrnostním vlivům s využitím;
- vývoj přípravy vhodných intermetalik využitelných pro skladování vodíku;
- vývoj nových kovových prášků pro 3D tisk;
- vývoj keramických materiálů pro extrémní podmínky na bázi boridů a karbidů přechodových prvků (Hf, Zr, Ta);
- vývoj aplikací TiO₂ ve frikčních systémech;
- příprava a vlastnosti slitin na bázi hydridů hořčíku pro vodíkové hospodářství;
- studium struktury a vlastnosti slitin TM-Al a TM-Al-Si vyrobených reaktivní sintrací;
- výzkum povlakových technologií se specializací zejména na automobilový průmysl a výrobu dopravních prostředků;
- zvýšení využití zpracování různých odpadů (např. z elektroniky, katalyzátorů) pro přípravu prášků drahých a kritických kovů.

3.5.11 Iontové kapaliny

Iontové kapaliny jsou organické soli výrazně iontového charakteru s obecným složením organický kationt a organický nebo anorganický aniont a teplotou tání nižší než 100 °C. Přelomovou byla příprava nových iontových kapalin s teplotou tání pod úrovní laboratorní teploty (25 °C), které jsou označovány jako RTIL (room temperature ionic liquid).

Typické charakteristické znaky nebo vlastnosti obecně spojené s iontovými kapalinami, které dělají iontové kapaliny komerčně zajímavými, jsou především:

- kapaliny v širokém rozsahu teplot,
- dobrá tepelná stabilita (obvykle podle složení 350–450 °C),
- zanedbatelný tlak par,
- minimální hořlavost,
- výrazný iontový charakter v kompozicích s bodem tání < 100 °C,
- dobré solvatační vlastnosti.

Iontové kapaliny jsou svými fyzikálně-chemickými vlastnostmi podobné taveninám metalických solí a v roztoku disociují na ionty. Vyznačují se vysokou vodivostí, iontovou mobilitou a elektrochemickou stabilitou. Podmínku nízké teploty tání splňují soli s objemnými ionty, delokalizovaným nábojem a nízkým stupněm symetrie kationtu. Do této skupiny patří sloučeniny obsahující kvarterní atom dusíku (pyridiniové, imidazoliové, thiazoliové, amoniové a pyrrolidiniové soli) nebo fosforu (fosfoniové soli) či síry (sulfoniové soli). Jako nekoordinující anionty nejčastěji vystupují tetrachloroaluminát, tetrafluoroborát, hexafluorofosfát, ale také nitrát, acetát, trifluoracetát, trifluormethansulfonát, tosylát aj.

Iontové kapaliny jsou vzhledem ke své příznivé vlastnosti pro životní prostředí, a to zanedbatelné tenzi par, označovány jako „green solvents“, a proto byla předpokládána masivní náhrada klasických organických rozpouštědel iontovými kapalinami. Výstižnější označení v souvislosti s dosavadním vývojem je „green reaction medium“. V oblasti ekologie a životního prostředí je pozitivní role nízkého tlaku par významná, je však třeba brát v úvahu toxicitu některých iontových kapalin pro vodní prostředí. Toxicita je závislá především na struktuře kationtu, případně kombinaci s aniontem, významný vliv má délka kationtového řetězce.

Uvedené množství užitečných a bezesporu zajímavých vlastností předurčuje iontové kapaliny k široké aplikovatelnosti v nejrůznějších oblastech chemie a průmyslu. Iontové kapaliny lze použít jako účinná rozpouštědla pro organickou syntézu a katalýzu. Také v samotných separačních procesech mají iontové kapaliny své místo přímo jako potenciální účinné extrakční činidlo.

Protože se iontové kapaliny vyznačují velkou tepelnou stabilitou, vysokou tepelnou kapacitou a nehořlavostí zároveň, mohou být využívány jako inženýrské tekutiny k přenosu tepla. Účinné rozpouštěcí vlastnosti, elektrická vodivost a mnohdy i samohasící schopnosti vedly k jejich použití jako medií pro elektrolytické pokovování nebo jako výkonné a bezpečné elektrolyty do baterií a palivových článků. Bohatou využitelnost prokázaly iontové kapaliny i jako pomocné přísady například v barvářství nebo při výrobě polymerů. Mohou působit jako dispergační činidla a povrchově aktivní látky, maziva, změkčovadla, nebo retardéry hoření. V současné době nacházejí iontové kapaliny uplatnění nejen v chemické praxi, ale rovněž v oborech jako je ekologie, elektrotechnika a řadě dalších.

Dnes je v literatuře popsáno okolo 1 000 různých iontových kapalin, z nichž komerčně je dostupných přibližně 300 a jejich počet se stále zvyšuje. V porovnání s teoretickým počtem 10^{18} různých iontových kapalin, který je predikován experty v tomto oboru, je tento počet relativně malý. Množství teoretických možností ve variabilitě typů iontových kapalin, které lze připravovat kombinací různých aniontů a kationtů s různými substituovanými řetězci, vytváří velký prostor pro různé technické aplikace v průmyslu a akademickém základním výzkumu.

Iontové kapaliny představují novou oblast chemických specialit a nových materiálů, která se intenzivně rozvíjí především v průběhu posledního desetiletí, zejména rozsah výzkumných prací a počet odborných publikací výsledků výzkumu a vývoje se navyšuje exponenciálně. Rozvoj těchto aktivit je evidován celosvětově, v popředí jsou americké a v evropském prostředí německé společnosti, v posledním období je zaznamenáván bouřlivý rozvoj v asijských zemích (Čína, Japonsko). Realizací výsledků výzkumu a vývoje iontových kapalin a jejich aplikací ve významnějším měřítku se ve světě zabývá zatím omezený počet subjektů, podle informací z veřejně dostupných zdrojů lze celosvětově odhadovat počet subjektů, které se ve významnějším měřítku zabývají výrobou a aplikací iontových kapalin, v rozsahu dvou desítek. O významu využití iontových kapalin svědčí mj. závěry studie vypracované konzultační a výzkumnou společností Helmut Kaiser Consultancy (ACON AG) v roce 2010, která prognózuje navýšení trhu iontových kapalin ve světě z 300 milionů USD v roce 2010 na 3,4 miliardy USD do roku 2020. Studie rovněž dokumentuje exponenciální nárůst výzkumné a vývojové činnosti zaměřené na iontové kapaliny, mj. podání téměř tisícovky nových patentů v rámci daného oboru.

Mezi nejvýznamnější hráče na světovém trhu s iontovými kapalinami operující i na evropském trhu patří: V USA DUPONT, MERCK KGaA, SIGMA-ALDRICH, v Německu BASF, IO-LI-TEC, DEGUSSA - EVONIK, ve Velké Británii SCIONIX, ve Francii SOLVIONIC, ve Švýcarsku SOLARONICS a v Rakousku PROIONIC.

Prodeje převážné většiny produktů realizují světoví dodavatelé zakázkovým způsobem, velký podíl iontových kapalin je zatím používán pro účely výzkumu a vývoje rozvíjejících se aplikací. Rostoucí zájem o iontové kapaliny může být například dokumentován výraznými ročními přírůsky v počtu vědeckých publikací zabývajících se přímo problematikou iontových kapalin v posledních deseti letech. Zatímco v roce 1997 se pohyboval počet uvedených publikací kolem 500, během roku 2014 bylo již publikováno více než 7 700 prací s tematikou iontových kapalin (Web of Science, Thomson Reuters). ulkové pravidelné dodávky jsou stále málo časté.

Hlavní příčinou stále větší pozornosti, která je iontovým kapalinám věnována, je především skutečnost, že s rozvojem intenzivní výzkumné práce mnoha pracovišť na celém světě dochází neustále k objevování mnoha dalších iontových kapalin s novými vlastnostmi, v důsledku čehož se zvyšuje i počet možných praktických aplikací této bezesporu atraktivní skupiny látek.

Situace v ČR

V České republice je výzkum a vývoj iontových kapalin sporadický, některá akademická pracoviště řeší projekty orientované především na teoretickou problematiku charakteru základního výzkumu (Ústav chemických procesů AV ČR, Ústav termomechaniky AV ČR a Ústav fyzikální chemie AV ČR, Vysoké učení technické v Brně, VŠCHT Praha - Ústav fyzikální chemie, Přírodovědecká fakulta Karlovy Univerzity v Praze, Univerzita Palackého, Olomouc, VŠB-TU Ostrava). Pro svoji výzkumnou činnost nakupují příslušné iontové kapaliny od zahraničních firem, neboť komerční ani čtvrtprůmyslná výroba iontových kapalin v ČR neexistuje.

Transfer výsledků výzkumu do průmyslové praxe není vysokými školami a pracovišti akademie věd realizován.

Již od r. 2011 se aplikací iontových kapalin v řadě oborů chemického průmyslu a studiím jejich aplikačních vlastností intenzivně zabývá společnost TECHEM CZ, Praha ve spolupráci s vybranými chemickými podniky, a to v programových výzkumných projektech podporovaných z veřejných finančních prostředků prostřednictvím MPO nebo TA ČR. Výsledkem této výzkumné činnosti je nalezení průmyslové aplikace imidazoliových iontových kapalin ve výrobě nátěrových hmot, pigmentových preperací, stavební chemii a přípravků na ochranu dřeva. V současné době je ve spolupráci VUAB PHARMA, Roztoky a

Společné laboratoře environmentálního inženýrství, založené VŠB – TU Ostrava a TECHEM CZ, řešena syntéza 13 vybraných imidazoliových a bistriflimidových iontových kapalin v mikrovlnném reaktoru a současně prováděn jejich aplikační výzkum v různých oborech chemického průmyslu.

Témata pro další vývoj a výzkum

Dosavadní výsledky studijních prací vlivu chemické konstituce iontových kapalin na jejich aplikační a toxikologické vlastnosti, které jsou již od r. 2011 prováděny ve společnosti TECHEM CZ, která se tak stala znalostním centrem v této oblasti, ukazují na široké možnosti využití unikátních vlastností iontových kapalin. V budoucnu bude věnována výzkumná pozornost následujícím aplikačním směrům:

- Výroba a zpracování plastů.
- Zpomalování hoření.
- Medicinální hygiena.
- Spotřební chemie (čisticí prostředky a autokosmetika).
- Mezifázová katalýza.
- Antikoroze ochrana.
- Elektrolyty do baterií a palivových článků.
- Povrchové úpravy.

3.6. Zpracování ropy

Úvod

Podnikání v rafinérském/petrochemickém průmyslu představuje aktivitu zásadní pro život každého člověka v globalizovaném světě. 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 rafinérského/petrochemického podnikání na životní prostředí (zelená chemie, uhlíková stopa, čistá paliva, zakomponování biopaliv do rafinérských/petrochemických produktů). Rafinérsko/petrochemické podnikání se rozvíjí již mnoho desítek let a nezdá se pravděpodobné, že by v nejbližší budoucnosti mohlo být nahrazeno jiným řešením.

I v tomto případě již řadu let chemické a inženýrské vědy a chemické technologie významně přispívají k udržitelnému rozvoji tohoto průmyslového oboru při vývoji inovativních postupů a technologií využití biomasy pro energetické účely (tepelné aj. energie), pro dopravu (výroba pohonných hmot s přidáním biosložek) a jako suroviny pro zpracovatelský průmysl.

Důvodem je dlouhodobá vyčerpatelnost surovin pro výrobu fosilních paliv, jejichž zásoby na Zemi jsou omezené (stejně jako alternativního zdroje: zemního plynu). Materiálové toky pro výrobu motorových paliv a surovin pro navazující petrochemický průmysl (těžby, přeprava, výroba, spotřeba a příp. recyklace: tzv. koncept „well-to-wheel“) by měly být posuzovány zejména podle energetické bilance a úplné analýzy životního cyklu (LCA). Úspora energie v oblasti spotřeby proto znamená nejen nižší obsah energie ve výrobku, ale také uplatnění spalovacích motorů s vyšší účinností.

Pod pojmem trvale udržitelný rozvoj se rozumí „takový rozvoj, při němž každá současná generace bude uspokojovat své potřeby, aniž by při tom ohrozila schopnost budoucích generací uspokojovat jejich potřeby“. Dnes je zřejmé, že Země má omezené schopnosti odolávat všem účinkům exponenciálního růstu. 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. Přejchod na „uhlíkovou neutralitu“ před nás staví významné výzvy z pohledu využití alternativních (obnovitelných) zdrojů energie, investice do nových výrobních zařízení, které naváží na rozsáhlé výzkumné a vývojové programy cílené k zlepšení technologických postupů.

Hlavní úkoly rafinérsko/petrochemického průmyslu

Rafinérsko/petrochemické podnikání je zajímavé v tom, že relativně malý počet rafinerií zajišťuje potřeby velkého počtu zákazníků. V případě Evropy lze například konstatovat, že každá zpracovaná tuna suroviny zajišťuje potřeby každého jednotlivého obyvatele palivy a petrochemickými produkty na rok.

Podle očekávání se na růstu odvětví v posledních 10 letech nejvíce podílejí Čína (40 %) a Indie (29 %), které v horizontu dalších 10 let zcela určitě převezmou vedoucí úlohu v oblasti rafinérsko/petrochemického podnikání. Na druhou stranu došlo v posledním desetiletí ke snížení využití světové rafinérské výrobní kapacity o 2 mil b/den. EU se na tomto snížení podílelo 58 %. Celosvětové průměrné využití rafinérské kapacity se v současné době pohybuje kolem 80 – 85 %.

Výstavba nových rafinerií a navazujících petrochemických jednotek je investičně mimořádně náročná, a proto existuje jen omezená skupina potenciálních investorů. Nyní probíhá zejména v průmyslově se rozvíjejících zemích Asie, Afriky a Jižní Ameriky. V Evropě a USA nové rafinerie a petrochemické výroby vznikat nebudou. Pozornost se zde soustředí na modernizaci („best available technologies“, odpovídající standardy jsou definovány), konsolidaci (odstavení menších kapacit) a snižování nákladů. Rafinerie a petrochemické jednotky v hospodářsky vyspělých zemích budou ale zastarávat a tedy zaostávat a část produkce tak může být nahrazena importem hotových produktů místo ropy.

Z více důvodů bude pokračovat restrukturalizace vlastníků rafinerií a navazujících petrochemických technologií, přičemž tradiční velké ropné společnosti budou rafinerie prodávat a reinvestovat získané prostředky do těžby ropy nebo alternativních surovin. V Evropě tyto vlastnické změny nyní intenzivně probíhají.

V hospodářsky vyspělých zemích bude spotřeba minerálních motorových paliv v dopravě z více důvodů klesat a bude se také měnit struktura spotřeby. Významnou úlohu v tomto směru bude hrát daňová politika státu, protože zdanění ropných uhlovodíků již nyní významně přesahuje jejich hodnotu a představuje významný zdroj státních příjmů. Základní úlohou státu by mělo být zdanit jednotlivá paliva dle jejich skutečného příspěvku k emisím CO₂, nikoliv podle lobbystických zájmů. Míra zdanění by ale měla současně garantovat určitou mobilitu obyvatel jako atributu demokracie. Vzhledem k poklesu spotřeby motorových paliv bude pro další provozování rafinerií v hospodářsky vyspělých zemích důležitá jejich role jako dodavatele surovin pro petrochemický průmysl.

Rafinérsko/petrochemický sektor jako průmysl, který přidává hodnotu k fosilním 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.

Vývoj technologií by měl probíhat v následujících oblastech:

a) Využití alternativní suroviny

Cílem je integrovat udržitelnější alternativní zdroje surovin. Například zemědělské suroviny (pěstované ne na úkor potravinových zdrojů), druhotné zemědělské suroviny (ligno-celulózovou biomasu, 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 CO₂ z průmyslových zdrojů, které by mohly být použity jako alternativní uhlíkové zdroje pro výrobu pohonných hmot.

b) Zlepšená účinnost výrobních procesů

Cílem je maximalizovat využití všech zdrojů, které vstupují do systému, včetně primárních a sekundárních surovin, vody a energie prostřednictvím:

- zlepšení účinnosti procesu zpracování ropných frakcí (např. zlepšené katalyzátory včetně biokatalyzátorů, zintenzivnění procesů, IT a modelování)
- uzavírat recyklaci zdrojů na výrobních místech
- zvýšená účinnost zdrojů a energie mezi různými výrobními místy / sektory prostřednictvím průmyslové symbiózy

Potřeby v oblasti výzkumu a očekávané výstupy

Suroviny pro rafinérsko/petrochemický průmysl

Nedostatek ropy do roku 2050 nehrozí. Prokázané světové těžitelné zásoby ropy v množství cca 200 mld. t. by měly stačit zhruba na dalších 50 let. Otázkou však zůstává, jak se bude vyvíjet její cena, která by ale v zásadě spotřebu ropy měla moderovat. Pokud se týká skladby nabízených rop, lze očekávat, že na trhu se bude zvyšovat podíl rop s větším obsahem těžkých frakcí, síry a dalších nečistot.

Zvyšovat se bude produkce uhlovodíků z extra těžkých rop, ropných písků a kerogenních hornin (olejových břidlic). Světové zásoby uhlovodíků obsažených v extra těžkých ropách a ropných pískách jsou cca 800 mld. t, ovšem těžitelné zásoby jsou menší, závisí na koeficientu vytěžitelnosti a činí cca 500 mld. t.

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) a poté i uhlí (CTL). 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.

Bio-etanol a FAME budou nadále uplatňovány v horizontu nadcházejících 10 let v objemu 5 – 10 % e.e., a to současně s postupným omezováním biopaliv 1. generace na 7 % e.e. a uplatněním pokročilých palivářských obnovitelných složek do celkového množství 14 % e.e. Novou surovinu pro výrobu paliv a petrochemii bude představovat pyrolýzní olej, příp. plynné produkty z rozkladu odpadní biomasy, případně komunálního odpadu, čistírenských kalů aj. realizovaného v menších lokálních pyrolýzních jednotkách.

Rafinérské a petrochemické technologie

Během dlouhé historie rafinérského podnikání bylo vyvinuto široké portfolio rafinérských technologií, založených na nejrůznějších fyzikálně-chemických principech. Existuje proto řada možností, jak koncipovat moderní rafinerii, hodně záleží na lokálních požadavcích. Významnou vlastností moderních rafinérských technologií je modularita (konečný produkt vzniká použitím více technologií v řadě) a šetrnost k životnímu prostředí (nulové emise, nízká vlastní spotřeba energií).

Pro svoji schopnost odstraňovat nežádoucí komponenty a zásadně měnit strukturu a případně i frakční složení suroviny, 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-sírných“ 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) nebo elektrolýzou s využitím jaderné energetiky (jako pro dopravu). I přes klesající spotřebu automobilového benzínu si FCC v rafineriích zachová svůj význam. Důvodem je koncept kontinuální regenerace katalyzátoru, který velmi dobře odpovídá prodlužování provozního cyklu rafinérií, možnost složením katalyzátoru flexibilně ovlivňovat výtěžek produktů a minimalizovat dopady provozování této technologie na životní prostředí a nízká spotřeba vodíku (pouze na rafinaci produktů). Při provozování této technologie bude s ohledem na vývoj trhu motorových paliv místo režimu maximální výroby benzínu upřednostněn petrochemický režim (maximalizace výroby propylénu a nenasycených C4 uhlovodíků) nebo středních destilátů ve výrazně vyšším výtěžku (těžký FCC benzin a LCO). Katalytické reformování představuje stále jeden z klíčových procesů pro výrobu automobilových benzinů. V horizontu 20 let není pravděpodobné, že by rafinérie vyráběly automobilový benzin bez využití této technologie. Vedle lehkých alkanů (butan a iso-pentan), alkylátů a etherů je reformát nejvýznamnější složkou benzinového „poolu“ jejíž OČMM je větší než 85 jednotek, jak požaduje EN 590 pro automobilový benzin (OČMM minimálně 85). Další využití katalytického reformování bude ale omezeno klesající spotřebou automobilového benzínu a environmentálně zdůvodněným požadavkem na snižování obsahu aromatů v něm. Tyto faktory a rostoucí spotřeba vodíku určují současný i budoucí technologický trend reformování, kterým je jednoznačně katalytické reformování s kontinuální regenerací katalyzátoru.

Vzhledem k mandatornímu mísení bio-etanolu (přímo, nebo ve formě ETBE) bude se postupně v rafinériích ztrácet uplatnění izomerace lehkého benzínu. Naopak petrochemickou syntézu ETBE (v Evropě) a alkylaci lze považovat za velmi perspektivní technologie. Výhodou alkylátů, této středněvroucí, vysokooktanové, nearomatické komponenty do automobilových benzinů, je velmi malá citlivost k oktanovému číslu.

S ohledem na limitované vlastní zásoby zemního plynu a rozvinutou infrastrukturu jeho využití v Evropě přímo jako paliva není pravděpodobné, že by zde došlo k výstavbě technologických komplexů GTL. Tyto komplexy jsou stavěny výhradně v lokalitách s velkými zásobami zemního plynu a to i v lokalitách odlehlých, kde je jeho cena pochopitelně nejnižší. Podobný závěr platí i pro technologii CTL.

Rafinérsko/petrochemická zařízení

V důsledku zvyšujících se požadavků na nepřerušovaný provoz v rafinérsko/petrochemických komplexech, z důvodu rovnoměrného zásobení trhu a optimalizace nákladů na údržbu, se bude dále prodlužovat v současnosti běžný čtyřletý cyklus zářezů pro vybraná zařízení. Porostou tedy nároky na spolehlivost a odolnost výrobních zařízení. V souvislosti s rozvojem hydrogenačních a hydro-krakovacích kapacit se bude dále zvyšovat provozní tlak v zařízeních, což si vyžádá zvýšené nároky na konstrukční materiály.

Z hlediska aparátů se pozornost soustřeďuje především na vývoj reaktorů. V důsledku požadavků na čistá paliva se zásadně zvětšil jejich objem a kontrola tepelných efektů v reaktorech integrací různých chladících proudů. Z důvodu prodlužování plánovacího cyklu zářezů a zvyšující se ostrosti reakčních podmínek budou preferovány reaktory s pohyblivým katalytickým ložem, jak je tomu nyní u procesů FCC, CCR u hydro-konverze ropných zbytků a nebo FT syntézy. Intenzivním vývojem prošly především reaktory používané pro dva posledně jmenované procesy. Uplatňovat se bude i katalytická destilace, např. při syntéze etherů a hydrogenační rafinaci benzínu z FCC.

Katalyzátory, katalytická aditiva

V souvislosti s požadavky na výrobní marži, flexibilitu produkce, kvalitu produktů i některé nové produkty, spotřeba katalyzátorů v rafinériích a petrochemických jednotkách dále významně poroste.

Výjimečné postavení v rafinériích zaujímá katalyzátor FCC. Jeho spotřeba řádově překračuje spotřebu dalších katalyzátorů v navazujících procesech. U žádného jiného katalytického systému není možné tak výrazně měnit jeho vlastnosti, jako u FCC, přidávkem různých aditiv za účelem zvýšení výtěžku benzinu, resp. oktanového čísla a minimalizace dopadů na životní prostředí. Tento koncept se bude dále rozvíjet a výrobci budou nabízet katalyzátor připravený na požadavky konkrétní výrobní jednotky.

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.

U alkylace existuje výrazná snaha nahradit klasické katalyzátory, kyselinu sírovou a kyselinu fluorovodíkovou a odstranit tak konstrukční, technologické a ekologické problémy, které jejich použití přináší. Testovány jsou kyseliny Lewisova typu adsorbované na nosiči – SbF_3 , AlCl_3 , BF_3 a $\text{ZrO}_2\text{-SO}_4$.

Nový katalyzátor na bázi platinových kovů vyžaduje i hluboká dearomatizace středních ropných destilátů, která bude následovat po současné hydrogenační rafinaci.

Vývoj lze zaznamenat i u demetalizačních katalyzátorů používaných při hydro-konverzi ropných zbytků, kdy jejich klíčovými vlastnostmi jsou retenční kapacita a distribuce pórů.

Intenzivní pozornost je věnována katalyzátorům pro FT syntézu, především katalyzátorům na bázi Fe a Co, pro dnes upřednostňovanou variantu nízkoteplotní FT syntézy.

Alternativní produkty

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, který lze shrnout následovně:

- kombinace ropných uhlovodíků a biosložek ve standardních motorových palivech je perspektivní pro určité synergie obou bází. Je nezbytné zdůraznit, že to jsou ropné uhlovodíky a s nimi spojený logistický koncept, který umožnil relativně rychlou a bezproblémovou implementaci biosložek do motorových paliv. Výhodou je i možnost použití těchto směsí ve standardních automobilech. Podíl biosložek ve standardních palivech bude více záviset na legislativním vývoji a představách automobilového průmyslu, než na schopnosti průmyslu taková paliva vyrábět. Podíl standardních biosložek (FAME 1G/2G, bio-ethanol 1G/2G) ve standardních palivech však nepřekročí 10 % vol., lze předpokládat uplatnění ETBE/bio-MTBE v benzínech či HVO v motorové naftě s celkovým významným příspěvkem k plnění požadovaného cíle 14%e.e. Problémem však zůstává požadovaný podíl pokročilých biosložek.
- vysoce koncentrovaná biopaliva, zejména na bázi FAME (100 %) a etanolu (E85 – zážehové motory a E95 – vznětové motory) je možné spalovat jen v pro tento účel vyrobených automobilech. S ohledem na specifické vlastnosti vysoce koncentrovaných biopaliv budou taková vozidla nacházet stále omezenější uplatnění. Tato paliva by však mohla najít uplatnění především ve specializovaných flotilách vozidel, resp. ve vybraných odvětvích (např. městské autobusy, vozidla pošty, taxislužby a vozidla vládních institucí a státních podniků, apod.). Z hlediska čistých biosložek je možné předvídat i jejich rostoucí uplatnění jako suroviny pro petrochemický průmysl (hydro-krakované rostlinné oleje), včetně renesance některých minulých technologií (např. výroba butadienu z etanolu).

- CNG pro pohon automobilů má ve srovnání s motorovými palivy na ropné bázi nevýhodu především v pomalu se rozšiřující síti a ve výrazně menším dojezdu vozidel. Současně však lze předpokládat větší uplatnění bio-metanu jako alternativního plynného paliva. Pokud by byla motorová paliva zdaněna na základě emisí CO_2 do ovzduší, zemní plyn by jako motorové palivo nemohl ropným uhlovodíkům konkurovat, „obnovitelný“ metan však pomůže zajistit požadovaných podíl obnovitelných zdrojů pro výrobu motorových paliv.
- vodík pro pohon automobilů v kombinaci s palivovými články bude nutně navázán na použití vodíku získaného elektrolýzou vody při využití elektrického proudu z jaderných elektráren, příp. z obnovitelných zdrojů v případě jeho přebytku na trhu a jeho obchodování za záporné ceny. Diskuze kolem nákladovosti elektrolýzy, budoucnosti jaderné energetiky, pomyly rozvoj a nestabilita provozu obnovitelných zdrojů, neexistující infrastruktura, zatím užší nabídka vozidel představují hlavní bariery pro uplatnění vodíku jako motorového paliva. Spíše se nabízí uplatnění vodíku v palivových článcích.
- elektrická energie používána přímo pro pohon elektromobilů je přímočařejší, účinnější a bezpečnější způsob využití elektrické energie k pohonu vozidel, oproti jejímu využití pro výrobu vodíku. Další rozvoj elektromobilů není možný bez využití elektrické energie z jaderných elektráren a dostupností spolehlivých akumulátorů s velkou kapacitou. Tento směr, opět nikoliv zcela nový, je považován za velmi perspektivní, a proto je podporován i automobilovým průmyslem.

Životní prostředí

Rafinérsko/petrochemické podnikání bohužel negativně ovlivňuje životní prostředí a to nevratným využíváním přírodních zdrojů, charakterem a kvalitou vyráběných produktů, provozováním samotných výrobních technologií, systémem distribuce i způsobem spotřeby. Budou se ale dále rozvíjet aktivity, které negativní dopad rafinérsko/petrochemického podnikání na životní prostředí významně zmírní.

Z hlediska dopadů využívání rafinérských a petrochemických produktů na životní prostředí je nejvýznamnější aktivita odehrávající se mimo chemicko/rafinérské podnikání – omezení emisí z nově vyráběných automobilů a snížení maximální rychlosti, tj. zejména snížení spotřeby. 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.

S ohledem vlivu na životní prostředí, rafinérský průmysl opouští některé tradiční výroby, např. výrobu rozpouštědel na bázi lehkých benzinových uhlovodíků nebo selektivní rafinaci frakcí pro výrobu mazacích olejů.

Z hlediska rafinérií bude klíčový především další vývoj zvyšování kvality motorových paliv, hlavně automobilového benzinu a motorové nafty. Změny kvality motorových paliv totiž, kromě přímého vlivu na emise, umožňují implementovat nové technologie v konstrukci automobilů zaměřené na snížení spotřeby paliva a emise. U automobilových benzinů určité dojde ke snížení maximálního obsahu aromátů, olefinů, méně těkavých složek z konce destilace ropy a možná i obsahu síry. Speciální problém představuje rozhodování o dalším využití éterů v automobilovém benzínu. U motorové nafty pak bude omezen zejména obsah polycyklických aromátů. Požadavky na kvalitu motorových paliv iniciují další změny v konfiguraci rafinérií a k využití nových petrochemických procesů.

Zpracování ropy je energeticky náročné, rafinerie a petrochemické jednotky proto patří k významným emitentům CO_2 . Evropské sdružení rafinérských společností pro záležitosti životního prostředí CONCAWE intenzivně pracuje na stanovení limitních emisí z rafinérských technologií v návaznosti na systém obchodování s emisními povolenkami. Náklady na povolenky mohou ovlivnit i konfiguraci a způsob využití rafinérských technologií, tj. vysoká spotřeba energie v technologii bude nevýhodou. Např. kontinuální katalytické reformování je

ve srovnání s alkylací velký emitent CO₂, ale produkt z obou technologií je z hlediska uplatnění v automobilovém benzínu srovnatelný. Inženýrský VaV stojí před základním úkolem udržitelnosti a realizace nízkouhlíkového hospodářství. Jedná se vyřešení efektivní metody jímání CO₂ z různých zdrojů, jeho dopravu a skladování, tzv. CCS (carbon capture and storage). Výzvy v případě energetiky (viz kap. 5.4.4) lze s určitou analogií aplikovat i pro spalovací motory (přístup však je podstatně komplikovanější a využití CO₂ obtížnější), v zásadě se může jednat o následující technologie:

a) Spalování paliva se vzduchem a následná separace CO₂ ze spalin („post combustion capture“).

Technologické zařízení CCS zachycuje CO₂ po spálení paliva v systému zpracování spalin. Jedná se o „první generaci“ technologie CCS. Nevýhodou tohoto technického řešení je, že CO₂ má ve spalinách poměrně nízkou koncentraci (cca 15 %) a zařízení musí zpracovávat velké množství spalin, včetně oxidů dusíku (NO_x).

b) Spalování paliva s čistým kyslíkem a následná separace CO₂ ze spalin („Oxy-Fuel“).

Jedná se o „druhou generaci“ technologie CCS. Tímto způsobem vzniká menší množství zpracovávaného plynu a odpadá potřeba zpracování oxidů dusíku. Zvýšená výsledná koncentrace CO₂ ve spalinách dosahuje úrovně až 98 %.

c) Zplyňování paliva před spálením, konverze CO z plynu na CO₂, separace CO₂ a vodíku a následné spalování čistého vodíku („pre combustion capture“ resp. IGCC - Integrated Gasification Combined Cycle).

Technologie IGCC jsou v současné době nejpropracovanější technická řešení, která lze využít pro zachycování a separaci CO₂. Tyto technologie byly v minulosti primárně vyvíjeny za účelem zplyňování uhlí v chemickém průmyslu a až následně se začaly modifikovat i pro technologie CCS. Proto je IGCC prakticky neslučitelná s fungováním již vybudovaných fosilních elektráren, lze ji uplatnit pouze u nově budovaných zařízení.

Energetické nároky technologií CCS rozhodně nejsou zanedbatelné. Celkově to znamená výrazné zvýšení vlastní spotřeby elektrárny, vysoké investiční výdaje a další spotřebu energie na technologie přepravy a ukládání CO₂, který se uskládá hluboko pod zemí za vysokého tlaku. Existuje celá řada mechanismů na zajištění oxidu uhličitého pod zemí a záleží hlavně na geologickém podloží v místě uskladnění. Technologie CCS jsou teprve „v plenkách“, uplyne alespoň deset, možná dvacet let, než bude CO₂ skladován ve velké míře a z obchodního hlediska bude toto skladování ziskové.

I v ČR byla studována možnost podzemního ukládání uhlíkových emisí na Břeclavsku a dále jsou řešeny projekty výzkumu vysokoteplotní absorpce CO₂ ze spalin s využitím karbonátové smyčky, studie pilotních technologií CCS pro uhelné zdroje v ČR.

Prioritní výzkumná témata

Rafinérsko/petrochemický průmysl se do roku 2030 rozhodně nemusí obávat nedostatku surovin. Těžba i rafinérské kapacity porostou, ale pouze v hospodářsky se rozvíjejících zemích. Bude se ale měnit jejich kvalita a cena. Centrum rafinérsko/petrochemického podnikání se přesune z USA do Asie, kde bude spotřeba ropy největší a budou provozovány nejmodernější rafinerie a petrochemické komplexy.

Dostupné rafinérské a petrochemické technologie jsou schopné řešit všechny očekávané výzvy. Prioritní témata pro podporu výzkumu, vývoje a inovací katalyzátorů pro čištění ovzduší, vod a výfukových plynů jsou komentovány v kap. 5.4, jedná se např. o výzkum vysokoteplotní absorpce CO₂ ze spalin s využitím karbonátové smyčky;

Dále budou rozvíjeny procesy využívající katalyzátory, zejména hydrogenační a založené na principu Fischer - Tropsch syntézy i katalyzátory samotné.

Poroste podíl alternativních surovin i produktů v rafinérsko-petrochemickém podnikání, ale centrální úloha ropných uhlovodíků pro mobilitu obyvatelstva a pro petrochemický průmysl se

zatím zásadně nezmění. Proces uplatnění bio-komponent obecně i v rafineriích musí ale projít určitou sebereflexí vycházející z nutnosti fiskální podpory uplatnění biopaliv (ale obecně i dalších alternativních paliv) a nutnosti vývoje takové technologie výroby biopaliv, která z komplexního pohledu (náklady na výrobu, udržitelnost, životní cyklus, dostupnost zdrojů aj.) bude efektivnější než výroby pohonných hmot a surovin pro navazující petrochemický průmysl.

Rafinérský a petrochemický průmysl, jako energeticky náročné odvětví, bude muset najít odpověď na změny v systému obchodování s emisemi CO₂.

3.7. Zelená chemie a Nařízení REACH

Na zasedání Světové komise pro životní prostředí a rozvoj při OSN v roce 1987 se začalo hovořit o chemii trvale udržitelného rozvoje nebo též o „zelené chemii“ (Green Chemistry).

Zelená chemie je příprava a použití bezpečných chemických produktů a provoz chemických technologií s eliminací nebezpečných látek nebo s použitím málo nebezpečných látek.

Od 1. června 2007 platí v zemích Evropské unie Nařízení č. 1907/2007 Evropského parlamentu a Rady ES známé pod zkratkou REACH (Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals - registrace, hodnocení, povolování či zákaz chemické látky). Nařízení REACH, kterým by se měly splnit cíle nové chemické politiky stanovené v Bílé knize, zásadně ovlivňuje ekonomiku celého evropského chemického průmyslu a národních průmyslů členských zemí a jejich konkurenceschopnost a vytváří prostor pro inovaci chemických výrob jejich ekologizací.

3.7.1. Zelená chemie jako výzkumný program

V r. 1990 vznikla v USA „Agentura pro ochranu životního prostředí“ (Environmental Protection Agency, EPA), která vydala „Program zelené chemie“. Velmi brzy se k programu přidaly další státy jako Austrálie, Německo a další vyspělé průmyslové státy EU. V roce 1996 bylo stanoveno 12 principů, kterými lze dosáhnout efektivní ochrany životního prostředí a zdraví lidí, aniž by se tím snížily nároky na výrobu:

1. Předcházet vzniku odpadů.
2. Navrhovat bezpečnější chemikálie a produkty.
3. Využívat obnovitelné zdroje energie.
4. Maximalizovat ekonomiku atomu.
5. Využívat katalyzátorů.
6. Navrhovat biologicky odbouratelné látky.
7. Omezit vznik derivátů.
8. Využívat méně riskantní chemické syntézy.
9. Využívat bezpečnější rozpouštědla.
10. Efektivně využívat energii.
11. Aktualizovat analytické metody pro zjištění znečištění.
12. Prevence nehod, bezpečnější chemie.

Koncept „Green Chemistry“ byl představen Paul Anastasem a Johnem C. Warnerem a následně byl v roce 1997 v USA založen Green Chemistry Institute (GCI).

O tom, že se v posledních letech obor „zelené chemie“ a její průmyslové aplikace velmi dynamicky rozvíjí, svědčí rostoucí počet existujících center a firem, které se touto oblastí ve světě zabývají. Např. v USA a Kanadě existuje přes 60 výzkumných center zabývajících se komplexně problematikou „zelené chemie“. V Evropě jsou ve výzkumu aplikace zásad „zelené chemie“ v komerční průmyslové výrobě na špičce specializované společnosti zejména v Německu, Švýcarsku, Rakousku a zemích Skandinávie.

Urychlené přijetí této revoluční a rozmanité výzkumné disciplíny v USA a vyspělých zemích EU vedlo k významným přínosům v životním prostředí, inovacím a posílení ekonomiky.

Aplikace uvedených 12 principů „zelené chemie“ v chemickém průmyslu vytváří velký prostor pro výzkum nových chemických produktů, přípravků a chemických technologií. Základním předpokladem komerčního úspěchu výsledků výzkumu v oblasti „zelené chemie“ je srovnatelnost nebo zlepšení environmentálních, technických a kvalitativních parametrů vyvíjených produktů a technologií. Uplatňování zásad „zelené chemie“ v chemické průmyslové výrobě se tak stává účinným konkurenčním nástrojem v silném konkurenčním prostředí na evropském trhu.

Situace v ČR

V ČR se chemickým výzkumem v oblasti „zelené chemie“ zabývá Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta Brno, a to v oblasti organických syntéz. Většinou se jedná o převod organických syntéz z prostředí organických rozpouštědel do vodného prostředí pomocí katalyzátorů fázového přenosu. Z uplatňování zásad „zelené chemie“ v chemickém průmyslu může jako příklad sloužit výzkumný projekt „Ekologicky šetrné čističe“, který byl přihlášen do veřejné soutěže o podporu v programu TRIO a měl by být řešen ve spolupráci DRUCHEMA a TECHEM CZ s termínem ukončení v r. 2022. Projekt je zaměřen na výzkum a vývoj čističů pro strojní, profesionální i domácí čištění bez použití obtížně biologicky odbouratelných a nebezpečných látek.

Úkoly pro další vývoj a výzkum

- V oblasti „zelené chemie“ budou nadále hledány technologické a produktové příležitosti pro aplikaci zásad „zelené chemie“ v chemickém průmyslu ČR

3.7.2 Nařízení REACH jako stimulátor inovací

V únoru 2001 přijala Evropská komise Bílou knihu „Strategie budoucí politiky v oblasti chemických látek“. Hlavními cíli nové strategie jsou:

- zajistit vysokou úroveň ochrany lidského zdraví a životního prostředí;
- zajistit efektivní fungování vnitřního trhu;
- stimulovat inovační aktivity a konkurenceschopnost chemického průmyslu.

V květnu 2003 předložila Evropská komise první verzi návrhu nového komplexního nařízení (dnes Nařízení REACH) týkajícího se chemických látek s cílem upravit a aktualizovat tehdejší regulační rámec.

Od 1. června 2007 platí v zemích Evropské unie Nařízení č. 1907/2006 Evropského parlamentu a Rady ES známé pod zkratkou REACH. Nařízení REACH zavedlo povinnost povolování (authorisation) látek vzbuzujících mimořádné obavy (substances of very high concern, dále jen „SVHC látky“). Účelem povolování je zajistit bezpečné používání SVHC látek a zároveň podporovat jejich nahrazování vhodnými alternativami.

Za tímto účelem všichni výrobci, dovozci a následní uživatelé žádající o povolení analyzují dostupnost alternativních látek a zvažují jejich rizika a technickou a ekonomickou uskutečnitelnost náhrady. SVHC látky zahrnují látky karcinogenní, mutagenní a toxické pro reprodukci (CMR) kategorie 1A nebo 1B, látky perzistentní, bioakumulativní a toxické (PBT), látky vysoce perzistentní a vysoce bioakumulativní (vPvB) a látky vzbuzující stejné obavy jako účinky výše uvedených látek - např. endokrinní disruptory.

Implementace Nařízení REACH představuje pro chemický průmysl odborně a administrativně náročnou přídatnou činnost spojenou se zvýšením provozních nákladů. Na druhé straně podněcuje a stimuluje u chemických společností výzkumnou činnost a inovační procesy.

Nařízení REACH nutí velké producenty chemických látek a jejich směsí provádět analýzu jejich nebezpečných vlastností a zároveň zjišťovat, zda jsou k dispozici vhodné alternativy. Pokud vhodné alternativy nejsou, musí se přikročit k případnému výzkumu a vývoji. Nařízení

REACH tedy vede k využívání bezpečnějších chemických látek jako alternativní náhrady za látky nebezpečné v chemických technologiích.

Jedním z nástrojů Nařízení REACH k regulaci zvláště nebezpečných látek v Evropě je proces „Autorizace“ (povolování). Jedná se o seznam látek vyžadujících povolení a uvedený v příloze XIV tohoto Nařízení. Příloha XIV Nařízení REACH v současné době obsahuje 43 látek a jde vesměs o látky:

- karcinogenní, mutagenní nebo toxické pro reprodukci kategorií 1A či 1B,
- persistentní, bioakumulativní a toxické (tzv. PBT látky)
- vysoce persistentní a vysoce bioakumulativní (tzv. vPvB)

Cílem nástroje „Autorizace“ je zajistit, aby rizika plynoucí z látek vzbuzujících velmi velké obavy (SVHC látky) byla náležitě kontrolována a aby tyto látky byly postupně nahrazeny vhodnými alternativními látkami nebo technologiemi, je-li to z hospodářského a technického hlediska uskutečnitelné. Za tímto účelem všichni výrobci, dovozci a následní uživatelé žádající o povolení analyzují dostupnost alternativních látek a zvážují jejich rizika a technickou a ekonomickou uskutečnitelnost náhrady.

Kromě tohoto seznamu chemických látek uvedeného v příloze XIV existuje seznam tzv. kandidátských chemických látek k zahrnutí do přílohy XIV Nařízení REACH. V současné době obsahuje kandidátský seznam 197 SVHC látek, z nichž 43 látek již bylo zařazeno do přílohy XIV nařízení REACH, tj. na seznam látek podléhajících povolení. Povolení je uděleno, pokud je riziko pro lidské zdraví nebo životní prostředí v důsledku použití látky náležitě kontrolováno. To neplatí pro látky, u kterých nelze stanovit prahovou hodnotu, a látky PBT a vPvB. Nelze-li povolení udělit z důvodu, že riziko není náležitě kontrolováno, nebo se jedná o látky bez prahové hodnoty a látky PBT a vPvB, může být povolení uděleno, pokud socioekonomické přínosy převažují nad riziky pro lidské zdraví nebo životní prostředí plynoucími z použití látky a pokud nejsou k dispozici žádné vhodné alternativní látky nebo technologie. Povolení podléhají časově omezenému přezkumu.

V České republice získaly povolení pro látky firma Deza, a.s. jako výrobce dibutylftalátu, firma Synthos Kralupy, s.r.o. jako následný uživatel hexabromcyklododekanu a Spolana, a.s. jako následný uživatel trichloretylenu.

Takto široký okruh chemických látek, pro něž je nutné povolení k uvádění na trh a/nebo pro určitá použití vytváří široký prostor pro výzkumnou činnost v oblasti jejich náhrad.

Plán náhrady látky je součástí autorizační dokumentace včetně harmonogramu navrhovaných opatření ze strany žadatele. Kromě toho, analýza alternativ musí prezentovat veškerá opatření, která žadatel o povolení přijímá za účelem náhrady vlastního produktu, činnosti výzkumu a vývoje zaměřené na tento cíl a pravděpodobný časový harmonogram realizace. Náhrada látky tedy motivuje inovace a připravuje nové tržní příležitosti.

Dne 5. 3. 2018 zveřejnila Komise výsledky druhého přezkumu nařízení REACH (REFIT nařízení REACH) formou Sdělení Komise. Současně zveřejnila i doprovodný pracovní dokument útvarů Komise. Sdělení Komise přináší hodnocení aktuálního stavu implementace nařízení a uvádí, že nařízení plní dobře svoji funkci, byly však zjištěny možnosti dalšího zlepšení, zjednodušení a snížení zátěže.

Přijatá opatření jsou směřována na:

- Podpora náhrady látek SVHC - Komise, agentura ECHA a členské státy zintenzivní činnosti na podporu usnadnění náhrady látek SVHC. Tyto činnosti mohou zahrnovat podporu budování kapacit a sítí pro spolupráci a dále podporu investic do výzkumu a vývoje (prostředky EU a členských států) v oblasti udržitelné chemie a technologických inovací.

- Zjednodušení pro proveditelnější povolovací postup - Tento záměr na snížení poplatků byl již realizován prováděcím nařízením Komise (EU) 2018/895 o poplatcích a platbách Evropské agentury pro chemické látky.
- Včasné sociálně-ekonomické informace k možným regulačním opatřením - Agentura ECHA ve spolupráci s Komisí a členskými státy posoudí možnosti dalšího vývoje a využití dostupných sociálně-ekonomických informací ke zvážení ve fázi provádění posouzení možností regulatorního řízení.
- Vzájemné interakce mezi povolením a omezením - Je třeba urychlit posouzení potřeby omezení dovážенých předmětů obsahujících látky, které podléhají povolení, aby se zajistily rovné podmínky pro hospodářské subjekty v EU i mimo EU. Je třeba zjistit, zda a jak se uplatněním povolovacího postupu v případě neomezovaných způsobů použití látek SVHC dosáhne srovnatelného řízení rizik a náhrady efektivnějším a předvídatelnějším způsobem.
- Sledování látek vzbuzujících obavy v dodavatelském řetězci - Komise shromáždí důkazy a posoudí možnosti, jak řešit výzvy týkající se látek vzbuzujících obavy v souladu se sdělením o odpadních chemických látkách. Toto posouzení se kromě jiného zaměří na otázku, zda a jak by systém sledování mohl přispět ke zlepšení funkčnosti požadavků na informace pro látky SVHC v předmětech.

Povolovací postup je navíc považován za účinnou hybnou sílu vedoucí k náhradě látek SVHC v celém dodavatelském řetězci, i přesto je však třeba vystupňovat úsilí na podporu náhrady látek SVHC, a to zejména u malých a středních podniků.

Z toho je evidentní, že tlak účinnosti Nařízení REACH v posledních letech inspiruje a nutí evropské chemické producenty aplikovat principy „zelené chemie“, nahrazovat v produkci i technologiích nebezpečné látky méně nebezpečnými nebo bezpečnými, přivádět na trh ekologicky šetrné produkty a provozovat environmentálně výkonnější chemické technologie. Tím se Nařízení REACH stává nejen významným nástrojem v zajištění vysoké úrovně ochrany lidského zdraví a životního prostředí, ale i hnací silou výzkumu a vývoje v evropském chemickém průmyslu, čímž se stává i konkurenčním nástrojem na trzích s chemickými produkty.

Dne 16. 1. 2018 zveřejnila Komise Evropskou strategii pro plasty v oběhovém hospodářství kde se uvádí i možnosti řešení problému obsahu látek vzbuzujících obavy (substances of concern) v odpadu.

Stavební, automobilový, nábytkářský a elektrotechnický průmysl jsou také důležité aplikační oblasti plastů a jsou významným zdrojem plastového odpadu, který by mohl být recyklován. U těchto aplikací představuje nedostatek informací o možné přítomnosti látek vzbuzujících obavy (např. retardérů hoření) významnou překážku dosažení vyšší míry recyklace. Komise navrhuje jako součást práce k tématu rozhraní mezi politikami v oblasti chemických látek, odpadů a výrobků urychlit práci s cílem zjistit možné způsoby, jak usnadnit sledování chemických látek v recyklovaných tocích. Cílem bude usnadnit zpracování nebo odstranění těchto látek během recyklace a tím zajistit vysokou úroveň ochrany zdraví a životního prostředí.

V období do roku 2020 bude věnováno dalších 100 milionů EUR na financování prioritních opatření, včetně vývoje chytřejších a více recyklovatelných plastů, zefektivnění recyklačních procesů a sledování a odstraňování nebezpečných látek a kontaminantů z recyklovaných plastů.

Situace v ČR

Povolování podle Nařízení REACH nutí evropské i české chemické producenty řešit náhrady látek uvedených v příloze XIV Nařízení REACH a tzv. SVHC látek (látek vzbuzujících

vzbuzujících mimořádné obavy). V chemickém průmyslu ČR již dříve postupně proběhly náhrady ftalátů uvedených v příloze XIV Nařízení REACH používaných většinou jako změkčovadla polymerů. Aktuálně významnou náhradou látky uvedené v seznamu přílohy XIV je eliminace karcinogenního trichloretylenu z výroby kaprolaktamu a síranu amonného ve společnosti SPOLANA, Neratovice. Toto organické rozpouštědlo se v technologii výroby kaprolaktamu a síranu amonného používá k rafinaci surového kaprolaktamu a síranu amonného extrakcí. Eliminace trichloretylenu z technologie výroby kaprolaktamu je výsledkem státem podporovaného výzkumného projektu „Rafinace surového kaprolaktamu“, jehož řešení bylo ukončeno ve Společné laboratoři environmentálního inženýrství (VŠB – TECHEM CZ) v r. 2018. Na řešení tohoto projektu navazují dva související státem podporované výzkumné projekty. Jednak projekt „Kontinuální rafinace kaprolaktamu“ (ukončení v r. 2022) jehož cílem je transfer vyvinuté technologie rafinace kaprolaktamu do kontinuálního režimu v poloprodučním měřítku, a dále pak s technologií kaprolaktamu související projekt „Eliminace trichloretylenu z výroby síranu amonného“, jehož řešení bylo zahájeno v roce 2019. Výsledky těchto koncepčně založených projektů jsou názorným příkladem řešení náhrady karcinogenního trichloretylenu jako látky uvedené v seznamu přílohy XIV Nařízení REACH. Nalezené unikátního řešení eliminace trichloretylenu z výroby kaprolaktamu a síranu amonného má mezinárodní dosah.

Úkoly pro další vývoj a výzkum

- V oblasti implementace Nařízení REACH bude provedena inventura v používání SVHC látek v chemickém průmyslu ČR a hledány jejich náhrady použitím alternativních látek a postupů.

3.8. Hospodaření s vodou

Voda je strategický zdroj a rozhodující prvek pro vývoj naší společnosti a ekonomiky. Jednou ze základních potřeb člověka je přístup ke kvalitní, zdravotně nezávadné pitné vodě. Voda není běžný obchodní produkt, ale spíše dědictví, které je třeba chránit, střežit a podle toho s ním nakládat. Klimatické změny, způsob hospodaření s půdou a lesy, dramatický růst populace spolu s rostoucí poptávkou průmyslu a zemědělství vyvolává vážné obavy, že nás čeká velký nedostatek pitné vody. S růstem populace a ekonomické úrovně se do roku 2030 očekává zvýšení celosvětové poptávky po vodě o 40 % a energie o 50 %. Podle OSN do roku 2030 vzroste deficit mezi poptávkou po vodě a dostupnou vodou na 40 %. Do roku 2050 bude více než 40 % světové populace žít v oblastech ohrožených suchem. V oblastech bez pitné vody žije již dnes 8 % obyvatel planety Země. Podle OSN ohrožuje již dnes nedostatek pitné vody 1,2 miliardy lidí, tedy plnou pětinu světové populace. Další 3,1 miliardy lidí se každodenně potýká s nedostatkem pitné vody. OSN uvádí, že celosvětové roční náklady na zabezpečení zdrojů vody se odhadují na 500 miliard USD. Protože pitná voda tvoří pouze 2,5% z celkového množství vody na planetě, považuje se technologie odsolování jako potencionální řešení narůstajících problémů s vodou. Hlavní problém není v tom, jak vodu čistit, ale v tom, kde k tomu vzít potřebnou a dostatečně levnou energii. Je pravděpodobné, že ve 21. století nedostatek čisté vody bude v některých zemích možná ještě větší problém než nedostatek ropy a kvůli nedostatku vodních zdrojů se může zvýšit migrace obyvatel, případně mohou vznikat válečné konflikty.

Příkladem, jak řešit narůstající deficit zdrojů vody je Izrael (kapková závlaha, pokročilé způsoby filtrace, odhalování úniků vody v systémech zásobování vodou, sběr a úprava dešťové vody a využívání komunálních odpadních vod jako nového zdroje především pro zemědělství). V roce 2015 Izrael upravoval a recykloval 86 % svých odpadních vod pro použití v zemědělství,

čímž se zařadil na první příčku ve světě v oblasti recyklování vody. Během příštího desetiletí Izrael plánuje zvýšit podíl opětovného využití odpadních vod na 90 %.

Mezi největší spotřebitele vody patří zemědělství, dále energetika, chemický a farmaceutický průmysl a papírenský průmysl, nejvyšší požadavky na kvalitu vody má potravinářský průmysl (např. pivovary) a farmaceutický průmysl. Podle údajů UNESCO se zemědělství na celosvětové spotřebě vody podílí až 70 a průmysl 20 procenty.

V chemickém průmyslu se používá voda pro mnoho účelů včetně výroby, praní, ředění, ohřevu, chlazení případně i k dopravě produktů. Řada technologických procesů se neobejde bez vody jako reakčního média, kdy voda vstupuje přímo do chemického procesu. Chemický a farmaceutický průmysl každoročně spotřebují více než miliardu m³ vody a v roce 2014 náklady s tím spojené překročily 350 miliónů €. Je to výdaj, který je třeba lépe kontrolovat, protože se jedná se o oblast s velkým potenciálem úspor. V některých zahraničních materiálech se uvádí, že chemický průmysl má potenciál úspor vody až 50 %.

Chemický průmysl se zaměřuje na minimalizaci množství vypouštěné vody pomocí systémů s uzavřenou smyčkou. Regulace nečistot v uzavřených vodních systémech vyžaduje kombinaci monitorovacích nástrojů a senzorů v reálném čase, vysoce selektivní separace a nové úpravy vody, aby se zabránilo znečištění a korozi. Opatření na efektivnost hospodaření s vodou jsou také sladována s cíli ke snížení spotřeby energie. Spotřeba energie je kritickým ukazatelem rozvoje nových technologií pro vodní hospodářství a úpravu vody. Vodní symbióza a dodávka vhodně upravené vody jsou považovány za klíčové prvky zajišťující a umožňující optimální a integrované (opětovné) použití vody nejen pro chemický průmysl, ale také ve spolupráci s dalšími odvětvími, včetně komunálního a zemědělského využití.

Voda je často používaná také jako médium pro přenos chladu nebo tepla. Využití nízko potenciálového tepla a 100 % recyklace chladicích vod musí být dnes samozřejmým prvkem chemických technologií. V případě chladicích vod je zabránění jejich kontaminace a únikům v technologických procesech předpokladem jejich recyklace, případně využití jako vody technologické. V průmyslu se jedná o důslednou recyklaci odpadních vod a optimalizaci chladicích vod. Na rozdíl od mechanických, například strojírenských technologií, vznikají v chemické výrobě odpadní proudy, které nelze jednoduše eliminovat, protože vznik nežádoucích vedlejších produktů a výtěžnost procesů je dána přírodními zákony. Přes značné úsilí spojené s regenerací surovin a náročnými separačními postupy zejména při syntéze farmaceutických a barvářských produktů značný podíl organických sloučenin odchází z výroby jako součást procesních nebo odpadních vod případně emisí. Trvale udržitelný rozvoj průmyslu, přechod na tzv. čisté technologie a recyklace procesních toků si vynucují zavedení specifických čistících operací přímo do výrobních jednotek. Typické koncentrované průmyslové odpadní vody z výroby speciálních chemikálií, farmaceutických preparátů nebo barvářských výrobků obsahují organické látky, většinou substituované aromáty, které jsou buď obtížně rozložitelné, nebo toxické pro aktivní kaly biologických čistíren. Nečistoty lze odstranit specifickými postupy v rámci vlastní výrobní jednotky. Tyto čistící procesy jsou součástí regenerace či předčištění procesních vod, popř. izolace a dalšího zpracování anorganických chemikálií obsažených v procesních vodách. Faktory, které ztěžují biologický rozklad, jako značná kyselost nebo alkalita vod, kladoucí nároky na neutralizaci a ochranu proti korozi zařízení. Častý vysoký obsah anorganických solí má vliv na rozpustnost kyslíku i organických nečistot. Objem odpadních vod a požadavky kladené na vyčištěnou vodu pak určují výběr metody, kapacity zařízení a podmínek čištění.

Jedná se např. o oxidaci organických látek ve vodách, která se provádí nejčastěji a také nejekonomičtěji v biologických čistírnách odpadních vod. Nevýhodou biologického čištění je však nízká přípustná maximální vstupní koncentrace nečistot (CHSK < 15 g/l) a dále nemožnost zpracovávat látky toxické, baktericidní nebo pěnotvorné.

Další skupinou jsou metody mokré katalytické oxidace, probíhající za atmosférického tlaku a teploty okolí. Nejznámější z nich je ozonizace. Ta však vyžaduje řádově nižší koncentrace oxidovatelných látek proti biologickému čištění. Používá se vzduch nebo kyslík obohacený cca o 10 % ozónu, výhodou je třináctinásobně větší rozpustnost ozónu ve vodě proti kyslíku.

Chemický průmysl však není jen jedním z největších spotřebitelů vody, ale zejména největším poskytovatelem materiálů a technologií pro úpravu vody na straně druhé. Bude hrát vedoucí úlohu při poskytování inovativních řešení a při významně přispívat k udržitelnému vodnímu 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 přípravě pitné vody. Zaměřuje se i na vývoj nových technologií, které přeměňují šedou či dešťovou vodu na zdroj znovu využitelné vody.

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;
- výroba chemikálií a produktů, které budou efektivní a zároveň recyklovatelné, případně samo – rozložitelné;

Nejde pouze o snižování spotřeby energie a dopady na životní prostředí, jelikož v konečném důsledku je cílem snižování spotřeby vody. Výzkum a vývoj by měl směřovat k procesům, které budou méně náročné na vodu, udržitelné anebo povedou k jejímu opětovnému používání. Chemický průmysl se zabývá výzvou v oblasti kvality vody vývojem výkonnějších a účinnějších technologií se sníženým dopadem na životní prostředí a spotřebou energií, jako jsou chemikálie pro technologie čištění vody, nové membránové technologie a chemické a fyzikální úpravy (včetně odsolování mořské vody a eliminace znečišťujících látek ve vodě). Požadavek na snížení spotřeby vody v chemickém průmyslu je třeba řešit modernizací výrobních technologií a systémů hospodaření s vodou, zaváděním modernějších chladicích systémů bez potřeby vody, vnitřní recyklací a opětovným použitím odpadních vod, případně využívám odsolených komunálních odpadních vod. Tím lze dosáhnout snížení spotřeby pitné vody a vody z dalších přírodních zdrojů.

Přenos technologií a používání inovativních technologií přispěje ke snížení spotřeby vody ve spotřebních výrobcích a v dalších odvětvích. Na příklad přínos chemického průmyslu k zemědělství se projevuje v nových řešeních, mimo jiné i efektivnějším využíváním zavlažovací vody, nových odolných semen a účinnějších hnojiv.

Vzhledem k tomu, že voda je využívána intenzivně v zemědělském a průmyslovém sektoru a pro veřejné využití, současné problémy nelze řešit pouze jedním odvětvím. Je zapotřebí integrovaná řešení v rámci symbiotického přístupu. Tento přístup zahrnuje opětovné použití, recyklaci, čištění odpadních vod a využití surovin z vody, které mohou být použity jako suroviny pro jiné procesy a průmyslová odvětví. V dohledné době dojde k vyvažování konkurence mezi různými způsoby využití vody (např. při vyhlásování regulace odběru vody). Další rozvoj automatizace v rámci Průmyslu 4.0 sníží rizika lidského faktoru.

V rámci EU existuje společná programová iniciativa (JPI) „*Water challenges for a changing world*“. EU **zajišťuje** spolufinancování osmnáct mezinárodních výzkumných projektů, jejichž celková částka grantu přesahuje 15,2 milionů EUR. V současné době byly zahájeny konzultace k přípravě nové strategie Vision 2030 a revize Strategické výzkumné a inovační agendy (Strategic Research and Innovation Agenda – SRIA). Společná programová iniciativa (JPI) je mezivládní spolupráce, které řeší hlavní společenské problémy a přispívají k rozvoji evropského výzkumu, spolupráci členských států a mobilizaci dovedností, znalostí a zdrojů, za účelem posilování konkurenceschopnosti Evropy ve výzkumu a inovacích v oboru technologie vody.

Cílem všech navrhovaných opatření je minimalizace odběru vody z podzemních nebo povrchových přírodních zdrojů a maximalizace recyklace vod vstupujících do výrobních procesů. Průmysl a energetika jsou v posledních několika letech značně zatíženy prudce narůstajícími požadavky na snižování spotřeby vody ve výrobních procesech a na kvalitu vypouštěných odpadních vod. Z tohoto důvodu již průmysl a energetika v maximální možné míře omezují odběr povrchových vod například omezením průtokového způsobu využívání vody a opětovným využíváním vody v rámci výroby a vzhledem k přijímaným standardům pro jednotlivé typy průmyslu, tzv. BREF dokumenty, hledají maximální úspory v jejím využití i ve vztahu k náročnosti spotřeby vody, opětovnému využití a čištění odpadních vod. To je často vzhledem k objemu používané vody také otázka ekonomická a technická a vyžaduje i nemalé investice.

Potřeby v oblasti výzkumu a očekávané výstupy:

Moderní systémy hospodaření s vodou

Tyto systémy se zaměřují na optimalizaci vodního cyklu, úpravu a filtraci vody spolu s měřením kvality vody, zavádění důsledných kontrolních mechanismů s cílem minimalizace dopadů využívání vody na životní prostředí. Zahrnují aktivity plánování, rozvoje, distribuce a řízení optimálního využívání vodních zdrojů v rámci stanovených politik a předpisů v době hrozícího sucha. V ideálním případě plánování vodního hospodářství zohledňuje všechny konkurenční nároky na vodu a usiluje o přidělení vody na spravedlivém základě, aby uspokojilo veškerá použití a požadavky jednotlivých aktérů. Přitom za základ slouží nejlepší postupy v integrovaných vodohospodářských systémech, ale také např. i řešení ropných a dalších ekologických havárií na vodních tocích, silnicích a půdě. Tyto systémy musí být uplatňovány ve všech odvětvích zemědělství, průmyslu a v komunální sféře. Součástí je i výchova obyvatel k hospodárnému zacházení s vodou.

Aplikace nanotechnologií

Nanotechnologie by mohla napomoci uspokojování potřeby cenově dostupné čisté pitné vody prostřednictvím rychlého a levného zjišťování a odstraňování nečistot ve vodě.

Nanotechnologie byla využita k výrobě speciálního levného vodního filtru ze stříbrných nanodrátků a uhlíkových nanotrubiček, který dokáže vyčistit vodu až 80 000 x rychleji než běžné filtry. Nanofiltr funguje jinak než klasické vodní filtry. Nezachycuje fyzicky bakterie a jiné patogeny, ale nechává je plynout spolu s vodou. Než ale stačí filtrem proplout, jsou zničeny elektrickým napětím, které prochází vysoce vodivým materiálem, ze kterého je filtr vyroben. V laboratorních testech bylo tímto procesem zničeno 98 % bakterií *Esterichia coli* poté, co byly vystaveny 20V napětí po dobu několika sekund. Karbonové nanotrubičky jsou vynikající vodiče, stříbro zase ničí bakterie. Obě nanolátky jsou naneseny do prosté bavlněné látky. Spojením obou technologií vznikl jednoduchý, levný, efektivní a rychlý vodní filtr. Jde o zcela nový způsob čištění vody, který se podle vědců hodí zejména do míst, kde lidé nemají přístup k chemikáliím jako je chlór. Elektrický proud, který pomáhá bakterie ve vodě zabíjet, má jen několik miliampérů. K jeho výrobě proto stačí jednoduchý solární panel nebo pár 12 V autobaterií.

Inovace některých technologií

Jednou z metod odstraňování organických nečistot z vody je fotooxidace. Jedná se o působení ultrafialového záření na peroxid vodíku nebo na polovodičový katalyzátor TiO_2 , kdy se uvolňují hydroxylové radikály se silně oxidačním účinkem. Oxidaci organických nečistot za vzniku oligomerů a jejich následnou koagulaci podporuje systém enzymu peroxidasa a peroxid vodíku.

Zvláštní místo v tomto výčtu zaujímá tzv. mokrá katalytická oxidace nečistot ve vodách vzduchem nebo kyslíkem za zvýšeného tlaku a teploty. Tento proces se nabízí jako nejvhodnější vzhledem k možným vysokým koncentracím nečistot v průmyslových vodách a velké kapacitě zpracování. Fotokatalytické neboli fotochemické degradační procesy nabývají stále většího významu, neboť jejich výsledkem je dokonalá mineralizace odstraňovaného materiálu za mírných tlakových a teplotních podmínek. Tyto reakce jsou charakterizovány radikálovým mechanismem, tj. účinkem volných radikálů zahájených interakcí fotonů o příslušné energii s molekulami chemických látek přítomných v roztoku. Mohou probíhat za spolupůsobení katalyzátoru nebo i bez něho. Radikály mohou být generovány použitím UV-zářením, homogenní fotochemickou degradací oxidačních činidel jako např. H_2O_2 nebo O_3 . Alternativní cestou získávání volných radikálů je fotokatalytický mechanismus probíhající na povrchu polovodičů. Hlavní výhodou fotokatalytických procesů je možnost efektivního využití slunečního světla nebo UV-zářením, což vede ke snížení nákladů.

Fotokatalýza je potenciální velice čistá technologie, ale existují různá omezení, zejména nízká intenzita slunečního světla. Rozvoj reálných průmyslových aplikací se proto musí řešit vývojem nových katalyzátorů s vysokou aktivitou ve viditelné oblasti spektra, bez produkce odpadů a toxicity a snadné recyklovatelnosti.

Rozšiřování biologických procesů také zvyšuje potřebu efektivních technologií pro čištění vody, protože dopad biotechnologií na vodní systém je mnohem větší než z výroby využívající fosilní suroviny. Například odpadní voda, která ještě obsahuje organickou látku, může být použita jako surovina (zálivky se stimulatory růstu). Typickým příkladem je použití odpadní vody obsahující těkavé mastné kyseliny (VFA). Tyto VFA mohou být převedeny mikroorganismy na polyhydroxyalkanoáty (PHAs). PHA jako takové mohou být použity jako odbouratelné polymery, i když je třeba jejich vlastnosti zlepšit. Alternativně mohou být použity jako suroviny pro výrobu chemikálií pomocí katalytických procesů. Použití odpadních vod z biotechnologie v procesu výroby vodíku pomocí reformování vodní fáze je další možností.

Samostatnou aktuální kapitolou je čištění vod znečištěných biologicky obtížně odbouratelnými persistentními organickými látkami, pesticidy a jejich metabolity, zbytky farmaceutických výrobků apod. Při čištění odpadních a splaškových vod pomocí mechanicko-biologických technologií nevyhnutelně vzniká čistírenský kal. Membránové separační procesy představují novou a ekonomicky výhodnou metodu, která doplňuje dosavadní klasické separační procesy. Je zde využito vlastností membrán, které jsou definovány jako fyzikální bariéra, kterou některé látky (např. voda, nízkomolekulární látky) procházejí, jiné látky (makromolekulární sloučeniny, koloidní částice) jsou zadržovány a membránou neprocházejí. Podle hnací síly procesu rozeznáváme membránové separace: tlakové (mikro filtrace, nano filtrace, reverzní osmóza), difuzní (dialýza) a elektro difúzní (elektrodialýza).

Kaly produkované komunálními čistírnami odpadních vod obvykle obsahují významné množství těžkých kovů a problematických organických látek (perzistentní organické polutanty, zbytky detergentů, antibiotika, farmaceutika, syntetické steroidy, endokrinní disruptory apod.), které komplikují jejich přímou aplikaci do zemědělské či lesnické půdy a jejich recyklaci prostřednictvím kompostování. Alternativním způsobem využití je středně-teplotní pomalá pyrolýza zaměřená na produkci biocharu (pevného porézního uhlíkatého materiálu).

Nejdůležitějším bodem každého procesu s chlazením vody je optimální přenos tepla. Přenos tepla negativně ovlivňuje pevné úsady, koroze a tvorba biofilmu. Inovační řešení mohou zabránit korozi, tvorbě úsad a mikrobiologickému znečištění a tím zachovat účinnost tepelného procesu a snižovat náklady na údržbu. Součástí jsou různé inhibitory úsad a koroze pro různé chladicí systémy, dispergátory a bio dispergátory, biocidy pro potlačování mikroorganismů (bakterie, houby a řasy) a flokulanty pro kondicionování přídavné vody.

Současné technologie úpravy vody a odpadních vod musí být vylepšeny, aby byly splněny rostoucí požadavky na její kvalitu a řešeno odstraňování narůstajícího znečištění vod pesticidy

a jejich metabolity, halogenovanými uhlovodíky jako je metyl-terc.-butyleter (MTBE), dusičnany a farmaceuticky nebo endokrinně aktivními látkami.

Rozšiřování automatizace ve vodním hospodářství vyžaduje vývoj nových analytických metod, přístrojů a senzorů.

Odsolování vody

Odsolování mořské vody je považováno za budoucí řešení narůstajícího globálního nedostatku pitné vody. Světový fond na ochranu přírody (WWF) hodnotí současné odsolování jako velmi drahý a energeticky náročný způsob získávání pitné vody, který produkuje velké množství skleníkových plynů. V současnosti je využíváno několik metod odsolování jako vícestupňová destilace, komprese páry, vymrazení, reverzní osmóza, elektrodialýza, iontová výměna a solární destilační zařízení. Energeticky nejúčinnější je reverzní osmóza, nicméně i ta má ještě daleko k vypočtenému ideálnímu minimu energie potřebné na tento proces. Pokud jde o ekonomiku procesu, tak i když investice do velkých zařízení jsou vysoká, stále je to cena energie, která tvoří největší část nákladů na odsolování. Udává se, že moderní odsolovací zařízení používající reverzní osmózu s rekuperací tlakové energie na výstupu dokáže produkovat vodu při spotřebě 22 kWh/m³. Cena takto vyrobené vody se pohybuje kolem 0,5 USD na krychlový metr.

Zásadní řešení může přinést využití levné solární energie, a proto i řada výzkumných prací je zaměřena na solární destilační zařízení. Nové výzkumné aplikace nanočástic teluru v solárních odsolovací technologii podle výzkumníků z univerzity Sun Yat-sen v Číně mohou zefektivnit proces přímého odpařování vody slunečním zářením tím, že rozptýlením nanočástic teluru ve vodě se zvyšuje rychlost odpařování vody třikrát, což umožňuje ohřát vodu z 29 stupňů na 85 stupňů Celsia za méně než dvě minuty. Tím dojde ke snížení energetických nároků na pouhou desetinu stávajících metod.

Jedním z dalších řešených úkolů je vývoj tenkovrstvé membrány s nanopóry pro energeticky účinné odsolování. Tato membrána s disulfidem molybdenu (MoS₂) filtrovala dva až pětkrát více vody než běžné klasické filtry.

Odsolování průmyslových odpadních vod

V podmínkách ČR jsou zajímavé reverzní osmóza, elektrodialýza nebo iontoměniče. I u těchto procesů je cílem vývoje hledat energeticky úspornější řešení jak to např. prokazuje technologie hybridní asymetrické selektivní membránové separace.

Situace v ČR

Česká republika, co by "vodní střecha Evropy", se již dnes potýká s nedostatkem vody. Jsme závislí zejména na množství srážek, které však v posledních letech značně poklesly (v roce 2018 pod 60 % dlouhodobého průměru). Podzemní vody v ČR hrozivě ubývají. Jejich nedostatkem mohou být při několikaletém suchu ohroženy až dvě třetiny území ČR. Dlouhodobý nedostatek vody v některých tocích má negativní dopad na lodní dopravu (např. na Labi) a také na život ve vodních tocích. Klimatické změny se negativně promítají do klesající vydatnosti podzemních zdrojů vody, velký vláhový deficit je hlavně na jižní Moravě. Návrh nového vodního zákona předpokládá zavedení možnosti regulace spotřeby vody na regionální úrovni, což může mít významný dopad na chemický průmysl přesto, že většina našich velkých chemiček leží na řekách.

Vodou z vodovodů je podle ČSÚ zásobováno 94,7 procenta obyvatel Česka a délka vodovodní sítě za rok vzrostla na 78 584 km. V domech napojených na kanalizaci žije 9,05 miliónu lidí, většina obydlí je také napojena na čistírny odpadních vod. V ČR se průměrná výše ztrát vody v sítích v roce 2016 pohybovala na úrovni 15,4 %. V ČR je provozováno 3700 úpraven vod a

necelých 3100 čistíren odpadních vod (bez čistíren domovních) v aktuální hodnotě přes 1 bilion korun.

ČR je jedna z mála zemí, ve které se používá pitná voda i v kuchyních, koupelnách, na toaletách, ale i k zalévání zahrad či napouštění bazénů. Jednou z variant, jak ušetřit, je recyklace šedých vod, tedy vod, které se v domácnosti využijí, ale neobsahují fekálie a moč, tedy vody ze sprch, myček a umyvadel. Takto vyčištěnou vodu, vodu bílou, je možné následně použít například ke splachování toalet, k úklidu nebo zalévání zahrad. K recyklaci je nutné do domu instalovat čistírnu šedých vod. Čistírny šedých vod využívají k čištění jednak aerobní biologické procesy, jednak membránovou ultrafiltraci a někdy také UV dezinfekci na výstupu. Výzkumníci pracují i na katalyzátorech pro pračky nebo pro čištění vod z domácností. Voda je tak po vyčištění zbavena virů a bakterií, hygienicky je zcela nezávadná a vedle dešťové vody je ideálním alternativním zdrojem místo vody pitné.

Závažná je i problematika ochrany zdrojů vody. Jakost povrchových vod se sice v posledních 25 letech podstatně zlepšila především v důsledku omezení bodových zdrojů znečištění vod, zejména uzavřením celé řady výrobních podniků, rekonstrukcí a modernizací technologických postupů v průmyslu a výstavbou, rekonstrukcí a modernizací čistíren odpadních vod. Daří se výrazně kontrolovat omezení bodových zdrojů znečištění, avšak nesrovnatelně obtížnější je snížit zátěž z plošného znečištění (ze zemědělského hospodaření, atmosférické depozice a erozních splachů z terénu). Z průzkumu provedeného v letech 2013-2015 vyplývá, že více než 90 % útvarů povrchových vod kategorie „řeka“ bylo v nevyhovujícím celkovém stavu. Podobně tomu bylo i u kategorie „jezero“, kde bylo do nevyhovujícího stavu zařazeno více než 81 % jezer.

V ČR existují dobře zavedení výrobci chemikálií pro čištění vod, zejména Kemifloc a.s. Přerov, (na bázi síranu železitého), Kemwater ProChemie (na bázi hliníku), které se používají zejména pro úpravu a čištění vody v chemickém, papírenském a textilním průmyslu, ve stavebnictví, pro výrobu pitné vody a pro čištění komunálních odpadních vod. V celosvětovém kontextu byl významný podíl na vývoji přípravy a aplikací nanočástic elementárního železa. Díky realizovanému výsledku výzkumu se ČR stala zemí s největší výrobní kapacitou tohoto nanomateriálu (Nano Iron s.r.o.).

Dále firmy vyrábějící přípravky pro systémy chladicí a provozní vody založené na biocidech a na kombinovaných přípravcích pro předcházení vzniku pevných a měkkých úsad a potlačování koroze (např. společnost Kurita). Významná je výroba různých sorpčních materiálů pro řešení havárií zejména na vodních tocích nebo komunikacích.

Výzkumný ústav vodohospodářský, AQUATEST a.s., Dekonta a.s. a další se dlouhodobě podílejí na výzkumu a vývoji dekontaminačních postupů s využitím nanotechnologií a NM. Jedná se především o technologie založené na aplikaci nanočásticových a nanovláknenných materiálů při čištění a monitoringu kontaminovaných vod. Nejrozsáhlejší a nejpokročilejší oblastí výzkumu je využití nanočástic na bázi elementárního železa pro realizaci reduktivních technologií při čištění podzemních a průmyslových odpadních vod. Mezi další zájmové oblasti výzkumu patří nanovláknenné a mikrovláknenné materiály využívané jako nosiče biomasy pro intenzifikace ČOV, oleofilní/hydrofobní membránové a sorpční materiály pro separaci fáze organických látek a vody a oxidických nanočástic pro podporu biodegradace ropných látek.

Výzkumný ústav nanotechnologií vyvíjí možnosti čištění vod, tedy ochrany a regenerace kontaminovaných vod. Vyrábějí zařízení, která dokážou vyčistit jakýkoli kontaminovaný vodní zdroj. Dnes sice existují konvenční technologie používající reverzní osmózu, ale uplatněním jejich hybridní asymetrické selektivní membránové separace se daří vyčistit vodu na požadovaný stupeň kvality technologickou, pitnou či závlahovou vodu za nižších nákladů a prakticky bez chemikálií. Čištění přitom funguje pouze na fyzikálních principech (nízkým tlakem, separací, filtrací). Speciálními filtry mohou být odstraněny i mrtvá těla virů, spor či plísní, ale také stopové prvky antibiotik, hormonální antikoncepce a jiných toxinů.

Dalším realizovaným výstupem VaVaI v ČR je oxidační technologie pro čištění povrchových a pitných vod založená na použití železa ve vysokovalenčních stavech (ferrátů IV, V, VI). Vysoce efektivní je při odstraňování anorganických látek (arsen, uran, zinek, měď, nikl a mnoho dalších těžkých kovů), kyanidů, fosfátů, sulfátů, organických látek (hormony, pesticidy, farmaceutické sloučeniny) nebo biologických polutantů jako jsou sinice.

Poměrně rozvinutá je vědecko-výzkumná základna, minimálně sedm vysokých škol, několik ústavů Akademie věd ČR a další výzkumné organizace řeší otázky spojené s hospodařením s vodou. Centrum NANOBIOWAT na UPOL spojuje kapacity tří akademických a šesti průmyslových subjektů za účelem vývoje a implementace ekologicky šetrných nanotechnologií a biotechnologií použitelných pro čištění a úpravu širokého spektra vod včetně podzemních, pitných, odpadních a povrchových, s možností odstranění organického, anorganického i mikrobiálního znečištění. Zkoumány jsou reduktivní a oxidační technologie, biotechnologie, nano- a bio-modifikované filtry a membrány pro čištění vod, další kombinované technologie a optimalizace analytických metod pro stanovení organopolutantů, ekotoxicity a monitorování nanočástic v životním prostředí.

Také příslušné státní orgány reagují na potřebu řešit vzniklý nedostatek vody, a to jak legislativními opatřeními nebo podporou příslušných výzkumných programů. Ministerstvo životního prostředí reagovalo na potřebu řešit národní priority ve zkvalitnění životního prostředí a potřeby spojené s klimatickými problémy, ochranou ovzduší, půdy a vody nebo odpadovým hospodářstvím, vyhlášením programu "Prostředí pro život". Ten je zaměřen na nejpokročilejší environmentální technologie s vysokým potenciálem uplatnění v praxi, má rozpočet rozložený do devíti let ve výši 5 miliard korun a je implementován Technologickou agenturou ČR. Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR vyhlásilo nový program na podporu průmyslového výzkumu a experimentálního vývoje TREND. Celkové výdaje programu činí v osmi letech rekordních 15 miliard korun.

Podle vládou schváleného dokumentu Iniciativy Průmysl 4.0 mají být čištění a recyklace odpadních vod součástí všech nových průmyslových řešení.

Prioritní výzkumná témata

ČTP SusChem si klade za cíl pomoci při řešení problémů v oblasti hospodaření s vodou v chemickém průmyslu, kde je tato oblast významným prvkem efektivního a udržitelného provozování řady technologií.

Budeme podporovat mezinárodní spolupráci a využití grantových programů zejména pro následující výzkumná témata:

- zvyšování selektivity a dlouhodobé stability katalyzátorů za účelem snížení obsahu dusičnanů v podzemních a odpadních vodách;
- optimalizace katalyzátorů pro hydro-dechloraci chlorovaných uhlovodíků;
- zavedení nových reaktorových technologií, jako jsou mikrostrukturní reaktory, které mohou nabízet vyšší účinnost, kontinuální režim, bezpečný provoz s možností snížit náklady;
- redox aktivní katalyzátory, jako jsou metaloporfíny, imobilizované na vhodných koordinačních nerozpustných nosičích pro sanaci průmyslových odpadních vod;
- vývoj koloidních činidel a katalyzátorů, které jsou vhodné pro in situ aplikace v kontaminovaných podzemních vodách – nanokatalýza nebo nanokompozity;
- aplikace pokročilých oxidačních procesů pro odstraňování biologicky obtížně odbouratelných persistentních organických látek;
- využití moderních membránových separací v ochraně životního prostředí;
- vývoj nových chemických přísad pro úpravu vody usnadňujících opětovné použití;
- ekonomicky efektivní řešení odstraňování a regeneraci solí z průmyslových vod;

- vývoj pokročilých membránových technologií ke zvýšení selektivity, snížení spotřeby energie a snížení nákladů na údržbu a pro získávání důležitých surovin z odpadních vod (např. fosfor);
- vývoj nových analytických metod, přístrojů a senzorů pro potřeby moderního hospodaření s vodou;
- vývoj ekologického využití kalů z čistíren vod;
- vývoj využití odpadních vod z biologických technologií;

4. Horizontální otázky (témata)

Globální problémy dnešní doby a úsilí o zabezpečení udržitelnosti si vyžaduje společný koordinovaný postup evropských zemí jak v oblasti využití vědecko technického potenciálu a prostředků vkládaných do VaVaI, tak v oblasti legislativních opatření (např. ochrana životního prostředí a zdraví lidí, hospodaření s odpady, ochrana duševního vlastnictví a další) v souvislosti s uplatňováním principů Průmysl 4.0 a oběhového hospodářství.

Pro podporu realizace strategie českého chemického průmyslu charakterizovanou v aktualizované SVA se ČTP SusChem zaměří na:

1. Oblast legislativních opatření

Ve spolupráci s SCHP ČR hájit zájmy českého chemického průmyslu při přípravě legislativních opatření zejména v oblasti bezpečnosti nanomateriálů, biocidů, v oblasti hospodaření s odpady, hospodaření s vodou a při zpracování tzv. BREF pro vybrané technologie. Aktivní spolupráce v oblasti normalizace a zavádění nových standardů. Ochrana duševního vlastnictví.

2. Podpora zapojení do grantových projektů

Ve spolupráci s TA ČR a dalšími institucemi podpořit zapojení našich organizací do řešení významných projektů v rámci HORIZONT 2020 a dalších programů podporovaných MPO a MŽP ČR (Operačního programu Podnikání a inovace pro konkurenceschopnost, nový program na podporu průmyslového výzkumu a experimentálního vývoje TREND, Program MŽP „Prostředí pro život“ a další). Spoluprací s dalšími TP a odbornými asociacemi rozvíjet multioborové zapojení do řešených výzkumných projektů. Spolupracovat při vytváření Národních center aplikovaného výzkumu s nadlimitní výzkumnou kapacitou, schopné řešit projekty s novými ambiciózními tématy.

3. Oblast lidských zdrojů

Uplatnění principů Průmysl 4.0 vyžaduje zabezpečení kvalitního vzdělávání v oblasti pokročilého modelování, výpočetní techniky, IT a hlavně uplatňování umělé inteligence. Spolupracovat se vzdělávacími institucemi při formulaci nových studijních oborů a při organizování stáží vysokoškolských studentů v průmyslových podnicích. S nástupem nových technologií, rozvojem digitalizace a robotizace, umělé inteligence a informačních technologií se významně proměňují potřeby pracovního trhu, zejména narůstá potřeba IT specialistů.

4. Podpora mezinárodní spolupráce v oblasti VaVaI

Poskytovat informaci o připravovaných mezinárodních programech VaVaI s cílem zapojovat česká vědecko výzkumná centra a podniky do široké mezinárodní spolupráce v rámci Evropského výzkumného prostoru. Vytvářet neformální pracovní skupiny založené na osobních kontaktech, zahrnující průřezově různé specializace. Tyto vazby mohou být klíčové při formulaci a řešení komplexních více oborových projektů.

5. Finanční oblast

Vedle podpory členů TP při zapojování do dotačních programů na podporu inovačních záměrů usilovat o zvýšení podílu financování z privátních zdrojů. Využití inovačních voucherů a prostředků z exportní pojišťovny EGAP při prosazování výsledků českého vědeckého pokroku, výzkumu, vývoje a jejich následné komerční využití jak na tuzemském trhu, tak zejména v globálním měřítku dalších exportních odbytišť.

6. Propagace úlohy chemického průmyslu při řešení aktuálních problémů

Propagaci inovačních aktivit a vědecko-technického rozvoje v chemickém průmyslu, propagace úspěšných mezinárodních projektů a jejich aplikace v průmyslové praxi. Propagaci zapojení do realizace oběhové ekonomiky, praktického využívání umělé inteligence a přínosů pro rozvoj řady strategických odvětví ČR v souladu s Národní RIS3 strategií, Iniciativou Průmysl 4.0, Akčním plánem pro oběhové hospodářství a Politikou druhotných surovin v ČR.

Cílem horizontálních témat je přezkoumávání nezbytných politických, sociálních a strukturálních reforem potřebných pro inovace a požadované oživení k udržení konkurenceschopnosti ve stále více se globalizujícím světě. Pozornost je zaměřena na nalezení lepších řešení pro tyto inovace a tím poskytnout zlepšenou bezpečnost naší společnosti. Cílem je zajistit užitek z rozvoje a využití inovací vycházejících z aktualizované SVA ČTP SusChem v souladu se strategickými zájmy ČR, optimalizovat modely financování inovací stejně jako prostředků na rozvoj příslušných dovedností ke zlepšení kompetentnosti absolventů vysokých škol a zvýšení zájmu o studium v technických oborech. Pomocí výstupů z realizace navržených témat budoucího vývoje české chemie se podaří rozvíjet toto významné průmyslové odvětví jak v oblastech zpracování ropy a zemního plynu, tak v nových oblastech jako jsou biotechnologie pro zajištění nových vstupních surovin pro chemickou výrobu, materiály pro aditivní výrobu, nanotechnologie, materiály pro konverzi a ukládání energie, pokročilé katalyzátory ve prospěch nejenom chemického průmyslu, ale celé řady dalších strategických odvětví v ČR.

5. Závěr

Nové ekonomické směry EU jako Oběhové hospodářství, Průmysl 4.0, nízkouhlíková ekonomika, hospodaření s vodou, opatření ke snížení znečišťování ovzduší, odpadové hospodářství a další zásadně determinují budoucí vývoj a udržitelnost nejenom chemického průmyslu. Tyto nové směry zvyšují strategický význam biotechnologií, nanotechnologií, využívání slunečního záření, ukládání energií, pokročilých technologických procesů, materiálů pro aditivní výrobu a dalších materiálů a technologií. Spolu se zákazem používání některých chemikálií představují nové výzvy pro VaVaI v chemickém průmyslu a současně příležitost pro posílení jeho vlivu na evropskou a českou ekonomiku.

Tyto zásadní prvky byly promítnuty do aktualizovaného návrhu hlavních směrů budoucího vývoje chemie a námětů na výzkum s cílem koncentrovat nemalé vědecké výzkumné kapacity ČR na hlavní oblasti, které mohou významně zvýšit konkurenceschopnost nejenom českého chemického průmyslu, ale i řady dalších odvětví v souladu s Národní RIS3 strategií. České firmy často inovují na nižších řádech inovačních procesů, někdy obtížněji definují globálně atraktivní nová výzkumná témata s vysokým komerčním potenciálem nebo nedisponují dostatečnými finančními zdroji pro náročné inovace.

Řešení aktuálních problémů vyžaduje rozsáhlou spolupráci výzkumných institucí, průmyslu, ale i státních orgánů s využitím projektů podpořených v rámci Horizont 2020 nebo programů jako jsou nové programy TREND, Prostředí pro život a další, případně vhodných investičních pobídek. Aktualizovaný soubor doporučených výzkumných a vývojových námětů vychází nejenom z potřeb současného vývoje světové a české ekonomiky, ale respektuje omezené možnosti české společnosti a české chemie, navazuje na existující výzkumná centra a na Technologický foresight chemického průmyslu ČR v kontextu globálního vývoje. Respektuje výzvy vyplývající z Iniciativy Průmysl 4.0, Akčního plánu pro oběhové hospodářství a Politiky druhotných surovin. Vychází z identifikace globálních trendů techniky a budoucích potřeb ekonomiky s ohledem na potenciál české vědeckovýzkumné základny a inovační potenciál českých firem. Navrhované záměry jsou v podmínkách ČR realizovatelné a mohou významně přispět k naplnění Vize české chemie a k zachování konkurenceschopnosti a udržitelnosti celé řady strategických odvětví ČR.

Vzhledem k velikosti a úrovni rozvoje v ČR není v našich silách realizovat dostatečně kvalitní výzkum ve všech potřebných oblastech. Proto je tak důležité správné zacílení veřejných investic do výzkumu s ohledem na potřeby firem, schopnosti a možnosti výzkumných organizací.

Úspěšná realizace těchto inovačních záměrů může být ovlivněna očekávanou další regulací výroby a používání chemických látek (např. pro nanomateriály), která také významně ovlivní realizaci záměrů oběhového hospodářství v oblasti recyklace odpadů.

6. Seznam použitých zkratek

AM – Aditivní výroba
APC – Advanced Process Control
AV – Akademie věd
BBI JU– Bio-based Industries Joint Undertaking
BREF-. Referenční dokumenty o použitelných nejlepších dostupných technikách
CAGR – Složená roční míra růstu
CEFIC – The European Chemical Industry Council
CFRP – Kovové vícevrstvé kompozity
CVD – Chemical Vapor Deposition
ČTP – Česká technologická platforma
DMFC – Direct Methanol Fuel Cell
EGAP – Exportní garanční a pojišťovací společnost a.s.
EPD - Environmentální prohlášení o produktu
ESIF – Evropské strukturální a investiční fondy
EU – Evropská unie
ETV- Verifikace environmentálních technologií
FAME- Metylester řepkového oleje
FCC – Fluidní katalytické krakování
FDM – Fused Deposition Modeling
FRTC – Fibre Reinforced Thermoplastics
FT – Fischer-Tropsch syntéza
IAP – Implementační akční plán (České technologické platformy pro udržitelnou chemii)
IT – Informační technologie
FT - Fischer-Tropsch syntéza
JPI – společná programová iniciativa EU „Water challenges for a changing world”
LCA- Analýza životního cyklu
LMD – Technologie Laser Metal Deposition
MEMS – Microelectromechanical System
MPO ČR – Ministerstvo průmyslu a obchodu České republiky
MSP – Malé a střední podniky
MŠMT – Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy
NAP – Národní akční plán pro obnovitelné zdroje energie
NCK – Národní centrum kompetence
NIP – Národní inovační platforma
NM – nano materiály
OČMM – oktanové číslo motorovou metodou
OLED – Organic Light Emitting Diode
OP OPVK – Operační program Vzdělávání pro konkurenceschopnost
OP VaVpI – Operační program Výzkum a vývoj pro inovace
Quantum Dot-Kvantové tečky, nanokrystaly
REACH – Nařízení EU k registraci, evaluaci a autorizaci chemických látek
R&D- Výzkum a vývoj.
RIS3 – výzkumná a inovační strategie pro inteligentní specializaci
RVVI – Rada pro výzkum, vývoj a inovace
SIRA – Strategické inovační a výzkumné agenda
SVA – Strategická výzkumná agenda (České technologické platformy pro udržitelnou chemii)
TA ČR- Technologická agentura ČR
TCA – Technologické centrum Akademie věd ČR
TP – Technologická platforma
VaV – Věda a výzkum
v. v. i – veřejná výzkumná instituce
VaVaI – Věda, Výzkum, Inovace
VOC – Volatile Organic Compounds
ZP – Zpracovatelský průmysl