



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



SUSCHEM CZ

## Aktualizovaná Strategická výzkumná agenda České technologické platformy pro udržitelnou chemii (SUSCHEM CZ)



Chemie pomáhá

Zpracováno v rámci projektu CZ.01.1.02/0.0/0.0/17\_105/0018878 „Technologická platforma pro trvale udržitelnou chemii IV“, přihlášený k podpoře ve výzvě programu OP PIK – Spolupráce – Technologické platformy  
V Bohdanči 30.11.2022

Na zpracování SVA se aktivně podíleli:

prof. Ing. Jiří Hanika, DrSc., Dr. h. c. Ústav chemických procesů, AV ČR, v.v.i

prof. Ing. František Kaštánek, DrSc, Ústav chemických procesů, AV ČR, v.v.i.

doc. Ing. Jaromír Lederer. CSc., Orlen Unipetrol výzkumně vzdělávací centrum

Ing. Ladislav Novák, Ph.D. předseda SUSCHEM CZ

Ing. Martin Šilhan, Ph.D., MBA, SUSCHEM CZ, Centrum výzkumu Řež

Ing. Milan Petrák, ředitel Technoparku Kralupy (VŠCHT)

Ing. Alena Krejčová, Svaz chemického průmyslu ČR

Ing. Ivan Souček, Ph.D. ředitel, Svaz chemického průmyslu ČR

Ing. Antonín Mlčoch, CSc. UPOL Olomouc

Ing. Lenka Mynářová, Nafigate Corporation, VUT Brno

Ing. Jaromír Lubojacký, MBA IXA Jistebník

Ing. Petr Ulbricht, technický ředitel, Lovochemie a.s.

# 1. Obsah

<b>1. Úvod</b> .....	<b>4</b>
<b>2. Cestovní mapa průmyslové modernizace a zavádění pokročilých technologií v chemickém průmyslu ČR jako výchozí strategie (CM)</b> .....	<b>6</b>
<b>3. Charakterizace vědecko-výzkumné základny českého chemického průmyslu</b> .....	<b>9</b>
<b>4. Projekty SusChem CZ</b> .....	<b>11</b>
4.1. SUSCHEM CZ se účastní řešení mezinárodního projektu IRISS .....	11
4.2. Národní centra kompetence (Technologická agentura České republiky) .....	12
4.3. CirkArena (Operační program Spravedlivá Transformace) .....	13
4.4. Foresightová studie – Karlovarský kraj .....	13
4.5. Další aktivity SUSCHEM CZ.....	13
<b>5. Hlavní projekty českého chemického výzkumu</b> .....	<b>13</b>
5.1. Zelená dohoda pro Evropu (GND) .....	14
5.1.1. Konverze a skladování energií.....	15
5.2. Strategie udržitelnosti chemických látek .....	71
Nahrazení nebezpečných chemických látek .....	73
Nový problém – lithiové sole 5) .....	75
Recyklovatelnost .....	75
Nejžhavější výzkumná témata .....	76
5.3. Modernizace rafinérsko-petrochemického průmyslu .....	80
Transformace rafinérsko-petrochemického sektoru na potenciální nástup neuhlovodíkové mobility – trendy ve výrobě paliv .....	82
Biopaliva .....	85
Syntetická paliva .....	85
Zelený etylen 5).....	88
Využití zeleného vodíku v petrochemii 7) 8).....	90
Recyklace plastových a dalších odpadů .....	90
Zelený amoniak 7) 8).....	91
Elektrifikace chemického průmyslu 7) .....	92
5.4. Udržitelné zemědělství .....	93
Výroba syntetických minerálních hnojiv 4).....	96
Organická hnojiva .....	99
5.5. Jaderná energetika .....	104

5.6. Průmyslové biotechnologie – nezastupitelná alternativa nových možností a udržitelnosti v chemickém průmyslu.....	109
Role biotechnologie v chemickém průmyslu.....	111
Příspěvek mikroorganismů v průmyslové biotechnologii a chemii .....	112
Bio suroviny pro výrobu motorová paliva.....	117
5.7. Cirkulární ekonomika .....	118
Recyklace solárních článků 2) .....	119
Recyklace baterií 3) .....	120
Recyklace lopatek větrných turbín 4) .....	120
Recyklace elektroniky 5) .....	121
Lithium .....	122
5.8. Průmysl 4.0. ....	123
5.9. Pokročilé procesy a zařízení.....	125
Optimalizace procesů.....	126
Pokročilá zařízení a aparáty .....	127
Malé jaderné reaktory .....	128
Srovnání SMR a velkých jaderných reaktorů .....	128
Jaderné reaktory čtvrté generace.....	131
Elektricky vyhřívaný katalyzovaný reaktor 9) .....	133
<b>6. Předpokládané výdaje a zdroje.....</b>	<b>136</b>
6.1. Výdaje na výzkum a vývoj.....	136
6.2. Výdaje na modernizaci stávající výrobní základny chemického průmyslu ČR .....	139
<b>7. Horizontální témata .....</b>	<b>143</b>
<b>8. Závěr .....</b>	<b>146</b>
<b>9. Seznam vybraných použitých zkratk .....</b>	<b>148</b>

## 1. Úvod

Radikální požadavky Zelené dohody pro Evropu (GND), ale také rostoucí deficit řady kritických surovin, dopady pandemie Covid, dopady války na Ukrajině, zadlužení ČR a další problémy společnosti vyžadují zásadní posun v oblasti výzkumu a inovací. Rostoucí boj o zdroje výrazně zvyšuje mezinárodní napětí. Málokdy v historii Evropská unie vytvořila takové množství legislativy vzájemně propojené jako v případě klimatického „balíčku“ Fit for 55.

Investice do efektivního využití energií, recyklací a lepším hospodaření s vodou jsou mezi českými firmami klíčové oblasti. Udržitelnost je podle šéfů tuzemských firem zčásti zátěž, ale

také příležitost pro rozšíření zákaznické základny. Dosavadní metody hodnocení efektivnosti investic založené na klasické účetní závěrce a finanční analýze se v nejbližších letech výrazně změní, protože do hry vstupují tzv. ESG kritéria. Ta u firem nehodnotí jen tržby a zisky, ale také udržitelnost jejich byznys modelu v kontextu globálních klimatických i společenských změn. K novým metodám patří tzv. EU Taxonomie, což je nařízení o reportingu, za kterým stojí Evropská komise. EU uvažuje o zavedení zeleného auditu od roku 2023. To je vlastně zavedení tzv. uhlíkového účetnictví kdy se do výpočtu ziskovosti zahrnuje i výpočet ušetřené uhlíkové stopy. To by pak mohlo ukázat tu opravdovou ziskovost takové firmy.

Chemické látky jsou základem strategických hodnotových řetězců Evropy, a proto zamýšlené změny politiky, které přijdou spolu s ekologickou a digitální transformací, budou mít „dominantní efekt“ ve všech hodnotových řetězcích závislých na chemických látkách. Zajištění odolnosti a dalšího rozvoje strategických produktových řetězců v Evropě závisí na inovativním a konkurenceschopném chemickém průmyslu a právních předpisech, které to umožňují, jakož i na posílení partnerství včetně nových modelů spolupráce mezi chemickým průmyslem a ostatními průmyslovými odvětvími. Na druhé straně chemický průmysl je energeticky náročný a pod silným konkurenčním tlakem. Čelí výzvam, mezi něž patří zvýšená mezinárodní konkurence, rostoucí ceny energií a vstupních surovin což ještě akcelerují dopady války na Ukrajině. Roste tlak na zvýšení účinného využívání zdrojů (včetně vody) a na recyklaci. Podniky řeší, jak se vyrovnat s cíli nulového znečištění a bezprecedentní počet nových předpisů v rámci GND a Strategie pro udržitelnost chemických látek. Trvalé investice do výzkumu a inovací budou hrát klíčovou úlohu při řešení těchto výzev, ale je zapotřebí stanovení priorit a posloupnost opatření, aby se zajistilo zachování globální konkurenceschopnosti. U návrhů rozhodujících strategických investic je posuzována i příležitost vytváření nových pracovních míst.

Některé chemické látky, které jsou nezbytné pro strategické hodnotové řetězce, se již v EU nevyrobí, protože jejich výroba již nebyla konkurenceschopná. Chemický průmysl vkládá velké naděje do inovací v hodnotových řetězcích surovin, což je oblast, která zůstává nevyužita navzdory svému velkému potenciálu. Společný nákup strategických surovin pro EU je správná cesta, pokud se však zabrání tomu, aby to nevedlo ke zvyšování cen díky různým spekulantům, jak jsme toho svědky u vývoje cen elektřiny nebo emisních povolenek.

Ve vazbě na souběžně zpracovávanou Cestovní mapu průmyslové modernizace a zavádění pokročilých technologií v chemickém průmyslu ČR navrhuje SVA 5 základní výzkumné úkoly pro zachování udržitelnosti rozhodujících segmentů českého chemického průmyslu, oceňuje rozsah potřebných finančních prostředků pro realizaci těchto programů, včetně analýzy dostupných zdrojů a navrhuje způsoby odstranění překážek realizace těchto programů. V souladu se strategií ČR pro udržitelnou energetiku byl okruh výzkumných záměrů rozšířen o jadernou energetiku, vzhledem k významu dále o rafinérsko-petrochemický komplex a udržitelné zemědělství.

Některé otázky dále rozvedené v Strategické výzkumné agendě (SVA) jsou řešeny v základním výzkumu, výzkumníci přicházejí s novými pokročilými materiály a procesy, ale zásadní otázkou je urychlení přenosu do průmyslové praxe a vyřešení základních ekonomických a ekologických otázek spojených s těmito inovacemi.

SVA vznikala za širokého konsensu předních odborníků českého chemického průmyslu a respektuje hlavní záměry EU, možnosti zapojení se do EVP a další rozvoj mezinárodní spolupráce v oblasti výzkumu a inovací. Zdrojem pro zpracování SVA byly strategie

významných českých firem pro transformaci na bezemisní ekonomiku a digitalizaci, (např. Unipetrol, Spolchemie, ČEZ, BASF, Škoda).

Potenciál tuzemských firem a výzkumu lze ještě rozšířit zaměřením na budoucí technologické trendy. Právě obory jako umělá inteligence, nanotechnologie nebo kosmologie v budoucnu s nejvyšší pravděpodobností ovlivní ekonomické postavení té které země. Cílem naší strategie je zaměření podpory směrem k výše uvedeným klíčovým trendům a vytvořit vzájemně provázané schéma financování.

Každá významná inovace začíná výzkumem. Proto o sobě musí vědci a inovátoři vědět, a proto je nutné podporovat invenci a kreativitu v celé šíři. Od základního výzkumu až po inovace, přinášející ekonomický profit a zpětné reinvestice do výzkumu. V ČR máme spoustu vynikajících výzkumných organizací, a ještě více dynamických a inovativních firem. To vyžaduje významně posílit financování výzkumu, vývoje a inovací z 1,79 % HDP v roce 2019 na 3 % HDP v roce 2030.

Dosavadní programy SVA bylo třeba aktualizovat s ohledem na nové, často velmi ambiciózní požadavky GND, Strategie udržitelnosti chemikálií a dalších iniciativ EU. Základním požadavkem úspěšné realizace v SVA popsaných inovací je zajištění dostatečných zdrojů levné obnovitelné energie. Schopnost ČR ovlivnit vývoj globálních megatrendů je omezená, dopad globálních megatrendů na budoucí vývoj ČR je však mimořádně významný.

## **2. Cestovní mapa průmyslové modernizace a zavádění pokročilých technologií v chemickém průmyslu ČR jako výchozí strategie (CM)**

CM představuje strategický rámec pro rozvoj všech složek výzkumu, vývoje a inovací. Vychází z analýzy požadavků vyplývajících z hlavních megatrendů budoucího vývoje, zejména GND, Strategie pro udržitelnost chemických látek, Průmysl 4.0, Cirkulární hospodářství. Identifikuje potřeby k vytváření udržitelného, inovativního a konkurenceschopného rozvoje a role českého chemického průmyslu v realizaci výzev jako jsou GND, Vodíkovou strategií ČR, Národní výzkumná a inovační strategie pro inteligentní specializaci ČR 2021+, Inovační strategií České republiky 2019–2030, Národní politika výzkumu, vývoje a inovací ČR 2021+, Průmysl 4.0 a Cirkulární hospodaření. Válka na Ukrajině zcela principiálně ovlivnila nejenom obchodní řetězce, dodávky základních surovin (nejenom plynu a ropy, ale také dalších surovin, čipů a dalších výrobků), vyvolala mimořádnou vlnu zbrojení, oslabila naši ekonomiku a může oddálit i realizaci zásadních opatření k ochraně klimatu.

CM zahrnuje dlouhodobější vizionářské prvky, požadavky na výzkum nad rámec současného stavu techniky (tedy na vyšší technologické úrovni), bariéry žádoucího vývoje a cesty dalšího rozvoje mezioborové spolupráce.

Požadavky na chemický průmysl se stupňují s tím, jak se svět stává digitálním a usiluje o udržitelnost. Produkty se digitálně doplňují, lineární dodavatelské řetězce se stávají složitými ekonomickými sítěmi, recyklace materiálů a manipulace s molekulami nabývají na důležitosti. Odvětví vstupuje do nové fáze s Chemistry 4.0., která vyžaduje nejenom další rozvoj digitalizace, ale i nové obchodní modely. Jedná se o koordinovaný a integrovaný rámec od výzkumu po podnikání na základě postupného přístupu s krátkodobými, střednědobými a dlouhodobými cíli a přínosy. Umožňuje tedy strategický a časově ohraničený základ pro řízení a investice do konkrétních inovačních oblastí a identifikovaných nových technologických řešení, které mají prakticky přispět k dosažení udržitelnosti růstových cílů. Akcentuje potřebu zvýšit připravenost malých a středních podniků (dále MSP) na nástup pokročilých technologií, které obvykle vyžadují kombinaci různých kompetencí a inovativních řešení, která mohou přispět k rozvoji nových meziodvětvových hodnotových řetězců.

SVA 5 reaguje na Vybrané cíle CM, které mají přispět k splnění globálních cílů (např. 20-50% snížení spotřeby energie v průmyslových procesech, zvýšení účinnosti fotovoltaických článků o 10 %, vývoj baterie s energetickou hustotou až 10x vyšší, než je u současných Li-ion baterií, vývoj zařízení s účinností generování solárního vodíku cca o 20 % vyšší, než je účinnost současné fotovoltaické technologie a další).

Mezi hlavní úkoly chemického průmyslu při naplňování cílů GND a Strategie pro udržitelnost chemických látek patří snižování uhlíkové stopy, zvyšování účinnosti procesů a využívání obnovitelné energie. Účinné procesy pomáhají snižovat spotřebu energie, zatímco používání alternativních nosičů energie může snižovat emise. K využití tohoto potenciálu jsou zapotřebí nová řešení pro chemické operace, která mohou také vést k novým obchodním modelům. Zefektivnění průmyslových procesů může významně přispět ke snížení jejich dopadu na životní prostředí. Toho lze dosáhnout použitím méně zdrojů, zrychlením procesů nebo vypouštěním méně skleníkových plynů. Chemický průmysl hraje klíčovou roli při poskytování chemikálií, které umožňují zvýšení účinnosti v různých odvětvích, např. izolace nebo mobilita (lehké materiály). Samotný chemický průmysl má velký prospěch ze zlepšování vlastních procesů, a tím snižuje dopad průmyslových procesů na životní prostředí. Dodává materiály nebo součásti produktů svým zákazníkům, tj. průmyslu v hodnotovém řetězci, a jejich zpracování může vytvářet emise uhlíku. Energetická účinnost a výroba a využívání obnovitelných energií jsou klíčové pro snižování těchto emisí. Součástí řešení mohou být alternativní produkty až po zcela nové obchodní modely, které spojují ekonomické a ekologické výhody.

SVA 5 se zabývá převážně náměty pro výzkumná řešení nad rámec současné techniky. Tedy náměty, které jsou v současné době řešeny na úrovni základního výzkumu a realizaci výsledků lze očekávat až kolem roku 2030 a později.

Představuje vhodné náměty pro společné projekty v rámci Evropského výzkumného prostoru, ale také například pro inovace a podnikatelské záměry v MSP. Výzvou pro chemický průmysl v ČR bude zajistit potřebné investice do jeho rozvoje tak, aby uspěl v globální konkurenci.

Na základě identifikace globálních trendů techniky a budoucích potřeb ekonomiky s ohledem na potenciál české vědeckovýzkumné základny a inovační potenciál českých firem byly vytipovány základní strategické oblasti, pro které existuje nebo je vytvářen v ČR dostatečný vědeckotechnický potenciál, záměry jsou realizovatelné a mohou významně přispět k řešení potřeb české společnosti

Mezi hlavní oblasti doporučeného zaměření výzkumu a vývoje byly výtýpovány:

- Usnadnění výroby a skladování obnovitelné energie  
Technologie výroby a skladování energie jsou zásadní pro úspěšný přechod na nový mix energií a nízkouhlíkové hospodářství. Chemický průmysl hraje významnou roli, pokud jde o umožnění řešení pro skladování energie-od využití amoniaku a skladování vodíku až po výrobu vodíku z bioplynu, využití CO<sub>2</sub> jako chemické suroviny. Kromě toho může chemický průmysl přispět k alternativní generaci energie prostřednictvím nových solárních článků, pokročilých kotvicích materiálů a super hydrofobních povlaků pro větrné turbíny, nových izolačních materiálů pro domy a mnoha dalších řešení.
- Recyklace emisí uhlíku na chemické suroviny (např. CO<sub>2</sub>)
- Recyklace odpadů  
Na konci svého životního cyklu, kdy je výrobek rozbitý nebo již není potřeba, může být recyklován. Obsažené komponenty mohou nahradit primární materiály a zabránit tak emisím uhlíku. To vyžaduje recyklační technologie ideálně založené na uhlíkově neutrální energii.
- Minimalizace emisí uhlíku musí také hrát ústřední roli při používání produktu – a proto již musí být zahrnuta ve fázi vývoje produktu.
- Nové průmyslové technologie – např. obnovitelný vodík, lithium, graphen, biopesticidy
- Biotechnologie – nezastupitelná alternativa nových možností a udržitelnosti v chemickém průmyslu a zemědělství.

Vzhledem k tomu, že 96 % vyrobeného zboží závisí na chemikáliích, je evropský chemický průmysl jádrem téměř všech hodnotových řetězců a poskytuje klíč k řešením, která přinesou naplnění cílů GND, od solárních panelů přes baterie, větrné turbíny a vodík až po izolaci budov, průmyslu povrchových úprav, výrobu léčiv a výkonnější elektroniky. Chemický průmysl také potřebuje transformovat své vlastní výrobní procesy, aby do roku 2050 dosáhl klimatické neutrality. Přechod bude úspěšný pouze tehdy, pokud se chemická strategie pro udržitelnost promění ve skutečnou růstovou strategii pro čtvrtý největší evropský průmysl. Zatímco strategie navrhuje dlouhý a podrobný seznam legislativních opatření s odpovídajícím načasováním pro lepší ochranu občanů, což je cíl, postrádá konkrétnost a jasno v tom, jak bude splněn druhý cíl: podpora inovací pro bezpečné a udržitelné chemické látky.

Světová věda nabízí zejména v základním výzkumu řadu variant řešení. Teprve čas prověří, které inovace budou úspěšné v průmyslu a přinesou tolik žádoucí posun ve řešení řady výzev současné doby k zajištění udržitelnosti života na zemi. Některé velké projekty se řeší již desítky let (např. jaderná fúze) a přesto se jejich komercializace očekává až po roce 2050. Urychlení aplikace výsledků VaV je jedním ze základních požadavků současné doby.



# 3. Charakterizace vědecko-výzkumné základny českého chemického průmyslu

Výzkumné aktivity v ČR pokrývají široké spektrum směrů a v určitém rozsahu pokrývají všechny klíčové znalostní domény (resp. KETs) – materiálového výzkumu, nanotechnologií, mikro a nanoelektroniky, fotoniky, pokročilých výrobních technologií a průmyslových biotechnologií. Ve většině znalostních domén disponuje ČR dostatečně kvalitní výzkumnou základnou, která je schopná produkovat mezinárodně atraktivní výsledky a být kvalitním partnerem aplikační sféře při identifikaci nových aplikačních směrů a technologických řešení. V mezinárodním srovnání však publikační a patentové výstupy naznačují tři znalostní domény s nadprůměrnými parametry. Jsou to fotonika, pokročilé materiály, a v menší míře nanotechnologie

Do první kategorie patří především výzkumné obory přístrojová technika (přístroje a přístrojová technika a mikroskopie), fyzika a materiálové vědy a energetika (zejména jaderná fyzika, jaderné vědy a technologie), některé podobory chemie a chemického inženýrství (spektroskopie, elektrochemie, textilní materiály, aplikovaná chemie), počítačové vědy (počítačové vědy a softwarové inženýrství), obory elektrického inženýrství a telekomunikací (automatizace a kontrolní systémy, telekomunikace), strojírenské obory (strojírenství a letecké strojírenství, všeobecné strojírenství) a biomedicínské obory (medicinální chemie, toxikologie, lékařské laboratorní technologie). V těchto oborech existují v ČR jednak silné výzkumné týmy, jednak existují potenciálně komplementární firmy v hospodářských odvětvích, která vykazují pozitivní dynamiku v exportu a investicích do VaV a lze u nich předpokládat zájem o využití výsledků výzkumných organizací. Přímé vazby mezi znalostními doménami uvedených výzkumných oborů a podoborů lze předpokládat v odvětvích výroba dopravních prostředků, strojírenství, elektrotechniky a elektroniky, jakož i ve výrobě léčiv, ale také v některých užších tržních nikách jako je výroba vědeckých a analytických přístrojů, speciálních textilií, chemické inženýrství, apod

Dosavadní výzkumná specializace byla v nedávném období ovlivněna poměrně masivními investicemi do veřejného výzkumu díky využití strukturálních fondů EU, a to především z Operačního programu Výzkum a vývoj pro inovace (OP VaVpI). Tato VaV centra se měla stát klíčovými stavebními bloky výzkumné specializace ČR, ale následně bylo třeba řešit jejich financování. Bude nezbytné využít v maximální míře jejich znalostního potenciálu pro řešení společenských výzev, i pro řešení výzkumných problémů definovaných ve spolupráci s aplikační sférou. Díky těmto investicím vzniklo v ČR celkem 8 center excelence a 40 regionálních VaV center, která představují značné posílení kritické masy ve vybraných oborech. Na VaV centra je také navázána podstatná část investičních nákladů české účasti v 11 projektech celoevropských výzkumných infrastruktur.

ČR má silnou průmyslovou i výzkumnou základnu a moderní výzkumné infrastruktury, ale potřeby podnikatelské a výzkumné sféry se ne vždy setkávají, což se odráží v doposud stále nízké míře spolupráce těchto dvou sfér.

Souhrnně je možné konstatovat, že v ČR existují výzkumné kapacity ve všech pěti generických znalostních doménách (materiálový výzkum, nanotechnologie, mikro a nanoelektronika, fotonika, pokročilé výrobní technologie, průmyslové biotechnologie), které až na výjimky

nedosahují výjimečných kvalit, ale jsou dostačující pro absorpci poznatků a pro udržení kroku s vývojem ve světě.

MŠMT vydalo v roce 2019 aktualizaci „Cestovní mapy velkých výzkumných infrastruktur ČR pro léta 2016 až 2022“, která představuje zapojení vědecké komunity do jednotlivých výzev a příležitostí v oblasti výzkumných infrastruktur.1) Cestovní mapa zahrnuje celkem 48 velkých výzkumných infrastruktur. Na provoz výzkumných infrastruktur ČR v roce 2020 bylo čerpáno ze státního rozpočtu 1,9 mld. Kč.

V rámci ČR se mezi špičkové vědecké týmy řadí Univerzita Karlova, Masarykova univerzita, Biologické centrum AV ČR, v.v.i. České vysoké učení technické v Praze a další.

Z hlediska spolupráce s podnikatelskou sférou jsou dlouhodobě dobré zkušenosti s VŠCHT Praha včetně Technoparku Kralupy a nového výzkumného centra CirkTech, které se bude zabývat výzkumem pokročilých mechanických a chemických procesů pro cirkulární ekonomiku. dále VŠB – TU Ostrava.

Na Univerzitě Palackého v Olomouci vznikl Český institut výzkumu a pokročilých technologií CATRIN zaměřený na nové možnosti získání a ukládání „zelené“ energie, na rozvoj udržitelného zemědělství, ochranu životního prostředí nebo prevenci a léčbu civilizačních chorob.

Z hlediska zařazení kapitoly Jaderný výzkum je třeba vzpomenout Ústavu jaderné fyziky AV ČR., Centrum výzkumu Řež s.r.o.

Významnou oblastí je rozvoj výzkumné základny v podnikatelské sféře. Z podnikatelské sféry je možno se zmínit o:

- Orlen Unipetrol výzkumně vzdělávací centrum, a.s. Litvínov, Ústí nad Labem
- SYNPO, a.s. Pardubice (součást výzkumné základny Spolchemie)
- Výzkumný ústav organických syntéz a.s. Rybitví (VUOS)

Spolchemie provádí výzkum a vývoj ve třech výzkumných centrech, kde zaměstnává 150 odborníků. Významnou část české základny VaV jsou výzkumná a vývojová pracoviště ve výrobních podnicích, která řeší zejména otázky aplikovaného výzkumu, zlepšování kvality výrobků, modernizací výrobní základny, přípravy inovačních investic, ochrany životního prostředí, úspor energií a další praktické otázky. Jako příklad lze uvést BorsodChem MCHZ, Precheza, Synthomer, Bochemie a řada dalších.

Jako příklady úspěšné průmyslové realizací lze uvést zavedení výroby:

- Dicyklopentadienu v Unipetrol Litvínov využitím vedlejších produktů ethylenové jednotky
- Adiabatické nitrace v Borsodchem MCHZ Ostrava
- Intensifikace výroby TiO<sub>2</sub> a nano TiO<sub>2</sub> v Precheza a.s. Přerov

Vzhledem k mimořádné náročnosti potřebných opatření pro dosažení cílových parametrů GND, Strategie udržitelnosti chemikálií a dalších opatření EU vznikla jak na mezinárodní, tak domácí scéně řada organizací jako:

- Evropské aliance pro čistý vodík
- Asociace CO<sub>2</sub> value Europe

- Co2 Czech Solution Group
- Česká asociace oběhového hospodářství
- Česká Technologická Platforma pro užití Biosložek v dopravě a chemickém průmyslu
- Česká Technologická Platforma Plasty

Nedílnou součástí struktury VaV v ČR jsou četná technologická platformy, s řadou z nich SusChem CZ aktivně dlouhodobě spolupracuje. Díky zastoupení firemní sféry, výzkumných organizací i veřejného sektoru je možné zpřesnit a prioritizovat aplikační témata inteligentní specializace a další výzkumná témata.

V roce 2020 pracovalo v ČR 119 044 osob, které se v rámci svého zaměstnání plně nebo částečně věnují VaV. Na 1 000 zaměstnaných v ČR tak připadá 22 pracovníků ve VaV.

Nejvyšší počet zaměstnanců ve VaV vykazuje podnikatelský sektor (podíl podnikatelského sektoru na celkové zaměstnanosti ve VaV roste, nyní 51,4 %). Ve vysokoškolském výzkumu pracovalo v roce 2020 37 871 osob (32,1 %).**2) 3)**

*Zdroje :*

1) *Cestovní mapy velkých výzkumných infrastruktur ČR pro léta 2016 až 2022, MŠMT 2019*

2) *Analýza stavu výzkumu, vývoje a inovací v České republice a jejich srovnání se zahraničím v roce 2020, RVVI 2021*

3) *Český statistický úřad, 2021*

## 4. Projekty SusChem CZ

### 4.1. SUSCHEM CZ se účastní řešení mezinárodního projektu IRISS

Projekt IRISS (The International ecosystem for accelerating the transition to Safe-and-Sustainable – by design materials, products and processes) je financován z programu Horizon Europe v objemu 3,5 mil EUR. Projekt má umožnit vytvoření sítě zúčastněných stran, včetně společností, výzkumných pracovníků, úřadů a dalších společenských aktérů na podporu tohoto přechodu. Základem celého úsilí je koncept Safe-and Sustainable-by-Design, SSbD, který zahrnuje zaměření se na rané fáze dodavatelského řetězce na poskytování produktů, které jsou součástí kruhových modelů, přičemž se vyhýbá vlastnostem, které mohou být škodlivé pro lidské zdraví nebo životní prostředí. Integruje cirkulaci, klimatickou neutralitu, funkčnost a bezpečnost materiálů, produktů a procesů v průběhu celého životního cyklu.

Projekt IRISS sleduje pět cílů vysoké úrovně:

1. Vyvinout nejmodernější ekosystém (SSbD), který podporuje zavádění a využívání strategií safe-by-design (SbD) a udržitelné-by-design (SusbD) ze strany průmyslu, zejména malých a středních podniků.

2. Přispívat ke kritériím a vůdčím zásadám pro SusbD založených na uplatňování myšlení o životním cyklu v materiálovém a produktovém designu a v souladu s probíhajícími pracemi v evropských a mezinárodních iniciativách.

3. Vytvořit strukturu pro stálou, genderově vyváženou, inkluzivní, mezinárodní a udržitelnou síť odborníků, která bude přístupná všem příslušným zúčastněným stranám.

4. Zpracovat cestovní mapy SSbD v procesu společné tvorby a inkluzivního procesu implementace SSbD v průmyslu a společnosti, včetně prioritních kroků v rámci výzkumu, inovací, požadavků na dovednosti, řízení a správy.

5. Vyvinout program monitorování a hodnocení (M&E), který systematicky vyhledává mezery v nejnovějších znalostech a informacích a převádí je do konkrétních otázek výzkumu a vývoje a potřeb správy, které jsou součástí systematických aktualizací plánu.

Aby byly splněny zastřešující cíle, definovala IRISS specifické cíle spojené s aktivitami v pracovních balíčcích:

1. Mapovat a hodnotit nejmodernější metody a kritéria stávajících SSbD přístupů, včetně metod založených na životním cyklu návrhových procesů a obchodních modelů vyvinutých za účelem zvýšení cirkulace a dostupnosti a potřeb dovedností.
2. Identifikovat mezery v znalostech a nástrojích pro implementaci SSbD v různých hodnotových řetězcích a průmyslu; nesoulad dovedností SSbD a mezery v kompetencích na podporu adekvátních dovedností na všech úrovních; a definovat potřeby budoucího výzkumu a inovací.
3. Formulovat, testovat a pravidelně aktualizovat plány SSbD zahrnující 3 agendy identifikující:
  - i) potřeby vědeckého výzkumu,
  - ii) dovednosti, kompetence a potřeby vzdělávání
  - iii) potřeby sdílení znalostí a informací.

4. Aby bylo zajištěno, že zastřešující plán a pokyny SSbD budou provozovány v praxi prostřednictvím hodnocení zavádění SSbD, vypracováním plánů výzkumu a inovací, překladem těchto získaných zkušeností aktualizovat zastřešující plán SSbD a zapojením v mezinárodních sítích.

5. Rozvinout firemní identitu pro IRISS a posílit spolupráci, dialog a výměnu informací mezi příslušnými aktéry za účelem podpory rozvoje a implementace SSbD.

6. Vytvořit mezinárodní, trvalou, genderově vyváženou a inkluzivní strukturu a ekosystém vedený Evropskou unií pro dlouhodobou spolupráci v oblasti SSbD, zapojení partnerů mimo členy konsorcia a vytvoření společného mechanismu pro zapojení, mobilizaci a spojování různých zúčastněných stran

7. Rozvinout, nasadit a udržovat profesionální a efektivní administrativní, technický, vědecký, právní a finanční

## **4.2. Národní centra kompetence (Technologická agentura České republiky)**

Zaměření na využití vodíku – ČVUT Praha, Green Deal – Technologická centrum AV ČR, mobilita – Centrum dopravního výzkumu, v.v.i Brno. Všem třem uvedeným projektům SUSCHEM CZ

vystavil „deklaraci zájmu o výsledky projektu“, a plánuje se zapojení do projektu formou subdodávek.

### **4.3. CirkArena (Operační program Spravedlivá Transformace)**

SUSCHEM CZ je součástí projektového konsorcia projektu CirkArena. Projekt je zaměřen na VaV v oblasti cirkulární ekonomiky a byl uznán Moravsko-slezským krajem jako Strategicky významný. Celkový plánovaný rozpočet je cca 2,2 mld Kč. Projekt se bude podávat na podzim 2022.

### **4.4. Foresightová studie – Karlovarský kraj**

SUSCHEM CZ vypracoval úvodní etapu Foresightové studie se zaměřením na budoucí technologický vývoj v hlavních segmentech chemické technologie a doporučení k zajištění konkurenceschopnosti chemického průmyslu v Karlovarském kraji.

### **4.5. Další aktivity SUSCHEM CZ**

- Možná participace na studii společnosti Deloitte CZ pro Karlovarský kraj – využití vodíku (v jednání)
- Vypracování SVA – VÚT Brno – organické povrchové úpravy (dokončeno)
- Dopadová studie Fit for 55 (spolupráce s Deloitte CZ, vítězem výběrového řízení na provedení studie pro ČR) MPO ČR podepsalo s firmou Deloitte smlouvu na zhotovení Studie dopadů balíčku Fit for 55 na hospodářství ČR.

Dále SUSCHEM CZ se podílela na přípravě a realizaci řady odborných (i mezinárodních) konferencí) a workshopů.

Např.

- Česko-Bavorský seminář (spolupořadatel BayFor, Mnichov) na téma pokročilé materiály a technologie, červenec 2021
- Mezinárodní konference pod záštitou EP/Renew na téma Green Deal a CSS – listopad 2021
- Mezinárodní chemicko-technologické konference ICCT v Mikulově (hlavní pořadatel Česká společnost průmyslová, duben 2022
- Cirkulární ekonomika a recyklace plastů (prosinec 2021, platforma SUSCHEM CZ byla spolupořadatelem)

## **5. Hlavní projekty českého chemického výzkumu**

Celková energetická potřeba EU je na fosilní energii závislá z 68 %, spolu s jádrem pak tato závislost činí 82 %. EU je přitom z 60 % celkové spotřeby energie závislá na importu ze

zahraničí. Česko ze 40 % a Německo ze 65 . Zatímco v polovině 20. století byla Evropa výrazným exportérem výrobků, nyní je bilance vyrovnaná a překlápí se do importní.

Moderní chemie a související technologické procesy nabízejí řadu řešení aktuálních společenských výzev, jako je například udržitelnost ekonomického růstu ve spojení s ochranou životního prostředí. I proto je potřeba hledat cesty, jak tyto inovativní technologie podpořit (např. na bázi chemicko-termických procesů), v oblasti nakládání s odpady, v energetickém sektoru nebo recyklačním průmyslu.

Návrh vychází z CM, Národní RIS3 strategie a reaguje na strategii inteligentní specializace ČR.

V rámci balíčku „Fit for 55“ pracuje EU na revizi své legislativy v oblasti klimatu, energetiky a dopravy s cílem sladit stávající právní předpisy s ambicemi pro roky 2030 a 2050. Balíček zahrnuje rovněž řadu nových iniciativ, která sledující cíle:

- zajistí spravedlivou a sociálně vyváženou transformaci;
- zachová a posílí inovace a konkurenceschopnost průmyslu EU a současně zajistí rovné podmínky vůči hospodářským subjektům ze třetích zemí;
- zvýšení podílu energie z obnovitelných zdrojů na celkové skladbě zdrojů energie do roku 2030 z dosavadních 32 % na minimálně 40 %.

Evropská komise dále navrhuje revidovat stávající směrnici o energetické účinnosti zvýšením současného unijního cíle pro energetickou účinnost z 32,5 % na 36 % pro konečnou spotřebu energie a na 39 % pro spotřebu primární energie.

## 5.1. Zelená dohoda pro Evropu (GND)

- Hlavním cílem Zelené dohody pro Evropu je snížení emisí CO<sub>2</sub> oproti roku 1990 o 55 % do roku 2030 a dosažení uhlíkové neutrality do roku 2050
- EU si stanovila ambiciózní cíl do roku 2035 recyklovat 65 % komunálních odpadů
- Postupně nahradit ropu (fosilní paliva) s cílem 30 % náhrady do roku 2030

Hlavními opatřeními pro dosažení cílových parametrů je dekarbonizace energetiky, rozšíření využívání obnovitelných zdrojů energie (viz kap. 5.1.1.), zelený vodík, využívání CO<sub>2</sub> jako suroviny, využití biomasy, elektrifikace chemického průmyslu, recyklace, ale také úspory spotřeby energií a surovin, hlavně kriticky ohrožených a vody.

Tato opatření si však vyžadají zásadní změny nejenom v chemickém průmyslu, ale zejména v mobilitě, hutnictví, zemědělství, stavebnictví, hutnictví a v dalších odvětvích. Řada těchto změn již postupně nastává (např. programy postupného útlumu těžby uhlí, rozvoj elektromobility, omezování skládkování odpadů, zvyšování podílu bioplynu nebo vodík v plynu, nové emisní limity pro motorová vozidla a další.)

Proti tomu však velmi negativně působí výrazné zdražování energií, které významně dopadá nejenom na životní úroveň obyvatel, ale i na řadu průmyslových odvětví, včetně chemického průmyslu a ohrožují ekonomickou stabilitu a konkurenceschopnost českého průmyslu.

Investice do efektivního využití energie, recyklace a využití vody patří v českých firmách mezi klíčové oblasti řešení dopadů GND. Udržitelnost je podle šéfů tuzemských firem zčásti zátěž, ale také příležitost pro rozšíření zákaznické základny.<sup>1)2)</sup>

Jednou z firem, která má propracovanou strategii pro transformaci na bezemisní ekonomiku je polostátní energetický gigant ČEZ. <sup>3)</sup>Ve své Vizi 2030 společnost rozpracovala detailní projekt, jak proměnit vnitřní procesy i proměnit portfolio služeb. V segmentu Environmental plánují výstavbu obnovitelných zdrojů a připravují snížit podíl energie vyrobené z uhlí. V roce 2019 to bylo 39 procent, v roce 2025 to bude 25 procent a v roce 2030 by to mělo být 12,5 procenta.<sup>3)</sup>

Další strategie transformace podniků skupiny Orlen Unipetrol plánuje produkci části petrochemie o 15 % z recyklovaných odpadů.<sup>4)</sup>

Ve strategii BASF je uvedeno, že do roku 2030 sníží emise CO<sub>2</sub> o 25 % proti roku 2018 a budou usilovat o klimatickou neutralitu do roku 2050. Do roku 2025 chtějí zpracovat 250 kt recyklovaných surovin a surovin založených na odpadech. Do roku 2030 chtějí dosáhnout 17 miliard EURO z cirkulárního hospodářství.

Ve strategii Spolchemie uvažují do roku 2030 snížit uhlíkové stopy o 40 %. Chtějí také snižovat znečištění – do roku 2030 mají cíl snížit specifickou produkci odpadu o 20 % a snížit specifického znečištění odpadních vod o 15 %.

*Zdroj:*

*1) Studie proveditelnosti a dopadu Zelené dohody pro Evropu a dekarbonizace průmyslu do chemického sektoru ČR s akcentem na zaměstnanost, SCHP ČR 2020*

*2) Opportunities and Challenges Brought by Fit for 55 to the Chemical Industry – the Czech Example. SCHP ČR 23. 2. 2021*

*3) Čistá energie zítřka, Vize 2030 ČEZ, červenec 2021*

*4) T. Herink: Development trends of the Orlen Unipetrol Group, ICCT konference Mikulov, 2022*

### **5.1.1. Konverze a skladování energií**

Rozvoj intermitentních zdrojů (zdrojů s kolísavou výrobou) a probíhající dekarbonizace samozřejmě kladou na provozovatele nové výzvy, zejména v oblasti řízení (regulovatelnosti) soustavy. Změny ve zdrojové základně však probíhají postupně a plánovaně a jednotliví provozovatelé se na ně dlouhodobě připravují. Elektřina vyráběná ze slunce a větru v sobě skrývá zmíněné riziko výkyvů dodávek v síti; na možnostech ukládání takto získané energie – například do velkých bateriových systémů, či do přeměny na vodík, se ale intenzivně pracuje. Elektřinu zatím nelze dlouhodobě a ve velkém skladovat. V současnosti se hovoří hodně o zeleném vodíku a biometanu, ovšem v českých podmínkách to zatím není ekonomicky ani technicky představitelné. Evropská komise začátkem letošního roku uznala jaderné elektrárny jako přechodný bezemisní zdroj, doprovodila to ale řadou podmínek (například

připraveností úložišť použitého jaderného paliva), jež nebude snadné splnit. Původní strategie postupného odstavení uhelných zdrojů a rekonstrukce vybraných uhelných elektráren na plynové elektrárny se v důsledku války na Ukrajině mění. Roste význam úspor energií a potřeba alternativní, obnovitelné energie. Vzestup solárních a větrných technologií a požadavky snižovat emise z výroby klade na chemický průmysl velké nároky. To také dává chemickému průmyslu příležitost vyvinout správné materiály pro překonání jakýchkoli technologických výzev v této oblasti. V současné době se zkoumá celá řada materiálů a sloučenin, které nutně vytvoří značnou poptávku po surovinách a chemikáliích. Kromě toho poroste také role chemického průmyslu v úvahách o konci životnosti výrobků a jejich recyklaci.

## a) Solární články

Abychom dokázali splnit cíl uhlíkově neutrálního hospodaření do roku 2050, budeme muset asi třetinu veškeré elektrické energie čerpat ze slunce. To znamená navýšit fotovoltaickou výrobu 85krát. Jenže na výrobu takového množství solárních panelů se spotřebuje až 50 procent světových kapacit hliníku. Zpracování tohoto kovu je energeticky velice náročné (руды se pomocí elektřiny zahřívají na 950 °C) a uvolňuje se při tom mnoho škodlivých odpadních látek. Řešením se má stát zdokonalení recyklace hliníku a inovace slévárenských technologií. Nejde jen o hliník, ale i některé kriticky ohrožené suroviny, které se často dovážejí ze zemí mimo EU. Jedná se např. o lithium, kobalt, nikl, mangan a další.

Solární energie je nejrychleji rostoucí ze všech obnovitelných zdrojů, její podíl na zvyšování instalovaného výkonu dosáhl v roce 2019 hodnoty 10.3 % ve srovnání s 0.8 % z roku 2010. Fotovoltaika generuje přes 3 % celosvětové energie. Množství energie ze solárních zdrojů za rok 2020 dosáhlo rekordní hodnoty 921 TWh.

Česká fotovoltaika rostla i během pandemie. Dopady války na Ukrajině a nebezpečí zastavení dodávek zemního plynu z Ruska zvýšilo zájem veřejnosti o fotovoltaiku, tepelná čerpadla nebo další zdroje získávání tepla.

Samotná přeměna sluneční energie na elektřinu probíhá bez vzniku škodlivých emisí, ale totéž se nedá říct o ostatních procesech, které se s fotovoltaikou spojují. Do celkové uhlíkové stopy solárních panelů se promítá jejich výroba, přeprava, montáž, údržba, demontáž a likvidace, tedy celý poměrně dlouhý životní cyklus.

Odhaduje se přitom, že v přepočtu na vyprodukovanou kilowatthodinu elektrického proudu vzniká u fotovoltaiky zanedbatelná uhlíková stopa odpovídající 0,03 – 0,08 kg CO<sub>2</sub>. Solární panely svou uhlíkovou stopu „splatí“ zhruba za pouhé 3 roky práce. V zahraniční literatuře se často udává pojem carbon debt neboli „uhlíkový dluh“. Jedná se o metriku vyjadřující rozdíl mezi množstvím vyprodukovaného oxidu uhličitého vs. množství, které je samotnou činností vykompenzován.

Významný podíl na tomto vývoji má Čína, která byla zodpovědná za 75 % všech nových fotovoltaických instalací mezi lety 2019-2020. Čína se stává zemí spoléhající výrazně na ekologické zdroje elektřiny. Plánovanou instalovanou kapacitu 1.200 GW (v součtu sluneční a větrné energie) pravděpodobně pokoří už v roce 2026, tedy o šest let dříve, než se předpokládalo.

Fotovoltaika zažívá obrovský boom hlavně díky klimatickým cílům jednotlivých států. V Austrálii využívá střešní solární panely každá třetí domácnost, v USA by měly do konce roku

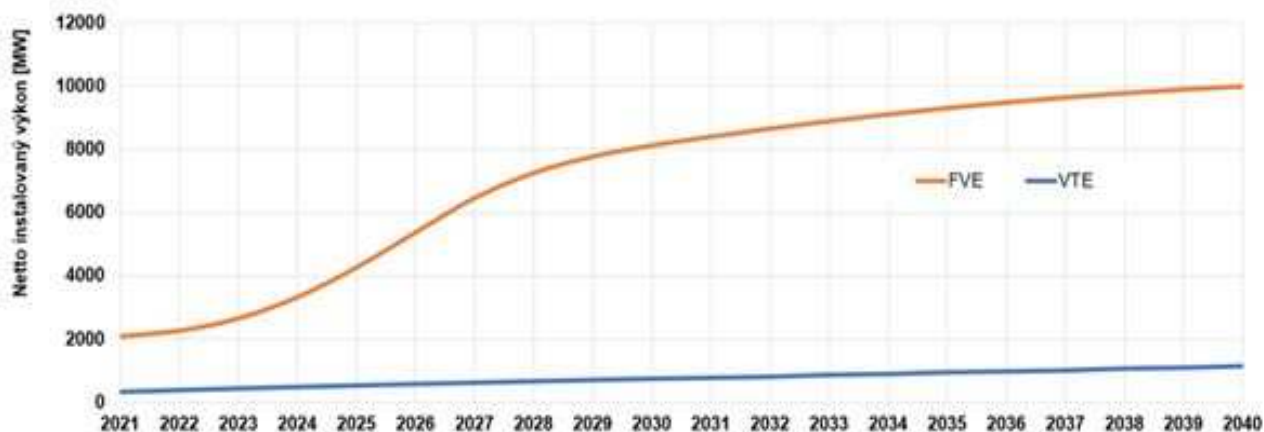


2023 zdvojnásobit instalovanou kapacitu slunečních elektráren, a tak bude tento zdroj energie stále dostupnější a výhodnější. Největší solární farma světa se nachází v Maroku. Koncentrační sluneční elektrárna Noor Complex leží v saharské poušti na území Maroka. Díky výhodnému geografickému umístění s velkou intenzitou slunečního svitu dokáže produkovat dostatek elektrického proudu pro 1 milion lidí.

Indie chce být světovou jedničkou v oblasti solární energetiky s cílem produkovat nulové emise skleníkových plynů nejpozději v roce 2070 se Indie pouští do intenzivního využívání obnovitelných zdrojů energie, které by nahradily spalování fosilních paliv ve starých elektrárnách. V průběhu roku 2022 chce instalovat kapacitu 100 GW v podobě solárních panelů, spojených s rozvodnou sítí. Dále plánuje tato země i podporu decentralizovaných energetických zdrojů, jako jsou střešní solární panely pro domácnost

EU předpokládala, že solární energie bude do roku 2024 až o 35 % levnější, avšak problémy s dodávkami by mohly rozvoj fotovoltaiky zbrzdit. Pořizovací cena solárních panelů v posledním desetiletí postupně klesala, ale tento pokles se nyní zastavil. Na vině je kromě jiného i pandemie Covidu-19 a válka na Ukrajině, která způsobila výpadky dodávek surovin pro výrobu panelů, ale také se zdražila energie a doprava, což se do výsledných nákladů promítá. Pokud bude tento trend pokračovat, mohlo by to u některých států vést ke zpomalení přechodu na obnovitelné zdroje energie. Prudké zdražování energií negativně ovlivňuje výrobu hliníku v EU. Česká vláda uvažuje s vybudováním 100 000 nových fotovoltaických elektráren zejména na budovách, ale i rodinných domech. Je si třeba uvědomit, že v současné době je stále fotovoltaiky ztrátová a je podporována vysokými dotacemi. ČR patří mezi pět států s nejvyšší spotřebou energie na světě na jednotku HDP. Cíl Evropské unie snížit emise o 55 procent se nemusí plnit jen zvyšováním výroby z obnovitelných zdrojů, ale hlavně snížením spotřeby energie.

Podle realistické predikce v rámci studie operátora přenosové sítě ČEPS vzroste instalovaný výkon nových FVE do roku 2030 v ČR na 8 000 MWp – viz obr. č.1.



Zdroj : 1)

Základní požadavky na vývoj solárních článků:

- Zvýšení efektivity min o 10 % (zvýšit účinnost přeměny energie)
- Snížení spotřeby kobaltu, hliníku
- Zvýšení bezpečnosti
- Vyrábět ze slunečního záření energii za srovnatelné náklady s konvenčními elektrárnami
- Snížit výrobní náklady na instalaci fotovoltaických článků,

Dalším významným parametrem z hlediska ekonomiky je životnost solárních panelů. Zatím co první panely měly životnost kolem 10 let, což vyvolalo vášnivé diskuse, kdo ponese náklady na likvidaci a recyklaci starých panelů, dnes se VaV zaměřuje na cíl dosáhnout životnosti fotovoltaické elektrárny až 40 let. Limitujícím faktorem pro dlouhé roky provozu se tak u fotovoltaických elektráren stává spíše kvalita nosné konstrukce pod samotnými panely a trvanlivost dalších potřebných struktur, které jsou nutné k provozování fotovoltaické elektrárny.

V dnešní době VaV řeší řadu koncepcí modernizace solárních panelů. Vzhledem k rostoucí poptávce po zdrojích čisté energie se pozornost odborného světa zaměřuje např. na organické FV články s využitím TiO<sub>2</sub> a metalo-organického senzitivizéra. Výrobní náklady na tyto články jsou asi třikrát nižší ve srovnání s křemíkovými. Slabinou TiO<sub>2</sub> článků je dosud menší citlivost na světelné záření než u křemíku a nižší životnost. Organické a polymerní solární články představují v budoucnu zajímavý směr zelené energie.

Další nadějnou cestou jsou nanovlákná, která budou schopna nahradit jak klasické křemíkové články, tak i novou generaci článků s nanokompozity. Nabízí možnost fungování i za snížených světelných podmínek, tedy bez slunečního svitu. Akceptory fullerénového elektronu byly široce používány v organických polymerních solárních článcích, stejně jako v perovskitových solárních článcích. Fotovoltaická účinnost může být ovlivněna fullerénovým stereomerem, pokud byl novým derivát fullerénu navržen jako elektronový akceptor.

Perspektivně se v ČR vyvíjí i technologie založená na uchování sluneční energie v chemických vazbách-nabíjecí solární panely. Elektrony se ukládají přímo do molekul, které umí do své struktury zabudovat vždycky dva elektrony a vytvoří chemickou vazbu. Ta, když se rozruší, elektrony vypustí ven, takže ty molekuly fungují jako baterie. Jde o organické látky, tedy takové, které neobsahují žádné atomy kovů. Díky tomu vědci předpokládají, že můžou mít nižší ekologický dopad než např. systémy obsahující těžké kovy. Zkoumané látky dokážou chemicky reagovat se světlem. Současné řešení je kombinace solárních panelů a nabíjecích baterií. Takové zařízení by všechno kombinovalo do jednoho materiálu, tedy solárního panelu, který bude vyrábět elektrický proud a zároveň se nabíjet. Už tedy nebude potřeba ho kombinovat s nějakou baterií, s tím, že díky tomu nebude potřeba elektrickou energii nikam přenášet. Takové solární články by zároveň byly výrazně levnější a mohly by se snadno vyrábět ve velkém množství. Nebudou vypadat tak, jak je dnes známe ze střech nebo z polí, ale budou to tenké folie vytištěné na běžné tiskárně.

Tento projekt řeší tým Ing. Tomáše Slaniny z Ústavu organické chemie a biochemie Akademie věd ČR. O tom, že se jedná o velice zajímavý projekt svědčí to, že ho svým grantem podpořila

Evropská výzkumná rada. Jejich výzkumný projekt patří do tzv. kategorie high risk / high gain. To znamená, že je vysoké riziko, že vědci ke kýženým výsledkům nedojdou.

Komerční využití lze předpokládat od roku 2030. Nová metoda by mohla způsobit revoluci ve výrobě a uchovávání elektrické energie. Vědci vidí v obnovitelných zdrojích cestu dopředu v decentralizaci výroby, tedy malých elektrárnách a lidé tak nebudou tolik závislí na elektrické síti zvenku.

Perovskity pro efektivní nízkonákladovou fotovoltaiku 2,3,4)

Chemický výzkum zkoumá a vyvíjí nové typy materiálů, aby byly solární články účinnější. V této oblasti jsou perovskitové solární články (PSC) považovány za velmi slibnou technologii solární energie. Perovskity jsou třídou minerálů se specifickou strukturou vykazující nespočet zajímavých vlastností, jako je supravodivost, magnetorezistence a symetrie materiálu. Jejich výrazná krystalická struktura, kterou umožňují chemické složky methylamonium trihalogenidu olovnatého, je činí ideálními pro efektivní, nízkonákladovou fotovoltaiku.

PSC zahrnují sloučeninu se strukturou perovskitu, obvykle hybridní organicko-anorganický materiál na bázi halogenidu olova nebo cínu, jako svou aktivní vrstvu pohlcující světlo. Články dokážou absorbovat velkou část viditelného slunečního spektra, což vede k relativně vysokému výnosu. V laboratorních podmínkách bylo dosaženo účinnosti přes 22 %, což převyšuje průměrnou účinnost tradiční křemíkové fotovoltaiky kolem 18 %. Mezi další velké výhody PSC patří jejich relativně nízké výrobní náklady, flexibilita a nižší hmotnost. Protože nejvíce prozkoumaným typem PSC materiálu je methylamoniumtrihalogenid olovnatý, tento typ technologie se stále potýká s velkými problémy se stabilitou, které brání jeho komerčnímu využití. Materiál je citlivý na vlhkost a v běžných venkovních podmínkách degraduje. To nepříznivě ovlivňuje výkon i životnost, a co je důležitější, může vést k toxickému znečištění jodidem olovnatým z článků. To je také důvod, proč se výzkumné a vývojové úsilí nezaměřuje pouze na zlepšení účinnosti technologie, ale také na zvýšení její vodoodpudivost díky zapouzdření materiálu. Zkoumají se také další alternativy, jako je bezolovnatý cesium-zlatý jód, pokud jde o nahrazení olova v materiálu, aby se čelilo dopadu znečištění. Jedna z možných aplikací PSC spočívá v jejich kombinaci s tradiční technologií křemíkových solárních článků. Kombinovaná instalace článků tohoto druhu dosáhla účinnosti 28 % v laboratorních podmínkách. Tato kombinace by mohla využít široké využití a stávající kapacitu běžných solárních článků, které tvoří asi 90 % podílu na trhu fotovoltaiky. Obecné PSC jsou v současné době v pilotní fázi a vodotěsné PSC ve fázi laboratoře. Jakmile bude nalezeno řešení problémů se stabilitou, PSC by mohly potenciálně posunout zelenou solární elektřinu na novou úroveň z hlediska účinnosti, flexibility a výroby.

Cena by měla být oproti dnešním křemíkovým panelům o 30 až 50 procent nižší. Klíčové je, že ve výsledku jsou solární panely z perovskitu lehké, flexibilní, mají vyšší účinnost a oproti těm běžným křemíkovým je lze vyrábět za nižších teplot, a tedy i levněji, a to běžným sítotiskem. Firmy je mohou tisknout třeba na ohebné pásky a potahovat se jimi dají i okna. Jeden metr čtvereční křemíkového panelu zvládne nahradit zhruba 0,6 až 0,7 metru čtverečního perovskitových fotovoltaických článků.

Perovskitové solární články nabízejí zajímavou alternativu; lze je tisknout z inkoustů, díky čemuž jsou levné, vysoce účinné, tenké, lehké a flexibilní. Nicméně zaostávají za křemíkovými solárními články ve stabilitě, protože se za normálních podmínek prostředí porouchají.

S těmito problémy by mohly pomoci nové materiály obsahující kovy zvané ferroceny. Ferroceny jsou sloučeniny se železem ve svém středu obklopené sendvičovými kruhy uhlíku.

Výzkumníci z City University of Hong Kong přidali do perovskitových solárních článků ferroceny čímž výrazně zlepšili jejich účinnost a stabilitu. Jednou z vlastností vyplývající ze struktury ferrocenů je, že umožňují elektronům snadněji se pohybovat z perovskitové vrstvy do následujících vrstev, čímž se zlepšuje účinnost přeměny sluneční energie na elektřinu.

Křemíkové FV panely jsou účinné, ale drahé, a my urgentně potřebujeme nové solární panely ke zrychlení přechodu na obnovitelnou energii. Stabilní a účinné perovskitové články mohou v důsledku rozšířit využití sluneční energie.

Vývoj poloprůhledných solárních článků, které přemění okna na aktivní generátory energie, se nedávno dočkal významného pokroku. Tým australských vědců vyrobil perovskitové články nové generace s účinností konverze 15,5 % a zároveň s průchodem více přirozeného světla. Pro srovnání – klasické neprůhledné střešní články na bázi křemíku pracují s účinností přibližně 20 %.

Profesor Jasieniak se svým týmem díky kombinaci cesia a formamidinia v minerální struktuře perovskitu vytvořil hned několik prototypů solárních článků s různými vlastnostmi. a zmínku stojí hlavně modely, u nichž bylo dosaženo účinnosti přeměny energie 15,5 % a 4,1 % s průměrnou propustností viditelného záření 20,7 % a 52,4 %. I když konverze energie je u nich nižší, množství procházejícího viditelného světla už je řadí k materiálům vhodným pro zasklení oken a skleněných fasád. k realizaci vysoce účinných a stabilních perovskitových zařízení, která mohou být nasazena jako solární okna, aby zaplnila momentálně z velké části nevyužitou tržní příležitost. Cesium a formamidinium v perovskitových člancích také prokázaly vynikající dlouhodobou stabilitu, když byly testovány při nepřetržitém osvětlení a zahřívání. Výsledky výzkumu ukazují, že ST-PeSC panely si udržely 85 % své počáteční účinnosti přeměny energie i po 1000 hodinách nepřetržitého osvětlení. Sklo již nebude jen stavebním materiálem, ale také obnovitelným zdrojem energie a klíčovým prvkem v úsilí o dekarbonizaci stavebnictví.

Japonský výzkumný tým Toshiaki Kata vyrobil vysoce průhledný solární článek s 2 D atomární vrstvou. Tyto téměř neviditelné solární články dosahují průměrné průhlednosti 79 %, což znamená, že je lze teoreticky umístit kamkoli – na okna budov, čelní skla automobilů, a dokonce i na lidskou kůži. 5)

Pro výrobu solárního článku tým testoval kontaktní bariéry mezi oxidem india a cínu (ITO), jedním z nejpoužívanějších transparentních vodivých oxidů, a jednovrstvým disulfidem wolframu. Na ITO nanесли různé tenké vrstvy kovu a mezi ITO a disulfid wolframu vložili tenkou vrstvou oxidu wolframu. Způsob, jakým byl solární článek vytvořen, vedl k více než tisíckrát vyšší účinnosti přeměny energie ve srovnání se zařízením využívajícím konvenční ITO elektrodu. Vědci také zkoumali, jak by se jejich solární článek dal zvětšit pro použití ve skutečném solárním panelu. Před výzkumníky ještě stojí řešení technických otázek jako je zvětšení panelu na průmyslovou velikost a konstrukční úpravy potřebné k tomu, aby nedocházelo k neočekávanému poklesu napětí, který je spojen se zvětšením plochy zařízení.

Další náměty z VaV:

- Termofotovoltaické články (TPV), které přeměňují teplo na elektřinu.

Termofotovoltaické články fungují tak, že zahřívají polovodičové materiály natolik, že výrazně zvyšují energii fotonů. Při dostatečně vysokých energiích mohou tyto fotony vyrazit elektron přes tzv. „pásmovou mezeru“ materiálu a vyrábět elektřinu. Doposud dosahovaly články TPV pouze 32% účinnosti, protože pracují při nižších teplotách. Cílem vývoje dostat se na účinnost přes 40 %, což je již výkon srovnatelný s tradičními elektrárnami s parní turbínou.

Někteří odborníci stále chovají naději, že se může podařit najít dostatečně levné, a přitom účinné materiály, díky kterým by se termoelektrické generátory mohly dočkat výrazně většího rozšíření. Nejspíše by samozřejmě mohly sloužit k výrobě elektřiny z tepla, které je „zadarmo“, tedy tepla odpadního. Přesně to je případ i jejich využití ve fotovoltaických panelech. Ty se během dne na slunci pochopitelně zahřívají. To nejen snižuje jejich účinnost, ale teoreticky také dává příležitost termoelektrickým systémům, aby svou měrou přispěly k výrobě elektřiny. Panely jsou totiž teplejší než okolí, a tohoto rozdílu teplot dokáže termoelektrický generátor využít.

- Tandemové solární články

Nový solární článek je založen na architektuře známé jako invertované metamorfni multifunkční články (IMM – inverted metamorphic multijunction) a obsahuje tři „přechody“, tedy součásti, které v reakci na světlo vyrábějí elektrický proud. Každý z těchto přechodů je vyroben z jiného materiálu – v tomto případě je to fosfid galia v horní vrstvě, arsenid galia uprostřed a arsenid galia ve spodní vrstvě. Tyto tři materiály se specializují na různé vlnové délky světla, což umožňuje solárnímu článku jako celku získávat více energie z celého světelného spektra

Dalším pokrokem, který přispěl k nové rekordní účinnosti, bylo vytvoření střední vrstvy s kvantovými studnami. V podstatě jde o to, že vložením vodivé vrstvy mezi dva další materiály s širší pásmovou mezerou se elektrony omezí na dva rozměry, což materiálu umožní zachytit více světla. Střední vrstva tohoto solárního článku obsahovala až 300 kvantových studen, což zvýšilo celkovou účinnost na novou úroveň. Tým vědců z Národní laboratoře pro obnovitelnou energii (National Renewable Energy Laboratory) amerického ministerstva energetiky vytvořil takový solární článek s rekordní účinností 39,5 % při běžném slunečním osvětlení, čímž překonal světový rekord v účinnosti solárních článků

Tento průlom může být důležitý pro technologii solárních článků, ale výroba tohoto typu článku je stále poměrně nákladná. Bude zapotřebí další práce, aby se tyto náklady snížily a tato technologie byla dostupnější

Do tří let by měl výkon solárních elektráren v EU narůst na dvojnásobek, tedy na 320 gigawattů (GW). Do konce desetiletí má Evropská komise v plánu dosáhnout 600 GW fotovoltaik instalovaných v Evropě. Čtyři z pěti dovezených solárních panelů v současnosti pocházejí z Číny. Solární panely z evropských států jsou však často jen reexporty, téměř ve všech je nějaká čínská komponenta, zpravidla aspoň čínský křemík. Ve výrobě solárních panelů má dnes Čína téměř světový monopol. Čínská roční produkce převyšuje 100 gigawattů – ve světě se přitom ve fotovoltaice ročně instaluje něco přes 120 gigawattů výkonu. Jedním z hlavních nástrojů nové energetické strategie EU (REPowerEU) má být masivní rozšíření solárních elektráren například na všech vhodných střeších veřejných a komerčních budov od roku 2025 a pro nové obytné budovy od roku 2029. K problematice energetické bezpečnosti se přitom již v květnu postavila čelem i Evropská komise. Naplnění strategie REPowerEU má Evropu zbavit závislosti na ruském plynu. Komise navrhuje zvýšení podílu zelené energie na 45 % do roku 2030. 6)

V SVA 4 z roku 2019 7) jsme se v dlouhodobém horizontu zabývali dalšími náměty jako př.

- 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 pás

Výzvy pro chemický průmysl v oblasti modernizace solárních článků:

- Vývoj pokročilých materiálů pro tenkovrstvé anorganické solární panely a nižší výrobní náklady 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 a / nebo řízení světla pomocí plasmonových efektů nebo rozptylu a ultra tenkých (monokrystalických) křemíkových vrstev (pod 50 mikronů) k nahrazení současných nejmodernějších křemíkových destiček (pod 200 mikronů).
- Vývoj pokročilých materiálů pro tenkovrstvé organické fotovoltaiky panely s důrazem na optimalizaci pro zvýšenou účinnost s širší spektrální odezvou pro jednoduché a vícenásobné spojení. Trvanlivost těchto materiálů je také klíčovým bodem, který je třeba řešit. Procesy s vysokou propustností potřebují pokročilé materiály přizpůsobené formulacím inkoustu. Zvýšení efektivity řízením světla plazmonickými účinky a rozptylu v aktivních vrstvách i na různých dalších rozhraních bude vyžadovat funkční nanomateriály s řízeným a škálovatelným výrobním procesem.
- Vývoj pokročilých materiálů pro zlepšené uzavírací vrstvy a lepidla na bariérové vrstvy, které zahrnují nové pružné, lehké, průhledné bariérové materiály (případně včetně kompozitních materiálů) s odpovídajícími rychlostí přenosu vodních par.
- Pokročilé materiály pro alternativní vodiče nebo materiály, které se nespolehají na potenciální vzácnost kovy a jsou výrazně levnější než současné materiály jako indium cínicitany (ITO) pro materiály s velkým povrchem, ale poskytují přinejmenším podobný výkon.
- Pokročilé materiály pro řízení světla zajišťují nízký náklad na zlepšení světelné vazby a absorpce na fotoaktivní vrstvy pomocí optických povlaků, nano imprinting / nano structuring, fotonických struktur, vícevrstvé optiky, plazmoniky / nanočástic a reflexních vrstev s vysokým základem pro ultra – tenké silikonové solární články.
- Pokročilé materiály pro fotovoltaické panely integrované do budov (BIPV) pro vývoj speciálních substrátů (sklo nebo jiné materiály), které lze snadno integrovat do budov
- Efektivní recyklaci starých fotovoltaických článků
- Vývoj technologie založená na uchování sluneční energie v chemických vazbách – nabíjecí solární panely.
- Termofotovoltaické články (TPV), které přeměňují teplo na elektřinu.
- Zlepšení v současnosti omezené chemické stability PSC kvůli jejich citlivosti na vlhké podmínky, nahrazení olova netoxickými složkami
- Pokročilé materiály pro fotovoltaické panely integrované do budov (BIPV) pro vývoj speciálních substrátů (sklo nebo jiné materiály), které lze snadno integrovat do budov

- Pokračovat ve vývoji nabíjecích solárních panelů
- Efektivní recyklaci starých fotovoltaických článků (zejména zpětné získávání Si, Co a Mn)

## b) Tepelné čerpadlo

Tepelná čerpadla získávají zejména v důsledkům války na Ukrajině a hledání nových zdrojů energií stále více na významu. Tepelné čerpadlo je zařízení, které čerpá teplo z jednoho místa na jiné s vynaložením vnější práce. Nejčastějším typem je kompresorové tepelné čerpadlo. Pracuje na principu obráceného Carnotova cyklu. Jednou z charakteristik práce tepelného čerpadla je topný faktor. Ten udává efektivitu práce tepelného čerpadla jako poměr vyrobeného tepla a spotřebované energie.

Přístup k energii, kterou využívají tepelná čerpadla, máme všichni. A užívat ji můžeme bez následků na životním prostředí. Díky tepelným čerpadlům lze ušetřit až 60 % svých nákladů na vytápění domu a ohřev vody. Existuje řada typů tepelných čerpadel podle toho odkud se odebírá teplo a do jakého media ho převádí (země-voda, vzduch-voda, voda-voda, vzduch – vzduch). Topný provoz omezí jednak mrazy cca od  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $-28\text{ }^{\circ}\text{C}$  a také vysoké teploty nad  $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Tepelné čerpadlo s nulovými emisemi oxidu uhličitého a vysokou účinností vytvořené odborníky ze španělské univerzity by mohlo být efektivní náhradou za plynové kotle nejen v tuzemských domácnostech. Dokáže vyrábět vodu pro vytápění o teplotě až  $75\text{ }^{\circ}\text{C}$  Celsia. V souvislosti s energetickou krizí ale i problémy, které potencionálně mohou čekat dodávky zemního plynu z Ruska do Evropy se stále rychleji pracuje na hledání řešení, které by spalování zemního plynu v plynových kotlích nahradily. Jedním z nich by mohlo být i první tepelné čerpadlo pro domácnosti, které neprodukuje žádné emise oxidu uhličitého, a navíc dokáže vyrábět vodu pro vytápění o teplotě až  $75\text{ }^{\circ}\text{C}$  Celsia. Výhodou nového typu tepelných čerpadel je i vyšší teplota, kterou používají k vytápění. Ta může dosáhnout až  $75\text{ }^{\circ}\text{C}$  a vyrábí se s velmi vysokou energetickou účinností, což u běžných tepelných čerpadel nebylo možné. Čerpadlo je pak možné snadno nainstalovat jak do novostaveb, tak i do současných budov jako náhradu za plynové kotle. Tepelné čerpadlo od odborníků z univerzity ve Valencii má také velmi vysokou účinnost. Za jednu spotřebovanou kilowatthodinu je tak schopná vyrobit 6,48 kWh tepla pro domácnost. U teplé užitkové vody pak z každé kWh vznikne 4,43 kWh.

Odborníci v nadcházejících letech plánují další zdokonalování systému. Hlavní výzvou tak pro ně bude zvýšení účinnosti zařízení i při nízkých okolních teplotách. Stejně tak by se měl systém dočkat chytřejšího řízení, které zvládne detekovat poruchy ještě před tím, než k nim dojde. To by mohlo pomoci k delší životnosti celého řešení.

V oblasti tepelných čerpadel REPowerEU vychází z již dříve avizovaných ambiciózních cílů stanovených v březnu 2022. 6) . Tyto cíle vyžadují, aby:

- Do roku 2026 bylo v EU instalováno 20 milionů tepelných čerpadel
- Do roku 2030 bylo v EU instalováno 60 milionů tepelných čerpadel, přičemž do tohoto cíle navrhuje přidání 10 milionů tepelných čerpadel s hydronickým vyvažováním v příštích pěti letech a celkem 30 milionů tepelných čerpadel s hydronickým vyvažováním do roku 2030.

Společnost Panasonic bude investovat postupně do roku 2026 zhruba 145 milionů eur (přes 3,5 miliardy Kč) do svého závodu v Plzni. Výrazně posílí výrobu tepelných čerpadel vzduch-voda, po nichž je teď v Evropě veliká poptávka. Do fiskálního roku, který končí v březnu 2026, chce zvýšit roční výrobní kapacitu na 500 000 jednotek. Při plném vytížení linek by se zvýšil počet zaměstnanců z dnešních 350 až na 2000 zaměstnanců.

*Zdroje:*

- 1) Studie ČEPS „Hodnocení zdrojové přiměřenosti výrobních kapacit elektrizační soustavy ČR do roku 2040“, ČEPS únor 2022
- 2) Německá CM Roadmap Chemie 2050, Eine Studie von DECHEMA und FutureCamp für den VCI.2019
- 3) Cheaper solar cells could be on the way thanks to new materials, ScienceDaily April 21, 2022
- 4) Jae Choul Yu a kol.: High-Performance and Stable Semi-Transparent Perovskite Solar Cells through Composition Engineering Advanced Science Volume 6, 26 May 2022
- 5) Kato T.: Průhledný solární článek s 2 D atomární vrstvou. nature.com, thebrighterside. news, srpen 2022
- 6) Plán REPowerEU, COM (2022) 230 final, Brusel 18.5.2022
- 7) SVA 4 SUSCHEM CZ 2019

## **a) Ukládání energie**

### **Baterie**

Obnovitelné zdroje žádají mnohem lepší baterie. Díky rozmachu obnovitelných zdrojů energie není v současné době ani tak limitujícím faktorem energetické revoluce dodávka energie, jako její skladování. K delšímu nabíjení automobilů, elektrokol a zařízení jsou zapotřebí čistší a ekologičtější baterie. Problém je, že i ty nejlepší baterie mají problémy. Jedním z nich je, že lithium-iontové články používají jako klíčovou součást lithium. Evropa je stále závislá na dovozu této strategické suroviny. Lithiové baterie jsou také drahé, mají omezenou kapacitu a po opakovaném nabíjení ztrácejí výkon. Navíc Li-iontové baterie jsou nebezpečné a mohou v případě poškození vybuchovat nebo hořet.

Evropská komise zdůraznila dlouhodobé skladování energie jako klíčové pro přechod k uhlíkově neutrální ekonomice. Tomu odpovídá zájem o vývoj nových druhů baterií a dalších systémů pro ukládání energie. (včetně vodíku nebo metanolu). Mnohé však mají zásadní nevýhody. Baterie se potýkají s omezenou kapacitou a životností, vodík jako palivo je zase těžko skladovatelný. Také proto probíhá intenzivní vývoj nových typů baterií.

Základní požadavky na vývoj nových koncepcí baterií:

- Zvýšení výkonu, delší výdrž než jejich předchůdci
- Vyvinout baterie s energetickou hustotou až 10x vyšší, než je u současných Li-ion baterií



- Kratší doba nabíjení.
- Bezpečnost
- Delší životnost
- Naplnění požadavků nových regulačních předpisů EU pro baterie

Ideální představa: Dobitý elektromobil během pár minut a kardiostimulátor s výdrží půl století.

Trh s bateriemi v roce 2040 je celosvětově predikován přes 5 000 GWh. Významnou roli dnes hrají lithium-iontové baterie. Očekává se, že s rozvojem elektromobility naroste spotřeba lithiových baterií do roku 2025 přes 20 %. Podle společnosti SNE Research činil na konci roku 2021 celkový objem trhu s Li-iontovými bateriemi 296,8 GWh, což je dvakrát více než před rokem. Očekává se, že poptávka po bateriovém skladování energie v nadcházejících desetiletích výrazně vzroste, protože svět se odklání od fosilních paliv k ekologičtějším zdrojům energie. Trh elektrických vozidel představuje téměř 80 % poptávky po lithium-iontových bateriích. Vysoké ceny ropy a dopady války na Ukrajině podporují další trhy, aby zavedly dopravní politiku s nulovými emisemi, což způsobuje, že poptávka po lithium-iontových bateriích raketově vzroste a do roku 2030 překročí 3 000 GWh. (tedy pětinasobně). Aby výrobci baterií vyhověli této rostoucí potřebě, hledají způsoby, jak zvýšit jejich kapacitu. Je to i otázka strategie bezpečnosti EU, protože v současné době Asijsko-pacifický region v čele s Čínou představoval v roce 2021 90 % světové výroby baterií. Rostoucí spotřeba těchto baterií zvyšuje spotřebu Li, ale i kobaltu, a to žene jejich ceny prudce vzhůru. Např. cena kobaltu vloni vzrostla o 120 %, ještě vyšší nárůst byl zaznamenán u lithia. V důsledku tohoto vývoje dochází ke změně strategie výrobců baterií, kteří na situaci reagují tím, že snižují podíl kobaltu v akumulátorech a nahrazují jej levnějším a dostupnějším niklem. Odborníci upozorňují, že těžba surovin na výrobu akumulátorů je omezená, a navíc výrazně zasahuje do životního prostředí. Nejšetrnějším způsobem, jak vzácné kovy získávat, je proto recyklace. Z použitých baterií lze jednoduše separovat například železo a mangan. Další suroviny, jako jsou zinek, nikl či kadmium, se opětovně získávají převážně chemickými procesy. (viz kap. 5.7.) Podle statistik amerického Úřadu pro energetickou účinnost a obnovitelnou energii (EERE USA) pochází přibližně 91 % veškerého lithia pro výrobu lithiových baterií pouze ze tří zemí světa, a to z Austrálie (44 %), Chile (34 %) a Argentiny (13 %). Další klíčové suroviny, které jsou využívány na produkci akumulátorů, jsou dováženy z velké části z jediné země. Například 59 % kobaltu dodává Konžská demokratická republika, dokonce 67 % přírodního grafitu je dováženo z Číny.

Li-iontové baterie založené na materiálu s nejvyšší známou kapacitou mají však řadu nevýhod. Problémy s přehříváním, samovznícením nebo s vybuchováním baterií má mnoho světových technologických firem. Tím, co stojí za častým problémem lithiových baterií, jsou takzvané dendrity vyrůstající z anody. Dokážou totiž prorazit jejich části a zkratovat článek, což u lithium-iontové baterie s tekutým elektrolytem může zapříčinit požár (kapalným elektrolytem je hořlavé rozpouštědlo, které v podstatě jen čeká na vznícení). Dále je často zmiňována vysoká cena, životnost, dobíjecí čas, ale také problematická recyklovatelnost. Tento dynamicky se rozvíjející obor naráží na nedostatek kriticky ohrožených surovin, a proto je tak důležitá recyklace starých baterií.

Poslanci EU podpořili přísnější požadavky týkající se udržitelnosti a výkonnosti baterií, více recyklovaných baterií, menší závislost na třetích zemích, ale také nová pravidla pro úložišť

energie. To vše přináší nové nařízení o bateriích, které Evropský parlament odhlasoval. Pravidla se týkají výroby a celého životního cyklu baterií. Díky novým pravidlům mají být baterie uváděné na trh EU udržitelné, vysoce výkonné a bezpečné po celou dobu svého životního cyklu. Poslanci podpořili přísnější požadavky týkající se udržitelnosti, výkonnosti a označování baterií, včetně vytvoření nové kategorie baterií využívaných pro lehké dopravní prostředky jako elektrokola a skútry. Nařízení také specifikuje požadavky na minimální obsah recyklovaného kobaltu, olova, lithia a niklu v bateriích. Podle studie Evropské komise se výrazně zvýší poptávka po kritických surovinách pro strategické technologie a odvětví do roku 2030, resp. 2050, a například EU bude potřebovat do roku 2030 pro výrobu baterií do elektromobilů a akumulátorů až 18krát více lithia a 5krát více kobaltu než dnes a do roku 2050 téměř 60krát více lithia a 15krát více kobaltu než dnes.<sup>1)</sup> Dále upozorňuje na to, že z celosvětového pohledu se v EU vyrábí méně než 5 % kritických surovin, zatímco na průmysl EU připadá asi 20 % celosvětové spotřeby kritických surovin. Podle návrhu Evropské komise o bateriích a odpadních bateriích se má míra recyklace lithiových baterií a akumulátorů pro elektromobily zvýšit na 65 procent v roce 2025 a na 70 procent v roce 2030. Od roku 2030 by akumulátory měly obsahovat 12 % kobaltu, čtyři % lithia a čtyři % niklu z odpadu. V plánu je pak další zvyšování míry recyklace.

To otvírá řadu výzev jak pro výzkum, tak pro podnikatele. Řeší se řada velkých projektů budování nových továren na baterie, ale i možnosti vlastní výroby Li v EU. Investice jsou nutné ve všech segmentech dodavatelského řetězce. Podrobně jsme problematiku výzkumu nových baterií řešili v SVA 4 2).

Tradiční lithium-iontové baterie mají grafitovou anodu, katodu z oxidů kovů a kapalinu zvanou elektrolyt. Jednoduše řečeno při vybíjení baterie proudí v elektrolytu elektrony z anody do katody a napájí zařízení, ke kterému je připojena. Při nabíjení baterie probíhá tento proces opačně. Celý proces je vratnou elektrochemickou reakcí. Existuje mnoho variant tohoto základního procesu s různými druhy zapojených chemických látek a iontů. Konkrétní možnosti, kterou zkoumají vědci, je odstranění kapalného elektrolytu a jeho nahrazení pevnou látkou nebo gelem. Teoreticky mají tyto baterie v pevné fázi vyšší hustotu energie, což znamená, že mohou napájet zařízení po delší dobu. Měly by být také bezpečnější a rychlejší na výrobu, protože na rozdíl od typických lithium-iontových baterií nepoužívají hořlavý tekutý elektrolyt.

Ve světě se tedy hledají další alternativy vhodných baterií pro různé aplikace. Rozvíjí se řada moderních koncepcí baterií jako např. NiCd baterie, Flow baterie, selfhealable baterie, vanadové redoxové baterie, pevné látkové baterie, snadno recyklovatelné „cukrové baterie“, polovodičové baterie, baterie na bázi grafenu a další. Světový VaV nabízí další „převratné“ alternativy baterií jako např. železo-vzduchová baterie, výzkumníci spojili uhlíkové nanotrubičky a nanoporézní celulózu, aby vyrobili lithium-iontové baterie a superkondenzátory, které jsou lehčí a pružnější než stávající zařízení. Zejména nanomateriály poskytují jedinečné vlastnosti nebo kombinace vlastností pro elektrody a elektrolyty v řadě energetických zařízení. Začíná se rozvíjet i technologie výroby baterií 3D tiskem. Budoucnost teprve prokáže, které nové generace baterií se na trhu prosadí.

Vhodnými a nejčastěji používanými látkami pro zápornou elektrodu jsou zinek, lithium, kadmium a hydridy různých kovů, pro kladnou elektrodu oxid mangančitý ( $\text{MnO}_2$ , burel), oxid-hydroxid niklitý ( $\text{NiO}(\text{OH})$ ) a oxid stříbrný ( $\text{Ag}_2\text{O}$ ). 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 člancích mají za úkol regulovat chemické reakce tak, aby se např. prodloužila životnost článku, snížila možnost úniku nebezpečných látek.

### ***Lithium-iontové baterie***

Lithium-iontové baterie se dodávají v řadě typů a mají různé použití. To znamená, že některé současné lithium-iontové baterie jsou pro konkrétní aplikace vhodnější než jiné. Nejdůležitější je vybrat baterii, která se nejlépe hodí pro daný úkol. Existuje více než jen jeden druh lithium-iontových baterií, a ne všechny jsou si rovny. Zde je pohled na šest typů lithium-iontových baterií. 3).

- Oxid lithný a kobaltnatý

Lithium-kobalt oxidové baterie jsou vyrobeny z uhličitanu lithného a kobaltu. Vzhledem k jejich velmi vysoké měrné energii se tyto baterie používají pro mobilní telefony, notebooky a elektronické fotoaparáty. Mají katodu z oxidu kobaltu a jako materiál anody používají grafit. Během vybíjení se ionty lithia pohybují z anody na katodu, přičemž se tok během nabíjení obrátí. Tento typ baterie má některé nevýhody, včetně relativně krátké životnosti baterie a omezeného specifického výkonu. Tyto baterie nejsou tak bezpečné jako jiné typy.

- Lithium-manganové oxidové baterie

Běžně se nazývají lithium-manganátové nebo lithium-iontové manganové baterie a někdy jsou označovány jako Li-manganové nebo manganové spinel. Lithium-mangan oxidové baterie se vyznačují vysokou teplotní stabilitou a jsou také bezpečnější než jiné typy lithium-iontových baterií. Z tohoto důvodu se často používají ve zdravotnických zařízeních a zařízeních, ale mohou být také použity v elektrickém nářadí, elektrokolech a dalších. Je také možné použít lithium-oxidové baterie manganu pro napájení notebooků a elektrických vozidel.

- Lithium-železo fosfátové baterie

Lithium-železo fosfátové baterie, také známé jako Li-fosfátové baterie, používají fosfát jako katodu. Těží z nízkých odporových vlastností, které zvyšují jejich bezpečnost a tepelnou stabilitu. Mezi další výhody patří odolnost a dlouhá životnost – plně nabitá baterie lze skladovat s malou změnou celkové životnosti nabití baterie. Li-fosfátové baterie jsou často cenově nejvýhodnější volbou, pokud vezmeme v úvahu jejich dlouhou životnost. Nižší napětí Li-fosfátové baterie však znamená, že má méně energie než jiné typy lithiových baterií.

V souladu s tím se tyto baterie často používají v elektrických motocyklech a také v jiných aplikacích, které vyžadují dlouhou životnost a významnou bezpečnost. Elektromobily často používají také tyto baterie.

- Lithium-nikl-mangan-kobalt oxidové baterie

známé také jako lithium-mangan-kobalt oxidové nebo NMC baterie, jsou vyrobeny z několika materiálů běžných u typů lithium-iontových baterií. Jejich součástí je katoda vyrobená z kombinace niklu, manganu a kobaltu. Stejně jako ostatní typy lithium-iontových baterií mohou

mít baterie NMC buď vysokou specifickou hustotu energie, nebo vysoký specifický výkon. Nemohou však mít obě vlastnosti. Tento typ baterie je nejběžnější v elektrickém nářadí a v hnacích ústrojích pro vozidla. Kombinační poměr katody je obvykle 60 procent niklu, 20 procent manganu a 20 procent kobaltu. To znamená, že náklady na suroviny jsou nižší než u jiných variant lithium-iontových baterií, protože kobalt je stále dražší. Ceny těchto baterií mohou v budoucnu dále klesat, protože někteří výrobci baterií plánují změnit chemické složení baterií na vyšší procento niklu, aby mohli používat méně kobaltu. Tento typ baterie je běžně preferován pro elektromobily kvůli velmi nízké rychlosti samo zahřívání.

- Lithium-nikl-kobaltové baterie z oxidu hlinitého.

Tyto baterie se nazývají baterie NCA a stávají se stále důležitějšími v elektrických pohonných jednotkách a při skladování energie v síti. Baterie NCA nejsou běžné ve spotřebním průmyslu, ale jsou perspektivní pro automobilový sektor. Poskytují vysoce energetickou možnost s dobrou životností, ale jsou méně bezpečné. Baterie NCA musí být doprovázeny monitorovacími zařízeními, aby byla zajištěna bezpečnost řidiče. Zatím jsou poměrně drahé. Vzhledem k důslednému používání baterií NCA v elektrických vozidlech je možné, že poptávka po těchto bateriích poroste s tím, jak se elektrická vozidla stanou běžnějšími.

- Li-titanát baterie

Je to třída baterií, která umožňuje stále se rozšiřující aplikace. Hlavní výhodou li-titanátové baterie je její pozoruhodně rychlá doba nabíjení díky pokročilé nanotechnologii.

V současné době výrobci elektrických vozidel a jízdních kol používají lithium-titanátové baterie a existuje potenciál pro použití v elektrických autobusech pro veřejnou dopravu. Tyto baterie však mají nižší vlastní napětí nebo nižší hustotu energie než jiné typy lithium-iontových baterií, což může představovat problémy s efektivním napájením vozidel. I tak je hustota lithium-titanátových baterií stále vyšší než u jiných ne-lithium-iontových baterií, což je plus. Aplikace pro tyto baterie mohou zahrnovat vojenské a letecké použití a mohou být také použity pro skladování větrné a solární energie a vytváření inteligentních sítí. Tyto baterie by mohly být také použity v systémově kritických zálohách pro napájecí systémy.

Průmysl lithium-iontových baterií se neustále mění. Společnosti a vědci po celém světě vytvářejí nové baterie, které buď fungují vedle lithium-iontových baterií, nebo je nahrazují (4)

Běžné baterie pro elektrická zařízení využívají energii tzv. redoxních chemických reakcí. V nich se elektrony přenášejí z jedné elektrody na druhou prostřednictvím elektrolytu. Tím vzniká rozdíl potenciálů mezi elektrodami. Pokud se pak oba póly baterie propojí vodičem, začnou proudit elektrony, které tento rozdíl potenciálů odstraní, a vznikne elektrický proud. Chemické baterie, známé také jako galvanické články, se vyznačují vysokou hustotou výkonu – tj. poměrem mezi výkonem generovaného proudu a objemem baterie. Chemické články se však vybíjejí za relativně krátkou dobu, což omezuje jejich použití v autonomních zařízeních. Některé z těchto baterií jsou dobíjecí, ale i ty je třeba pro nabíjení vyměnit. To může být nebezpečné, jako v případě kardiostimulátoru, nebo dokonce nemožné, pokud baterie napájí přístroje na kosmické lodi. Chemické reakce jsou naštěstí jen jedním z možných zdrojů elektrické energie.

Relativně novou skupinou jsou jaderné baterie, která generuje energii z beta rozpadu radioaktivního izotopu niklu-63 nebo radioaktivní baterie Nano Diamond. Nanodiamantové baterie jsou alfa, beta a neutronové voltaické baterie a mají několik nových vlastností jako je trvanlivost a bezpečnost. Byly vyvíjeny zejména pro kosmický výzkum. Bohužel hustota výkonu betavoltaických článků je výrazně nižší než u jejich galvanických protějšků.

Další skupinu tvoří radioizotopové termoelektrické generátory, kterým se také říká jaderné baterie, ale fungují na jiném principu. Termoelektrické články převádějí teplo uvolněné radioaktivním rozpadem na elektřinu pomocí termočlánků. Účinnost je však pouze několik procent a závisí na teplotě. Díky své dlouhé životnosti a relativně jednoduché konstrukci se však termoelektrické zdroje energie hojně využívají k napájení kosmických lodí. 6)

Jednou z hlavních připomínek odpůrců elektromobilů je dlouhá doba nabíjení. Řešení v současné době nabízí americká firma Enovix, která vyvinula novou baterii, která se dokáže nabít na 80 % během 5 minut. Jedná se o křemíkové lithium-iontové baterie, které jsou založené na speciální 3D architektuře a obsahují silikonovou anodu. Právě tato technologie by podle firmy měla umožnit uložení více jak dvojnásobku lithia, než je tomu v případě standardní grafitové anody, která je dnes součástí většiny Li-ion baterií. Nové bateriové články si navíc podle výrobce dokázaly udržet 93 % své kapacity i po překonání tisícovky nabíjecích cyklů, přičemž dalším vývojem lze očekávat prodloužení výdrže.

Přední český odborník prof. Otýpka z CATRIN Olomouc se domnívá, že výzkum v oblasti Li-iontových baterií do 3 let skončí, protože vědci se dnes zaměřují na nová generace baterií vyžadující méně surovin a uskladňující více energie.

Mezi tyto nové směry, kterým se věnují vědci i v ČR lze uvést:

### ***Solid-state battery neboli baterie s pevným elektrolytem***

Jedná se o nadějnou technologii považovanou za další vývojový stupeň v oblasti akumulace energie. Do 2026 se předpokládá implementace pokrokového projektu Trinity (založený na tzv. „solidstate“ bateriích, tedy bateriích s tuhým elektrolytem), které jsou označované za přelomového nástupce současných Li-Ion baterií.

Využívají pevné elektrolyty namísto tekutých nebo gelových, které najdeme v lithium-iontových bateriích. Vyznačují se vyšší energetickou hustotou Pevný elektrolyt napomáhá rychlému pohybu iontů lithia. Tento typ baterie však vyžaduje o více než třetinu více lithia použitého v anodě, než současné technologie. Zároveň se sníží potřeba grafitu a kobaltu. Mezi výhody tohoto typu baterií patří vyšší energetická hustota (tedy více uložené energie), nižší celková spotřeba materiálů znamená snížení uhlíkové stopy z jejich výroby o 24 až 39 procent v závislosti na použitých materiálech pro jejich výrobu.

Jedním z technických problémů však je, že zatímco ionty lithia se mohou rychle pohybovat v pevném elektrolytu, dělá jim potíže pohyb z pevného elektrolytu k elektrodám a naopak

Baterie s pevným elektrolytem, které se v současnosti používají v malých elektronických zařízeních, jako jsou chytré hodinky, mají potenciál být bezpečnější a výkonnější než lithium-iontové baterie, a to i v elektromobilech nebo při ukládání energie ze solárních panelů. Stále však nejsou vyřešeny technické problémy, které jim brání v takovémto rozvoji. Jedním ze zkoumaných řešení je přidání malého množství kapalného elektrolytu pro zlepšení výkonu. Jiný problém je však v tom, že současné kapalné elektrolyty jsou hořlavé a mohou způsobit výbuch nebo požár baterie, zejména když je baterie poškozená. Z posuzování životního cyklu pevných baterií vyplývá, že uhlíková stopa pevných baterií je o 24 až 39 procent nižší již od začátku životního cyklu, tedy od samotné výroby baterie. TRL 4-5.

Jiné řešení pro zvýšení výkonu baterie navrhuji vědci ze Singapuru, a to vývoj správného složení keramického materiálu schopného poskytovat výkon, který konkuruje hořlavým kapalným elektrolytům komerčních lithium-iontových baterií. Nové složení v pevné fázi využívá třídu pevných elektrolytů známých jako NASICON (nebo Sodium Super Ionic Conductors). Kromě toho, že je bezpečnější, má baterie díky použití sodíku další výhodu v tom, že je levnější a snadněji se vyrábí.

O polovodičových akumulátorech se hovoří jako o bateriích budoucnosti a celá řada velkých automobilek už buď na technologiích pracuje, nebo to alespoň plánuje. Mezi ně se nyní připojil i německý Mercedes-Benz, a to díky partnerství s americkou firmou Factorial Energy. Společnost Solid Power vyvíjí polovodičové lithium-metalové baterie, které mohou zcela proměnit dosud známé standardy nabíjení, a tedy i kapacitou při zachování současných rozměrů či širšími možnostmi tvarování, ale i nižším rizikem požáru, které je se současnými tekutými elektrolyty spojeno. Díky potenciálně vyšší bezpečnosti tak pevnolátkové baterie našly své uplatnění třeba v kardiostimulátorech. Nevýhodou těchto baterií v kapacitách nutných pro použití v elektromobilech je jejich vysoká cena, která by se však dala stlačit velkosériovou výrobou.

Zázračné bateriové technologie často slibují zázraky v krátkém horizontu, protože potřebují zvednout vlnu nadšení a sehnat investory. Poznáte je tak, že jde o „bezejmenný“ startup a že už o něm vícekrát neuslyšíte. Skutečně slibné technologie poznáte tak, že pracují s dlouhodobým horizontem a mají za sebou jméno velké firmy. Tak např. Nissan v roce 2021 rozjel dlouhodobou vizi Nissan Ambition 2030, která se zaměřuje na budoucnost mobility a energetiky. Její bateriová část má za cíl v roce 2024 spustit první linku pro výrobu baterií s pevným elektrolytem (all-solid-state-batteries) a v roce 2028 představit první elektromobil, který tento článek bude používat. Nissan chce díky levnějším materiálům v roce 2028 být na 75 dolarů/kWh, během následujících dvou let má cena klesnout až na 65 dolarů, čímž se elektromobily dostanou na roveň spalovacích aut. Tyto nové baterie se mají postupně dostat na dvojnásobek energetické hustoty Li-Ion baterií, což v praxi znamená menší články a delší dojezd. Dalším bonusem je rychlejší nabíjení, Nissan mluví o 15 minutách.

Automobilky očekávají, že se na trhu prosadí ve druhé polovině tohoto desetiletí a nahradí lithium-iontové baterie. 4)

### ***Redoxní průtokové baterie***

Hlavními součástmi redoxních průtokových baterií jsou dvě kapaliny, jedna kladně a druhá záporně nabitá. Při používání baterie jsou tyto kapaliny čerpány do komory známé jako zásobník článků, kde jsou odděleny propustnou membránou a vyměňují si elektrony – vytvářejí tak proud. V provozu spousta velkých redoxních průtokových baterií, které jsou navrženy tak, aby byly stabilní a vydržely zhruba 20 let. Tyto stávající baterie však používají vanad rozpuštěný v kyselině sírové, což je toxický a korozivní proces. Projekt HIGREEW plánuje vytvořit redoxní průtokovou baterii, která využívá mnohem méně toxických materiálů.

Pokud jde o ukládání energie pro účely vyrovnávání dodávek do elektrických sítí, baterie musí být spolehlivé a vysokokapacitní, což znamená drahé. Nedostatkové lithium však není nejlepší volbou. Místo toho se v rámci projektu HIGREEW zkoumá jiný druh baterií, známý jako redoxní průtokový článek.

V rámci čtyřletého evropského projektu HIGREEW plánuje vytvořit redoxní průtokovou baterii, která využívá mnohem méně toxických materiálů, jako jsou roztoky solí ve vodě, které uchovávají ionty na bázi uhlíku. Výzkumný tým pracuje na vývoji nejlepšího receptu pro tuto baterii a zkoušejí mnoho různých kombinací solí a chemických roztoků a v používání redoxních průtokových baterií vidí velkou budoucnost. Výzkumné centrum NTC Západočeské univerzity v Plzni se aktivně tohoto projektu účastní, dále nizozemská společnost Uniresearch a český start-up Pinflow Energy. Nové baterie mají být nehořlavé, nevýbušné a mají mít životnost přes 25 let. Projekt HIGREEW vyvíjí nízkonákladovou redoxní průtokovou baterii (RFB) s organickými elektrolyty na vodní bázi, která bude šetrná k životnímu prostředí, bude mít vysokou energetickou a výkonovou hustotu a zároveň bude mít maximální životnost a účinnost při minimálních nákladech. Je v něm zapojeno deset organizací ze šesti zemí a financují ho evropské fondy Komise pro výzkum a inovace.

- Experimentální vysokonapěťová a nehořlavá baterie

zkonstruovaná odborníky Fyzikálního ústavu AV a Ústavu fyzikální chemie Jaroslava Heyrovského. funguje na principu elektrochemické reakce jako tzv. vodná baterie. Využívá slanou vodu, zinek a grafit. Jejich týmu se podařilo vyřešit nízkou kapacitu a napětí u stávajících vodných baterií tím, že do roztoku vody přidali velké množství chaotropní soli chloristanu zinečnatého. Dosažené napětí je srovnatelné s napětím, kterého dosahují organické elektrolyty v komerčních lithiových bateriích. Nespornou výhodou nového elektrolytu je vysoká vodivost, která na rozdíl od organických elektrolytů významně neklesá ani za nízkých teplot. Baterie také nehoří a nemůže vybuchnout, neboť má nehořlavý elektrolyt. Využití by tak baterie mohla nalézt při ukládání energie vyrobené v obnovitelných zdrojích jako jsou solární či větrné elektrárny. Ačkoliv je v současnosti na trhu velké množství moderních baterií, většina z nich se pro vysokokapacitní ukládání elektřiny nehodí, a to i kvůli vysokým cenám. Experimentální baterie tak nabízí podobné parametry jako komerční nikel-metal hydridové baterie. Je ale přitom vyrobena z extrémně levných materiálů, což by mohlo podpořit další snížení ceny baterií, které dnes patří k jedné z těch dražších komponent moderních přístrojů. Nová technologie by navíc mohla řešit i problémy s hořícími bateriemi, které mohou být velmi nebezpečné. Využití by tak baterie mohla nalézt při ukládání energie vyrobené v OZE. TCL 5.

### ***Lithium-sírné baterie (LSB)***

Na jejich výzkum dostal prof. Otyepka z CATRIN UPOL Olomouc prestižní grant ERC. Elektrodový materiál vznikl na základě bohatých zkušeností týmu CATRIN s dvoudimenzionální chemií, tedy pochopením chemických pravidel dvojrozměrného světa ultratenkých uhlíkových nanomateriálů. Byl použit nejtenčí izolant na světě fluorografen, u něhož část molekul fluóru byla nahrazena polysulfidy. Tato jednoduchá metoda by mohla být velmi efektivní pro výrobu lithium-sirných baterií s vysokým výkonem, stabilitou, dlouhou životností a dvojnásobnou kapacitou. LSB jsou jednou z možností, jak řešit rostoucí poptávku po energii v souvislosti s dynamickým rozvojem technologií a současně snížit závislost na toxických chemikáliích či surovinách, které zatěžují životní prostředí. Síra je ekologický, šetrný, dostupný a levný materiál, baterie s jejím využitím se navíc obejdou bez přítomnosti toxických kovů, jako je nikl či kobalt. Skutečnost, že LSB jsou dobíjecí, pomůže v dlouhodobém výhledu snížit množství elektronického odpadu. Předpokládaná doba komercializace po roce 2025.TRL 5-6. Profesor Otyepka z CATRIN UPOL Olomouc nyní řídí další ERC Proof of Concept projekt zaměřený na vývoj sirných baterií.

### ***Nikl-vodík baterie***

Články se vyrábí v provedení, kde je jeden článek v tlakové separátoru, který funguje také jako vrstva umožňující difuzi vodíku, zpravidla se jedná o zirkonovou tkaninu. Elektrolyt tvoří 26% vodný roztok hydroxidu draselného. Niklová elektroda je zhotovená jako slinovaná elektroda s obsahem hydroxidu nikelnatého. Nominální vybíjecí napětí je 1,25 V. Provozní tlak dosahuje hodnot okolo 80 barů. Energetická hustota se pohybuje okolo 40-75 Wh na kilogram. Měrný výkon je zhruba 220 W/kg. Provozní teploty se pohybují v rozsahu -28 až +54 stupňů Celsia. Energetická účinnost dosahuje 85 %. Stav nabití je přímo úměrný tlaku vodíku v tlakové nádobě, a tak lze snadno určit míru nabití. Kvůli obsahu platiny a nutnosti zapouzdření do pevné tlakové nádoby jsou tyto baterie velmi drahé. Principem funkce se velice podobají svým nástupcům, akumulátorům na bázi nikl-metal hydrid. Osvědčily se zejména na satelitech.

### **Uložiště energie**

Systémy skladování energie poskytují inteligentní řízení zátěže pro přenos a distribuci energie a modulují frekvenci a špičku v čase podle zatížení rozvodné sítě. Jsou klíčem pro výrazně zvýšení využití OZE. Více možností skladování energie by regionu umožnilo vyvážit elektrické sítě a ušetřit přebytečnou energii; rovněž by to pomohlo zlepšit energetickou účinnost a integrovat více obnovitelných zdrojů energie do elektrických systémů., vytvoření vnitřního trhu s nižšími cenami pro spotřebitele.

Běžně se používají různé varianty Li-iontových baterií. Ty jsou robustní, spotřebovávají nedostatečné lithium a jsou nákladné. Proto vědci hledají další varianty. Redoxní baterie se od konvenčních typů liší tím, že reakce v nich probíhají jen na povrchu elektrody. Redoxní reakci tvoří současně probíhající oxidace a redukce. Vývoj v této oblasti však pomalu končí, protože byl vyčerpán potenciál těchto typů baterií. 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 aditiv-free, hustě zabalených a funkcionalizovaných multivrstev uhlíkových nanotrubic. Elektroda, která je 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 nanotrubkami 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.

Také vyvíjející se evropský trh skladování energie potřebuje baterie. Evropská komise zdůraznila, že skladování energie je klíčové pro přechod na uhlíkově neutrální ekonomiku. Očekává se, že poptávka po bateriovém skladování energie v nadcházejících desetiletích výrazně vzroste, protože svět se odkloní od fosilních paliv k ekologičtějším zdrojům energie.

### ***Skladování obnovitelné energie ve formě chemické energie***

Jedná se o procesní technologie, jako jsou vodíkové a CO<sub>2</sub> 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 methan, který lze skladovat ve stávajícím distribuční síti plynu, případně vodík, nebo do kapalné 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 ekonomiku. Energie musí být uložena tak, aby odpovídala poptávce. Mezi nejvýznamnější patří především vodík, dále metan, metanol, etanol a další. Využitím vodíku i CO<sub>2</sub> se podrobně zabýváme v kap. 5.1.

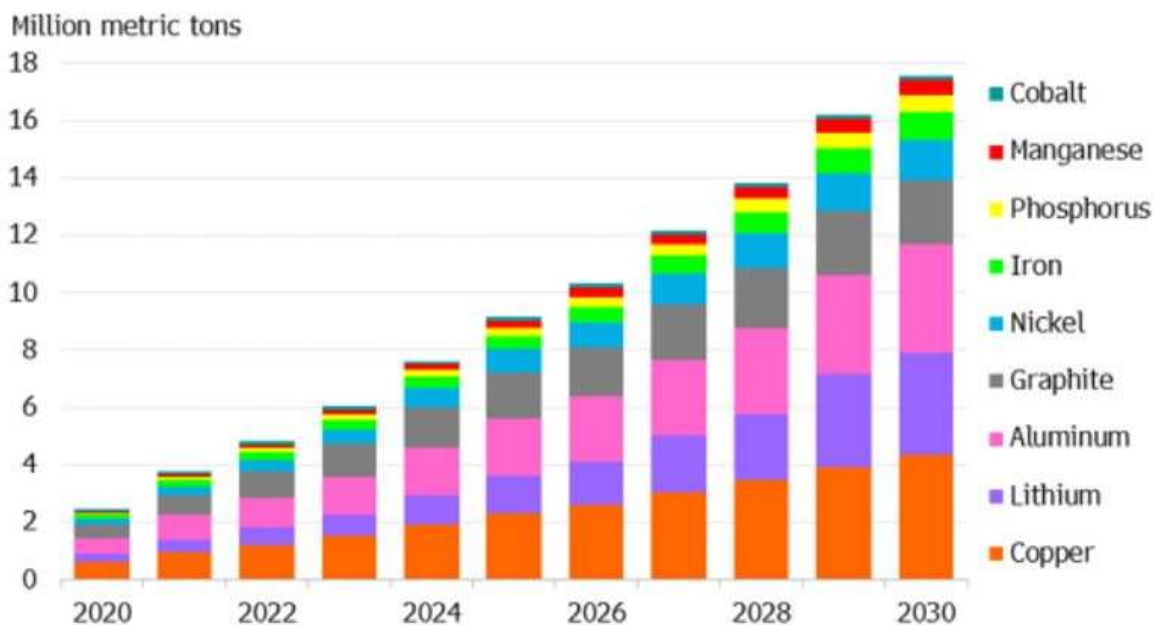
Výsledkem budou gigantické investice do obnovitelných zdrojů. Podle předpokladů Evropské komise bude nutné solární kapacity do roku 2030 zvýšit zhruba pětinašobně.

Také vyvíjející se evropský trh skladování energie potřebuje baterie. Evropská komise zdůraznila, že skladování energie je klíčové pro přechod na uhlíkově neutrální ekonomiku.

Zájem o skladování energie v posledních několika letech vzrostl, protože vlády po celém světě uvažují o přechodu od fosilních paliv k čistším zdrojům energií.

### **Problematika surovin pro baterie**

Evropský průmysl baterií potřebuje řadu surovin, které doposud dováží jako jsou lithium, kobalt, mangan, grafit, nikl a další. Evropská unie klade velký důraz na projekty takzvaného bateriového řetězce pro elektromobily. V souvislosti s válkou na Ukrajině také velmi stoupá význam energetické a surovinové bezpečnosti celé EU. Na následujícím obrázku č 2 je prognóza poptávky po kovech potřebných pro výrobu baterií podle BloombergNEF (BNEF) 8)



Globální poptávka po kovech potřebných pro výrobu baterií by letos měla vzrůst meziročně o 50 % na 4,8 mil. tun a do konce této dekády následně až na více než 17,5 mil. tun. Nejvíce by měla růst poptávka po lithiu, klíčové surovině pro výrobu baterií. Ta by se měla mezi lety 2021 a 2030 zvýšit na sedminásobek. Obzvláště napjatá situace je na trhu s lithiem, konkrétně s uhličitanem lithným a hydroxidem lithným, kde by v letošním roce mohla poptávky být vyšší než výrobní kapacity. I proto vzrostla za poslední dva roky cena tohoto kovu z 5 000 USD/t na zhruba 70 000 USD/t. Přechod na vyšší obsah niklu, stejně jako rychlý příjem lithium-železo fosfátových článků, znamená, že v bateriích bude použito méně kobaltu, než se dříve předpokládalo. Nejnovější prognóza BNEF 8) je, že poptávka po kobaltu vzroste do konce desetiletí o 28 % na více než 150 tis. t. V důsledku rostoucí poptávkou po bateriích pro elektromobily se země předhánějí, aby se staly soběstačnými a vybudovaly si vlastní domácí dodavatelské řetězce.

Čína v současnosti dominuje celosvětovému průmyslu baterií a zaujímá první místo v globálním žebříčku dodavatelských řetězců lithium-iontových baterií. Kontroluje více než 50 % kapacity na rafinaci kovů pro baterie ve všech klíčových materiálech a čínské společnosti celosvětově výrazně investovaly do těžebních aktiv. Podle společnosti BNEF Čína je také velmocí na výrobu baterií, která představuje téměř 75 % celkové zprovozněné kapacity. Kontroluje více než 50 % kapacity na rafinaci kovů pro baterie ve všech klíčových materiálech a čínské společnosti celosvětově výrazně investovaly do těžebních aktiv. Snahy o vybudování domácích dodavatelských řetězců závislost na Číně neodstraní.

Náklady na dodávané baterie dosahovaly v roce 2021 v průměru 120 USD za kWh, přičemž nikl-kobalt-manganové baterie se pohybovaly v rozmezí 140 USD/KWh a lithium-železo-fosfátové baterie se dodávají v USA za 100 \$/KWh. Zatímco v roce 2010 měly-li-Ion baterie cenu cca 1200 dolarů za kWh, v roce 2021 už se technologie dostala na 132 dolarů za kWh. S

vysokými cenami lithia a kobaltu budou náklady na baterie v roce 2022 vyšší než v loňském roce, což obrací trend, který jsme viděli v posledním desetiletí, kdy ceny baterií každým rokem klesaly. Optimisté předpokládají cenu Li – iontových baterií v roce 2022 nad 135 USD/kWh.

Ceny lithia od roku 2021 vyskočily o více než 400 %, zatímco cena kobaltu se v loňském roce více než zdvojnásobila, především kvůli poptávce po elektromobilech. Nikl, další základní prvek v některých katodách pro baterie, zažil na začátku března svou vlastní zajímavou cenovou akci na londýnské burze kovů – překonal 100 000 USD za tunu, což burzu přimělo pozastavit, přezkoumat a později znovu otevřít obchodování. S vysokými cenami lithia a kobaltu budou náklady na baterie v roce 2022 vyšší než v loňském roce. 7)

Rozvoj elektromobility a velkokapacitních uložišť energie zvyšuje spotřebu lithia. Dle studie Deutsche Bank se očekává nárůst celosvětové poptávky od roku 2025 o tři procenta na 535 tisíc tun uhličitánu lithného. EU klade velký důraz na projekty takzvaného bateriového řetězce pro elektromobily. I když je Evropa jedním z největších světových výrobců motorových vozidel, nemá místní dodávky hydroxidu lithného, který se ve velké míře používá v technologii baterií pro elektromobily. Proto Evropská komise podporuje výrobu lithia. Na tyto projekty bylo uvolněno z EU 6,1 miliardy eur, celková investice přesáhne 60 miliard eur, takže průmysl bude dávat významný díl svých peněz na realizaci projektů v dodavatelském řetězci baterií. 4)

Jednou ze společností, která si klade za cíl stát se prvním evropským dodavatelem lithia v integrovaném evropském dodavatelském řetězci baterií je European Lithium, společnost zabývající se těžebním průzkumem a vývojem zaměřeným na průzkum, identifikaci a získávání lithia v Evropě. Společnost se zaměřuje výhradně na svůj zcela vlastněný projekt Wolfsberg Lithium v Korutanech v Rakousku. Nemovitost obsahuje vysoce kvalitní zdroj lithia v průměrné kvalitě jednoho procenta hydroxidu lithného s celkovým zdrojem 10,98 milionů tun. Společnost European Lithium Limited podepsala memorandum o porozumění s evropským výrobcem automobilů BMW AG za účelem zajištění odběru lithium hydroxidu pro baterie z projektu Wolfsberg a získala určité prostředky z EU jako předfinancování tohoto projektu.

Globální kapacita lithium-iontových baterií vzroste do roku 2030 pětinašobně (přes 3 000 GWh, možná až na 5 500 GWh). Globální kapacita lithium-iontových baterií vzroste do roku 2030 pětinašobně. 7)

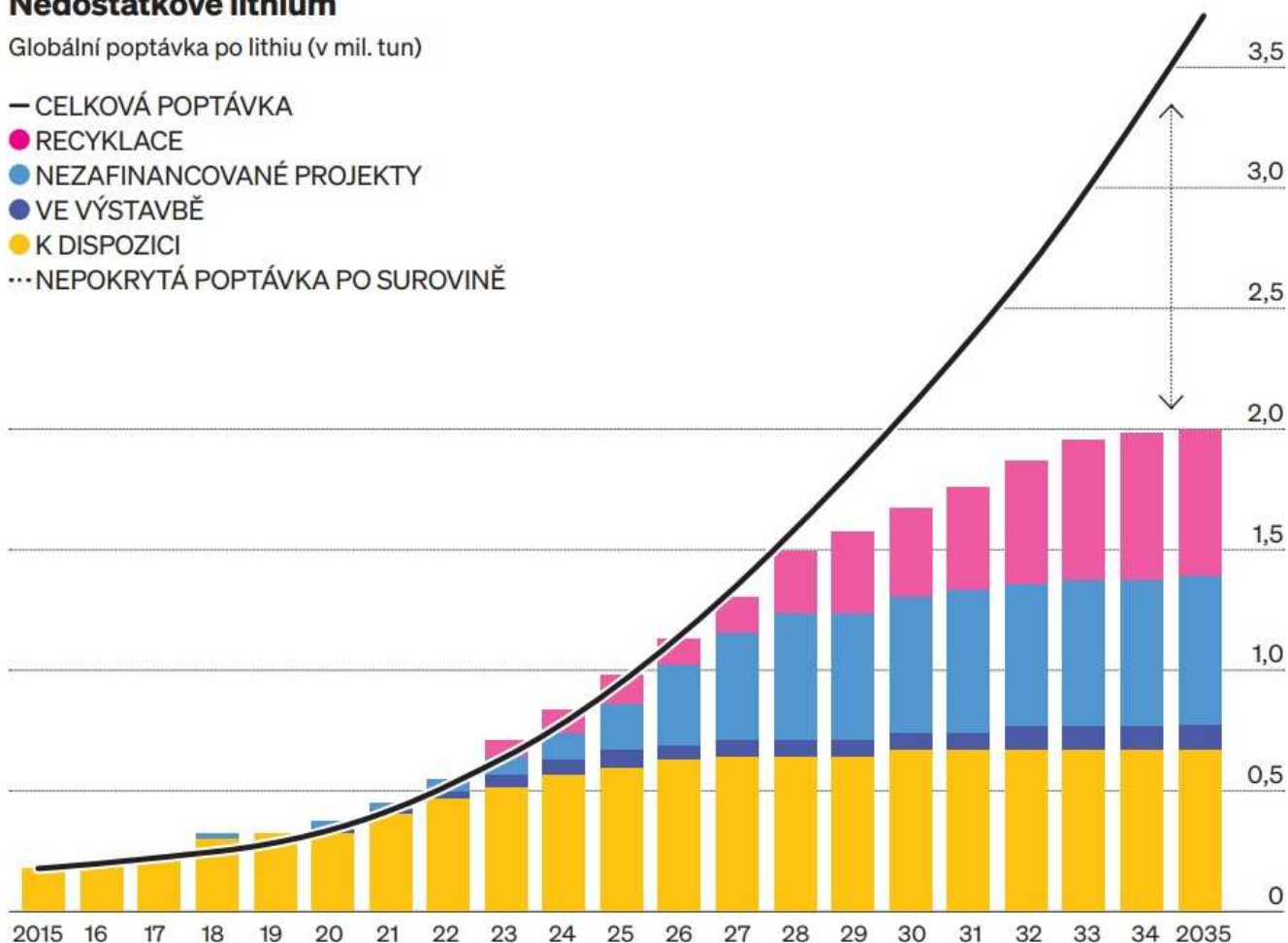
Aby výrobci baterií vyhověli této rostoucí potřebě, hledají způsoby, jak zvýšit jejich kapacitu. Trh elektrických vozidel představuje téměř 80 % poptávky po lithium-iontových bateriích. Vysoké ceny ropy podporují další trhy, aby zavedly dopravní politiku s nulovými emisemi, což způsobuje, že poptávka po lithium-iontových bateriích raketově roste. Asijsko-pacifický region v čele s Čínou představoval 90 % světové výroby baterií v roce 2021. Do konce dekády se očekává, že tento region sníží svůj podíl na 69 procent.

Prognózu spotřeby lithia ve světě ukazuje následující obrázek č. 3

## Nedostatkové lithium

Globální poptávka po lithiu (v mil. tun)

- CELKOVÁ POPTÁVKA
- RECYKLACE
- NEZAFINANCOVANÉ PROJEKTY
- VE VÝSTAVBĚ
- K DISPOZICI
- NEPOKRYTÁ POPTÁVKA PO SUROVINĚ



Zdroj: Benchmark Minerals

V této souvislosti jsou v ČR zvažovány 2 velké investiční projekty, které navíc mohou být alternativou k řešení problematiky ztráty pracovních míst v souvislosti s útlumem těžby uhlí. Jsou to projekty vysoce technicky a investičně náročné, a tedy i značně rizikové. Důležité je, že jsou zainteresováni velcí investoři jako VW a ČEZ a také krajské orgány. Jedná se o tyto projekty:

### **Výroba lithia s využitím zásob Li v ČR**

Lithium je možné ze suroviny v ČR dostat dvěma způsoby a momentálně probíhají zkoušky, které mají ukázat, jaká z metod je pro výhodnější. Jedna je na bázi louhování a druhá na bázi vysokoteplotního zpracování. Ta je vysoce ekologická, protože odpad, který vzniká, je možné okamžitě využít pro výrobu cementu. Tuto metodu řeší i Centrum CirkTech VŠCHT Praha (viz kap, 5.7). Tato originální metoda InCeMet je testována v areálu Lafarge cement v Čížkovicích.

Samotná těžba rudy má začít v roce 2025. Probíhat má v hlubinném dole na Cínovci, konkrétně v lokalitě Sedmihůrky nedaleko města Dubí. Těžaři plánují za prvních 20 let vytěžit až 35 milionů tun horniny. Ročně chtějí vyprodukovat zhruba 22,5 tisíce tun hydroxidu lithného. Za dvacet let to může být až pět set tisíc tun finálního lithného produktu,

Finální studii proveditelnosti měla být hotová do května 2022, O metodě, která bude použita na zpracování rudy má být rozhodnuto v roce 2023 tak, aby nájezd výroby se uskutečnil v roce 2025. Tento harmonogram by se měl potkat s harmonogramem využití lithia při výrobě baterií, především baterií do elektromobilů.

Existují dva podnikatelské záměry na těžbu lithia v ČR: 9)

- Projekt ČEZ a GEOMET. Plánují těžit v Cínovci hlubinně a ze země dostat násobně více suroviny. Celkové zdroje lithia na krušnohorském Cínovci jsou 1,2 až 1,4 miliónu tun tohoto kovu.
- Projekt podnikatele Karla Janečka (investiční skupina RSJ) k těžbě lithia z odkaliště v krušnohorském Cínovci. Separace lithných slíd by mohla začít za dva až tři roky. Celá těžba by probíhala přibližně pět let. Postavení linky a následná logistika si podle něj vyžádá náklady ve stovkách milionů korun. Zaměstnat by projekt měl asi osmdesát lidí. Cínovecká deponie má povolení k „probrání“ stovek tisíc tun již dříve vytěžené „odpadní“ suroviny. Z ní se mechanicky vyseparuje lithná slída. Z něj se poté již složitějšími úpravami (hydrometalurgickým zpracováním) získává uhličitán lithný. Na odkališti v Cínovci smí zužitkovat 680 tisíc tun suroviny. V ní by se podle průzkumů mělo nacházet množství slídy, ze kterého lze následně získat přibližně 11 130 tun uhličitánu lithného, tedy po finální úpravě 2 100 tun elementárního kovového lithia.10)

### ***Výstavba velké továrny na výrobu baterií***

Ústecký kraj – v areálu bývalé hnědouhelné elektrárny Prunéřov I na Chomutovsku,

ČEZ a Geomet podepsaly memorandum týkající se podpory výroby lithia a výstavby továrny na baterie. Vyrábět by se v ní měly baterie o kapacitě více než 30 gigawatthodin, což by mělo vystačit pro 400 až 800 tisíc osobních automobilů ročně. Projekt těžby a výroby lithia na Cínovci vytvoří odhadem přímo cca 1 000 pracovních míst a v plánované gigafactory vznikne přímo dalších cca 3 000 pracovních míst. Zároveň továrna zformuje přímo poptávku po dalších více než 500 zaměstnancích s vyšším vzděláním, což skýtá příležitost pro oborový rozvoj v oblasti školství, mj. vznik nových, perspektivních studijních oborů. Celkově by podle studie poradenské společnosti Deloitte gigafactory zvýšila český HDP o 3,6 procent, tedy o 186 miliard korun. Celkem včetně dodavatelských firem a dalších oborů by přinesla do kraje až 33 000 nových pracovních míst.

Plzeňský kraj – ve spolupráci s VW by měla být vybudována nová výrobní baterií v areálu bývalého letiště v Linicích.

Koncern Volkswagen oznámil svoje plány na výstavbu šesti obřích továren na baterie v Evropě, jedna z nich by přitom měla stát buď v Maďarsku, Polsku, na Slovensku, anebo v ČR. Volkswagen navýšil svoje požadavky na celkovou plochu, kterou bude nová továrna vyžadovat. Nyní je to až 200 hektarů, což Pruněrov se svými 40 ha nespĺňuje. Vhodnější by tak pro potřeby německého koncernu mohlo být například bývalé armádní letiště v Líních na Plzeňsku. Zástupci automobilky Škoda Auto a představitelé čtyř vysokých škol podepsali memorandum o porozumění v rozvoji vzájemné spolupráce na výzkumných projektech o životním cyklu baterií. Memorandum je součástí snahy o vybudování a umístění továrny na bateriové články do elektromobilů na území ČR. Česko je jedním z uchazečů o vybudování nové továrny pro výrobu baterií pro koncern Volkswagen, jehož součástí je i Škoda Auto. Volkswagen tam chce zřídit továrnu na baterie pro 4500 zaměstnanců, přičemž projekt by vyšel na zhruba 98 až 122 miliard korun. Problém – nedostatek vody Původně se předpokládalo, že rozhodnutí VW učiní ještě letos, ale nedávno to přesunul na rok 2023. Vedle ČR jsou údajně ve hře další dvě lokality, například v Polsku. Koncern bude baterie vyrábět i v dalších závodech v Německu, Švédsku nebo ve Španělsku

Tyto velké strategické projekty jsou v souladu se strategií rozvoje automobilového průmyslu v ČR, který je rozhodující páteří české ekonomiky. Otevřenou otázkou je, zda za současného stavu české ekonomiky se podaří získat dostatečné finanční zdroje pro tyto největší projekty za posledních 10 let. Ve hře je kromě Volkswagenu i jihokorejský konglomerát LG.

Výroba lithia ve spojení s vybudováním gigafactory je pro ČR unikátní příležitostí pro modernizaci průmyslové výroby a nahrazení tisíců pracovních míst v utlumovaném uhelném průmyslu. Mít svou továrnu na baterie, je pro ČR logický a strategický krok, protože naše ekonomika je silně závislá na automobilovém průmyslu. Hrajeme ale o čas a ten, kdo bude schopen rychle postupovat, bude mít v rukou všechny trumfy. Bohužel taky sílí odpor místních obyvatel proti těmto strategickým stavbám.

Centrum CirkTech VŠCHT Praha společně s Lafarge poloprovozně ověřuje technologii výroby lithia ze surovin v ČR na bázi vysokoteplotního zpracování. Úspěšné vyřešení tohoto projektu významně ovlivní osud na vybudování megafactory na výronu baterií v ČR.

### **V ČR existují další významné investiční záměry v oblasti surovin pro baterie**

Dceřiná společnost Euro Manganese koupila českou firmu Mangan Chvaletice, která drží průzkumná práva k ložisku manganu ve Chvaleticích a připravuje těžbu. Projekt má trvat 25 let a jeho náklady mají dosáhnout zhruba 400 milionů dolarů (devět miliard korun). Společnost Euro Manganese začala stavět zkušební továrnu, která by měla v blízkosti Chvaletic zahájit na podzim letošního roku těžbu manganu. Výstavbu Kanadáné plánují zahájit v roce 2024. Spuštěn by pak měl být v letech 2026 až 2027. Má se vyrábět vysoce kvalitní kovový mangan a síran manganatý.

Projekt na těžbu kobaltu v krušnohorské Tisové byl pro nízkou výtěžnost zastaven.

Pro automobilky, budou klíčové dvě strategie – zabezpečit si kvalitní zdroje surovin na výrobu baterií a získat technologii, která přinese efektivní a levný provoz jejich vozidel. Elektromobily však nebudou jediným tahounem výroby baterií.

I když je pravděpodobné, že po roce 2030 dojde k postupné náhradě současných Li-iontových baterií inovovanými pevnolátkovými bateriemi nebo jinými novými modely baterií, je zřejmé, že lithium bude potřeba i pro tyto nové druhy baterií.

### Náměty pro českou VaV v oblasti skladování energie

- zkoumat nové druhy elektrolytů, které budou mít vysokou vodivost společně s elektrochemickou, chemickou a tepelnou stabilitou
- dokončit vývoj technologie přípravy Li z českých surovin na bázi vysokoteplotního zpracování
- vývoj pevnolátkových baterií s vyšší výkoností
- 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 baterii. Chemickou nesnášenlivost křemíku s ionty lithia řešit tak, že uhlíkové anody budou opatřeny nanodrátky křemíku.
- 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

Zdroje:

- 1) *Critical Raw Materials for Strategic Technologies and Sectors in the EU – A Foresight Study*: <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/42881>
- 2) *SVA 4 SUSCHEM CZ 2019*
- 3) *INN 6 Lithium-ion Battery Types Lithium Investing News, Mar. 31, 2022*
- 4) *Bates A. M. a kol.: Are solid-state batteries safer than lithium-ion batteries INN, březen 17 2022*
- 5) *Bormashov: Diamond and Related Materials, INN duben 2022*
- 6) *Cleantech Market Update: H1 2022 in Review, Cleantech Investing News 18.8.2022*
- 7) *Woodmac: Global Lithium-ion Battery Capacity to Increase Five Times by 2030: INN Lithium Investing News, Mar. 31, 2022*
- 8) *BloombergNEF: Race to Net Zero: The Pressures of the Battery Boom in Five Charts, https://about.bnef.com/ July 21, 2022https*
- 9) *Rozhodnutí o těžbě a zpracování lithia v Česku má padnout do dvou let, [https://www.idnes.cz/usti/zpravy/lithium-tezba-cinovec-geomet-cez-A210825\\_133245\\_usti-zpravy\\_mendl](https://www.idnes.cz/usti/zpravy/lithium-tezba-cinovec-geomet-cez-A210825_133245_usti-zpravy_mendl) 23. srpna 2022*

10) [https://www.idnes.cz/ekonomika/podniky/karel-janecek-rsj-muze-tezit-lithium-v-cinovci.A161025\\_113229\\_ekonomika\\_rny](https://www.idnes.cz/ekonomika/podniky/karel-janecek-rsj-muze-tezit-lithium-v-cinovci.A161025_113229_ekonomika_rny)

## Superkondenzátory

Dalším představitelem elektrochemických řešení ukládání energie v pevné fázi jsou superkondenzátory nazývané také elektrochemické kondenzátory. Superkondenzátory uchovávají energii buď pomocí iontové adsorpce (elektrochemické kondenzátory s dvojitou vrstvou) nebo pomocí rychlých redoxních reakcí (pseudokonzervátory). 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. V dnešní době se využívají v hybridních a elektrických vozidlech. 1)

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 solvované ionty, vedla k vyšší kapacitě pro elektrochemické dvojrstvé 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.

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.

Hlavním výzkumným cílem bylo vyrobit hybridní baterio-kondenzátorový systém pro elektromobily. Pro realizaci superkondenzátorů jako zdrojů elektrické energie s velmi vysokými hodnotami měrné energie a výkonu je potřeba zkoumat nové materiály, fyzikální a chemické procesy probíhající v okolí a na povrchu elektrod. Je zapotřebí plně porozumět mechanismům uchovávání náboje a navrhnout nové druhy elektrodových materiálů.

Výhodou superkapacitoru 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 požívat v oblasti fotovoltaiky, především jako vyrovnávací akumulátory elektrické energie pro menší systémy spojené se sítí, kde mohou kompenzovat



krátkodobé výkyvy výkonu. Jejich širší využití jako skladovacího řešení je limitováno jejich omezenou kapacitou.2)

Prvky, jako je kobalt a galium, našly od svého objevu použití v technologii díky svým žádoucím chemickým a fyzikálním vlastnostem. A se zvýšenou poptávkou po udržitelných alternativách a účinných technologiích jsou tyto kovy znovu zkoumány, aby vyhovovaly dnešním potřebám v oblasti polovodičů. Například galiové materiály se stále více používají ve složených polovodičích, jako je arsenid galia a nitrid galia. Tyto slitiny nabízejí zvýšenou mobilitu elektronů a výkon ve srovnání s výhradně křemíkovými polovodiči, zejména v moderních aplikacích s vysokým výkonem. Tradičně byly složené polovodiče považovány za obtížné a nákladné na výrobu. Metalorganická chemická depozice z plynné fáze však využívá vysoce čisté organokovové látky a poskytuje průmyslu techniku k zajištění spolehlivých a nákladově efektivních složených polovodičů.

Na podporu průmyslu ve vývoji nových, vysoce kvalitních složených polovodičů společnost Umicore v roce 2017 spustila inovativní závod na výrobu kov-organických prekurzorů. V tomto závodě se sídlem v Hanau v Německu vyrábí Umicore trimethylgalium. Jejich výrobní proces je inovativní, bezpečný a jedinečný. Nabízí udržitelnější a ekologičtější výrobní metodu tím, že minimalizuje nebezpečné vedlejší proudy a materiálové ztráty a optimalizuje výnos na téměř 100 %.

V ČR se problematikou superkondenzátorů zabývá např. Ústav elektrotechnologie VUT Brno, dále centrum CATRIN na UPOL v Olomouci. 3. V letech 2020–2021 koordinoval prof. Otyepka ERC Proof of Concept projekt „UP2DChem“ zaměřený na vývoj elektrodových materiálů pro superkondenzátory. V září 2021 zahájí ve spolupráci s firmou IteCond a Bar-Ilanovou univerzitou řešení tříletého projektu Evropské rady pro inovace na vývoj prototypů superkondenzátoru. Tým vyvíjí nové uhlíkové nanomateriály pro baterie a superkondenzátory. V březnu například získali na přenos vědeckých poznatků do praxe jako vůbec první v Česku grant od Evropské rady pro inovace v hodnotě 2,5 milionu eur (zhruba 62,5 milionu korun). Na aplikaci nového materiálu budou spolupracovat s kolegy z Bar-Ilanovy univerzity v Izraeli a italskou firmou IteCond. V březnu například získali na přenos vědeckých poznatků do praxe jako vůbec první v Česku grant od Evropské rady pro inovace v hodnotě 2,5 milionu eur (zhruba 62,5 milionu korun). Dusíkem obohacený grafen, který vyvinuli, má obrovský potenciál – oproti jiným materiálům pro superkondenzátory má obrovskou kapacitu uchování energie, a navíc je levný, bezpečný a šetrný k přírodě.

Náměty pro výzkumné projekty:

- připravit a otestovat jeden z grafenových derivátů pro ukládání energie v superkondenzátorech s cílem zvýšení jeho kapacity
- vývoj nových uhlíkových nanomateriálů pro baterie a superkondenzátory
- zkoumat nové druhy elektrolytů, které budou mít vysokou vodivost společně s elektrochemickou, chemickou a tepelnou stabilitou
- vývoj nových druhů elektrodových materiálů

Zdroje :

- 1) SVA, SUSCHEM CZ 2019
- 2) Ch. Reynolds: *Evoluce superkondenzátorů* <https://www.dps-az.cz/soucastky/id:9790/evoluce-superkondenzatoru>
- 3) Otyepka M. a kol.: *Nitrogen doped graphene with diamond-like bonds achieves unprecedented energy density at high power in a symmetric sustainable supercapacitor*", *ENERGY & ENVIRONMENTAL SCIENCE*, vol. 15, iss. 2, pp. 740-748, 2022
- 4) Wilks A.: *Semiconductors in tomorrow's technologies*
- 5) <https://www.chemistryworld.com/chemistry-40/29.3.2021>

### 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. 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.

Palivové články jako elektrochemické reaktory jsou schopné měnit chemickou energii na elektrickou energii. Tyto články jsou v zásadě schopné dosahovat vyšší účinnosti přeměny energie paliv na elektrickou energii než konvenční termické systémy se spalováním paliv a tepelnými motory (např. turbínami) pro přeměnu tepla na užitečnou, elektrickou energii. Palivové články mají také přednosti v emisní oblasti. Vzhledem k tomu, že pracují obvykle v oblasti teplot 20–1000 °C a vzhledem k nutnosti využívání čistých paliv, emise NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, prachu a těžkých kovů jsou zanedbatelné.<sup>1)</sup>

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 PEM palivový článek (Proton Exchange). Úspěšnost tohoto systému je dána pokrokem ve výzkumu a vývoji membrány (doposud jediná komerčně úspěšná membrána NAFION), katalyzátoru, struktury článku atd. Tyto PEM 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<sub>4</sub>), metanol (CH<sub>3</sub>OH),

hydrazin ( $N_2H_4$ ) apod., elektrolytem může být např. roztok kyseliny fosforečné ( $H_3PO_4$ ), hydroxidu draselného (KOH), tavenina alkalických uhličitánů či pevný oxidický elektrolyt ( $Y_2O_3$ ). Napětí jednoho palivového článku bývá přibližně 1 V, články se rovněž mohou skládat sériově do baterií. Zajímavým využitím palivových článků je vodíkový elektromobil, který nemá spalovací motor s přímým vstřikováním, ale palivové články a elektromotor. Vývoj a výzkum se zaměřuje především 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.

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. Produkované 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. Velká pozornost je nyní věnována možnosti využití etanolu.

Nové moduly palivových článků druhé generace od fy TOYOTA bude rovněž sestavovat výrobní tým v Evropě v prostorách výzkumného a vývojového centra společnosti Toyota Motor Europe (TME) v Zaventemu (Brusel). Od ledna 2022 se v závodu spustí zkušební montážní linka, kde se spojí vyspělé technologie s vysoce kvalitním způsobem montáže

Toyota preferuje hybridy a vodík před elektromobily s tím, že ještě 30 let budou hybridy plnohodnotnou alternativou.

Ze spolupráce firem BASF, Joma-Polytec GmbH a Mercedes-Benz Fuel Cell GmbH vzešlo řešení na míru k výrobě anodové a katodové koncové desky v palivových člancích. Představuje ho vysoce tepelně a chemicky odolný, pevný, nárazuvzdorný a velmi trvanlivý Ultramid. Tento plast je nyní například už standardně využíván v novém modelu automobilu Mercedes GLC F-CELL, který obsahuje kombinaci palivového článku a dobíjecího lithium-iontového akumulátoru. Vysoké požadavky na kvalitu a bezpečnost v automobilovém průmyslu kladou stejně tak vysoké nároky na použité materiály. Díky všestranným polyamidům (Ultramid), polybutylen tereftalátům (Ultradur), polyftalamidům (PPA) a plastům polyoxymetylen (Ultraform) a polyetersulfonu (Ultrason) je společnost BASF schopna držet krok s vývojem ve výrobě automobilů a zároveň udávat nové trendy. Klíčové jsou technické vlastnosti a funkčnost. Ultramid navíc splňuje i vysoké požadavky na čistotu.2).

Náměty pro výzkumné projekty:

- Vývoj pokročilých materiálů pro anodové a katodové desky palivových článků
- zkoumat nové druhy elektrolytů, které budou mít vysokou vodivost společně s elektrochemickou, chemickou a tepelnou stabilitou

Zdroje:

- 1) K. Svoboda, M. Hartman, O. Trnka: *Vysokoteplotní palivové články, vhodná paliva a možnosti jejich využití, tzbinfo*
- 2) <http://www.hybrid.cz/basf-vyviiji-inovativni-materialy-pro-vodikove-palivove-clanky>

### Akumulace tepelné energie

Termochemické skladování energie je založeno na reverzibilních chemických reakcích s velkým rozdílem entalpie mezi reaktanty a produkty. Umožňuje v zásadě trvalé, bezztrátové, vysokoenergetické akumulování tepla. Tepelná akumulční média se používají v různých oblastech s různými profily materiálů v závislosti na aplikaci a teplotním rozsahu. Nižšímu teplotnímu rozsahu (20-120 °C) v současnosti dominují systémy na bázi vody. Materiály s fázovou změnou (PCM) mohou také ukládat tepelnou energii a pracovat při konstantní teplotě v závislosti na specifickém fázovém přechodu. Sorpční skladování využívající reverzibilní desorpční / adsorpční procesy jsou vhodné pro teplotní rozsahy mezi 100-150 °C. Při vyšších teplotách (až 1000 °C) lze teplo ve formě citelného tepla akumulovat a hraje klíčovou roli při ukládání energie v solárních tepelných elektrárnách.

Návrh výzkumných úkolů:

- Vývoj reverzibilních termochemických reakcí, jako je CaO/CaCO<sub>3</sub>, k zajištění aplikací s vysokou hustotou energie, které pokrývají co největší rozsah teplot.
- Vývoj systémů přeměny tepla pro efektivní zvýšení nízkoteplotního (odpadního) tepla na příslušné teplotní úrovni, aby se do procesu (znovu) zavedlo tepelná energie.
- Vývoj kombinovaných systémů, např. sorpce s termochemickou reakcí a přemostění různých teplotních rozsahů pro řízenou dodávku tepelné nebo chladicí energie
- Vývoj procedurálních otázek týkajících se systémové integrace a přenosu tepla v integrovaných energetických systémech.

Očekávané přínosy:

Skladování tepelné energie bude zásadním příspěvkem k integrovanému úsilí o energetickou účinnost ve stavebnictví, zpracovatelském průmyslu a energetickém systému jako celku, každý se svými specifickými požadavky. Navrhovaný výzkum vyvine nástroje a řešení pro efektivnější využití tepelné energie. V průmyslu to přispěje ke snížení energetické náročnosti a spotřeby paliv v prvovýrobě a přispěje k umožnění průmyslové symbiózy

### Vodíková strategie České republiky

O vodíku se mluví jako o palivu budoucnosti, který by navíc mohl snížit závislost na energetických surovinách z Ruska. Zatím se sice vyrábí především ze zemního plynu, ale po celém světě se momentálně připravuje několik stovek projektů na výrobu takzvaného zeleného vodíku, kde se využívá čistá elektřina z obnovitelných zdrojů. Podle několika studií by se Evropa mohla stát světovým lídrem ve výrobě zeleného vodíku. V ČR se rozvoj v oblasti vodíků řídí Vodíkovou strategií ČR, schválenou vládou ČR. 1).

Dva strategické cíle: snižování emisí skleníkových plynů a podpora ekonomického růstu.

Základní pilíře Vodíkové strategie :

- výroba nízkouhlíkového vodíku,
- využití nízkouhlíkového vodíku,
- doprava a skladování vodíku,

Tři barvy vodíku

- Šedý vodík se získává z fosilního plynu. Emise CO<sub>2</sub> nejsou zachycovány a proudí přímo do atmosféry.
- Modrý vodík je „zelenější“ variantou toho šedého. Původ je stejný, ale v tomto případě se emise zachycují a skladují pod zemským povrchem. V současné době však existuje jisté procento emisí, které se i tak dostanou do atmosféry.
- Zelený vodík vzniká za pomoci obnovitelných zdrojů. Při výrobě nedochází k uvolnění skleníkových plynů. Největším limitem tohoto typu vodíku je jeho vysoká cena.

Ekologičnost vodíku závisí do značné míry na tom, jak se vyrábí. Zelený vodík lze vyrábět elektrolýzou vody pomocí elektřiny získané z obnovitelné energie. Každá tuna vodíku vyrobená z uhlí emituje 20 tun oxidu uhličitého, což je více než dvojnásobek emisí CO<sub>2</sub> vznikajících při výrobě vodíku ze zemního plynu. Bezemisní vodík je dle dokumentů EU možné produkovat pouze z elektrické energie pocházející z obnovitelných zdrojů (včetně jaderné energie) s prioritou pro větrné a solární elektrárny. Lze uvažovat i vodní elektrárny a energii z biomasy, ale zde je třeba zohlednit původ této biomasy, což se projeví na výsledném emisním zatížení a nutností kombinace s technologií CCS ev. CCU.

Klasifikace vodíku podle čistoty:

- Vodík pro palivové články PEM.

Vyžaduje nejvyšší chemickou čistotu, aby bylo zajištěno, že ani při dlouhodobém provozu nedojde k degradaci a poškození palivových článků. (např. norma ISO 14687:2019(en) Hydrogen fuel quality Product specification), což odpovídá obsahu vodíku min. 99,9999 %. Takový vodík se převážně vyrábí elektrolýzou vody, případně z plastových odpadů s využitím plasma (japonská technologie). Vodík, vyrobený PEM elektrolýzou vody, lze bez další úpravy použít v PEM palivových člancích. Vodík, vyrobený alkalickou elektrolýzou, je potřeba zbavit zbytků kyslíku.

- Vodík pro ostatní použití

Při ostatním využití nejsou na čistotu vodíku kladeny zdaleka tak vysoké nároky. Vodík se v tomto případě využívá převážně jako vstupní surovina chemické reakce, případně pro výrobu tepla spalováním. Požadavky na čistotu proto mohou být definovány konkrétním použitím, které může být citlivé na příměsi specifických látek. Příměsi a nečistoty je nutné posuzovat z pohledu konkrétní chemické reakce.

Nízkouhlíkový vodík je dražší, než standardně používaný vodík Vodíková strategie ČR předpokládá, že vodíkovou mobilitu bude třeba dotovat min do roku 2030.

Vodíkové technologie patří ke špičkovým zařízením, jejichž výroba vyžaduje rozsáhlý a nákladný výzkum, vývoj a inovace. Výroba těchto technologií je možná jen v případě, že budeme mít rozvinout výzkumnou a vývojovou základnu. Je nutné efektivně propojit práci výzkumných organizací, vysokých škol a výrobních podniků.

Výroba, využití, doprava a skladování vodíku vyžadují využití nových technologií. Ačkoliv základní technologie pro výrobu a využití vodíku jsou známé, jde o technologie, které jsou relativně drahé. Očekává se, že investice vložené do dalšího vývoje a výzkumu přinesou snížení ceny těchto technologií. Pokud má být naplněn strategický cíl podpora ekonomického růstu, je třeba zajistit, aby výroba těchto technologií probíhala i v ČR a aby nahradila výroby spojené s využitím fosilních paliv. Je to proces na poměrně dlouhou dobu, investičně velmi náročný, vyžadující širokou mezinárodní spolupráci.

ČR bude muset nízkoemisní vodík každopádně dovážet. Dovoz ze severní Afriky, Ukrajiny, plánují také další evropské země.

Reálnější je splnit podmínku stoprocentního spalování nízkoemisních plynů k roku 2035.

Biometan, a zvláště vodík budou ovšem kvůli vysoké poptávce, omezeným výrobním možnostem a nutnosti technických opatření výrazně dražší než fosilní zemní plyn, což se promítne do cen energií.

V současnosti je energeticky nejúčinnějším způsobem výroby vodíku přímá přeměna fosilních paliv parciální oxidací zemního plynu a odpadních uhlovodíkových frakcí, parní reforming i s účinností kolem 70 % 2). Při produkci šedého vodíku, vyrobeného parním reformingem zemního plynu, emise CO<sub>2</sub> se v průměru pohybují okolo 8,8 kg na 1 kg vyrobeného vodíku.

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. Další technologií výroby vodíku je elektrolýza vody. 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 elektrolýzérů 90 % a ke zkapalnění 1 kg vodíku ještě dalších 10 kWh. Probíhá výzkum různých typů elektrolýzérů, včetně vysokoteplotních technologií. Velký technologický pokrok byl v posledních dvou desetiletích uskutečněn v oblasti PEM (Polymer Electrolyte Membrane) elektrolýzérů, které jsou nyní komerčně k dispozici při tlacích vodíku vhodných k dalšímu skladování.

Velkou nevýhodou výroby pomocí elektrolýzy je ale stále malá efektivita, kdy je na samotnou výrobu vodíku nutné vynaložit velké množství energie. I přes to, že v současnosti vědci vytváří vylepšení pro elektrolýzéry, které by měly dosahovat větší efektivity, proces zatím nejde tak rychle.

Chemický průmysl ČR bude využívat vodík dvěma způsoby:

- Jako surovinu pro chemický průmysl:

Strategie pracuje s množstvím vodíku, které se zpracovává nyní, s tím, že v budoucnu toto množství asi poklesne kvůli snížení výroby benzínu a nafty v rafineriích, nicméně může být eliminováno rostoucími požadavky na výrobu syntetických paliv. Díky taxonomii bude vyvíjen tlak na postupné nahrazování šedého vodíku nízkouhlíkovým vodíkem.

- Jako zdroj tepla

Neočekává se, že by tak byla nahrazena veškerá současná energetická spotřeba zemního plynu. Ten bude nahrazován i biometanem a elektrickou energií. Tento proces je současnou výrazně ovlivněn nejistotou dodávek zemního plynu z Ruska a snahou EU o embargo dovozu plynu z Ruska.

V souladu s Evropskou vodíkovou strategií dělíme jednotlivé kroky do tří etap:

- Etapa 1: 2021–2025 – priorita pro dopravu, jsou budována první lokální distribuční místa. Kvůli nákladům na dopravu, které dále zvyšují cenu vodíku, musíme hledat způsoby, jak vodík vyrábět poblíž míst spotřeby. Využití obnovitelných zdrojů elektrické energie bude hrát v této etapě významnou roli. Pyrolýzní rozklad organického odpadu nebo zemního plynu by mohl být lokálním zdrojem nízkouhlíkového vodíku, pokud se podaří překonat technologické překážky a vyřeší se otázka započítávání emisí spojených s tímto způsobem výroby. Proběhne testování přimíchávání vodíku do plynárenské soustavy zemního plynu, a to jak koncových zařízení, tak měřidel a dalších součástí soustavy.

- Etapa 2: 2026–2030

V této etapě by mohlo začít provozní ověřování využití vodíku v průmyslu. Rozsah závisí hlavně na úspěšnosti vývoje systémů pro pyrolýzní rozklad organického odpadu a zemního plynu a na vybudování velkých lokálních solárních nebo větrných elektráren připojených k elektrolyzérům a zařízením na stlačování nebo zkapalňování vyrobeného vodíku. Na základě odhadu budoucích spotřeb a možných zdrojů nízkouhlíkového vodíku bude také zahájeno plánování způsobu přepravy a distribuce vodíku. Lze předpokládat, že k přepravě a distribuci vodíku ve směsi se zemním plynem bude možné do značné míry využít existující plynárenské sítě. V tomto období očekáváme možné zahájení kontrahování výstavby případných nových vodíkových plynovodů, respektive úpravu stávajících plynovodů (tzv. repurposing nebo retrofitting) na vodíkové plynovody jak pro domácí přepravu, tak pro tranzit přes ČR.

V návaznosti na technologický vývoj bude také možné pokračovat v přípravě výstavby nových jaderných zdrojů, potenciálně i včetně malých modulárních reaktorů, které by větší část své produkce využily pro výrobu nízkouhlíkového vodíku. Nejpozději v této fázi bude potřeba začít testovat vodíkové zásobování domácností. Ke snížení emisní stopy domácností a průmyslu se postupně začne v plynárenské soustavě vtlačet vodík do zemního plynu.

Nelze vyloučit, že v delším období se ČR bude potýkat s nedostatkem elektrické energie. V takovém případě nebude prakticky možné vyrábět vodík z OZE, protože energie z těchto zdrojů bude primárně směřována k zajištění elektrické energie. Také požadavky na elektrickou energii ze sítě se mohou zvýšit ze strany průmyslových podniků, které budou dekarbonizovat svoje výroby. V takovém případě bude obtížné vyrábět vodík elektrolýzou vody. Vodík pak bude vyráběn z jiných zdrojů – proto strategie zvažuje i další způsoby jeho výroby.

Technologie, jejichž realizaci očekáváme do roku 2030:

- propojení OZE s vysokoteplotní elektrolýzou/palivovým článkem
- konkurenceschopná ko-elektrolýza oxidu uhličitého a vody, získávání syntézního plynu a jeho následné zpracování na hodnotné chemické látky, typicky plynná a kapalná paliva
- snížení nákladů pro metanizační jednotky a jejich instalace ve středně velkých podnicích,
- distribuovaná výroba biometanu
- zlepšené vlastnosti reformérů pro přímé využití zemního plynu pro PEM palivové články

• Etapa 3: 2030–2050

- Vodíková doprava by měla být schopna fungovat bez dotační podpory. Začne výstavba a repurposing vodíkových plynovodů, protože již budou spolehlivě etablováni velcí výrobci a spotřebitelé vodíku. Repurposing existující infrastruktury umožní přepravu a distribuci vodíku v praxi relativně v kratším časovém období oproti možné výstavbě nových plynovodů na čistý vodík. Po pilotních dotovaných instalacích v etapě 2 bude možné zahájit přechod na komerční využití vodíku v průmyslu, a to především tam, kde bude možné lokálně získat dostatečné množství cenově dostupného nízkouhlíkového vodíku. Skutečně masové nasazení vodíkových technologií v průmyslu bude možné až po vybudování sítě vodíkových plynovodů, které k nám přivedou levný nízkouhlíkový vodík ze zahraničí a umožní jeho rozvod do potřebných lokalit. V místech s výkonným a levným zdrojem nízkouhlíkového vodíku bude možné začít budovat pilotní projekty na převod domácností ze zemního plynu na vodík. Současně budou vznikat lokální vodíkové distribuční sítě.
- Předpokládá se expanze využití zeleného vodíku ve výrobě syntetických paliv

Technologie, jejichž realizaci očekáváme do roku 2050:

- Výroba nízkoemisního vodíku z OZE, využití technologií reverzibilní alkalické elektrolýzy / palivového článku, využití reverzibilní PEM elektrolýzy / palivového článku.
- komerčně konkurenceschopná ko-elektrolýza dusíku a vody za vzniku amoniaku a jeho následné zpracování na hodnotné agrochemické látky
- využití inovativních konceptů jaderných reaktorů (např. Generace IV) a jejich spojení s
- vodíkovými technologiemi
- rozvoj využití vodíku ve výrobě syntetických paliv (viz kap. 5.3)

Vodíkové technologie sebou nesou i řadu souvisejících technologických výzev, a to zejména pro měřicí zařízení, bezpečnostní technologie, různé typy baterií, čerpadel či součástí zařízení, pokročilé materiály (např. nové druhy ocelí pro vysoké tlaky vodíku (až 1100 bar).

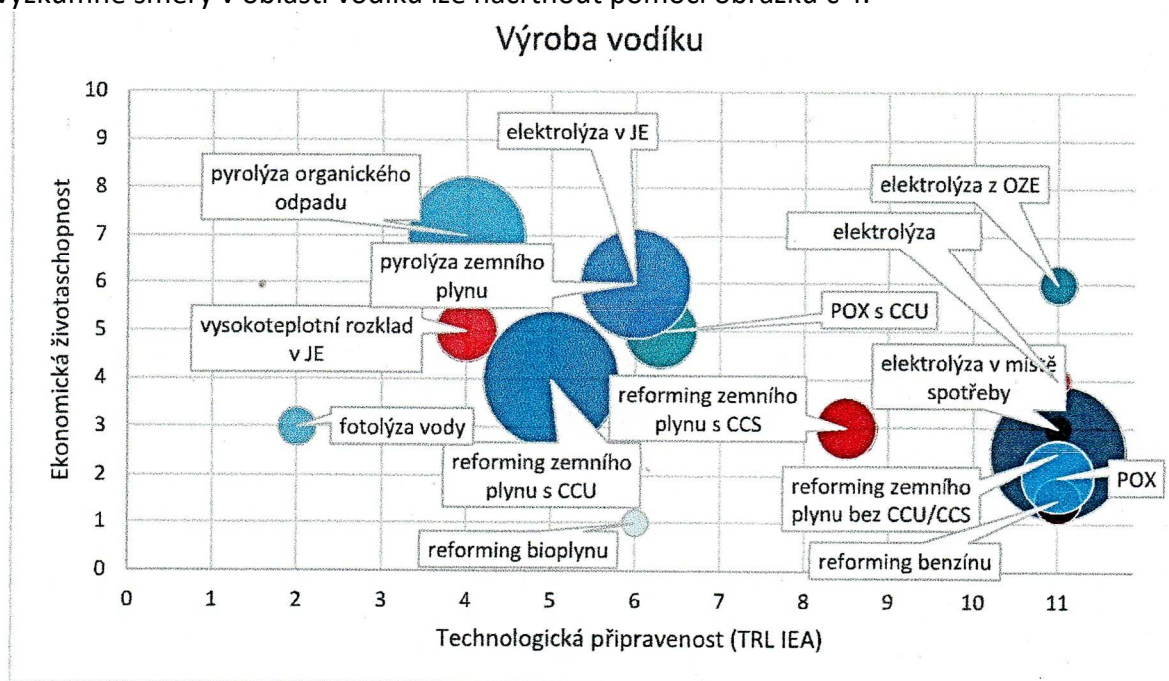
Česká skupina Solar Global začne v dohledné době v Napajedlech ve Zlínském kraji dodávat zelený vodík, který se bude vyrábět pomocí elektřiny ze střešní solární elektrárny. Také Orlen Unipetrol připravuje výstavbu fotovoltaické elektrárny s návaznou elektrolytickou výrobou zeleného vodíku o kapacitě téměř 1 000 t/r.

Metody přípravy vodíku:

Náklady na dodávku vodíku do značné míry závisí na nákladech na spotřebovanou energii a její cenu. Doposud je hlavním producentem vodíku rafinérsko-petrochemický sektor (vodík je vedlejší produkt v rafinérských procesech např. reformování nebo při výrobě ethylenu vysokoteplotní pyrolýzou), účelová výroba vodíku se u nás děje především parciální oxidací



(zplyňováním) primárních ropných zbytků nebo zbytkových frakcí ze štěpných procesů (visbreaking). Tzv. vodíkovou ekonomiku (včetně využití vodíku v procesech CCSU), a tedy výzkumné směry v oblasti vodíku lze načrtnout pomocí obrázku č 4.



Pro produkci nízkoemisního vodíku je třeba dosáhnout emise CO<sub>2</sub> na kg vodíku pod úroveň 36,4g CO<sub>2</sub>eq/MJ H<sub>2</sub>. U současných technologií lze dosáhnout snížení emisí pomocí technologií zachytu a ukládání CO<sub>2</sub> (CCS) nebo zachytu a využití CO<sub>2</sub> (CCU). Možnosti CCS vyžadují vedle zachycení produkovaného CO<sub>2</sub> i jeho transport na místo uskladnění. Samotná technologie SMR + CCS založená na separačních procesech dle Mezinárodní energetické agentury IEA10 zvyšuje spotřebu zemního plynu o 10 % a ekonomické náklady o 50 %.

Plán REPowerEU stanovuje jako cíl 10 milionů tun domácí výroby vodíku z obnovitelných zdrojů a import 10 milionů tun vodíku z obnovitelných zdrojů do roku 2030. Celkové potřeby investic do klíčových kategorií vodíkové infrastruktury se odhadují v rozmezí 28–38 miliard EUR pro plynovody uvnitř EU a 6–11 miliard EUR pro ukládání plynu.

- Parní reforming

V současnosti je energeticky nejúčinnějším způsobem výroby vodíku přímou přeměnou fosilních paliv parciální oxidací zemního plynu a odpadních uhlovodíkových frakcí, s účinností kolem 70 %. Ačkoliv tento způsob výroby vodíku je zatížen uhlíkovou stopou ze zemního plynu, je kvůli energetickému mixu ČR tato uhlíková stopa nižší než uhlíková stopa vodíku vyrobeného elektrolýzou z elektrické energie ze sítě. Jedná se o nejlevnější výrobu vodíku. Výroba vodíku parciální oxidací ropných zbytků (POX) v podmínkách ČR představuje největší objem výroby vodíku. Jedná se o léta aplikovanou a technicky stoprocentně zvládnutou technologii.

Zásadní nevýhodou je vysoká emisní stopa – 125 g CO<sub>2</sub> /MJ. Tu lze snížit j pouze pomocí dodatečných technologií CCS/U. V současnosti již dochází k zachycování a částečném využití zachyceného CO<sub>2</sub>. Hledají se cesty, jak zvýšit záchyt CO<sub>2</sub> a jak nalézt využití pro zachycený CO<sub>2</sub>

přímo v chemické výrobě Účelem této výroby je spotřeba vodíku v chemickém průmyslu, nelze tudíž předpokládat výrazné přebytky pro další použití.

Alternativou těchto zavedených petrochemických technologií je výroba vodíku reformingem benzínu. Při katalytickém reformování benzínu je uvolňován vodík spolu s aromatickými uhlovodíky. Velmi vysoká emisní stopa, kterou nebude možné technologicky snižovat. Nutnost dalšího čištění vodíku.

- Chlor-alkalická elektrolýza 2)

Jedná se o jeden z energeticky nejnáročnějších procesů v chemickém průmyslu, jehož primárním cílem je výroba chloru, nebo hydroxidu sodného / draselného, nikoliv výroba vodíku. V současné době jediným velkým provozem využívajícím elektrickou energii k produkci vodíku v ČR je chlor-alkalická technologie provozovaná v Ústí n. Labem, z důvodu složení mixu produkce elektrické energie v ČR, je takto vyráběný vodík zatížen srovnatelnou emisní stopou, jako má proces POX. Emise 123 gCO<sub>2</sub>/MJ H<sub>2</sub> (14,8 kgCO<sub>2</sub>/kg H<sub>2</sub>).

- Elektrolýza vody 2)

V současném technologickém vývoji je nejsilněji prosazovaným přístupem k poskytování vodíku elektrolytické štěpení vody na vodík a kyslík. Elektrolýza vody je předmětem četných studií a vědeckých publikací.

Jedná se o alkalickou elektrolýzu s použitím 20-40% roztoku hydroxidu draselného jako elektrolytu a elektrod potažených niklem. Poločlánky jsou od sebe odděleny membránou. Alkalickou elektrolýzu lze provádět buď pod tlakem s výstupním tlakem vodíku až 40 bar, nebo bez tlaku. Kromě energetických nároků (v současné době 55 kWh/kg vodíku) je k výrobě potřeba vysoce čistá voda o objemu 9 litrů/kg H<sub>2</sub>. Alkalická elektrolýza je dnes zřejmě nejlevnější technologie elektrolytické výroby vodíku.

Potřeba energie je u beztlakových systémů nižší než u tlakových elektrolyzérů. V druhém případě pohybuje kolem 4,6 kWh/Nm<sup>3</sup> vodíku, do roku 2050 se očekává další snížení na 4,4 kWh/Nm<sup>3</sup> Tato hodnota odpovídá 51,6 MWh/t vodíku.

Emise CO<sub>2</sub> z elektřiny jsou v současné době na úrovni 24,4 t CO<sub>2</sub>/t H<sub>2</sub>, očekává se, že do roku 2050 se sníží na nulu. Předpokládané investiční výdaje v roce 2050 2000 euro/t H<sub>2</sub>, CAPEX v roce 2020 1865 euro/t H<sub>2</sub>, OPEX v roce 2050 jenom 400 Euro/t H<sub>2</sub>.

Očekává se postupné zvyšování účinnosti elektrolýzy z dnešních 69 % na 78 % v roce 2050.

Pozn.:

CAPEX – zahrnuje pouze výdaje na pořízení elektrolyzéro. Nejsou zde započítány náklady na další prvky celého systému jako např. transformační stanice pro připojení k síti elektrizační soustavy či zdroji elektrické energie, zásobník na vodík, zařízení měřící kvalitu plynu apod. Zahrnuté nejsou ani náklady na zpracování studie, návrh technologie, podobně jako stavební a instalační práce.

OPEX – roční náklady nezávislé na produkci vodíku (např. náklady na mzdy zaměstnanců, pojištění projektu, nájem, údržbu apod.). Položka OPEX nezahrnuje variabilní náklady, které se přímo odvíjejí od objemu produkce vodíku. Takovými jsou zejména náklady na palivo – elektřina a voda.

- PEM elektrolýza (polymerní elektrolytové membrány)

Pro tento typ elektrolýzy se používá pevný polymerní elektrolyt a protony propustná polymerní membrána potažená katalyzátorem, což znamená, že místo hydroxidu draselného lze použít čistou vodu. Elektrolýzéry PEM mají jednodušší strukturu a články lze použít s výrazně vyššími proudovými hustotami a je provozován při tlacích do 100 bar. PEM elektrolýzér má rychlejší start než elektrolýzér alkalický (odpadá nutnost ohřevu velkého množství elektrolytu). Náklady jsou v současnosti stále vyšší než u alkalické elektrolýzy, ale očekává se, že se vyrovnají. Elektrolýza využívající polymerní membránu (PEM) je naopak účinnější, ale elektrolýzéry pro tento účel obsahují vzácné kovy a jsou drahé, i přes značný pokles měrné spotřeby vzácných kovů.

- Vysokoteplotní elektrolýza

Pro vysokoteplotní elektrolýzu vody je charakteristické, že část dodávané energie tvoří elektrická energie a část je přivedena ve formě tepla. Reakce probíhající ve vysokoteplotním elektrolýzér je reverzní k reakci probíhající v palivových člancích s pevnými oxidy, zařízení je možné použít jako elektrolýzér, nebo jako palivový článek. Do elektrolýzér vstupuje pára a voda. Vystupuje z něho obohacená směs obsahující 75 % vodíku a 25 % páry. Z ní je oddělen iont kyslíku, který prochází skrze membránu. V případě vysokoteplotní elektrolýzy lze výrazně snížit spotřebu elektřiny pro elektrolýzu. Je zde použit kyslíko-iontově vodivý pevný elektrolyt. Elektrolýza je provozována při 700-1000 °C s párou, přes vazbu s rekuperačním teplem vhodných exotermických procesů je elektřinou aplikována odpařovací entalpie vody. Vodík je pak z páry oddělen v kondenzační jednotce. Zatímco při teplotě 100 °C je pro elektrolýzu třeba 207 MJ na získání 1 kg vodíku, při teplotě 850 °C stačí pro výrobu stejného množství vodíku pouze 133 MJ. **3)**

Spotřeba elektřiny je dnes cca 3,8 kWh/Nm<sup>3</sup> a v budoucnu by se měla snížit na cca 3,6 kWh/Nm<sup>3</sup>. Tato technologie je však nejméně rozvinutá a v poloprovozních prozozech byla zatím využívána jen sporadicky. Hlavní problém je nízká životnost aktivních prvků. Pro další rozšíření technologie je důležité zvýšení životnosti a snížení měrných náklad, formou automatizované výroby zařízení. Rozšíření technologie může také napomoci vysoká cena elektřiny. Největší výrobce vysokoteplotních elektrolýzérů je společnost Sunfire GmbH, ve které má podíl i ČEZ, a. s.

Tabulka č. 1 Srovnání jednotlivých typů elektrolýzérů **4))**

	Alkalická el.	PEM	vysokoteplotní
TRL	8-9	7-8	5-6
Spotřeba energie kWh/Nm <sup>3</sup>			
Současná	4,6	4,8	3,8
2050	4,4	4,4	3,6
Provozní tlak v bar			
Současná	0-20	30	0-5

2050	90	90	20
Životnost v hod			
Současná	60 000	40 000	20 000
2050	120 000	140 000	80 000

Je nanejvýš nutné chemicky zhodnotit vznikající kyslík (produkovaný ve značném hmotnostním přebytku oproti vodíku, typicky 8:1). Kyslík z elektrolýzy tak může být použit pro řadu procesů, kde je jeho použití výhodnější oproti vzduchu. Zejména to platí o zplyňování, které je nutné realizovat s čistým kyslíkem (dnes frakcionací zkapalněného vzduchu, popř. jednotkami PSA nebo membránami).

Pro zajištění vyššího využití fondu pracovní doby investičně nákladných zařízení se doporučuje propojit elektrolýzy také s klasickou elektrickou sítí, aby bylo možno vyrábět vodík i v době, kdy nejsou k dispozici zdroje OZE.

Prakticky jediná technologie vhodná pro výrobu čistého vodíku je tak elektrolýza vody. Emisní stopa vodíku produkovaného elektrolýzou zcela závisí na původu použité elektrické energie. Zdroj obnovitelné elektrické energie je možné propojit přímo s elektrolyzérem a tím 100 % zaručit emisní čistotu produkovaného vodíku. Tato varianta však naráží na nízký stupeň využití solárních a větrných elektráren v ČR, který je méně než ½ ve srovnání s geograficky příznivějšími lokalitami v EU i mimo EU. Pro ekonomický provoz elektrolyzérů na území ČR je tak zcela klíčová možnost využití přebytků elektrické energie v rozvodné síti včetně přetoků z okolních států. Pro produkci zeleného vodíku však chybí certifikační mechanismus, který umožní i takto generovaný vodík považovat za zelený. Jednou z priorit orgánů EU je zavedení certifikace původu nejen vodíku, ale i ostatních forem energie.

- Termální gasifikace – využití bioplynu/biometanu

Biomasa je přeměnitelná na další produkty včetně vodíku za využití thermochemických reakcí odehrávajících se při teplotách 200–3000 °C. Jedná se především o pyrolýzu biomasy, při níž jsou získávány plynné produkty, jako je metan, vodík a oxid uhelnatý. Je ale možné reformovat již existující bioplyn vzniklý anaerobní digestací nebo také biometan vzniklý upgradingem bioplynu. V praxi se k dosažení požadovaného stupně konverze využívá přidání velkého množství vodní páry, což umožňuje pracovat za tlaku až 4 MPa. Odpadními látkami procesu jsou oxid uhličitý a oxid uhelnatý. Jedná se o v praxi velmi málo využívanou metodu, jejíž potenciál zřejmě bude omezený.

Výhody lze spatřovat v tom, že výroba bioplynu/biometanu spolu s dalším využitelnými plyny je efektivní cestou využití biomasy, která má povahu odpadu.

Přeprava bioplynu/biometanu je snadnější než přeprava vodíku (k biometanu stačí přidat určité množství vyšších uhlovodíků a v principu je možné tuto směs vtlačet do sítě zemního plynu). Možnost vyrábět vodík v místě spotřeby. Náklady na další zpracování syntézního plynu jsou a zřejmě zůstanou vysoké.

- Zplyňování biomasy procesem POX nebo s využitím bioplynu

kde je metan pro proces značně znečištěn sulfanem a oxidem uhličitým, vůči kterým je proces POX tolerantní, vede k produkci biovodíku. Spojení elektrolýzy a zplynění procesem POX tak může představovat komplexní integrovanou jednotku produkující vodík z vody a biomasy. Je zřejmé, že tato varianta vyžaduje propojení takového komplexu se zdrojem obnovitelné energie.

- Využití zemního plynu s CCU

Oproti předchozí technologii navíc uvažuje využití získaného CO<sub>2</sub> v dalších procesech. Pro ČR relevantní technologií může být produkce močoviny, využití v zemědělství a případně při výrobě metanolu. Velmi vysoké náklady (zejména pořizovací investice) a nízká efektivita zachytu CO<sub>2</sub>. Ani tato varianta zřejmě nepředstavuje dostatečné využití velikostí odbytu pro dekarbonizaci současných výrob.

- Pyrolýzní výroba vodíku ze zemního plynu

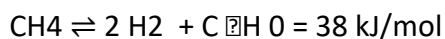
Jedná se o přímou dekarbonizaci zemního plynu, kdy pyrolýzou vzniká vodík a pevný uhlík. K efektivní konverzi metanu jsou dle typu pyrolýzy nutné teploty od zhruba 800 až více než 1000 °C. Oddělený pevný uhlík pak může být uskladněn, nebo využit. Uskladňování a přeprava pevného uhlíku je přitom výrazně technologicky jednodušší než nakládání s plynným CO<sub>2</sub>, který je typicky nutné vyčistit, stlačit, přepravit do vhodného místa uložení, dlouhodobě uložit a monitorovat. Ani ukládání pevného uhlíku nebude jednoduché, pokud se bude jednat o větší množství. Pevný uhlík je standardně využíván jako plnivo pneumatik nebo jako terénní výplň. Komplexní řešení využití pevného uhlíku se pravděpodobně nepřiblíží, dokud se nebude tato technologie rozvíjet. Existence velkého množství „odpadního“ uhlíku bude stimulovat hledání cest k jeho efektivnímu využití. V současnosti neexistují žádné velké komerčně provozované projekty. Zkušenosti s výrobou vodíku pomocí technologie pyrolýzy zemního plynu jsou prozatím omezené.

Nicméně někteří významní producenti zemního plynu a akademické instituce se velmi zaměřují na výzkum a vývoj této technologie. Jedná se o technologii, díky které se může vodík vyrábět přímo v místě spotřeby, pokud je zde dostupný zemní plyn.

V případě ČR, s omezeným potenciálem domácí výroby obnovitelného vodíku, je zde prostor pro výrobu vodíku z dostupného zemního plynu. K výrobě není třeba vodní zdroj (oproti elektrolýze) a nižší potřeba vstupní energie pro výrobu oproti elektrolýze a parní reformace zemního plynu. Prozatím omezené zkušenosti s technologií. Vzniká odpadní látka (pevný uhlík), kterou je nutné uložit, nebo využít.

- Pyrolýza metanu

Dalším způsobem, jak zajistit vodík a zároveň se vyhnout energetickým nebo hmotným emisím CO<sub>2</sub>, je pyrolýza metanu, tepelné nekatalytické štěpení metanu na vodík a uhlík při vysokých teplotách.



Ve srovnání s parním reformováním poskytuje pyrolýza metanu pouze polovinu vodíku v poměru k použitému metanu. Pokud potřeba tepla nepochází ze spalování methanu, ale z obnovitelných zdrojů energie, vzniká při pyrolýze methanu jen málo CO<sub>2</sub>.

Pyrolýza methanu je v současné době prováděna ve výzkumu a pilotním provozu. (projekty BASF, Linde a Thyssen Krupp nebo americké společnosti Monolith). TRL pro pyrolýzu metanu je v současnosti 5-6 a technická připravenost k použití se očekává od roku 2040.

Energetická a CO<sub>2</sub> bilance a také analýza nákladů byly zatím provedeny v rané vývojové fázi technologie. Stechiometricky je potřeba 3,98 t metanu na tunu vodíku, v reálném procesu je potřeba methanu dle aktuálních poznatků VaV vyšší cca o 0,5 t z důvodu ztrát. Emise CO<sub>2</sub> z těchto ztrát (především nezreagovaný methan) jsou na maximum 0,26 t na t vodíku, pokud jsou spáleny zbývající proudy proplachovacího plynu. To odpovídá pouze 5 % t emisí z parního reformování. Úplné snížení těchto emisí je možno řešit přidáním separací metanu z proplachovacího plynu nebo metanizace CO<sub>2</sub> ze spalování a recirkulací. Je to sice technicky proveditelné, ale může být vyvinuta pouze tehdy, když bude vyvinut proces pyrolýzy metanu. Potřeba elektřiny pro ohřev pyrolýzy a stlačení vyrobeného vodíku od 2 do 70 barů je 9,5 MWh na t vodíku. Energie potřebná k poskytnutí vodíku pyrolýzou metanu je proto výrazně nižší než energie elektrolýzy vody. Elektrický ohřev metanové pyrolýzy je technicky složitý. Investiční náklady se zpočátku odhadují na 3500 EUR/t vodíku, přičemž lze v dlouhodobém horizontu očekávat výrazné snížení nákladů ve srovnání s počátečním zařízením. Vedlejším produktem pyrolýzy metanu je relativně čistý uhlíkový produkt, který potenciálně lze použít jako náhradu uhlí v koksovacím a vysokopecním procesu nebo při výrobě hliníku. Pyrolýzou metanu se na tunu vodíku vyrobí přibližně 3,3 tuny uhlíku. Na druhou stranu se bilance opět vyrovná, pokud se použije metan z bioplynu.

Emise CO<sub>2</sub> 0,26 t CO<sub>2</sub>/t H<sub>2</sub> jako ztráty methanu, 4,56 t CO<sub>2</sub> ze spotřeby elektřiny (ta by měla být v roce 2050 nulová.) CAPEX 1630 EURO/t H<sub>2</sub>, OPEX 175 EURO/t vodíku. Další technologické přístupy, jako je termokatalytické štěpení metanu, jsou rovněž sledovány.

- Výroba vodíku z plastových odpadů

Skupina japonských firem plánuje využívat plastový odpad jako zdroj čistého vodíku. Automobilka Toyota, producent průmyslových plynů Iwatani a konstrukční skupina JGC Holdings budou při výrobě vodíku používat plast pocházející z domácností i průmyslu. Produkce vodíku na principu přeměny odpadu v energii je novým oborem, který zaznamenává rychlý růst. Zabývají se jím start-upy po celém světě, zejména v regionech s omezenými zdroji. K nejuznávanějším se řadí kalifornské společnosti SGH2 a Ways2H.

Japonská technologie výroby vodíku z odpadních plastů s využitím plazma.

Pointa spočívá v rozložení hmoty na prvočinitele působením extrémně vysoké teploty. SGH2 Energy tomu říká SPEG (Solena Plasma Enhanced Gasification) a jak už název napovídá, o vše se postará komora s plazmomety, která dosahuje teplot 3 500 °C až 4 000 °C. To je dost na to, aby se materiál rozložil na základní molekuly a vznikl syntetický plyn, z něhož se konečně extrahuje velmi čistý vodík (99,9999 %). Proces by měl být 5-7× levnější než výroba zeleného, modrého nebo šedého vodíku současnými metodami. A dokonce ekologičtější než zelený vodík vyráběný třeba elektrolýzou.

Podobnou metodu vyvinula česká firma Millenium Technologies a.s. Praha pro výrobu svítiplynu jako náhrady zemního plynu. TRL 8. Firma deklaruje, že toto rychlé řešení jsou

schopni nabídnout již pro příští topnou sezónu. Ze syntézního plynu lze vyrábět také elektrickou energii v kogenančních jednotkách. To znamená, že mohou vyrábět kombinovaně elektrickou energii a teplo – a tu pak dodávat do sítě a její pomocí vytápět. Když je syntézní plyn vyroben z kvalitních surovin, může být využit také materiálově. To znamená, že z něj může být vyráběn například vodík, amoniak, metanol. Plazmové reaktory, které Millenium Technologies vyvíjí a testuje už od roku 2010 v technologickém parku v Dubé, se tak poprvé dostanou ke koncovým zákazníkům. Stát se tak má v řádu dvou až tří měsíců, kdy by měl být po třech prototypech spuštěn reaktor čtvrté generace plně připravený i pro komerční využití.

- Hlubší energetické zpracování odpadního bio šrotu parciální oxidací v přítomnosti vodní páry na syntézní plyn

S významným obsahem vodíku představuje velkou výzvu pro výzkum a vývoj. Technologie parciální oxidace odpadního šrotu může být řešena v návaznosti na parciální oxidaci ropných zbytků, která se desítky let využívá v ropných rafineriích pro petrochemickou produkci vodíku. Hlavní rozdíl mezi zpracováváním ropných zbytků a odpadní biomasy z lisování oleje spočívá především v tom, že struktura biomasy obsahuje kromě uhlíku a vodíku další biogenní prvky (kyslík, síra, dusík, fosfor) a také popeloviny. Simulační výpočty procesu zplyňování biomasy byly provedeny na VŠCHT s modelovými zástupnými látkami (na základě dostupnosti dat o jejich vlastnostech): glukosa, vanilin, n-butyl-styren, glycin, methionin, etyl-fosfát. V případě visbreakingového zbytku byly zvoleny tyto zástupné látky: naftalen, dodekan, benzothiofen, chinolin a antrachinon. Proces parciální oxidace byl simulován s použitím programu AspenPlus. Při simulačních výpočtech, byla v prvním stupni uvažována pyrolýza, resp. krakování suroviny, dekompozice jednotlivých složek na prvky a jejich parciální oxidace (bilanční reaktor Ryield). Ve druhém stupni byla řešena komplexní chemická rovnováha mezi vzniklými produkty minimalizací Gibbsovy energie (rovnovážný reaktor RGibbs). Při výpočtu byly uvažovány tyto reakční podmínky: surovina - 10 % řepkového šrotu v uhlovodíkovém zbytku z visbreakingu; vstupní teplota proudů 250 °C; tlak 3,62 MPa; adiabatické podmínky zplyňování (výstupní teplota nad 1300 °C). Na základě provedených výpočtů byla postavena čtvrtprovozní aparatura se zplyňovacím reaktorem vnitřního průměru 0,4 m a výšky 2 m, se žáruvzdornou vyzdívkou, opatřeným co-anulární tryskou pro přívod suspenze řepkového šrotu ve směsi uhlovodíků, kyslíku (vzduchu) a vodní páry. Výsledky ukázaly, že současné zpracování obou odpadů může přispět ke zvýšení produkce vodíku o 2,5 % při současném snížení spotřeby jak kyslíku, tak i páry o 5 %. Ukázalo se, že jak poměr vodní páry k přiváděné surovině (v rozmezí 0,4-0,55), tak i k obsahu řepkového šrotu k směsi odpadních uhlovodíků (v rozmezí 5-10 %) má malý vliv na molární zlomek vodíku v produktu. Současně bylo zjištěno, že přidavkem řepkového šrotu k odpadním uhlovodíkům v množství 10 % se zvýší produkce vodíku o cca 2,5 %, přičemž se sníží měrná spotřeba komprimovaného kyslíku a páry o 5 %. Experimentální a modelové výsledky byly pak publikovány v následující práci 6).

- solární tepelné metody

Využití fotochemické nebo foto-elektrochemické technologie (aktivace slunečním světlem) Jedná se o výrobu vodíku přímou fotolýzou vody při využití vysoce účinných a sluneční světlo absorbujících podložek s celkovým výtěžkem konverze sluneční energie vyšší než 14 %. Tato

hodnota odpovídá komerčně a technické přijatelné míře zavedení tohoto postupy do masové produkce. Výhodou je zavedení foto-elektrochemických postupů a vývoj materiálů, které by neobsahovaly vzácné kovy a zároveň byly schopné dosáhnout aspoň 90 % účinnosti ve štěpení při současné aplikaci elektro a fotoaktivace.

Stejně jako elektrolýza vody je solární termální štěpení vody předmětem intenzivního výzkumného úsilí. Zralost průmyslové aplikace lze očekávat v příštích 15 letech, ale ČR má pro tento způsob zásadní lokační nevýhodu ve srovnání s jinými, slunnějšími regiony a investiční náklady jsou ve srovnání s jinými metodami velmi vysoké, V současnosti největší testovací zařízení pro solární termální štěpení vody o výkonu 750 kW je provozováno za významné účasti German Aerospace Center v rámci projektu Hydrosol Plant v Almerii/Španělsko.

Vědci z americké laboratoře pro obnovitelné zdroje energie mají slibnou metodu, jak vyrábět efektivněji zelený vodík. Jejich metoda pro výrobu solárního termochemického vodíku totiž oproti elektrolýzám využívá dvoustupňový chemický proces, kdy jsou oxidy kovů vystaveny teplotám vyšším než 1 400 °C a následně oxidovány párou při nižších teplotách. Díky tomu vznikne vodík, který pro svou výrobu potřebuje mnohem menší množství energie, než je tomu u standardně využívané elektrolýzy. Podle nich perovskitové materiály by měly být k této metodě výroby vodíku vhodné, pokud by dokázaly odolávat vysokým teplotám, které v procesu vznikají.

Vodík je v současnosti důležitým nosičem pro ukládání energie vyrobené z obnovitelných zdrojů, náhradou za fosilní paliva pro dopravu, pro výrobu amoniaku, ale také pro další průmyslové aplikace. Klíčem k úspěšnému využívání vodíku jako paliva je schopnost splnit cíl, jehož smyslem je snížit cenu čistého vodíku o 80 procent na jeden dolar za kilogram v řádu deseti let.

Vědci analyzovali slibnou novou technologii štěpení vody, takzvanou solární termochemickou výrobu vodíku, která by mohla mít potenciálně vyšší energetickou účinnost než výroba vodíku konvenční metodou elektrolýzy. Výzkumníci musí identifikovat perovskity schopné odolávat vysokým teplotám.

Jako příklady dalších řešených výzkumných projektů lze uvést:

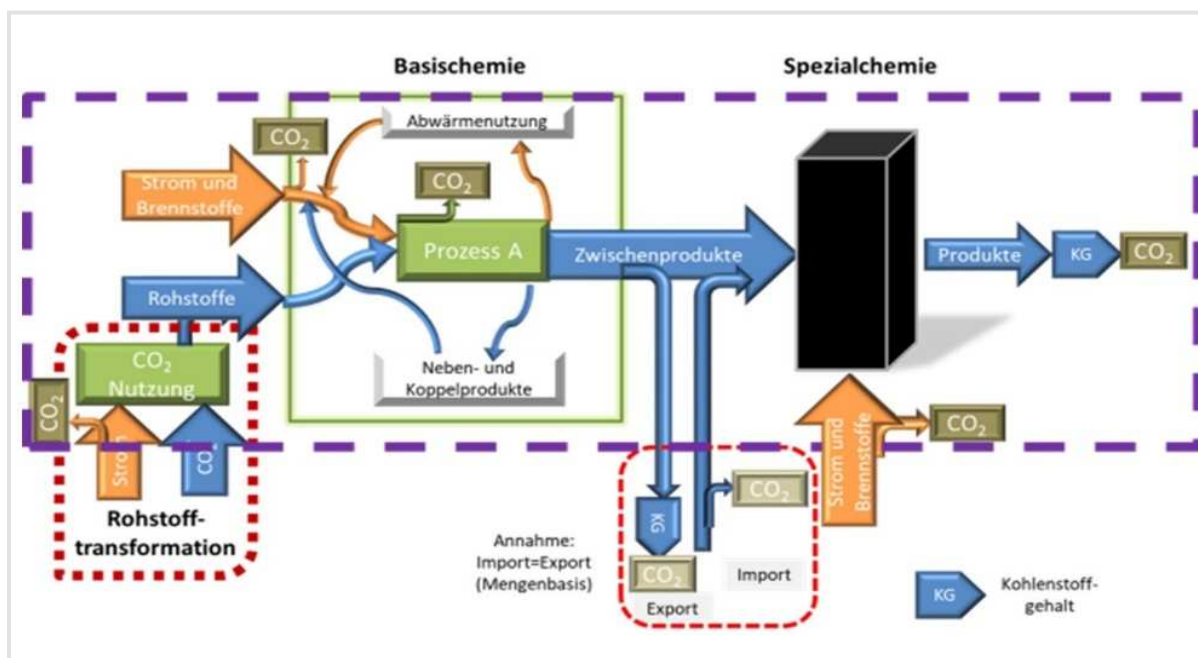
vysoce účinný kompozitní elektrokatalyzátor pro reakce uvolnění vodíku (Hydrogen Evolution Reaction – HER) a kyslíku (Oxygen Evolution Reaction – OER), které jsou součástí elektrochemického štěpení vody. Katalyzátor využívá unikátní kombinace dusíkem dopovaného grafen oxidu a sulfidu niklu připraveného transformací nikelnaté kovové organické sítě (MOF). Mimořádná elektrokatalytická účinnost je dána velkou plochou povrchu, hierarchickou strukturou kompozitního 2D systému s velkým objemem pórů, přístupností aktivních kovových center a dopací grafenové struktury dusíkem. Kompozitní materiál představuje konkurenceschopnou alternativu k doposud používaným a drahým komerčním oxidům na bázi vzácných kovů.

Vědci z CATRIN Olomouc zkoumají možnosti využití multikomponentních hybridních systémů pro přímé solární štěpení vody. Nanostrukturované centrální materiály jsou kombinovány s jinými materiály a nanočásticemi se specifickou funkcionalitou, sloužící k např. optické



sensitizaci (rozšířená absorpce ve viditelném spektru), zlepšení dynamiky fotogenerovaných nosičů náboje, zvýšení kinetiky povrchových oxidačně-redukčních reakcí – a tato interakce významným způsobem ovlivní foto-elektrokatalytickou aktivitu celého kompozitního systému. Vyvinuli unikátní technologii založenou na částečné redukci TiO<sub>2</sub> ve vodíkové atmosféře za současné tvorby Ti<sup>3+</sup> a povrchových defektů. Tyto defekty fungují jako chemické pasti pro ukotvení individuálních atomů platiny po jednoduché impregnaci roztokem Pt<sup>4+</sup>. Metoda dovoluje elegantně kontrolovat hustotu povrchových defektů, a tedy i míru pokrytí vrstev TiO<sub>2</sub> jednotlivými atomy platiny. Takto navázané atomy zvyšují fotokatalytickou účinnost oxidu titaničitého až 150krát ve srovnání s obvykle používanými systémy, v nichž je platina ve formě nanočástic nanášena na povrch TiO<sub>2</sub>. 7)

Tzv. vodíkovou ekonomiku (včetně využití vodíku v procesech CCSU), a tedy výzkumné směry v oblasti vodíku lze načrtnout pomocí obrázku č. 5



V počáteční fázi bude výroba nízkouhlíkového vodíku pomocí elektrolyzérů připojených k obnovitelným zdrojům elektrické energie jedinou cestou. Plánuje se pokračovat ve výstavbě solárních a větrných elektráren a jejich využití pro výrobu vodíku. Přínos obnovitelných zdrojů k výrobě vodíku a efektivita výroby nikdy nemohou být, kvůli našim přírodním podmínkám, na stejné úrovni jako v přímořských zemích nebo v zemích, které leží blíže rovníku. Mimo využití sluneční a větrné energie jsou proto hledány i oblasti, kde nebudeme limitováni přírodními podmínkami. Nejprve se vývoj soustředí na následující způsoby výroby nízkouhlíkového vodíku:

- z obnovitelných zdrojů,
- ze zemního plynu s CCSU,
- pyrolýzním rozkladem (popřípadě plazmovým zplyňováním) různých typů organického odpadu
- v jaderných elektrárnách

Neplánuje se, že by ČR byla zemí vyvázející nízkouhlíkový vodík. Objem výroby je proto odvozen od zpracovávaného objemu nízkouhlíkového vodíku. Předpokládá se, že objem

výroby nízkouhlíkového vodíku v ČR má svůj limit, který bude záviset na efektivnosti technologií výroby a dostupnosti obnovitelných zdrojů elektrické energie a bioplynu. Veškeré další požadavky budou muset být uspokojeny dovozem nízkouhlíkového vodíku ze zahraničí. Do roku 2035 nebude pravděpodobně možné využít stávající potrubní infrastrukturu k dovozu vodíku. Ostatní způsoby dopravy vodíku na velké vzdálenosti nejsou zatím příliš efektivní, proto hlavním zdrojem nízkouhlíkového vodíku bude do roku 2035 lokální výroba a cílová čísla odpovídají prognóze spotřeby. Prognóza výroby pro další období bude aktualizována v závislosti na připravenosti přepravní infrastruktury a dostupnosti nízkouhlíkového vodíku v zahraničí.

Tabulka č. 2

Tis t	2021	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Výroba v ČR	0	7	101	284			

Zdroj : 1)

Maximalizace spotřeby a výroby nízkouhlíkového vodíku je tedy hlavním indikátorem naplňování Vodíkové strategie ČR. Zavádění progresivních vodíkových technologií a transformace výzkumu, vývoje a inovací. Strategickým cílem iniciativy Fit for 55 je dosáhnout 50% podíl spotřeby vodíku v průmyslu.

Příklady rozvoje aktivit v rámci Vodíkové strategie v ČR 3) 4):

ČEZ a. s. – ČEZ má ambici být jedním z hlavních hráčů na rozvíjejícím se trhu se zeleným vodíkem. ČEZ se soustředí na zelený vodík vyráběný z obnovitelné elektřiny z vlastních zdrojů. Nyní ČEZ rozvíjí až 15 projektových záměrů výroby a využití vodíku. V 6 projektech již konáme konkrétní kroky. Celkově přes 10 MW elektrolýzy v roce 2025. Typický projekt Elektrárna do 10 MW. Elektrolýzer 1–4 MW Výroba vodíku 100-250 t / rok.

ORLEN UNIPETROL RPA – Největší producent šedého vodíku v ČR – ca 80 000 tun ročně  
CÍL: Výroba zeleného vodíku a jeho využití v dopravě v PL, CZ a SK do r. 2030 6 stanic v realizaci: Praha, Litvínov, Brno, Plzeň, Praha-Horní Počernice, Ostrava Laboratoř na analýzu kvality vodíku v Litvínově. Budování hodnotových řetězců ve výrobě, skladování, přepravě a využití vodíku spolu s významnými průmyslovými hráči v regionu V4 a okolních regionech.

MOTIVACE: Dekarbonizovat odvětví dopravy (pozemní, železniční, vodní), vytvoření 5000 pracovních míst.

HENRY IF SICAV A.S. PODFOND HYDROGEN1 – první vodíkový fond ve východní Evropě. Zkušenost s vodíkem od 2007.

USA – UNITED HYDROGEN GROUP výroba 10 t kapalného vodíku/den. Fáze provozní zkoušky – výroba alternativního paliva pro energetiku z odpadu (termální depolymerizace), vodík z procesního plynu. Fáze přípravy 100 MW projekt v Severních Čechách. Výroba zeleného vodíku elektrolýzou pro dopravu. Partneři: CHEMINVEST (CZ), PLUG POWER (USA).

Moravskoslezský kraj – Vodíkové údolí Komplexní vize rozvoje vodíkových technologií. Pokrytí celého hodnotového i distribučního řetězce. Multimodální řešení se zapojením stakeholderů. Ústecký kraj – Komplexní rozvoj vodíkového regionu = první české vodíkové údolí a současně region, pro nějž představuje vodík významnou součást transformačních procesů, první český region s rozvíjenou sítí plnicích stanic (3 v provozu v nejbližší době), existence pipeline konkrétních projektových záměrů přispívajících k rozvoji uceleného hodnotového vodíkového

řetězce. Kraj disponuje jedinečnými podmínkami pro rozvoj vodíkového hospodářství – tradice chemického průmyslu, energetiky, technické a znalostní zázemí, množství progresivně uvažujících firem, partnerství se Saskem, množství jinak obtížně využitelných lokalit brownfieldového typu pro možnou instalaci FVE a souvisejících vodíkových technologií. Požadavek na zajištění strategicko-metodického a legislativního zázemí umožňující jasné vymezení mj. zeleného vodíku a s tím spojené vyjasnění potenciálu podmínek dotační podpory pro rozvoj příslušných technologií.

Česká strojírenská firma 2 JCP z Račic u Štětí na Litoměřicku podepsala kontrakt s německým koncernem Siemens Energy na dodávku tří průmyslových elektrolyzérů, tedy zařízení pro výrobu zeleného vodíku, za 100 milionů korun. Firma plánuje jejich sériovou výrobu. Zařízení budou sloužit v Dánsku, kde vzniká první velkokapacitní komerční zařízení na výrobu tzv. zeleného metanolu. Mimo jiné se v něm bude vyrábět palivo pro první e-metanolovou flotilu na světě, na moře ji chce vypustit přepravce kontejnerů Maersk. Elektrolyzéry by měly račický závod opustit v příštím roce, firma si od kontraktu slibuje zahájení sériové výroby. Stali se tak strategickým dodavatelem Siemensu a v horizontu dvou až tří let by pro ně mohli začít sériově vyrábět až 50 takových zařízení, což představuje potenciál zhruba dvou miliard korun ročně. V Račicích proto postaví novou výrobní halu a v závodě v Třebíči chystají rekonstrukci hal, aby dokázali zakázky Siemens Energy pokrýt.

Zařízení dokáže produkovat až 300 kilogramů zeleného vodíku za hodinu. Siemens Energy na vývoji technologie pracoval od roku 2011, čeští strojaři se podíleli i na designu zařízení. Postup klíčového procesu chemické elektrolyzy nadále drží Siemens, který pro sériovou výrobu jader elektrolyzérů v Berlíně buduje velkou továrnu. Výroba a kompletace zařízení okolo jádra bude v Račicích, což Siemens poptával už v roce 2020. Společnost 2 JCP patří do portfolia české investiční společnosti Jet Investment, která se již 25 let specializuje na investice do průmyslových společností. Vodíkový byznys by se měl stát těžištěm jejich dalších akvizicí.

Dle Hydrogen Roadmap Europe 5) bude v roce 2030 v EU pracovat ve vodíkovém průmyslu 1 milion zaměstnanců a do roku 2050 je očekáván nárůst na 5,4 milionu zaměstnanců. Při délce akreditačních mechanismů a délce studijního cyklu je tak nutné provádět nezbytné kroky co nejdříve. Pro výzkumné instituce je nezbytné zajištění dostatečných zdrojů financování ve formě vypisovaných výzkumných výzev zaměřených na vodíkové technologie, což opět umožní udržení odborníků, vznik znalostní báze i zavedení inovativních produktů do portfolia českých podniků. 8)

Výzvy pro VaV českého chemického průmyslu:

- vývoj a komercializace alkalického elektrolyzérů a palivového článku, fungující v jednom zařízení
- vývoj a komercializace PEM palivového článku (i zde může být elektrolyzér a palivový článek v jednom zařízení)
- vývoj solárních tepelných metod přípravy vodíku
- vývoj a testování účinnosti technologie vysokoteplotní elektrolyzy
- záchyt a čištění vodíku + spolupráce v oblasti membránových separací malých molekul
- konverze a reverzní konverze synplynu

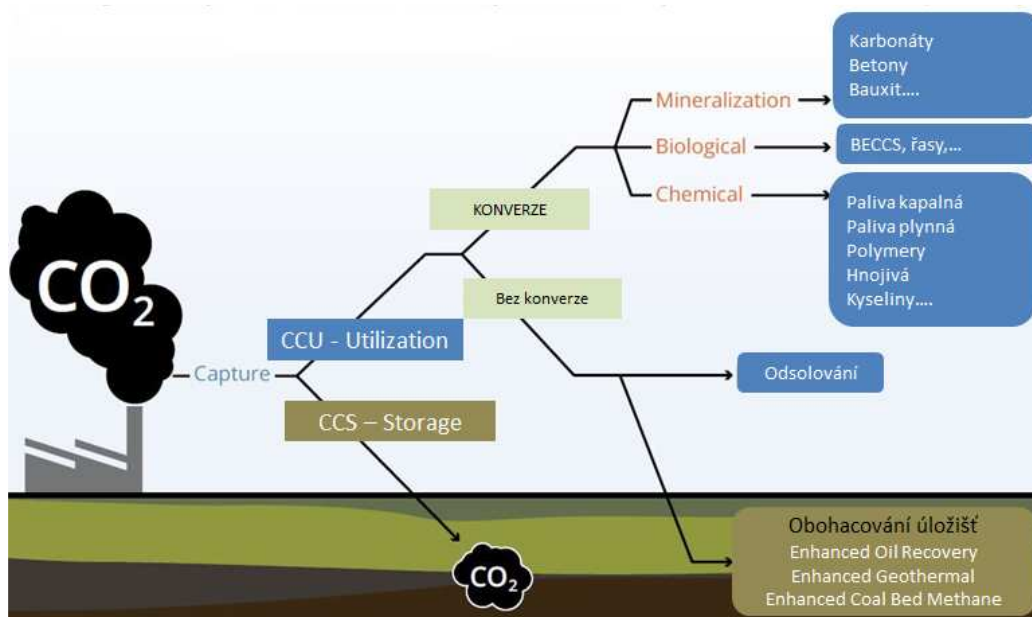
- syntéza metanolu ze zeleného vodíku a směsi CO/CO<sub>2</sub>,
- Fischer-Tropschova syntéza včetně zpracování produktů na čistá paliva a petrochemikálie
- výroba vodíku z plastových odpadů s využitím plasmy
- produkce biovodíku parciální oxidací
- vývoj nových elektrodových materiálů a pochopení mechanismů degradace vysokoteplotních elektrolyzérů s pevnými oxidy
- analyzovat možnosti uplatnění jaderných zařízení při výrobě nízkoemisního vodíku v ČR. Do této analýzy zahrnout stávající zdroje, nové jaderné zdroje a potenciálně i malé modulární reaktory. Zejména uplatnitelnost, potenciál, ekonomické, legislativní a technické aspekty včetně konkrétních doporučení ve vztahu ke stávajícím a novým jaderným zdrojům, VaVal v oblasti jaderné energetiky. Výsledky této analýzy následně při nejbližší aktualizaci zpracovat do Vodíkové strategie ČR a Státní energetické koncepce, resp. Národního akčního plánu rozvoje jaderné energetiky v ČR či dalších relevantních dokumentů.

**Zdroje:**

- 1) *Vodíková strategie ČR schválená vládou ČR 26.7.2021*
- 2) *Roadmap Chemie 2050, Eine Studie von DECHEMA und Future Camp für den VCI.2019*
- 3) *Představení vodíkové strategie ČR dne 16.7.2021 na MPO ČR*
- 4) *Technologický foresight a implementační akční plán využití vodíkových technologií v energetice a průmyslu ČR, Česká vodíková technologická platforma, 24.7.2020*
- 5) *Hydrogen Roadmap Europe*
- 6) *J. Hanika, J. Lederer, V. Tukač, V. Veselý, D. Kováč: Hydrogen production via synthetic gas by biomass/oil partial oxidation, Chemical Engineering Journal 176-177 (2011) 286-290 (Elsevier.com)*
- 7) *X. ZHOU, a kol. "Advanced Photocatalysts: Pinning Single Atom Co-Catalysts on Titania Nanotubes", ADVANCED FUNCTIONAL MATERIALS, vol. 31, iss. 30, pp. 2102843, 2021*
- 8) *M. Šilhan: Vodíková strategie České republiky v kontextu chemického průmyslu, Chemické listy Vol 115 No 10 (2021)*

### **CO<sub>2</sub> jako surovina**

Součástí evropského plánu Fit for 55 - dosažení uhlíkové neutrality do roku 2050 je i střednědobý cíl k roku 2030 – do konce této dekády chce EU jako celek snížit své emise skleníkových plynů o 55 % oproti roku 1990. K docílení takových ambiciózních cílů existuje několik cest.



Obrázek č.6 dokumentuje možnosti využití CO<sub>2</sub> z průmyslové výroby a procesy CCS a CCU

- Zachycování a ukládání uhlíku (CCS) může představovat možnost snižování skleníkových plynů.

Energetická společnost Moravské naftové doly (MND) zkoumá možnosti ukládání zkapalněného oxidu uhličitého hluboko pod zem. Hodonínští těžaři nyní hledají vhodné lokality v celé oblasti, kde dříve pátrali po ropě a zemním plynu. Následovat budou průzkumné vrtky a vtačné testy. Pokud jejich metoda uspěje, mohlo by na jižní Moravě vzniknout první komerční zařízení na zachytávání a ukládání oxidu uhličitého ve střední a východní Evropě. Zkapalněný CO<sub>2</sub> bude vtlačěn do slaných akviferů. Jde o horninové souvrství, které v hloubkách přes 800 metrů pod zemí sytí původní mořská voda z období prvohor až třetihor. Již první geologické modely a simulace vtlačení v několika vytipovaných lokalitách na jižní Moravě slibují potenciál pro budoucí průmyslové využití. Ukládání zkapalněného CO<sub>2</sub> pod zem je jedním z řešení, jak nakládat s tímto skleníkovým plynem, a po světě už existuje řada míst, kam se průmyslově ukládá.

Poměr reálně dosažitelného efektu a nákladů vede řadu vědců k úvaze, že se jedná o slepou uličku. Mnozí z nich se oprávněně obávají, že finanční prostředky vynakládané na vývoj a provozování technologie CCS budou odčerpávat významnou část zdrojů použitelných pro rozvoj materiálové a energetické efektivity včetně obnovitelných zdrojů energie, které vykazují nesrovnatelně vyšší potenciál k prosazování reálných principů udržitelnosti. Vědci vyvinuli novou metodu zachycování 99 % oxidu uhličitého ze vzduchu pomocí nového elektrochemického systému poháněného vodíkem. To by mohlo být jedno z mnoha řešení, jak překonat klimatickou krizi, které čelíme. Na Islandu začala fungovat první a největší továrna na světě, která zachycuje oxid uhličitý ze vzduchu a přeměňuje ho na kámen.

Je bezpečně uložen prostřednictvím chemického procesu vyvinutého společností Carbfix. V tomto procesu je CO<sub>2</sub> zachycený z atmosféry mineralizován a přeměněn na skálu. Tento postup trvá dva roky a je provozován i na obnovitelnou elektřinu.

Naše předběžné propočty ukazují, se nevyplatí investovat do zachytávání a skladování CO<sub>2</sub>, ale rovnou investovat do zeleného vodíku. Tato investice má nejjistější návratnost.

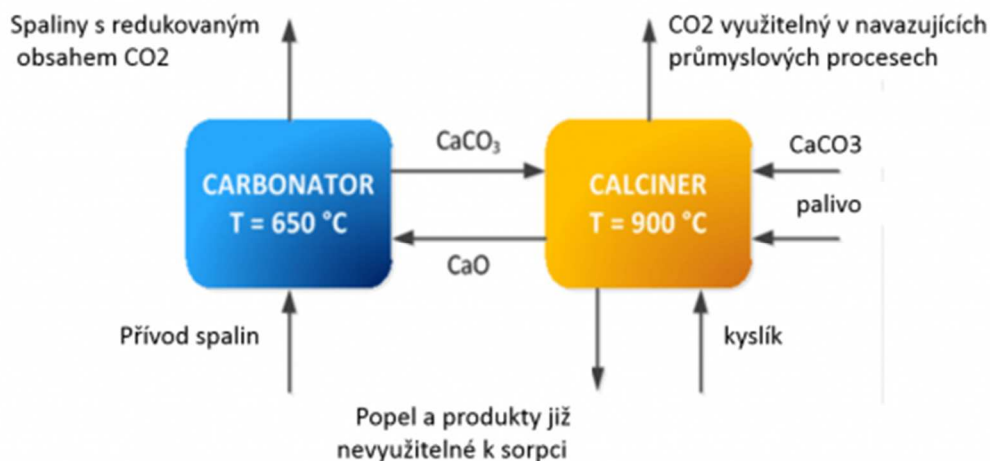
### ***Zachycování CO<sub>2</sub> z atmosféry***

Nalézt způsob, jak odstranit z ovzduší oxid uhličitý, který je jednou z příčin probíhajících klimatických změn, se snaží řada vědeckých týmů. CO<sub>2</sub> lze zachytit přímo ze vzduchu nebo z průmyslového zdroje pomocí různých technologií, včetně absorpčních, adsorpčních, chemických smyček, membránové separace plynů nebo technologií hydrátů plynů. Někteří odborníci ale varují, že samotné technologie pro zachycování uhlíku klimatickou krizi nevyřeší.

Jednou z mála publikovaných technologií je systém Orca, který pracuje s velkými dopravními kontejnery vybavených high-tech filtry a ventilátory pro těžbu oxidu uhličitého. CCS použitý v moderní konvenční elektrárně by mohl snížit emise CO<sub>2</sub> do atmosféry přibližně o 80–90 % ve srovnání se zařízením bez CCS. Pokud se používá v elektrárně zachycující a stlačující CO<sub>2</sub> se odhaduje, že další náklady na systém zvýší u elektráren na fosilní paliva náklady na wathodinu vyrobené energie o 21–91 %; a použití technologie na stávající zařízení by bylo ještě nákladnější, zvláště pokud stojí daleko od místa odnámání.

Další metodou je aplikace vysokoteplotní absorpce CO<sub>2</sub> ze spalin s využitím karbonátové smyčky. Problematiku zachytu CO<sub>2</sub> ze spalin na vápenatých sorbentech za vysokých teplot je moderní technologii dekarbonatace spalin, která je v současné době vyvíjena na několika špičkových výzkumných pracovištích ve světě. V ČR se touto technologií zabýval výzkumný tým projektu tvořený pracovníky Fakulty technologie ochrany prostředí VŠCHT Praha, Fakulty strojní ČVUT v Praze a ÚJV Řež, a.s.- projekt HITECARLO 1)

Proces využití karbonátové smyčky v sobě zahrnuje dvě chemické reakce současně probíhající v propojených reaktorech s fluidním ložem. V jednom z reaktorů, absorbéru, probíhá sorpce. Zde reaguje pálené vápno (CaO) s oxidem uhličitým obsaženým ve spalinách za vzniku uhličitanu vápenatého (CaCO<sub>3</sub>). V druhém regeneračním reaktoru dochází za působení vysoké teploty (vyšší než 700 °C) k rozkladu uhličitanu vápenatého zpět na pálené vápno a oxid uhličitý, který může být použit v navazujících průmyslových procesech. (např. k metanizaci v technologii Power2Gas.) V současnosti je potřeba 80 kg vápna pro zachycení 1 tuny CO<sub>2</sub>. Aktuální odhad nákladů na zachycení 1 tuny CO<sub>2</sub> je 20 až 27 €, Zjednodušené schéma na obrázku č. 7.



### **Využití metod zachycování a využití (CCU)**

Tyto metody nabízejí vyrábět produkty na bázi uhlíku s využitím obnovitelné energie s možností uzavření uhlíkového cyklu

CO<sub>2</sub> jako uhlíková surovina nahrazující fosilní zdroje doplní budoucí surovinové základny pro organické syntézy. Emise uhlíku mají potenciál být využity jako suroviny pro výrobu různých produktů, včetně bioolejů, speciálních chemikálií, polymerů a paliv. Pokud lze využít nízkonákladovou energii z obnovitelných zdrojů, mohou produkty založené na technologii zachycování a využití uhlíku (CCU) nahradit produkty založené na fosilních palivech. Zatímco zachycování a ukládání uhlíku (CCS) primárně váže uhlík jako CO<sub>2</sub> z průmyslových off-streamů a atmosféry, CCU zpožďuje nebo zabraňuje uvolňování CO<sub>2</sub>. To zahrnuje využití CO<sub>2</sub> jako vedlejšího produktu chemické výroby. K aktivaci CCU je však zapotřebí velké množství obnovitelné energie za konkurenceschopnou cenu. Oxid uhličitý má termodynamicky značně stabilní molekulu. Reakce jsou většinou založeny na vzniku nových vazeb mezi uhlíkem a kyslíkem (C-O), zatímco vazby uhlík-uhlík (C-C) se tvoří značně obtížně. Z uvedeného vyplývá energetická náročnost, jejíž řešení je jedním z aktuálních výzkumných témat. Je výhodné, máme-li k dispozici relativně koncentrovaný zdroj plynu. Příznivým faktorem je, pokud výchozí plyn obsahuje co nejméně příměsí, aby nedocházelo ke snížení účinnosti katalyzátorů vlivem katalyzátorových jedů. Při řadě reakcí vzniká zároveň voda, kterou je nutno vhodným způsobem odstraňovat. V uvedených reakcích hraje zcela klíčovou roli výběr, resp. vývoj vhodných katalyzátorů, jejichž použití je mnohdy základní podmínkou pro praktickou realizovatelnost dané reakce, umožňuje vést proces za mírnějších podmínek, snížit tak energetické nároky příslušných technologií a zvýšit celkovou efektivitu. Často se uplatňují katalyzátory na bázi kovů jako zinek, měď, ruthenium a rhodium např. při hydrogenačních reakcích. Dobrou účinnost vykazuje tzv. N-heterocyklický karben: má pětičlenný kruh se dvěma atomy dusíku a třemi atomy uhlíku s volným párem elektronů aktivujícím oxid uhličitý. Při použití silanu jako redukčního činidla se vědcům ze Singapuru podařilo připravit z oxidu uhličitého za mírných podmínek metanol. Výzkum se zaměřuje i na možnosti uplatnění fotokatalytických reakcí.

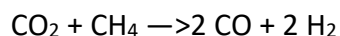
Přeměna CO<sub>2</sub> na uhlovodíky nebo okysličené uhlovodíky vodíkovou cestou může být v budoucnu posílena využitím vody (místo vodíku). Tato cesta je již identifikována programem

Sunergy, který definuje 3 budoucí technologicky perspektivní cesty (elektrochemické, fotoelektrochemické a biohybridní procesy) založené na vodě:

1. Štěpení vody obnovitelnými zdroji energie pro výrobu vodíku (využití kyslíku v energetice).
2. Redukce dusíku vodou s využitím obnovitelné energie pro výrobu čpavku (využití kyslíku v energetice).
3. Redukce CO<sub>2</sub> vodou pomocí obnovitelné energie k výrobě okysličených uhlovodíků (využití kyslíku v energetickém sektoru).
- 4) Podpora oběhového hospodářství s důrazem na materiálovou recyklaci.

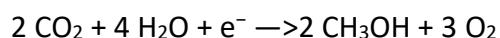
### **Využití CO<sub>2</sub> k výrobě pohonných hmot**

Pozornost výzkumu na sebe soustřeďují i reakce využitelné k výrobě pohonných hmot. Jednou z možností je výroba syntézního plynu vysokoteplotní katalytickou metodou tzv. suchého reformování:



Pro tuto klíčovou reakci by se dal v podstatě využít i bioplyn. Syntézní plyn jako mnohostranně použitelný meziprodukt může být dále zpracován dobře známou technologií podle Fischera a Tropsche na tekutá motorová paliva nebo z něj lze připravit alkany a alkeny pro další chemické syntézy. Ze syntézního plynu je možno standardní technologií vyrobit metanol, který lze získat i přímo z oxidu uhličitého. Metanol je pak dále použitelný jako motorové palivo i k výrobě přísad či derivátů do pohonných hmot. Je svého druhu „energetickou konzervou“ s možností využití i v palivových článcích. Může sloužit jako výchozí látka pro řadu organických syntéz, kdy se v podstatě stává základem celého moderního odvětví organické chemie, tzv. metanolové chemie.

Zajímavou možnost přípravy metanolu z oxidu uhličitého uvádí nositel Nobelovy ceny za chemii profesor Olah, kdy reakcí s vodou při současném napojení na zdroj elektrického proudu probíhá příslušný proces v palivovém článku:



Tento postup by mohl být v budoucnu zajímavý např. pro provozovatele bioplynových stanic dodávajících do rozvodné plynárenské sítě biometan. Pro odseparovaný oxid uhličitý by se tak našlo vhodné uplatnění právě při převodu na žádaný metanol.

Německá cestovní mapa 2) rozebírá možnost využití CO<sub>2</sub> pro výrobu syntetické nafty. Až dosud se nafta získává ze surové ropy. Alternativní metodou pro výrobu nafty je Fischer-Tropschova syntéza. Zde se syntézní plyn přeměňuje na alifatické uhlovodíky s dlouhým řetězcem. Syntézní plyn lze vyrobit z vodíku, např. získaného elektrolýzou vody, nebo může být generován reakcí s CO<sub>2</sub>: Syntézní plyn lze také získat z různých zdrojů obsahujících uhlík. Biomasu a uhlíkatý odpad lze zplynovat a přebytečný methan produkovaný elektricky vyhřívanou krakovací jednotkou lze přeměnit na syntézní plyn parním reformováním. Zdaleka největší energetickou náročnost Fischer-Tropschovy syntézy představuje elektrolýza k

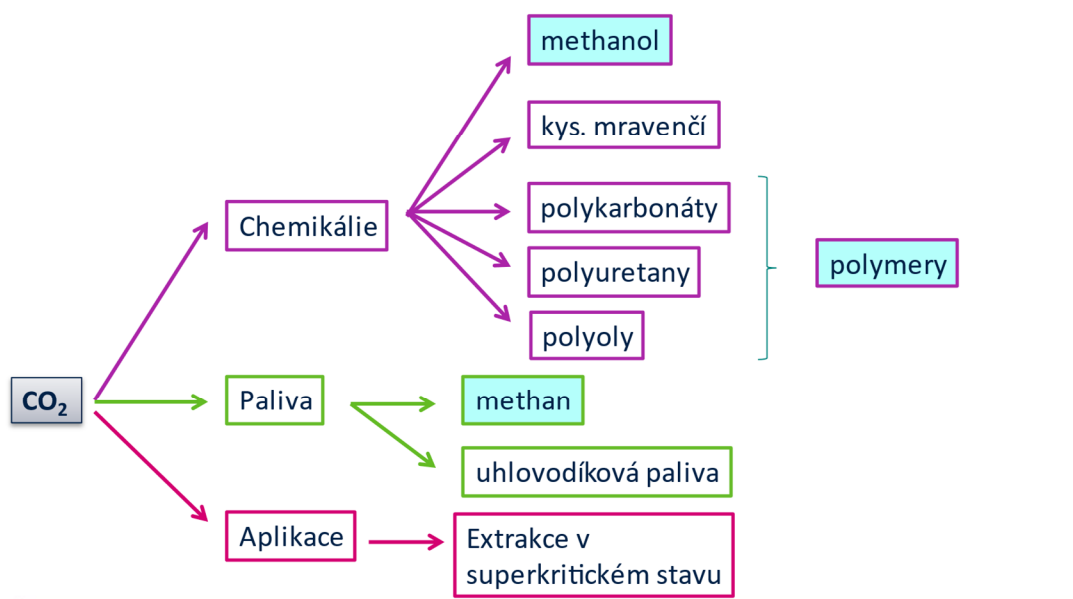


vytvoření požadovaného vodíku. Celková spotřeba elektrické energie je 126 GJ/t nafty. Při použití biomasy (např. dřeva) k výrobě nafty pomocí Fischer-Tropschovy syntézy není potřeba elektřiny pro elektrolýzu. Musí se jednat biomasu, která musí pocházet z udržitelných zdrojů pro snížení CO<sub>2</sub>. Vzhledem k vysokému obsahu vody v biomase a velkému množství heteroatomů v uhlíkové struktuře je potřeba 5,7 t dřeva na tunu nafty.

Potřebná investice na instalaci kapacity elektrolýzy je zpočátku 5 870 EUR/pa naftu a do roku 2050 se sníží v důsledku snížení nákladů na technologii elektrolýzy na 1 470 EUR/pa naftu. Předpokládá se, že náklady na instalaci Fischer-Tropschovy syntézy budou konstantní ve výši 300 EUR/rok nafty a na zplyňování pevných látek (biomasa, plasty) ve výši 300 EUR/rok nafty.

- technická možnost využití CO<sub>2</sub> jako uhlíkové suroviny pro náhradu fosilních surovin 3)  
 Jednoduchá molekula oxidu uhličitého může sloužit jako základ pro výrobu umělých hmot, chemických produktů a poloproduktů použitelných v dalších syntézách i pohonných hmot. Hlavní problém přitom představují náročné podmínky prováděných reakcí probíhajících za vysokých teplot, tlaků a s drahými katalyzátory. Jedná se zejména o tyto výrobky: čpavek, močovina metan, metanol, zelený etylen, plasty, akryláty, aromatické sloučeniny. Schéma možností využití CO<sub>2</sub> pro výrobu chemikálií ukazuje obr. č. 8.

## Možnosti využití na chemikálie



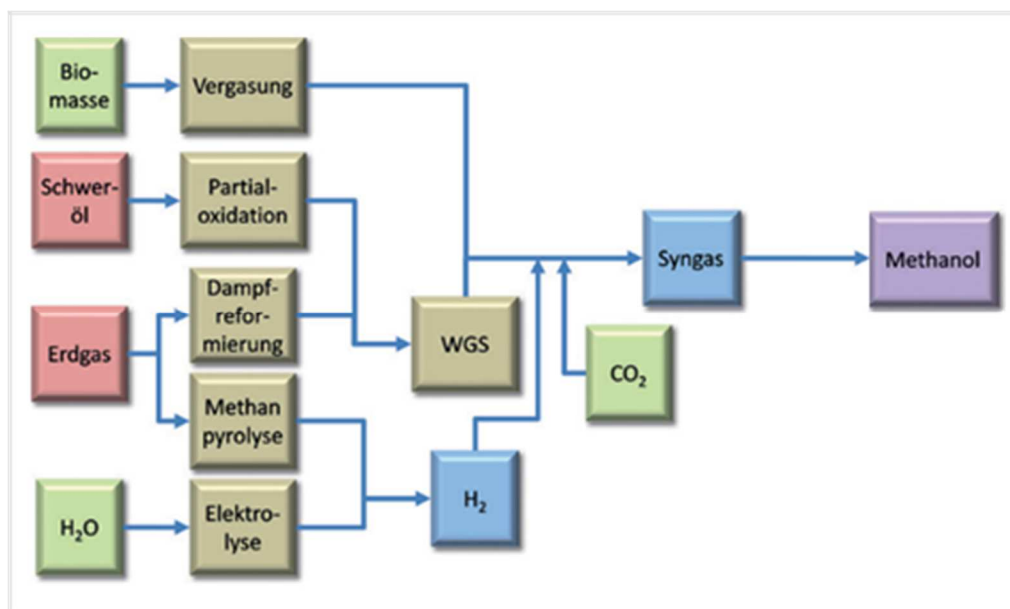
***Další možnosti využití CO<sub>2</sub> jako chemické suroviny***

**Výroba metanolu**

Z celosvětového hlediska je metanol jedním z nejobemnějších petrochemických produktů, který se zpracovává v petrochemických závodech až do 10 000 tun/den. V Evropě se methanol vyrábí téměř výhradně ze zemního plynu, ale v Německu je pouze 40 procent produkce ze zemního plynu a 60 procent se vyrábí v metanolárně Leuna z těžké ropy, což je rafinérský zbytek z kolony Visbreaker.

U obou surovin proces začíná generováním syntézního plynu parním reformováním nebo částečnou oxidací v případě těžkého oleje a následným přísunem vodního plynu, přičemž poměr vodíku k CO se upraví na 2: 1. Syntézní plyn také obsahuje několik procent CO<sub>2</sub>. Katalytická reakce probíhá v metanolovém reaktoru. Reakce je exotermická, to znamená, že vzniká pára, která se mimo jiné používá ke zpracování produktu. Surový metanol obsahuje vodu a malá množství vedlejších produktů a čistí se destilací.

Různé cesty mohou být považovány za alternativní výrobní procesy, které jsou znázorněny společně s konvenčními procesy na obrázku č. 9. WGS je reakce posunu vodního plynu.



Zavedené metanolové katalyzátory jsou také vhodné pro přeměnu syntézních plynů bohatých na CO<sub>2</sub>, na směsi čistého CO<sub>2</sub> a vodíku. Syntézou metanolu z CO<sub>2</sub> a vodíku z obnovitelných zdrojů energie se zabývají různé pilotní a demonstrační projekty. Společnost Carbon Recycling International na Islandu vyrábí od roku 2012 methanol v demonstračním závodě s kapacitou 5 kt/rok. Pokud je vodík poskytován elektrolýzou vody, elektrolýzér nahrazuje reformátor. Protože se nepoužívá žádná jiná surovina obsahující uhlík, požadované množství dodávaného CO<sub>2</sub> stechiometrické 1,37 t CO<sub>2</sub>/t methanolu.

Využití CO<sub>2</sub> z biomasy nebo průmyslových zdrojů se počítá jako kredit (negativní emise), protože se zamezí používání nového fosilního uhlíku. Výroba páry cca. 2 GJ/t methanolu.

#### 1.1.1

Celková energetická náročnost procesu je 11 MWh/t metanolu neboli 39,6 GJ/t a dominuje mu elektrolýza vody, která tvoří více než 85 procent energetické potřeby. Výrobní náklady by se měly snížit z 1 045 euro/t v roce 2020 na 662 euro/t metanolu v roce 2050. Nákladová parita s konvenčními procesy bude dosažena v roce 2044. **2)** Zbývající emise souvisí s elektřinou v závislosti na elektrickém mixu. Konkrétní investiční náklady jsou zpočátku 1700

€/t, z nichž cca 80 procent lze přidělit elektrolýze. Investiční náklady jsou v současnosti čtyřnásobně vyšší proti konvenčním systémům. K čistým úsporám CO<sub>2</sub> dojde od roku 2033. Dosažení TRL 9. Parita nákladů versus nové nebo odpisovaný majetek bude dosažen až po roce 2040.

### ***Metanol po pyrolýze metanu***

Pokud je vodík získáván z pyrolýzy metanu nahrazuje reformátor při konvenční syntéze metanolu. I zde může být požadovaný uhlík poskytnut jako CO<sub>2</sub> a měl by být přiváděn externě z průmyslových zdrojů. Alternativně by bylo myslitelné poskytování tepla pro pyrolýzu metanu částečným spalováním zemního plynu, ale to je kontraproduktivní z hlediska požadované neutrality skleníkových plynů a vyhýbání se fosilním surovinám. Jinak platí stejné okrajové podmínky jako pro proces založený na elektrolýze.

Celková energetická potřeba procesního řetězce pyrolýzy metanu a syntézy metanolu je 51,4 GJ, z čehož 37,6 GJ lze připsat energetickému obsahu suroviny (metanu). Surovinové složky emisí CO<sub>2</sub> jsou výsledkem ztrát metanu při jeho pyrolýze. Ztráta metanu snižuje kredit CO<sub>2</sub> začleněním recyklovaného CO<sub>2</sub> do metanolu (1,37 t/t metanolu) o 0,049 t CO<sub>2</sub>/t metanolu. To také zůstává jako specifické zbytkové emise, Pokud emise související s elektřinou klesnou v roce 2050 na nulu budou emise z tohoto procesního řetězce již nižší než emise z konvenčního procesu. Jako vedlejší produkt vzniká cca 0,62 t uhlíku na t metanolu. Specifické investiční náklady jsou o 65 procent vyšší než u konvenčních nových zařízení, výrobní náklady jsou 1,3krát vyšší než u konvenčního procesu, zejména kvůli vysoké poptávce po zemním plynu pro pyrolýzu metanu. V roce 2043 by bylo možno dosáhnout nákladové parity. TRL 9.

### **Metanol z biomasy**

Výroba metanolu z biomasy probíhá prostřednictvím výroby syntézního plynu zplyňováním biomasy. Následuje konvenční syntéza metanolu. Z důvodů udržitelnosti lze jako biomasu využít organický odpad a zemědělské a lesní zbytky. Výtěžnost metanolu je asi 1,5 až 2krát vyšší u surovin na bázi lignocelulózy, jako je dřevo, než u surovin obsahujících cukr nebo škrob. Biomasa použitá jako surovina musí být nejprve předupravena, tzn. drcena, sušená na maximální obsah vody 15 procent a zbavena cizích látek. Pro zplyňování lze použít zplyňovače s pevným ložem, zplyňovače s fluidním ložem nebo zplyňovače s unášeným proudem, které lze provozovat jak alotermicky (externím přívodem tepla), tak autotermicky (částečným spalováním použité suroviny). Omezený přísun kyslíku podporuje tvorbu syntézního plynu a snižuje obsah CO<sub>2</sub> a vody. Po zplyňování musí obvykle následovat čištění plynu, zejména se musí oddělit dehet, prach a anorganické zbytky. Z vytvořeného syntézního plynu pak probíhá konvenční syntéza metanolu. Technologie je v zásadě dostupná. První poloprovozní zařízení pro zplyňování biomasy s unášeným tokem v Evropě bylo provozováno ve Freibergu na místě bývalého plynového kombinátu Schwarze Pumpe. Závod označený jako komerční postavila společnost ThyssenKrupp Industrial Solutions (tehdy Uhde) v roce 2012 ve Värmlands Metanol AB ve Švédsku a má kapacitu 300 tun za den.

V závislosti na biomase je účinnost zplyňování biomasy 50-60 procent, u dřevní biomasy je to 60 procent. Z toho vyplývá potřeba biomasy 2,56 t/t metanolu, u škrobových surovin jako je cukrová řepa s obsahem vody >75 procent se požadavek zvyšuje na více než 8 t/t metanolu. Proces již má nižší emise než fosilní proces, a to kvůli relativně vysoké potřebě biomasy. Výroba metanolu z biomasy ale není příliš efektivní z hlediska zdrojů. Ze stejného důvodu tvoří podíl surovin na výrobních nákladech 30 procent. Předpokládané náklady na suchou biomasu ve výši 160 EUR/t se od roku 2040 sníží díky rostoucími nákladům na emise CO<sub>2</sub>.

- VaV se zabývá i dalšími možnostmi využití CO<sub>2</sub> jako chemické suroviny:
  - Přeměna oxidu uhličitýho na palivo pomocí sluneční energie

K přeměně na oxid uhelnatý jsou zapotřebí dva elektrony. Fotony s modrým světlem vytvářejí dlouho žijící elektrony s vysokou energetickou hladinou, a tak organický materiál zvaný COF lze nabít elektrony a reakci dokončit. Porézní organický materiál COF (kovalentní organický rámec) je známý tím, že velmi účinně absorbuje sluneční světlo. Přidáním katalytického komplexu do COF se podařilo přeměnit oxid uhličitý na oxid uhelnatý bez jakékoli další energie. Tento průlomový objev by mohl být důležitým dílem skládačky při snižování množství skleníkových plynů v atmosféře v budoucnosti.

#### ***Palivo pro letadla 4)***

Nový katalyzátor na bázi železa, manganu a draslíku přeměňuje oxid uhličitý na palivo pro letadla

Objev vědců z Oxfordské univerzity lze zjednodušeně označit jako „obrácení procesu spalování“. Oxid uhličitý je v katalyzátoru na bázi železa chemickou reakcí transformován na palivo. Proces byl zatím otestován jen v laboratorních podmínkách a v malém měřítku. Směs kyseliny citronové, vodíku a katalyzátoru vyrobeného ze železa, manganu a draslíku se zahřeje na teplotu 350 ° Celsia. Když se do směsi přidá oxid uhličitý, vznikne jako produkt kapalné palivo, které lze využít k pohonu proudového motoru. Odborníci jsou však přesvědčeni o tom, že bude fungovat i v reálných podmínkách a stane se zásadním obratem v budoucnosti komerčního létání.

Výslednou palivovou továrnu tvoří 169 zrcadlových panelů, takzvaných heliostatů, které se otáčejí samy ke slunci a záření odráží a koncentrují do solárního reaktoru na špičce samotné věže. Utváří tak energetický tok v objemu až 3000 kW na metr čtvereční při cílové teplotě 1450 stupňů Celsia, který směřuje do otvoru o průměru 16 centimetrů.

Samotný reaktor má výkon 50 kW a klíčové je, že jeho vnitřní plášť je pokrytý vysoce porézní houbovitou keramickou vrstvou oxidu ceričitého. Ta pak jako katalyzátor spouští důležité oxidačně-redukční reakce vody a CO<sub>2</sub>, které jsou do reaktoru rovněž vstřikovány, a termochemicky je rozkládá na syntézní plyn neboli směs vodíku a oxidu uhelnatého. Ta následně putuje do kondenzační jednotky a v dalších procesech se z ní při vysoké teplotě

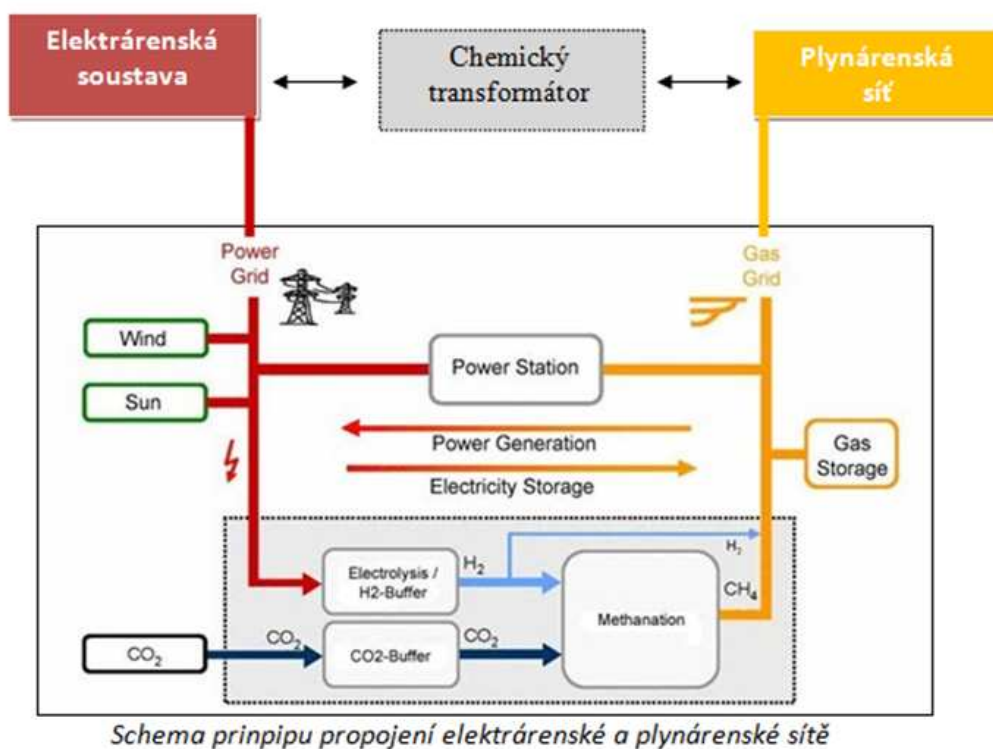
a tlaku vyrábí petrolej a nafta. A vše přitom stále pohání solární energie. Následující obrázek č.10 znázorňuje multifunkční solární věže a výrobu leteckého paliva a dieselu ze slunce, vody a CO<sub>2</sub>.

Další novinkou je průlomový fotosyntetický solární článek vyrábějící palivo z oxidu uhličitého a slunečního záření. 5)

Vědci z Illinoiské univerzity v Chicagu se zaměřili se na dichalkogenidy přechodných kovů (TMDC), které spojili s nekonvenční iontovou kapalinou jako elektrolytem a vytvořili tím pozoruhodný elektrochemický článek. Vyzkoušeli několik katalyzátorů a jako nejlepší se ukázaly nanovločky diselenidu wolframu. Je to vážně skvělý katalyzátor redukce oxidu uhličitého. Funguje asi tak tisíckrát rychleji než katalyzátory z drahých kovů, a zároveň je dvacetkrát levnější. Solární farma vybavená fotosyntetickými články by podle tiskové zprávy Illinoiské univerzity mohla vypumpovat nemalé množství oxidu uhličitého z atmosféry a vyrobit z něj palivo.

### **Využití CO<sub>2</sub> pro akumulaci energie z obnovitelných zdrojů**

Technickou podstatou tohoto řešení je redukce oxidu uhličitého na methan Sabatierovou reakcí. Vodík se vyrobí elektrolýzou vody, při níž se uplatní přebytečná elektrická energie z větrných, příp. fotovoltaických elektráren. Metan lze následně využít různými způsoby – např. k výrobě elektřiny a tepla cestou kogenerace, jako pohonná hmota v automobilní dopravě, a hlavně se počítá s jeho dodávkami do plynárenské sítě. Možné propojení elektrárenské a plynárenské sítě s využitím chemické transformace CO<sub>2</sub> a vodíku ukazuje obr. č.10



Zdrojem oxidu uhličitého pro uskutečnění metanizačního kroku této technologie by kromě fosilních zdrojů mohly být např. i různé průmyslové kvasné procesy. Zvláště zajímavé by mohlo být uplatnění technologie „Power-to-Gas“ u velkých bioplynových stanic.

Lze odhadnout, že z celkového množství emisí oxidu uhličitého produkovaných člověkem bude možno zpracovat na chemické výrobky maximálně jedno procento, v případě výroby pohonných hmot by se tato produkce mohla výhledově přiblížit až k deseti procentům. Z pohledu chemického průmyslu se jedná o značná množství, takže se zde otevírá významný prostor pro výzkum. Zásadní význam mají zejména výzkumné aktivity v oblasti katalýzy, kde se nabízí i možnost mezinárodní spolupráce. S ohledem na uvedené trendy by bylo vhodné, aby i v ČR byla věnována větší pozornost podpoře výzkumu a vývoje v dané oblasti při respektování očekávaných budoucích změn v surovinové základně.

Náměty pro výzkum v ČR:

CM SUSCHEM CZ 6) doporučila pro tuzemský výzkum intenzivněji se věnovat těmto tématům:

- Vývoj separačních technologií na zdrojích CO<sub>2</sub>,
- výroba zeleného metanu metanizací CO<sub>2</sub>
- výroba etanolu s využitím CO<sub>2</sub> (homologací metanolu)

Dále doporučujeme následující výzkumná témata:

- Výzkum metanolové katalýzy
- Rozvoj technologie „Power-to-Gas“ u velkých bioplynových stanic
- Vývoj fotosyntetických solárních článků k přímé přeměně CO<sub>2</sub> na paliva

- Další náměty související s transformací rafinérsko – petrochemického komplexu viz kap.5.3.

Prof. Pašek na letošní ICCT konferenci v Mikulově uvedl, že považuje využití CO<sub>2</sub> jako chemické suroviny za užitečné především pro výrobu močoviny. Podrobněji je tato pasáž včetně výroby zeleného čpavku komentována v kapitole 5.3. Vedle výzkumu v rámci ČR budou posuzovány možnosti využití potenciálu komerčně nabízených technologií. Problematiku vývoje v oblasti využití CO<sub>2</sub> odborně sleduje Co<sub>2</sub> Czech Solution Group.

*Zdroje:*

- 1) *Stafa M., Ciahotný K., E Krtková E.: Perspektivy aplikace karbonátové smyčky v průmyslu a energetice České republiky, PALIVA 8 (2016), 1, S.: 7–15*
- 2) *Německá CM: Roadmap Chemie 2050, Eine Studie von DECHEMA und FutureCamp für den VCI.2019*
- 3) *Gál L.: Problematika CO<sub>2</sub>, Konference Cirkulární ekonomika a recyklace plastů, Kralupy 9. 12.2021*
- 4) *Marek J.: Vědci umí vyrobit letecké palivo a naftu ze slunce, CO<sub>2</sub> a vody, <https://www.seznamzpravy.cz/clanek/tech-technolog.3.8.2022>*
- 5) *<https://www.osel.cz/8950-prulomovy-solarni-clanek.2.8.2016>*
- 6) *CM SUSCHEM CZ 2020*

## 5.2.Strategie udržitelnosti chemických látek

Hlavní cíle Strategie udržitelnosti chemických látek:

- Eliminace nebo snížení používání potenciálně nebezpečných chemických látek ve finálních produktech a jejich náhrada s cílem potlačení používání potenciálně nebezpečných chemických látek (SVHC) a jejich náhrada pro dosažení netoxického prostředí.
- Ve Strategii jsou uvedeny požadavky na nové nízkouhlíkové výrobní postupy a technologie v chemickém průmyslu s malým dopadem na životní prostředí, které umožní jeho přechod k neutralitě z hlediska klimatu a plnění cíle nulového znečištění.
- Rozvoj inovativních technologií k řešení starých látek v odpadových tocích.

Strategie navrhuje mnoho opatření a časový harmonogram transformace průmyslu s cílem přilákat investice do bezpečných a udržitelných výrobků a výrobních metod z hlediska klimatu a plnění cíle nulového znečištění. Musí být upřednostněna energetická účinnost a rozhodující úlohu z hlediska udržitelnosti zdrojů by mohla hrát paliva, jako obnovitelný vodík a udržitelně vyráběný biometan. Digitální technologie mohou rovněž hrát významnou úlohu v procesech ekologizace výroby

Strategie uvádí taky požadavky na nové chemické látky a materiály, které musí být ze své podstaty bezpečné a udržitelné po celou dobu svého životního cyklu. Tyto látky a materiály budou využity např. v energetice, stavebnictví, mobilitě, zdravotnictví, zemědělství, elektronice, farmacii a v dalších odvětvích-. Může být obtížné znát dlouhodobé karcinogenní, reprotoxické, alergenní nebo neurotoxické účinky substituce. Uvažuje se také o ceně a praktičnosti náhrady, protože úspěšná náhrada může vyžadovat technické a organizační

změny. Výsledek náhrady nemusí být zcela neškodný materiál nebo postup, měl by však snížit rizika. Nahrazování nebezpečných chemikálií se řídí zásadami zelené chemie a vede k čisté technologii.

Proces aktualizace legislativy je náročný a podle Kulhánkové z MPO ČR nelze předpokládat, že bude v této fázi ukončen do začátku roku 2023. 1) To však zvyšuje riziko pro vývojáře a investory.

Součástí strategie bez toxických látek je prosazování bezpečných a čistých recyklačních řešení, vč. chemické recyklace, technologií nakládání s odpady a dekontaminačních řešení. Očekává se návrh nových tříd nebezpečnosti látek s cílem řešit toxicitu pro životní prostředí, perzistenci, mobilitu a bioakumulaci, zařazení endokrinních disruptorů, perzistentních, mobilních a vysoce toxických a vysoce perzistentních a vysoce mobilních látek jako kategorii SVHC látek.

Probíhající revize REACH a CLP zásadně ovlivní nejenom chemická průmysl, ale i řadu navazujících oborů. Tyto revize zásadně ovlivní:

- mohlo by být regulováno až 12 000 látek (až 43 % celkového obratu chemického průmyslu EU)
- polymerní přípravky a sloučeniny, výrobky z papíru a lepenky, inkousty a tonery, které mohou být použity pro materiály určené pro styk s potravinami
- barvy a nátěry
- prací a čisticí prostředky
- lepidla a tmely
- kosmetika a výrobky osobní péče
- maziva a plastická maziva
- biocidní přípravky a přípravky na ochranu rostlin **2)**

V kontextu rámce SSbD pro chemikálie a materiály může být termín „by-design“ interpretováno na 2 úrovních:

- Molekulární design: jedná se o návrh nových chemikálií nebo materiálů s molekulárním modelováním, založené na popisu atomistické úrovně molekulárního systému. Tento typ designu efektivně dodává nové chemikálie nebo materiály, u kterých jsou vlastnosti vyladěny tak, aby byly bezpečné a udržitelné.
- Návrh procesu: jedná se o návrh nových nebo vylepšených procesů výroby chemikálií a materiálů. Pokud vyrobená chemikálie (látka nebo směs) neobsahuje méně nebezpečných látek návrh procesu nemění vnitřní vlastnosti (např. nebezpečné vlastnosti) chemikálie nebo materiálu. Může však učinit výrobu látky udržitelnější (např. efektivnější z hlediska spotřeby energie nebo zdrojů, méně závislý na potřebě jiných nebezpečných látek v průběhu přípravy).

Rámec SSbD bude pokrývat obě fáze. Dalo by se použít k určení, kterým směrem molekulární design by měl jít, ale má být také užitečný pro inženýry a vědce ke zlepšování nebo vývoji nových výrobních postupů pro chemikálie a materiály. Rámec SSbD bude také užitečný pro produktové designéry, když potřebují vybrat různé chemikálie a materiály splňující funkční požadavky produktu, který vyvíjejí. 2)



## Nahrazení nebezpečných chemických látek

Substituce může být na různých úrovních, jako je použití méně nebezpečné chemikálie ve stejném procesu, např. pro stavební barvy: od organických rozpouštědel po barvy na vodní bázi. V polygrafickém průmyslu pro čištění ofsetových tiskových strojů od organických rozpouštědel po výrobky na bázi esterů rostlinných olejů. Nový design procesu, např. při odmašťování kovů: od odmašťování par trichlorethylenem až po vysokotlaké čištění horkým alkalickým roztokem v uzavřeném systému, Při pájení natvrdo: od tavidel obsahujících sloučeniny boru a fluoru po použití pece s redukční atmosférou, nový proces, např. odstranění starého nátěru: ze směsi dichlormethanu a methanolu k otryskání ocelovým pískem v uzavřeném systému. Od lepení lepidly až po nový design předmětů, které je mechanicky spojují, vzájemně, vyhnout se použití procesu, např. vyhýbání se galvanickému pokovování niklem používaným pouze z kosmetických důvodů. Dřevěný nábytek: od laku s organickými rozpouštědly až po žádnou povrchovou úpravu, který se používá zejména pro kvalitní nábytek. Vyhnout se výrobě produktů zahrnujících nebezpečné procesy.

Některé látky ještě nelze technicky nahradit – nebo neexistují žádné alternativy, které by byly celkově méně nebezpečné. V případě činností, jako je recyklace, údržba a servis nebo zpracování výrobků, z nichž jsou nebezpečné látky uvolňovány, mají společnosti zpočátku malý vliv na náhradu. Podle analýzy CEFIC 3) změny nařízení CLP a rozšíření GRA navržené v rámci CSS s největší pravděpodobností ovlivní 28 % celkového průmyslového portfolia. Přibližně jedna třetina z těchto 28 % může být potenciálně nahrazena nebo přeformulována, ačkoli panuje nejistota. Obchodní očekávání jsou ovlivněna nejen tím, co by mohlo být technicky a ekonomicky proveditelné, ale také tím, jak mohou jejich zákazníci reagovat na náhražky nebo přeformulované produkty. Změny CLP a GRA by při zohlednění potenciálních obchodních reakcí mohly vést ke snížení produktového portfolia a podnikání (z hlediska obrátu) přibližně o 12 % nebo ekvivalentu 70 miliard EUR z trhu v roce 2019.

Dopad na následné uživatele vyžaduje další průzkum. Analýza ukázala, že 74 % výrobků, na něž má mít dopad přidání nebezpečí do CLP a rozšíření GRA, jsou profesionální nebo spotřebitelské výrobky. Rovněž se odhaduje, že provozní, kapitálové a výzkumné a provozní žvýdaje porostou. Například „poměr CAPEX k obrátu“ se v období 2023–2040 pravděpodobně zvýší oproti základní linii v průměru o 2–5 %, což je způsobeno především dodatečnými investičními požadavky na substituci nebo přeformulování. Podobně se odhaduje, že „poměr OPEX k obrátu“ se za stejné období zvýší oproti základní linii v průměru o 1,5 % až 3 % v důsledku zvýšených regulačních požadavků a případně vyšších provozních výdajů.

I když substituce není možná, lidé a životní prostředí musí být chráněni. Pokud jde o ochranu spotřebitelů a životního prostředí, hlavní důraz je kladen na nahrazení prostřednictvím zákazů nebo omezení. EU zavede nové mezní hodnoty pro některé škodlivé chemické látky. Konkrétně se jedná o takzvané perzistentní organické látky (POP), které vykazují škodlivé účinky na člověka a zvířata, mají obzvláště dlouhou životnost, hromadí se v organismech, a tím i v potravním řetězci. Podle Evropské komise se perzistentní organické látky v nových výrobcích již nepoužívají. Stále je však lze nalézt v odpadech z některých výrobků, jako jsou textilie, nábytek, plasty či elektronická zařízení.

Nové limity budou stanoveny například pro koncentraci kyseliny perfluoroktanové (PFOA), jejíž soli a příbuzné sloučeniny se nacházejí například ve voděodolných textiliích či hasicí pěně

Pokud jde o bezpečnost a ochranu zdraví při práci, mají však zvláštní význam další doporučení týkající se "osvědčených postupů".

V platnost vstupují pravidla pro vyloučení některých velmi nebezpečných chemikálií z elektrických a elektronických zařízení, která každodenně používáme v domácnostech. V nových spotřebičích bude zakázáno užívat olovo, rtuť a kadmium, žárovky a svítidla určené pro domácnosti už nesmí obsahovat rtuť, kadmium, šestimocný chrom, polybromované bifenyly (PBB) a polybromované difenyletery (PBDE). Náhrada nebezpečných chemikálií v elektronice může být dobrým příkladem i pro právě projednávanou reformu chemické politiky EU (REACH).

Největší spor se vedl o regulaci bromovaných zpomalovačů hoření. Od 1. července 2006 musí elektrická a elektronická zařízení obsahovat méně než 0,1% polybromovaných difenyletherů (PBDE) na základě evropské směrnice schválené v roce 2003. V říjnu 2005 však Evropská komise podlehla lobbyistům výrobců bromovaných chemikálií a poskytla pro (decaBDE - decabromo difenylether) výjimky.

V Cestovní mapě CEFIC 4) je uvedeno:

„V roce 2018 nebezpečné chemikálie stále představovaly 74 % celkové chemické výroby v Evropě“. Stále více látek je klasifikováno jako nebezpečné podle nařízení CLP a tyto objemy pokrývají velká množství základních chemikálií, které jsou ze své podstaty nebezpečné, ale neuvolňují se. Jako takové je toto číslo používané izolovaně k ilustraci toho, že „chemické znečištění přímo škodí“, zavádějící“-

Látkami odpovědnými za tvorbu pěny jsou povrchově aktivní látky, pocházející především z fosilních surovin (petrochemie), v některých případech živočišných tuků nebo rostlinných olejů. Použití dalšího produktu a vody k vytvoření většího množství pěny vede ke zvýšenému využívání zdrojů, a pokud látky nejsou biologicky odbouratelné, hromadí se v životním prostředí.

Evonik, německá společnost zabývající se speciálními chemikáliemi se sídlem v Essenu, vyrobila nový druh povrchově aktivních látek na bázi rhamnolipidů. Mají stejnou účinnost (pokud jde o čištění) jako ostatní povrchově aktivní látky, ale jsou šetrnější k pokožce, protože jejich pH je nižší než u mýdla a jsou 100 % biologicky odbouratelné. Proto nepředstavují takový problém při čištění odpadních vod a jsou pro vodní organismy snesitelnější. Inovace spočívá ve skutečnosti, že rhamnolipidy jsou přirozeně produkovány bakterií živenou cukrem, který je hojný a neovlivňuje citlivé ekosystémy. Druh mikroorganismu zahrnutý v této aplikaci se již používá v jiných uznávaných průmyslových aplikacích a nepředstavuje hrozbu pro lidské zdraví. Rozšiřování dosáhlo průmyslové úrovně v zařízení ve Slovenské Ľupči.

Domácí mýdlo a detergent je největší aplikací povrchově aktivních látek z hlediska objemu. Světová produkce povrchově aktivních látek se pohybuje kolem 15 000 t/rok. Z toho na mýdla připadá více než 8000 t/rok. Partnerství společnosti Evonik se společností Unilever – jedním z největších výrobců mýdel a detergentů na světě – má potenciál nahradit významnou část povrchově aktivních látek na fosilní bázi používaných v mýdlech a detergitech těmi na biologické bázi.

## Nový problém – lithiové sole 5)

Evropská komise (EK) nejspíš klasifikuje lithium jako jedovatou chemikálii. Vycházejí přitom z odborných studií, které potvrzují negativní dopady lithiových solí na lidskou reprodukci. To jí doporučila Evropská agentura pro chemické látky. Těžaři lithia a výrobci baterií ale bijí na poplach. Dle nich to skokově zvýší cenu strategické suroviny. Do diskuze ale prostupuje vážná komplikace. EU totiž sází na tyto lithiové sloučeniny jako na cestu k zelené energetice. Nová klasifikace lithia, které je nezbytné pro výrobu baterií do elektroaut, počítačů, telefonů a další elektroniky, tak ohrožuje průmysl. Její přijetí by značilo zvýšení výrobních nákladů a odliv investorů. Proto v těchto dnech sedm producentů lithia zaslalo EK dopis, v němž varuje před riziky. Klasifikace lithiových solí jako jedu dle nich otevírá dveře k jejich přidání na unijní seznam „ostře sledovaných látek“. Jakmile se ocitne nějaká chemikálie na takovém seznamu, producenti musejí žádat o povolení jejího používání. A kompletně změnit i posuzování zdravotních a bezpečnostních rizik pro pracovníky s takovou látkou.

Průmyslové podniky vsadily na důležitost lithiových sloučenin pro dosažení unijních klimatických cílů. Lithium se využívá nejen pro výrobu baterií, ale i ve sklářském a farmaceutickém průmyslu. Uplatnění nachází i ve stavebnictví. Pokud EK lithium označí za jedovatou chemickou látku, ovlivní to pracovní postupy a s tím jeho cenu. Označení solí lithia jako jedovatých látek dá producentům z mimounijních zemí konkurenční výhodu. A stigmatizuje unijní projekty spojené s lithiem. Je to rovněž v rozporu s ambicí Evropské unie omezit její závislost na dodávkách surovin ze třetích zemí. Je to typická ukázka, jakým rizikům čelí investoři díky zaostávání legislativy za technickým vývojem.

## Recyklovatelnost

Některé materiály používané ve finálních výrobcích nelze snadno přeměnit zpět na jejich základní stavební kameny, které by mohly být použity jako druhotné suroviny nebo meziprodukty. To je obvykle způsobeno vlastní chemickou strukturou materiálu a zpracováním a/nebo přísadami, které byly použity k zajištění jeho konečných vlastností.

Ačkoli je u většiny materiálů recyklace teoreticky z technologického hlediska možná, není praktikována v širokém měřítku kvůli několika překážkám, jako je vysoká energetická náročnost, vysoká pracnost nebo nízká hodnota konečného recyklátu, díky čemuž není recyklace ekonomicky životaschopná. Mezi takové materiály patří textilie, vlákny vyztužené polymery, materiály používané v bateriových aplikacích a většina materiálů používaných ve stavebnictví.

V některých případech je však recyklace materiálů technologicky náročná kvůli inherentním vlastnostem materiálu, které jsou typicky výsledkem jeho počátečního zpracovatelského cyklu anebo přísad používaných při jejich výrobě. Vlastnosti, které představují výzvu pro recyklovatelnost materiálu, jsou často stejné, které mu poskytují jeho jedinečné vlastnosti. Příkladem jsou termosetové pryskyřice s nevratnými chemickými vazbami, které jsou výsledkem procesu vytvrzování a polyuretanové pěny s vlastnostmi zpomalujícími hoření používané v izolaci a v nábytku.

Postupné omezování používání nebezpečných látek není zas tak nová strategie. Zákazy např. používání olova nebo rtuti existovaly ještě před REACH.

REACH a nové předpisy v oblasti biocidních materiálů tento proces významně urychlily. Náročný proces změn podléhá často vlivu lobbistických tlaků ze strany těch firem, které již mají vyvinuty vhodné substituenty, které jsou často dražší. Zažívali jsme to např. u koksochemie, titanové běloby, zhášedel, pesticidů a dalších. Je to součást konkurenčního boje o získání tržní výhody.

Možnostmi uplatnění chemické recyklace se mj. zabývá Issue Team for Chemical Recycling Cefic. Na jeho webových stránkách jsou mj. přehledně znázorněny alternativy materiálové recyklace plastů.6). V ČR pak tuto problematiku řeší ČTP Plasty.

## Nejžhavější výzkumná témata

### Per – a polyfluoroalkylované látky (PFAS)

Vazby mezi uhlíkem a fluorem patří k nejsilnějším chemickým vazbám v organické chemii. PFAS mají široké použití např. materiály pro styk s potravinami (obaly proti promaštění, pečící papír), textil, kosmetika, elektronika, zdravotnické prostředky, hasicí pěny, automobilový průmysl, letectví, obrana.

Odolávají rozkladu a snadno se přenáší na dlouhé vzdálenosti od zdroje svého uvolnění (kontaminace podzemních vod, povrchové vody a půdy) PBT jsou toxické pro reprodukci, některé mohou být karcinogenní, jsou zařazeny do kandidátského seznamu nebezpečných látek (perfluorbutansulfonová kyselina 2,3,3,3 -tetrafluoro-2- (heptafluoropropoxy) propionic acid, její soli a acyl halidy (HFPO-DA). Zákaz Stockholmskou úmluvou např. perfluoroktanová kyselina. Likvidace těchto látek není sice zcela nemožná, ale vyžaduje to extrémně vysoké teploty, a je tudíž drahá. Ve vývoji je metoda používající louh sodný

Cílem je rozrušit fluoro-uhlíkové vazby, které patří mezi nejsilnější v celé organické chemii, ale jsou zároveň podmínkou schopnosti odpuzovat kapaliny, tedy i užitečnosti a využitelnosti těchto látek. Vývojáři se zaměřili na skupinu slabě nabitých atomů kyslíku na konci vazeb, čímž se jim podařilo oddělit koncovou část vazby od zbytku, načež se PFAS začaly rozpadat.

Metoda však funguje jen na 10 druhů široce používaných PFAS, a navíc tyto látky jsou rozšířené nejen ve vodě a půdě, ale i přímo v tělech zvířat a lidí.

Závažnost řešení je podpořena i nedávným zjištěním, že kvůli PFAS a mikroplastů není dešťová voda vhodná k pití.

### Olovo

Látka toxická pro reprodukci: Repro 1 A; H360D s SCL 0,03 % pro formu práškovou použití: výroba baterií, různých částí vozidel, strojů, nábytku, opláštění kabelů, pájení. Již dříve bylo omezeno používání Pb v elektronice. ECHA předložila v lednu 2021 návrh omezení používání olova ve střelivu určeném pro lov a sportovní střelbu a při rybolovu.

## Mikroplasty

Pevné plastové částice složené ze směsí polymerů a funkčních přísad, obvykle menší než 5 mm. V životním prostředí se biologicky nerozkládají (hromadí se ve zvířatech, včetně ryb a plodů moře a v důsledku toho se také konzumují v potravinách.

Uvolňování přispívá k trvalému znečištění našich ekosystémů a potravinových řetězců.

Nezáměrně vznikají i opotřebáváním větších kusů plastů (např pneumatik);

Záměrná výroba – přídavek do výrobků pro zvláštní účely např. hnojiva, přípravky na ochranu rostlin, kosmetické přípravky, detergenty používané v domácnostech a průmyslu, čisticích prostředků, barev a výrobků používaných v ropném a plynárenském průmyslu.

Měkký výplňový materiál sportovních hřišť s umělým trávnikem. Ve spotřebních výrobcích jako abraziva např. jako exfoliační nebo lešticí látky, jako mikročástice v kosmetických přípravcích. Další funkce např. regulace hustoty, vzhledu a stability výrobku, použití jako třpytky nebo součást líčidel. Celkově se odhaduje, že se v EU každý rok použije okolo 145 000 tun mikroplastů.

## Změkčovadla (bez ftalátů) pro materiály pro styk s potravinami

- Povrchově aktivní látky např. zpracování textilií, povrchově aktivní látky používané při zpracování textilií během fáze čištění (praní)
  - Zpomalovače hoření (bez halogenů)
  - Produkty informačních a komunikačních technologií
  - Rtuť
  - Pesticidy
- Problematikou pesticidů se zabýváme v kapitole 5.4. Udržitelné zemědělství

## Sanace proti bioakumulaci

PFA tvoří rodinu velmi důležitých chemikálií díky jejich četným a extrémně užitečným vlastnostem. Nacházejí uplatnění v mnoha odvětvích, což vedlo k jejich širokému přijetí a nevyhnutelnému uvolnění do životního prostředí. Důkazy zdůraznily účinek některých z nich na lidské zdraví, zejména co se týká imunitních reakcí a některých typů rakoviny a onemocnění štítné žlázy.

Puraffinity, společnost z Velké Británie specializující se na design pokročilých materiálů, vyvinula novou platformovou technologii, která umožňuje čištění vodních toků od těchto látek. Jejich surový substrát je upraven tak, aby byl „přátelský k PFAS“, schopný vázat se s molekulami PFAS. Toho se dosáhne přidáním optimalizovaných molekulárních receptorů na povrch, takže cílené molekuly PFAS jsou přitahovány a zachyceny na substrátu. Tato technologie tedy dokáže čistit vodní toky a nabízí rychlé a snadné řešení proti rozptylu PFA do prostředí. Filtrace může být implementována přímo v místech použití vody, například v domácnostech, nebo může být přijata potravinářským, nápojovým a farmaceutickým průmyslem vyrábějícím zboží pro lidskou spotřebu. Navíc schopnost regenerace média pro více použití znamená nižší provozní náklady. Tato technologie by mohla být zajímavá i pro letiště, která mohou být díky použití pěn zpomalujících hoření vystavena environmentálním a zdravotním rizikům. A konečně, průmyslová výroba a ropná a plynárenská zařízení jsou všechna odvětví, která se potýkají s problémy souvisejícími s používáním PFA a kontaminovaných odtokových vod. Přijetí této technologie může umožnit nepřetržitý provoz a podstatně snížit OPEX.

### **Příklady z ČR:**

Spolchemie provádí aplikovaný výzkum zaměřený na náhradu bisfenolů, halogenových retardérů hoření v epoxidových pryskyřicích

Orlen Unipetrol v Polymer institutu Brno vyrábí pod obchodní značkou MAKROFLAM koncentráty retardérů hoření a kompozitní materiály se sníženou hořlavostí na bázi polypropylenu, polyethylenu, ABS, HIPS. Snížená hořlavost je dosažena halogenobsahujícími anebo bezhalogenými retardéry hoření podle norem předepsaných pro konkrétní aplikace se snahou o dosažení nejvyšších hodnot samozhášivosti. Pro aplikace v elektrotechnice jsou k dispozici materiály splňující žhavou smyčku 960°C (ČSN EN 60695-2-12) a klasifikaci V-0 podle UL94 (ČSN EN 60695-11-10). Pro aplikace ve stavebnictví jsou k dispozici kompozitní materiály splňující klasifikaci B (ČSN 73 0862), C (ČSN EN 13501-1) a B1 či B2 (DIN 4102-1).

- **Optimalizace procesů**

Optimalizace procesů a zlepšení jejich efektivity může řešit problémy s využitím zdrojů a emisí. Cílem optimalizace by mělo být snížení využívání zdrojů a také zvýšení cirkulace. Podrobněji se tomu věnujeme v kapitole 5.9.

Jedním z řešení, které by se mohlo vypořádat s vysokou spotřebou energie, je zvýšení rekuperace tepla v průmyslových procesech a jeho přesměrování tam, kde je potřeba (integrace procesů tepla a elektřiny). Vývoj procesů, které fungují v bezvodých médiích, stejně jako snížení a rekuperace škodlivých rozpouštědel a činidel používaných ve výrobních procesech, snižují spotřebu spotřebního materiálu a jsou ekologičtější.

- **Substituce nebezpečných procesů**

Procesy, které jsou ze své podstaty nebezpečné, lze zcela nahradit nebo upravit. Jedním z navrhovaných řešení je použití procesů, které nevyužívají znečišťující látky, například

nahrazení výroby amorfních pevných disperzí na bázi rozpouštědel výrobním procesem bez rozpouštědel nebo ve vodném prostředí.

I když ne všechny procesy lze zcela nahradit, stále je lze upravit tak, aby se snížila rizika. Příkladem je použití technologických prostředků k zachycení škodlivin před jejich uvolněním do životního prostředí, kupř. použití separačních membrán – reverzní osmóza – nebo využití technik imobilizace nanočástic k zachycení škodlivých nanočástic, jako je TiO<sub>2</sub>.

Výzvy pro český chemický výzkum:

- Zahrnout problematiku Strategie udržitelnosti chemikálií do svých programů strategie transformace
- Vývoj pokročilých materiálů jako jsou moderní plasty, biomateriály a biodegradovatelné materiály, moderní katalyzátory, nanomateriály, nanotechnologie, speciální vlákna, technické textilie, kompozitní materiály, vláknové kompozity, viskózní vlákna, materiály pro výrobní technologie a konkrétní využití
- Nové a sofistikované organické sloučeniny pro různé aplikace, např. pro mikroelektroniku.
- Nové farmaceutické meziprodukty a aktivní látky
- Substituce epichlorhydrinu
- Substituce vybraných zlášedel
- Substituce chemikálií pro brzdové kapaliny
- Zapojit se do vývoje alternativních konceptů testování toxicity
- Vývoj nových pokročilých nekovových materiálů pro průmyslové a spotřební užití

Na podporu výměny informací o úspěšných řešení substitucí nebezpečných látek byla vytvořena mezinárodní platforma SUBSPORT (The Substitution Support Portal), kde lze vstoupit i do databáze úspěšných realizovaných náhrad. 7)

Zdroje :

1) Kulhánková P.: *Regulace chemických látek x recyklace plastů, novinky v EGD z pohledu MPO ČR, ICCT konference Mikulov, 2022*

2) *Safe and Sustainable by Design (SSbD) chemicals and materials, CEFIC Stakeholder Workshop 22. March 2022*

3) *Economic Analysis of the Impacts of the Chemicals Strategy for Sustainability, CEFIC prosinec 2021*

4) *Research and Innovation Roadmap 2050, CEFIC 2020*

5) Zimmermann A., Cater L.: *Toxic or magic? Batteries industry freaks out over EU proposal to classify lithium as a Toxin, Politico, Brusel July 14. 2022*

6) <https://cefic.org/a-solution-provider-for-sustainability/chemical-recycling-making-plastics-circular/>

7) SUBSPORT – portál na podporu substituce, <http://www.subsport.eu/case-stories-database>

### 5.3. Modernizace rafinérsko-petrochemického průmyslu

Dlouhodobá strategie rafinérského průmyslu pro nízkouhlíková kapalná paliva z roku 2018 ukazují, že by většinové využití nízkouhlíkových kapalných paliv v dopravě mohlo snížit čisté emise CO<sub>2</sub> až o 87 % v roce 2050 ve srovnání s rokem 2015. Nové a inovativní výrobní technologie pro chemický průmysl, které snižují dopady na životní prostředí, snižují jejich energetickou a materiálovou náročnost. Přestože podíl obnovitelných zdrojů a alternativních paliv roste a poroste ještě rychleji, bude přinejmenším do roku 2030 většinový podíl energie v dopravě pocházet stále z ropy. Důležité však jsou vize, co potom. Vize 2050 ukazuje, že rozvoj udržitelných bezemisních nebo nízkoemisních kapalných paliv je možný a reálný a může průběžně akcentovat technický vývoj pohonů automobilů a plně respektovat i soudobý stav vozového parku, který se nepochybně nezmění ze dne na den.

Podle vize 2050 Evropské unie 1) bude rafinerie budoucnosti, využívající své technologické know-how a flexibilní infrastruktury, stále častěji využívat nové suroviny, jako jsou obnovitelné zdroje, odpad a zachycený CO<sub>2</sub>, ve velmi účinném výrobním centru, integrovaném do klastru průmyslových odvětví, v součinnosti s jinými odvětvími, jako jsou chemický průmysl, dálkové vytápění, udržitelná biopaliva a energetický průmysl. Tyto klastry budou zpracovávat a vyměňovat různé suroviny a polotovary – například obnovitelný vodík, odpadní uhlík, udržitelnou biomasu, odpad, zbytkové teplo, konvenční a syntetickou ropu a obnovitelnou energii. Nízkouhlíková kapalná paliva mohou být jednou z nákladově nejefektivnějších možností snižování CO<sub>2</sub> v dopravě. K výrobě nízkouhlíkových kapalných paliv bude zapotřebí mnoha technologií s potenciálem zajistit nízkoemisní mobilitu po celou dobu životnosti vozidel ve všech dopravních segmentech, jako jsou udržitelná biopaliva, CCS/CCU, obnovitelný vodík a převod energie do kapalin (power – to-liquids). Rozsáhlou integrací rafinerií a petrochemického průmyslu tyto průmyslové synergie zvýší konkurenceschopnost tohoto odvětví.

Největší rafinérsko – petrochemická společnost v ČR Orlen Unipetrol publikovala svou strategii rozvoje na cestě k nulovým emisím. Základní oblasti rozvoje skupiny Orlen Unipetrol do roku 2030: 2)

- Dekarbonizace (postupnou náhradou uhelných tepláren novými paroplynovými jednotkami)
- Snížení energetické náročnosti
- Důraz na obnovitelné zdroje
- Recyklace plastů (15 % produkce má být vyráběno z recyklovaných plastů)
- Pokročilá biopaliva (objem pokročilých biopaliv z rostlinného nebo plastového odpadu dosáhne 0,2 milionů tun ročně)
- Rozvoj udržitelného vodíku (2 distribuční centra, 28 čerpacích stanic)

Do zelených projektů chtějí do roku 2030 investovat 35 miliard Kč. Kromě tradiční výroby vodíku z ropy bude vodík vyrábět také elektrolýzou vody a membránovou elektrolýzou využívanou v chemických procesech za pomoci obnovitelné elektrické energie. Do roku 2050 chtějí být emisně neutrální.

Pro výrobu olefinů ethylenu, propylenu a butadienu, aromatických látek jako benzenu, toluenu a xylenu je k dispozici řada konvenčních i alternativních metod. Některé z nich jsou rozebrány v této SVA.



V CM SUSCHEM CZ 3) je analyzován předpokládaný vývoj v oblasti rafinérského a petrochemického průmyslu. Za hlavní faktory ovlivňujících budoucí vývoj je považováno:

- Dekarbonizace dopravy (přechod na elektromobilitu, vodík pro dopravu) povede ke snížení objemu výroby kapalných pohonných paliv až o 50 % do roku 2050, zároveň se tím uvolní cenné suroviny pro zvýšení výroby plastů
- Změna energetického a surovinového mixu

Postupný odklon od fosilních surovin, růst využívání OZE, recyklace plastů a odpadů, využívání CO<sub>2</sub> jako suroviny pro výrobu chemikálií (CCU). V roce 2030 se předpokládá, že 6 až 7 % světové spotřeby energií bude kryto obnovitelnými zdroji. Technická možnost využití CO<sub>2</sub> jako uhlíkové suroviny pro náhradu fosilních surovin je diskutována v kap. 5.1. d.

Je však třeba přiznat, že zatímco tyto nové technologie přinášejí výrazné snížení emisí, z ekonomického posouzení se obvykle mohou stát nákladově srovnatelné se stávajícími konvenčními procesy až po roce 2040 a to i přes realizaci velmi ambiciózních úvah o snížení ceny fotovoltaických článků, větrných elektráren a elektrolyzérů.

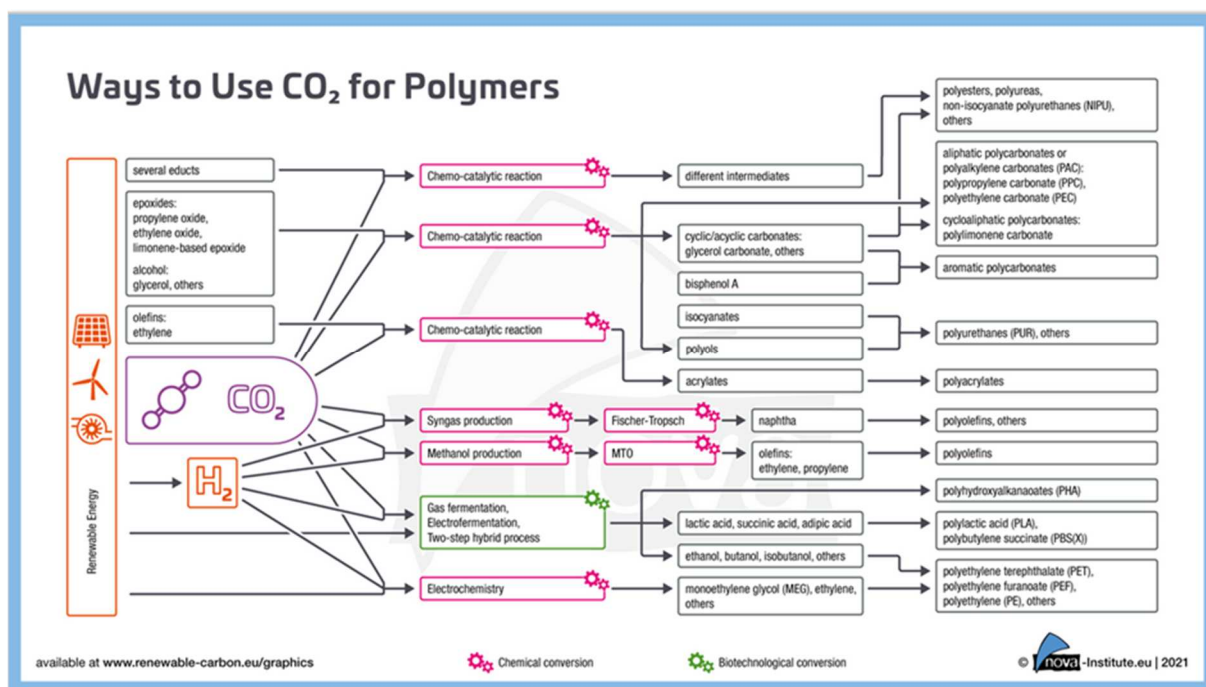
- Rozvoj moderních biopaliv a syntetických paliv
- Růst spotřeby plastů

Podle studie 4) celková výroba plastů v roce 2050 se předpokládá – 1,2 mld. t, z toho  
135 mil. t z biomasy a z CO<sub>2</sub>  
315 mil. t. z fosilních zdrojů  
750 mil.t z mechanických nebo chemických recyklací

Plastové obaly by měly obsahovat 30 % recyklátu do roku 2030; celkem 55 % obalů by mělo být recyklováno. Cíl EU není možno splnit ani za předpokladu zahrnutí chemické recyklace. Plastics Europe očekává nárůst investic do chem. recyklací z 2,6 mld. EUR v roce 2025 na 7,2 mld. EUR v roce 2030 (v roce 2025 1,2 mil.t recyklátu, v roce 2030 3,4 mil.t. recyklátu).

Transformace rafinérsko petrochemického komplexu, předpokládané snížení spotřeby v souvislosti s rozvojem elektromobility a vývoj využití CO<sub>2</sub> pro petrochemii dává naději na zvýšení výroby plastů.

Jako příklad využití CO<sub>2</sub> pro výrobu plastů znázorňuje následující obrázek č. 11



- Optimalizace technologických procesů

Vývoj technologií v rafinerském a petrochemickém průmyslu bude intenzivní především v oblasti využití alternativních surovin a ve zlepšení účinnosti výrobních procesů, snižování spotřeby energií a surovin.

Významnou součástí je vývoj nových katalyzátorů. V oblasti zlepšení účinnosti výrobních procesů je cílem 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), uzavírání recyklace zdrojů na výrobních místech, zvýšení účinnosti zdrojů a energie mezi různými výrobními místy / sektory prostřednictvím průmyslové symbiózy. Také modernizace aparátů např. nový systém ohřevu pyrolýzy, výměna izolace etylenového splitteru, propylenové splitterové vařáky a další.

## Transformace rafinersko-petrochemického sektoru na potenciální nástup neuhlovodíkové mobility – trendy ve výrobě paliv

K ekologizaci oboru v Orlen Unipetrol budou řešeny následující klíčové příspěvky: **2)**

- Zvýšení kapacity etylenové jednotky o 12 % (z 543 kt/r na 613 kt/r)
- Odstraňování úzkých míst a vylepšení výkonu
- Chemická recyklace odpadních plastů
- Integrace pyrolýzních olejů z recyklace odpadních plastů do petrochemických produktů

- Rozvoj výroby a distribuce zeleného vodíku

Obr. č.12: Nové výzvy pro rafinérsko- petrochemický segment



Cílem využití alternativních surovin je částečně omezit závislost výrobních procesů a produktů na ropě a zemním plynu. Mezi alternativní suroviny v tomto kontextu patří například zemědělské suroviny (pěstované nikoli na úkor potravinových zdrojů), druhotné zemědělské suroviny (ligno-celulózní biomasa, jako je dřevní štěpka a sláma z různých zemědělských plodin), biotechnologie (zaměřené zejména na využití bakteriálních efektů, využití řas apod. pro syntézu různých uhlovodíků), výhledově i komunální odpad nebo CO<sub>2</sub> z průmyslových spalin, které by mohly být použity jako alternativní uhlíkové zdroje pro výrobu pohonných hmot.

Rozšíření alternativních pohonů, sdílená mobilita a autonomní vozy budou mít významný vliv na budoucnost sektoru dopravy. Sdílená mobilita by do roku 2050 měla dosáhnout 36 % ujetých kilometrů v osobní dopravě, z čehož naprostá většina bude realizována elektromobily," dodal BNEF. Spotřeba pohonných hmot v sektoru silniční dopravy by měla již v této dekádě dosáhnout svého vrcholu a následně začít klesat. Pokud se však neobjeví nějaká průlomová technologie nebo nebudou zavedeny nové podpory pro "čistá" paliva, poklesne do roku 2050 spotřeba pouze zhruba na polovinu. Spotřeba benzínu má dosáhnout vrcholu v roce 2026 a diesel má následovat o tři roky později. Přestože není v současné době předpokládáno vymizení těchto paliv, spotřeba benzínu by měla do roku 2050 klesnout o dvě třetiny a spotřeba dieselu o třetinu.

Na trhu s ropou se bude zvyšovat podíl rop s větším obsahem těžkých frakcí, síry a dalších nečistot. Současně lze očekávat, že část klasické ropy bude postupně nahrazena syntetickou ropou vyrobenou petrochemicky Fischer-Tropschovou (FT) syntézou, především na bázi zemního plynu (technologie GTL). 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

Z hlediska rozvoje rafinérských technologií jsou za perspektivní považovány především hydrokrakování 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 hydrorafinačních 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 bude místo z katalytického reformování stále více získáván parním reformováním lehkých uhlovodíků (alternativní uplatnění např. pro benzinové uhlovodíky) nebo elektrolýzou.

Pro udržení konkurenceschopnosti budou třeba následující změny:5)

- Postupné zavádění výroby produktů a používaných surovin na bázi biokomponent při společném zpracování s ropou, resp. fosilními surovinami. Toto uspořádání se označuje jako koprocessing. (Pozn.: Tuto situaci lze srovnat se situací let 1945 až 1962, kdy se základní rafinérská výroba čistě na bázi uhlí postupně krok za krokem transformovala na čistě ropu zpracovávající),
- snižování emisí CO<sub>2</sub> spojené s technologiemi pro separaci a záchyt oxidu uhličitého a jeho využití jako doplňkové suroviny do stávajících procesů,
- nové katalyzátory umožňující provozování rafinérských procesů při nižších teplotách, tlacích s vyšší konverzí a selektivitou,
- Intenzifikace procesů produkujících vodík s využitím elektrické energie vyráběné z obnovitelných zdrojů,
- náhrada fosilních paliv při výrobě procesního tepla za OZE.

Zejména je snaha dosáhnout co nejvyššího zhodnocení nízko hodnotných ropných zbytků. Jako příklad lze doložit tuto reorientaci rafinerií na dvou klíčových procesech – fluidním katalytickým krakováním a konverzi zbytků postupem H-oil. Pokud se týká jednotek FCC, budou do budoucna modifikovány tak, aby byly významnými producenty lehkých složek – olefinů a lehkého benzínu. Přímá produkce propylenu z procesu FCC činí dnes již téměř třetinu z celkové výroby (zbytek tvoří převážně pyrolýza a částečně též procesy PDH – dehydrogenace propanu). Jednotky FCC upravují své procesní podmínky a používají „olefin selektivní“ katalyzátory, čím se stávají do budoucna významnými producenty petrochemikálií. V procesech konverze ropných zbytků se do budoucna bude klást důraz na výtěžek lehkých benzinů. Lehký benzin totiž představuje základní petrochemickou surovinu – lehčí část benzínu je velmi výhodnou surovinou pro ethylenové pyrolýzní jednotky, zatímco těžší část benzínu je nejvýhodnější surovinou pro aromatické komplexy. Značný počet plánovaných projektů v oblasti transformace rafinerií na rafinérsko-petrochemické komplexy je založena na technologiích typu H-oil vybavených reaktory s vroucím ložem katalyzátoru. Hlavním cílem těchto postupů je konvertovat těžké nástřiky s vyšším obsahem kovů, síry a dusíku na lehčí destiláty a využít flexibilitu procesu pro požadovaný výtěžek benzínu, popř. plynového oleje

## Biopaliva

Do budoucna je EU stanovena povinnost dodavatelů PHM k přimíchávání pokročilých biopaliv takto:

- 0,2 % v roce 2022
- 1,0 % v roce 2025
- 3,5 % v roce 2030

U biopaliva druhé generace už plodiny nerostou na orné půdě, ale biopalivo je vyráběno z dřevní biomasy nebo zemědělských odpadů. Je sice možné pěstovat plodinu na poli, ale využít se musí její odpad. To znamená odpadní oleje, sláma, bagasa a podobně.

Rafinérie tak budou pravděpodobně některá pokročilá biopaliva vyrábět s využitím svého stávajícího zařízení, neboť půjde obvykle o procesy vysokotlaké probíhající v přítomnosti vodíku. Tyto procesy pak bude často možné provozovat v režimu tzv. koprocesingu, kdy se obnovitelné suroviny zpracují spolu s ropnou surovinou na stávajícím zařízení. Příkladem je pro náš rafinérský sektor použití stávajících hydrogenačních a hydrokrakovacích kapacit pro využití (též použitých kuchyňských) olejů (triglyceridů) jejich hydrodeoxygenací na uhlovodíky s uhlíkovým číslem C12 až C20. Takto lze odpadní suroviny konvertované na hydrogenované oleje (označení HVO), které zlepšují některé parametry základního ropného dieslovského paliva (nízký obsah síry, vyšší cetanové číslo).

Největším českým výrobcem biopaliv z řepky je firma Preol, která spolu s další dceřinou společností Agrofertu, firmou Primagra, dlouhodobě dodává polovinu biosložek pro státního distributora paliv Čepro.

## Syntetická paliva

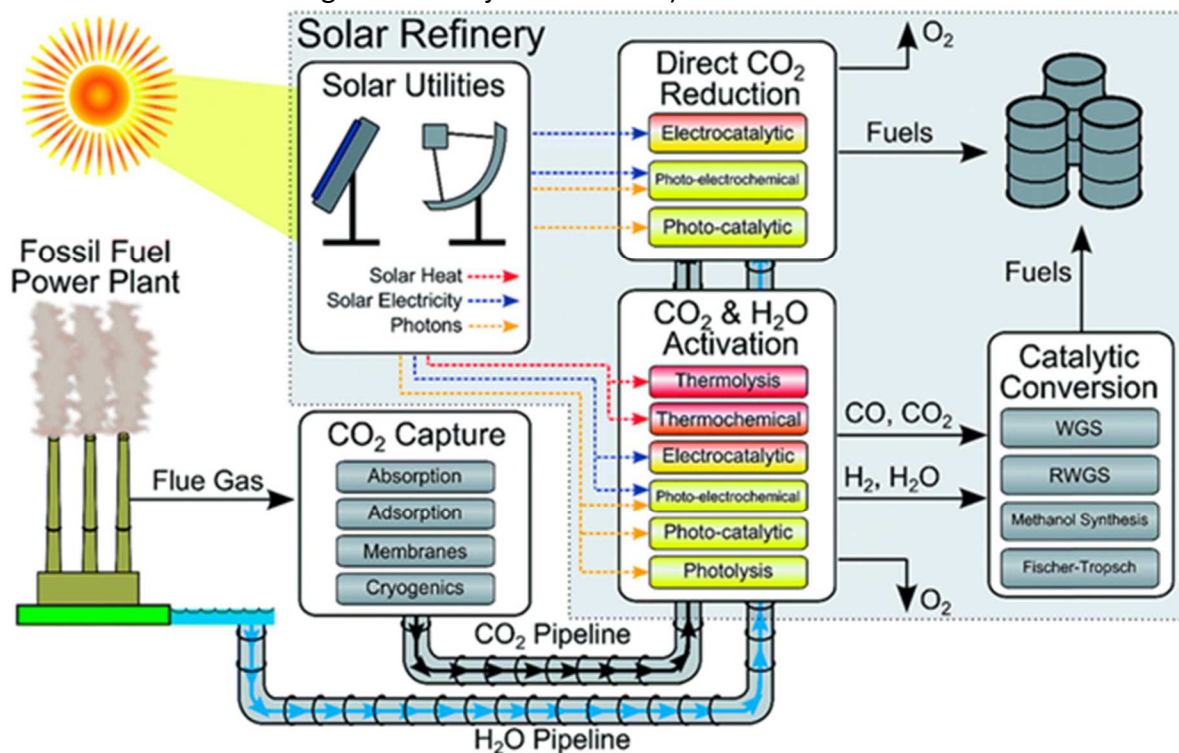
Rozvoj využívání syntetických paliv si vyžádá úpravu klasických spalovacích motorů, také lze využívat současnou čerpací infrastrukturu. Syntetická paliva považujeme za reálnou budoucnost udržitelné mobility. Zatímco běžné palivo vzniká rafinací ropy, syntetická paliva vznikají chemickou reakcí nejčastěji elektrolýzou vody na kyslík a vodík, následně sloučení vodíku s CO<sub>2</sub>. Jejich spalování produkuje výrazně čistší emise (bez síry a aromatických uhlovodíků), využití CO<sub>2</sub> pro výrobu (odpad z průmyslové výroby nebo přímo ze vzduchu) z nich dělá uhlíkově neutrální palivo. Pokud se navíc vyrábějí s využitím energie z obnovitelných zdrojů, je i uhlíková stopa této produkce nižší než u klasických paliv. Syntetická paliva se mohou stát příměsí klasických paliv, nebo se mohou spalovat zcela samostatně.

Vodíková strategie významně ovlivní vývoj rafinérsko-petrochemického sektoru, který je doposud hlavním producentem vodíku. Vodík je vedlejší produkt v rafinérských procesech např. reformování nebo při výrobě ethylenu vysokoteplotní pyrolýzou, účelová výroba vodíku se u nás děje především parciální oxidací (zplyňováním) primárních ropných zbytků nebo zbytkových frakcí ze štěpných procesů (visbreaking). Klasické procesy výroby vodíku jsou však

spojeny s emisemi CO<sub>2</sub>. Nové strategie předpokládají jak výrobu zeleného vodíku (velké fotovoltaické elektrárny a elektrolýza), ale také využití vodíku v procesech CCU (viz kap. 5.1.c).

Bezemisní či nízkoemisní vodík nemusí být vyroben pouze elektrolýzou vody za využití obnovitelných zdrojů energie, ale lze jej vyrobit také například parním reformováním bioplynu nebo jako vedlejší produkt při dalších chemických výrobách. S pokračujícím vývojem technologií se rozšiřují možnosti uplatnění takto vyrobeného vodíku v rafinérsko-petrochemických kombinátech. např. při výrobě plastů či klasických vysoce rafinovaných (odstranění síry, aromátů, alkenů atd.) kapalných paliv.

Schéma této nové strategie znázorňuje obr. č 13. 6)



Konverze oxidu uhličitého se stala hlavním výzkumným tématem jeho smysluplné a efektivní transformace v programech řešení klimatických změn (po SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, v budoucnu se určitě otevře i otázka emisí methanu).

Nedílnou součástí transformace rafinérsko petrochemického odvětví je uplatnění cirkulární ekonomiky zejména jako zdroje nových surovin v náhradě fosilních zdrojů (viz kap.5.7.).

Výroba plastů a potenciální využití produktů jejich recyklace je především věcí rafinérsko-petrochemického sektoru

Termolýza (pyrolýza) odpadních polymerů – jedna z možností, jak realizovat chemickou recyklaci. Za určitých předpokladů z nich lze vyrobit opět produkty často v tzv. virgin kvalitě. Termolytické zpracování odpadních plastů emituje o cca 50 % menší množství CO<sub>2</sub> než jejich spalování. Pro výzkum a vývoj je tato oblast zásadní příležitostí, a to jak na poli mezinárodní spolupráce, tak v rámci výzkumných týmů v ČR.

Petrochemický sektor v ČR je obdobně jako jinde ve světě postaven na základních třech pilířích – olefinech, aromátech a vodíku. Pro výrobu těchto komodit se v ČR spotřebuje cca 2 miliony tun ropy, popř. uhelných dehtů. Olefiny, to je zejména etylen a propylen, se v ročním množství cca 500 kt, resp. 250 kt vyrábějí pyrolýzou lehkých ropných směsí a též procesem FCC (fluidní katalytické krakování) těžkých ropných směsí.

Aromáty – především nejdůležitější benzen – je vyráběn separací z produktů etylenové pyrolýzy ropných frakcí a černouhelného dehtu. Vodík využívaný dnes pro zušlechťení paliv a syntézy (u nás především amoniaku) je, kromě toho že je důležitým rafinérským vedlejším produktem (reformování, pyrolýza), vyráběn cíleně parciální oxidací těžkých/zbytkových ropných surovin. Pro účely prognózy petrochemie, následných organických syntéz a v následné výrobě polymerů lze zdůraznit:

- petrochemické výroby budou nadále založeny na uvedené trojici komodit – olefiny, aromáty, vodík,
- pro tyto výroby (jakož i další organické syntézy) budou postupně využívány obnovitelné suroviny,
- produkce CO<sub>2</sub> bude dále trvat, půjde ovšem o CO<sub>2</sub>, jehož množství bude bilančně shodné s jeho spotřebou pro fotosyntézu. Petrochemie založená na obnovitelných zdrojích, tak bude emisně neutrální,
- obdobně jako chemický průmysl jako celek, bude petrochemická výroba procházet obdobím tzv. koprocessingu, kdy se bude k ropné surovině připojovat využití zemního plynu a biomasy. S časem bude váha obnovitelných surovin stoupat – koncovým stavem může být „petrochemie“ bez fosilních surovin, tedy s nulovou (fosilní) uhlíkovou stopou,
- nefosilní petrochemie bude ovšem spojena s nutností produkovat zelený vodík, a tedy bude podmíněna dostatkem energetických zdrojů s omezenou emisní zátěží,
- výroba základních petrochemických komodit bude propojena s pokroky v technologiích v rámci oběhového hospodářství (cirkulární ekonomiky),
- uhlíkovou surovinou pro organické syntézy bude potenciálně i produkován oxid uhličitý.

Z výše uvedeného sumárního pohledu na budoucnost petrochemie lze učinit předpoklad, že v konečné fázi bude možné vyrábět potřebné komodity pro polymerní syntézy pouze z obnovitelných surovin. Jelikož je produkce komodit základem českého chemického průmyslu, který zabezpečuje konkurenceschopnost strojírenských výrob, stavebnictví i potravinářského sektoru, je jednoznačným imperativem pro tuzemský výzkum a vývoj v rámci mezinárodní spolupráce na procesech zelené petrochemie intenzivně pracovat.

Některé principiální postupy, které vedou od obnovitelných surovin k olefinům, aromátům a vodíku:

## Zelený etylen 5)

K etylenu z obnovitelných surovin vede několik cest, nejnadějnějšími jsou:

- pyrolýza hydrogenovaných rostlinných olejů,
- dehydratace bioetanolu získaného fermentačně ze škrobových nebo cukerných substrátů,
- pyrolýza produktů Fischerovy a Tropschovy syntézy vedené na výše molekulární parafíny,
- katalytická transformace biometanolu.

V první technologii je klíčovou surovinou v tuzemsku pěstovaná řepka olejná. Řepka je po pšenici ozimé druhou nejpěstovanější plodinou, pěstuje se na cca 16 % celkové osevní plochy. Roční sklizeň olejnatého řepkového semene činí u nás průměrně 1,3 mil. tun. Při možném výtěžku 45-48 % oleje lze teoretickou dispozici řepkového oleje v ČR odhadovat na úrovni cca 600 tis. tun. Je možné pracovat s úvahou, že pro petrochemické využití na etylen by bylo možné uvolnit cca 100 tis. tun oleje. S tímto množstvím lze uvažovat pro následnou katalytickou hydrodeoxygenaci vedoucí k výtěžku asi 80 tis. tun lineárních uhlovodíků C14 až C18, při jejichž pyrolýze lze získat cca 40 tis. tun etylenu.

Již dnes se v některých oblastech světa s vysokou nadvýrobou škrobových plodin vyrábí kvasný etanol též pro účely jeho katalytické dehydratace kvasného lihu. Při použití vhodného katalyzátoru může probíhat dehydratace etanolu za nízkých teplot (200-300 °C). Dehydratace etanolu na etylen je endotermická reakce nultého řádu. U reakce je důležitá doba kontaktu. Při velmi nízkých kontaktních časech se etanol přednostně převádí na etylen. Zvyšující se kontaktní doba vede ke vzniku jiných druhů látek, jako jsou CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> a H<sub>2</sub>. Jistou obtíží je tedy dosti komplikovaná separace polymeračně čistého etylenu z primárního produktu katalytické dehydratace. Lze zde ovšem uvážit možnost stávající „ropné“ etylenové jednotky, která je vybavena potřebnou separační a čisticí řadou. Pokud bychom tedy v kombinaci s předchozím postupem použili bioetanol, bylo by možné z typického lihovaru s kapacitou 80 tis. tun lihu/rok získat cca 45 tis. tun etylenu, který by se dále ve stávající etylenové jednotce vhodně spojil s proudem „ropného“ etylenu. Ekonomický efekt takového využití lihu je jednoznačně vyšší, než je jeho použití v motorových palivech.

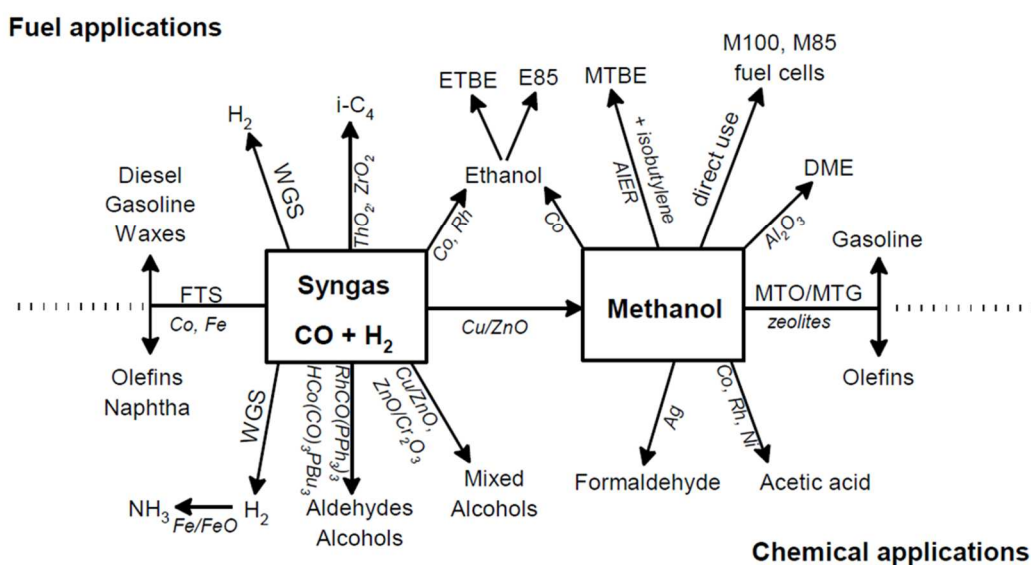
Pro další rozvoj palivářského i petrochemického průmyslu je klíčový proces objevený Fischerem a Tropschem. Tato syntéza (FTS) byla původně navržena jako nepřímé zkapalňování uhlí. Principem je zplyňování především pevných uhlíkových substrátů pomocí kyslíku na syntézní plyn, který je dále na vhodných katalyzátorech transformován na uhlovodíky. Proces je dle volby katalyzátorů (na bázi kobaltu nebo železa), dle podmínek (nízkoteplotní a vysokoteplotní FTS) a reaktorového uspořádání (trubkové reaktory, fluidní, slurry) velmi flexibilní a lze ho nastavit na produkci výševroucích lineárních uhlovodíků, které na již dnes instalovaných etylenových jednotkách poskytují výtěžek etylenu na 40 % (srovnejme s dnes typickou hodnotou cca 30 % z ropných surovin).

Speciální roli v petrochemických, resp. organických syntézách může hrát metanol získaný z obnovitelných zdrojů jako biometanol. K němu vede cesta přes zplyňování odpadní biomasy



(dřevní štěpka, rostlinné zbytky, odpadní oleje, recykláty v rámci cirkulární ekonomiky apod.) na syntézní plyn. Ten se již dnes známými postupy katalyticky transformuje na metanol. Zvláštní role metanolu bude dále růst v souvislosti s možností pro jeho výrobu použít namísto oxidu uhelnatého odpadní oxid uhličitý. Zde jen uvedme, že tato produkce je v řádech desítek milionů tun ročně a pro produkci komoditních olefinů by byla dostatečná. O metanolu je pak možno mluvit jako o univerzální surovině pro výrobu klíčových chemikálií, zeolitovou katalýzou též na olefiny. Nejlépe je to patrné z obrázku č.14.

## Aplikace syntézního plynu



### Výroba aromátů z obnovitelných surovin

Olefiny jsou ústředními meziprodukty v chemickém hodnotovém řetězci. V současné době se vyrábí v etylénových jednotkách vysoce účinným procesem. Je však energeticky náročný a je velkým zdrojem emisí CO<sub>2</sub>, zejména díky velkým objemům výroby. Rozvíjí se výroba uhlíkově negativních olefinů na bázi zemního plynu. Suchým reformováním zemního plynu (CH<sub>4</sub> + CO<sub>2</sub>) vzniká syntézní plyn (CO + H<sub>2</sub>), který se pak jako meziprodukt přeměňuje na olefiny prostřednictvím dimethyletheru (DME). Selektivní aktivace metanu byla dlouho výzvou. Byl vyvinut první průmyslový katalyzátor obsahující dva nové materiály spinového typu na bázi niklu a kobaltu a k jeho komercializaci došlo v roce 2020. Kromě toho byla úspěšně ověřena koncepce katalytického systému pro přímou konverzi syntézního plynu na DME. Komercializace je naplánována na rok 2022. Tyto katalyzátory nové generace jsou uváděny na trh ve spolupráci s Linde AG, Mnichov.

Produkcí aromátů by bylo možné zajistit v našich podmínkách následujícími postupy:

- Separací a transformací aromátů z bio-olejů,
- přímou nebo nepřímou separací aromátů z produktů zpracování odpadních plastů a elastomerů,
- termokatalytickou cyklizací nízkomolekulárních uhlovodíků.

Pro české podmínky je možno především uvažovat s postupy separace aromátů z kapalného produktu pyrolýzy odpadních plastů. Aromatické struktury v polystyrenech, SBR elastomerech, relevantních polyesterech, epoxidech, polyuretanech, polykarbonátech zůstávají během pyrolýzy zachovány a lze je (nikoli zcela jednoduchým způsobem) získávat pro další využití. Kapalně produkty nízkoteplotní pyrolýzy polyolefinů lze naopak po rafinaci použít jako nástřik pro vysokoteplotní (etylenovou) pyrolýzu a získat základní monoaromáty jako významný vedlejší produkt shodně, jak je tomu v případě nástřiků na bázi ropných frakcí.

Obdobně lze aromáty po rafinačních úpravách a extrakci (kapalinové, destilační) získávat z bio-olejů, tedy z produktů pyrolýzy odpadní biomasy. Ta je vždy bohatá na lignin, který, představuje surovinu převážně aromatického charakteru. Výroba benzenu, popř. fenolu je schůdná, nikoli nepodobná postupům, které jsou dnes realizovány při zpracování černouhelných dehtů (např. v a.s. DEZA).

## Využití zeleného vodíku v petrochemii 7) 8)

O problematice zeleného vodíku viz kap. 5.1.c. Přednostně má být používán v dopravě, následně v energetice, pak v hutnictví a teprve po roce 2040 se uvažuje s jeho využitím i v chemickém průmyslu, především pro výrobu syntézních paliv.

Můžeme uvést aspoň dvě technologie, které se uvažují, že budou v rámci transformace začleněny do petrochemické části rafinérsko-petrochemického komplexu.

- Elektrolýza vody (viz strategie Orlen Unipetrol)
- produkce biovodíku parciální oxidací.

U elektrolýzy je nanejvýš nutné chemicky zhodnotit vznikající kyslík (produkovaný ve značném hmotnostním přebytku oproti vodíku). Kyslík z elektrolýzy tak může být použit pro řadu procesů, kde je jeho použití výhodnější oproti vzduchu. Zejména to platí o zplyňování, které je nutné realizovat s čistým kyslíkem (dnes frakcionací zkapalněného vzduchu, popř. jednotkami PSA nebo membránami).

Zplyňování biomasy procesem POX nebo s využitím bioplynu, kde je metan pro proces značně znečištěn sulfanem a oxidem uhličitým, vůči kterým je proces POX tolerantní, vede k produkci biovodíku. Spojení elektrolýzy a zplynění procesem POX tak může představovat komplexní integrovanou jednotku produkující vodík z vody a biomasy. Je zřejmé, že tato varianta ovšem vyžaduje propojení takového komplexu se zdrojem obnovitelné energie.

Další přímé vazby s petrochemií souvisí s technologiemi na využívání CO<sub>2</sub>. (viz kap. 5.1.d).

## Recyklace plastových a dalších odpadů

Stěžejní součást strategie transformace je podrobně řešena Technologickou platformou Plasty.

Cíl: dosažení přeměny odpadních polymerů na produkty znovu využitelné v rámci chemického průmyslu.

Pyrolýza nebo také termolýza proces chemické přeměny vyvolané působením tepla bez přístupu kyslíku jejíž výsledkem jsou zpravidla menší molekuly (rozklad). Termolytické procesy mohou probíhat při různých podmínkách (teploty, doby zdržení, tlaky, přítomnost reaktivních plynů, kapalin a katalyzátorů). Pro základní dělení procesů se používá teplota (3 skupiny procesů) a přítomnost katalyzátoru:

- Nízkoteplotní termolýza (pod 400 °C)
- Středně teplotní termolýza (400–600 °C)
- Vysokoteplotní termolýza (>600 °C)
- Případně katalytická (s cíleně přidávaným katalyzátorem).

Katalyzátor pomáhá ke snížení tzv. aktivační energie. Zjednodušeně lze říct, že se jedná o jeden z „ovládacích prvků“ reakce.

Plynné produkty

- Hlavní složky: C1 – C4 uhlovodíky (nasycené i nenasycené), H<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, HCl, CO, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, C<sub>4</sub>+ uhlovodíky

Využití: energetické, při dostatečné instalované kapacitě lze separovat jednotlivé složky (vysoká hodnota).

Kapalné produkty

- Hlavní složky: všechno vroucí do 550 °C, nasycené, nenasycené i molekuly obsahující heteroatomy, charakterizuje se pomocí skupinového složení a destilačního rozmezí, funkcí procesu a vstupní suroviny.
- Využití: zdroj uhlovodíků pro rafinérskou a petrochemickou výrobu.

Pevné produkty

- Hlavní složky: těžké podíly (>550 °C), častěji nenasycené molekuly až elementární uhlík, méně často nasycené molekuly, veškeré inertní komponenty, zbytky katalyzátorů, kovy...
- Využití: potenciální zdroj uhlíku (výroba sorbentů, jako aditivum ve stavebnictví), výroba sazí

Termolýza (pyrolýza) odpadních polymerů – jedna z možností, jak realizovat chemickou recyklaci. Za určitých předpokladů z nich lze vyrobit opět produkty často v tzv. virgin kvalitě Termolytické zpracování odpadních plastů emituje o cca 50 % menší množství CO<sub>2</sub> než jejich spalování.

## Zelený amoniak 7) 8)

Bylo dosaženo zralosti současné průmyslové technologie výroby čpavku, ale protože je to výroba vysoce energeticky náročná, produkuje velké množství emisí CO<sub>2</sub>. Alternativní nízkoemisní procesy jsou založeny na dodávce vodíku z elektrolýzy vody nebo pyrolýzou metanu. Stechiometrický požadavek na vodík pro amoniak je 177,5 kg / t. U obou alternativních variant procesu se kromě emisí souvisejících s energií zabránilo tvorbě 1,2 tuny CO<sub>2</sub> na tunu amoniaku z metanu.

Při syntéze amoniaku z vodíku získaného vodní elektrolýzou, která nahrazuje parní reforming, není nutné čištění CO<sub>2</sub>, ale čistý dusík musí být dodáván samostatně, protože v sekundárním reformátoru není ze vzduchu odstraněn kyslík. To obvykle vyžaduje zařízení na oddělování vzduchu jako další investici. Nevyrábí se pára, jako je tomu v případě procesu na bázi zemního plynu. Celková energetická potřeba procesu je 10,89 MWh / t NH<sub>3</sub> (39,2 GJ / t) a dominuje v

ní elektrolýza vody, která představuje více než 80 % energetické potřeby. Neexistují žádné složky surovin z hlediska emisí CO<sub>2</sub>, protože se nepoužívá žádné fosilní palivo. Vzhledem k tomu, že samotný amoniak neobsahuje žádný uhlík, nevznikají na konci životnosti produktu žádné emise CO<sub>2</sub>. Emise tedy zcela souvisejí s elektřinou a jsou odvislé od použitého energetického mixu.

Specifické investiční náklady ve výši přes 1 800 EUR / t tvoří elektrolýza, separace vzduchu, čpavkové reaktory a další energetická zařízení, přičemž dominuje elektrolýza. Investiční náklady jsou v současné době 2,7krát vyšší než u běžného systému. TRL: 8-9

Prezident SChP ČR Ing. Cingr však upozorňuje na až 13krát vyšší celkovou spotřebu energie proti konvenční výrobě čpavku, takže bez dostatečných zdrojů levné bezemisní energie není takový proces ekonomicky udržitelný. Přesto Orlen Unipetrol zahrnul výrobu zeleného čpavku do své strategie transformace.

Další technologie s využitím CO<sub>2</sub> jsou podrobněji popsány v kap.5.1.d. Jedná se např. o:

- Výroba metanolu z elektrolytického vodíku a CO<sub>2</sub>
- Metanol po pyrolýze metanu
- Metanol z biomasy

## Elektrifikace chemického průmyslu 7)

Pro výrobu olefinů a aromatických látek chemický průmysl v současné době používá především naftu. Vedlejší produkty krakování jako např. metan, vodík a těžký olej. byly dosud používány k pokrytí energetických požadavků procesu. V důsledku toho vzniká CO<sub>2</sub>.

Tomu se má v budoucnu bránit zavedení ohřevu elektřinou. Emisní faktor závisí na použitém energetickém mixu. Příkladem je elektricky vyhřívaná krakovací jednotka (viz kap. 5.9). I v NSR však uvažují, že z technických, a hlavně ekonomických důvodů je komerční uplatnění reálné až po roce 2045.

Výzkumné náměty pro český chemický výzkum:

Pro tuzemský výzkum bylo v CM SUSCHEM CZ doporučeno intenzivněji se věnovat těmto tématům:

- Záchyt a čištění vodíku + spolupráce v oblasti membránových separací malých molekul
- konverze a reverzní konverze synplynu,
- syntéza metanolu ze zeleného vodíku a směsi CO/CO<sub>2</sub>,
- Rozvoj průmyslové aplikace Fischer Tropschovy syntézy včetně zpracování produktů na čistá paliva a petrochemikálie

Další výzkumné náměty:

- Dokončit vývoj procesů termického a termicko-katalytického rozkladu odpadních makromolekulárních látek
- Vývoj separačních technologií na zdrojích CO<sub>2</sub>,
- výroba zeleného metanu methanizací CO<sub>2</sub>,
- výroba ethanolu s využitím CO<sub>2</sub> (homologací metanolu
- procesy zušlechtní pyrolýzních kapalin pod tlakem vodíku nebo bez využití vodíku,
- postupy zhodnocení pyrolýzních kapalin v rámci rafinérsko-petrochemického komplexu,
- výzkum zušlechtní a využití pyrolýzních zbytků.
- vývoj produkce biovodíku parciální oxidací
- konverze a reverzní konverze synplynu
- syntéza metanolu ze zeleného vodíku a směsi CO/CO<sub>2</sub>,
- Fischerova a Tropschova syntéza včetně zpracování produktů na čistá paliva a petrochemikálie

Zdroje:

- 1) Vize 2050 Evropská komise
- 2) Herink T.: *Development trends of the Orlen Unipetrol Group, ICCT konference Mikulov 2022*
- 3) CM SUSCHEM CZ 2020
- 4) Vörös F.: *přednáška na Konferenci k aktuální problematice plastů Kralupy 10.6.2021*
- 5) Lederer J.: *Zpracování ropy a petrochemie, podkladová studie pro CM SUSCHEM CZ, 2019*
- 6) Gál L.: *Problematika CO<sub>2</sub>., Konference Cirkulární ekonomika a recyklace plastů, Kralupy 9. 12. 2021*
- 7) *Roadmap Chemie 2050, Eine Studie von DECHEMA und Future Camp für den VCI.2019*
- 8) Futterer, MM. a kol: *Nuclear process heat application options: Highlights from the European GEMINI+ project <https://doi.org/10.1016/j.nucengdes.2022.111879>*

## 5.4. Udržitelné zemědělství

Základním dokumentem EU je strategie Z farmy na vidličku (Farm to Fork) 1). Ta se zaměřuje zejména na následující problémy:

- Využití biologického oběhového hospodářství

Např. pokročilé biorafinerie, které vyrábějí bio hnojiva, bílkovinná krmiva, bioenergií a bio chemikálie, nabízejí příležitosti pro přechod na klimaticky neutrální hospodářství a vytváření nových pracovních míst v prvovýrobě. Zemědělci by se měli chopit příležitostí rozvojem výroby obnovitelné energie a investicemi do anaerobních vyhnívacích jednotek pro výrobu bioplynu ze zemědělského odpadu a zbytků, jako je hnůj. Farmy mají také potenciál produkovat bioplyn z jiných zdrojů odpadu a zbytků, např. z potravinářského a nápojového průmyslu, splašků, odpadních vod a komunálního odpadu. Zemědělské domy a stodoly jsou často ideální pro umístění solárních panelů.

- Omezení používání chemických pesticidů v zemědělství,

kteřé přispívá ke znečištění půdy, vody a ovzduší, ztrátě biologické rozmanitosti a může poškodit necílové rostliny, hmyz, ptáky, savce a obojživelníky. Komise přijme další opatření ke snížení celkového používání a rizika chemických pesticidů a používání nebezpečnějších pesticidů o 50 % do roku 2030. Bude revidovat směrnici o udržitelném používání pesticidů, posílí ustanovení o integrované ochraně před škůdci (IPM) a podpoří větší využívání bezpečných alternativních způsobů ochrany sklizně před škůdci a chorobami. IPM podpoří používání alternativních kontrolních technik, jako je střídání plodin a mechanické odstraňování plevelu, a bude jedním z hlavních nástrojů snižování používání chemických pesticidů. IPM podpoří používání alternativních kontrolních technik, jako je střídání plodin a mechanické odstraňování plevelu, a bude jedním z hlavních nástrojů snižování používání chemických pesticidů zejména používání nebezpečnějších pesticidů. Komise rovněž usnadní uvádění pesticidů obsahujících biologicky aktivní látky na trh a posílí posuzování rizik pesticidů pro životní prostředí.

- Racionálnější využívání živin.

Přebytek živin (zejména dusíku a fosforu) v životním prostředí, vyplývající z nadměrného využívání a skutečnosti, že ne všechny živiny používané v zemědělství jsou účinně absorbovány rostlinami, navíc je dalším významným zdrojem znečištění ovzduší, půdy a vody a dopadů na klima. Komise bude jednat tak, aby snížila ztráty živin alespoň o 50 % a zároveň zajistila, že nedojde ke zhoršení úrodnosti půdy. Do roku 2030 se tak má snížit používání hnojiv nejméně o 20 %. Toho má být dosaženo prosazováním příslušných právních předpisů v oblasti životního prostředí a klimatu, uplatněním vyváženého hnojení a udržitelným hospodařením s živinami a lepším hospodařením s dusíkem a fosforem v průběhu jejich životního cyklu. Komise společně s členskými státy vypracuje akční plán integrovaného řízení živin s cílem řešit znečištění živinami u zdroje a zvýšit udržitelnost odvětví živočišné výroby. Komise bude rovněž spolupracovat s členskými státy na rozšíření používání přesných technik hnojení a udržitelných zemědělských postupů, zejména v oblastech intenzivního chovu hospodářských zvířat a recyklace organického odpadu na obnovitelná hnojiva

- Snížení emisí skleníkových plynů. Transformace živočišné výroby jako významného zdroje emisí methanu

Zemědělství je zodpovědné za 10,3 % emisí skleníkových plynů (CO<sub>2</sub>, methan, oxid dusný) v EU a téměř 70 % z nich pochází ze živočišného sektoru. S cílem snížit dopad živočišné výroby na životní prostředí a klima, podpořit pokračující přechod k podpoře neudržitelnějších a uhlíkově nejúčinnějších metod živočišné výroby. Zemědělci by se měli chopit příležitostí ke snížení emisí metanu z hospodářských zvířat. Evropská komise plánuje usnadnění uvádění udržitelných a inovativních doplňkových látek do krmiv na trh. Prozkoumá pravidla EU s cílem snížit závislost na kritických krmných surovinách (např. sója pěstovaná na odlesněné půdě) podporou rostlinných bílkovin vypěstovaných v EU a také alternativních krmných surovin, jako je hmyz, mořské krmivo (např. řasy) a vedlejší produkty biohospodářství (např. rybí odpad). Schéma vazeb jednotlivých opatření v rámci strategie Farm to Fork ukazuje obrázek č.15.



Extrémní zvyšování cen energií, hnojiv, PHM, krmných směsí a agrochemikálií, dopady války na Ukrajině, zákaz vývozu pšenice z Indie, klimatické změny a další negativní jevy výrazně zvyšují strategický význam zemědělsko-potravinářského sektoru pro udržitelný vývoj.

Významnou roli musí sehrát i chemický průmysl jako tradiční dodavatel hnojiv, agrochemikálií, uživatel produktů ze zpracování biomasy., Navíc se může opřít o poměrně rozvinutou základnu VaV. Na druhé straně se musí vyrovnat s rostoucím nedostatkem kvalitních fosforečných surovin. Chemický výzkum řeší i otázku ochrany rostlin, revitalizace zemědělské půdy, vodní hospodářství a efektivní využívání biomasy.

Oběhová biologická ekonomika má pro zemědělce významný potenciál. Například pokročilé biorafinérie, které vyrábějí biohnojiva, bílkovinná krmiva, bioenergie a biochemikálie, nabízejí vytváření nových pracovních míst v prvovýrobě. Před zemědělci stojí významné výzvy ve snížení emisí metanu z hospodářských zvířat, v rozvoji výroby obnovitelné energie a investicemi do anaerobních vyhnívacích jednotek pro výrobu bioplynu ze zemědělského odpadu a zbytků, jako je hnůj. Farmy mají také potenciál produkovat bioplyn z jiných zdrojů odpadu a zbytků, např. z potravinářského a nápojového průmyslu, splašků, odpadních vod a komunálního odpadu. Zemědělské domy a stodoly jsou často ideální pro umístění solárních panelů a takové investice by měly být upřednostněny v budoucích strategických plánech

Hnacími silami při realizaci přechodu k udržitelnému zemědělství, zdravým a inkluzivním potravinářským systémům jsou výzkum, inovace, a investice. V rámci programu Horizont 2020 Komise připravuje další výzvu k předkládání návrhů projektů v celkové výši přibližně 1 miliardy EUR. V rámci Horizontu Evropa navrhuje vynaložit 10 miliard EUR na výzkum a inovace v oblasti potravin, biohospodářství, přírodních zdrojů, zemědělství, rybolovu, akvakultury a životního prostředí, jakož i využívání digitálních technologií a přírodních řešení pro zemědělskopotravinářské účely. V moderním českém zemědělství se využívá automatizovaná technika, včetně dronů. Dokáží monitorovat území, zjišťovat aktuální stav polí, řídit výsev nebo sklizeň, vyhledávat škůdce, a dokonce k nim dopravit predátora. Dálková vosa sklízí ovoce, robotický roj pečuje o stromky.

Za klíčové oblasti výzkumu považuje EU mikrobiom, potraviny z oceánů, městské potravinové systémy jakož i zvyšování dostupnosti a zdrojů alternativních proteinů, jako jsou rostlinné, mikrobiální, mořské a hmyzí proteiny a náhražky masa. Další projekty se mají zaměřit na vývoj řešení pro obnovu zdraví a funkcí půdy.

Základním dokumentem v ČR je návrh Strategického plánu Společné zemědělské politiky (SZP) pro období 2023-2027 2), který respektuje reálnou situaci v našem zemědělství a změny jej směrem k lepší péči o půdu a krajinu, ke zdravější vodě a zdravějším potravinám. Byla schválena míra kofinancování Programu rozvoje venkova v nové SZP. Podpora by měla být srovnatelná s dalšími státy EU a umožnit českým zemědělcům zůstat na celoevropské úrovni konkurenceschopnými.

Podle CM SUSCHEM CZ 3) předpokládaný vývoj ve využívání výrobních technologií pro výrobu minerálních hnojiv bude v budoucnu nutné směřovat k následujícím cílům:

- Snižování znečištění ovzduší, vody a půdy (legislativa EU)
- Zvyšování úrovně bezpečnosti provozování (legislativa EU)
- Využívání alternativních surovinových a energetických zdrojů (legislativa EU – „Cirkulační ekonomika“)
- Efektivnější využívání surovinových a energetických zdrojů (tlak na ceny surovin i produktů)
- Zavádění nových produktů (tlak na inovace s cílem zajistit vyšší komfort pro konečného uživatele.

## **Výroba syntetických minerálních hnojiv 4)**

Zabezpečení dostatečného množství potravin pro existující a budoucí populaci v našem regionu, je jedním z klíčových cílů z hlediska udržitelnosti životní úrovně, hospodářského růstu, potravinové soběstačnosti a také národní bezpečnosti. Poptávka po potravinách má rostoucí charakter, a to nejen díky zvyšování lokální spotřeby, ale i kvůli exportu potravin do jiných, rychle se rozvíjejících částí světa. Výměra zemědělské půdy v regionu nemá potenciál dalšího růstu. Naopak, dochází k relativně dramatickému snížení výměry zemědělské půdy využíváním na jiné než zemědělské aktivity, anebo k pěstování plodin na jiné než potravinářské účely. Příkladem je výstavba průmyslových zón v okolí měst nebo produkce biopaliv ze zemědělských produktů. Z těchto důvodů není možné zabezpečit dostatek potravin extenzivním způsobem hospodaření na zemědělské půdě a je nevyhnutelné zvyšovat hektarové výnosy zemědělských plodin. Jednou ze základních podmínek zvyšování výnosů zemědělské produkce je zabezpečení dostatečného množství živin pro potřeby výživy jednotlivých zemědělských plodin, a to bez negativního dopadu na kvalitu půdy, vody, ovzduší a také zdravotního stavu obyvatel. Důležité je také zaměření na snižování ztráty živin do okolního prostředí, mimo jiné s ohledem na kvalitu ovzduší a vody. Účinným nástrojem ke snižování ztrát živin je zaměření se mimo jiné na nejlepší způsoby hnojení, šíření podpůrných technologií a služeb či podporu vyspělých hnojiv zaměřených na určité plodiny, to vše spojené s metodami chytrého zemědělství, novými nástroji a daty v reálném čase.

Největším výrobcem hnojiv v ČR je Lovochemie a.s. V současné době je hlavním zaměřením Lovochemie, a.s. výroba a prodej dusíkatých a vícesložkových hnojiv v pevné i kapalně formě. ČR v minulosti ztratila vlastní výrobu fosforečných hnojiv zejména ztrátou dodavatelů vhodných fosfátů. Objemově omezená výroba N–P–(K) hnojiv v ČR využívá pouze již hotových fosforečných hotových fosforečných produktů dovezených ze zahraničí. Fosfor je ve všeobecnosti považovaný za nedostatkovou surovinu a již dnes se o něm hovoří jako o „živině budoucnosti“, která by mohla při jejím nedostatku limitovat v budoucnu výkonnost zemědělské produkce. Již řadu let se vyvíjí technologií zajišťujících fosforečné suroviny z



druhotných zdrojů. Zdrojem fosforu jsou v tomto případě čistírny odpadních vod nebo bioplynové stanice. Aktuálně je potřebné vyvinout nové postupy získávání vhodné formy fosforu, a to bez kontaminace nežádoucími biologicky aktivními látkami a těžkými kovy. Zároveň je potřebné docílit takové výše výrobních nákladů, které mohou konkurovat konvenčním zdrojům. Alternativních technologií získávání fosforečné složky pro výrobu minerálních hnojiv, která vyhovuje současné legislativě EU, může tvořit jen malá procenta potřeb fosforu v zemědělství. Hlavním zdrojem fosforu pro výrobu minerálních hnojiv v EU tak zůstává dovoz.

Vápník je důležitou živinou, která současně plní řadu agronomických a ekologických funkcí. Pravidelné vápnění pozitivně ovlivňuje chemické, fyzikálně-chemické i biologické procesy v půdě. Jde zejména o úpravu pH, eliminaci působení toxických iontů, vytváření koloidů a udržování půdní struktury. Vhodné pH pozitivně ovlivňuje aktivitu mikroorganismů, mineralizaci i tvorbu kvalitního humusu. Vyšší hodnoty pH omezují přijatelnost těžkých kovů a jejich průnik do potravinového řetězce. Zdroje těchto vápenatých, případně hořečnatých surovin jsou v našem regionu dostatečné, a to i v horizontu do roku 2030. Kvalita těchto surovin je ale různá. Zde se otevírá prostor pro podporu výzkumu a vývoje nových technologií, které umožní zpracovat i takto organickými látkami znečištěné a jinak z pohledu anorganického velmi kvalitní suroviny.

U dusíkatých hnojiv máme dva zásadní problémy. Prvním je prudký nárůst jejich cen na trhu v důsledku raketového růstu cen energií. Druhým problémem je přehnojování průmyslovými dusíkatými hnojivy. Oxid dusný, který se tak do atmosféry uvolňuje je navíc desetkrát účinnější než metan a třístokrát silnější než CO<sub>2</sub>. Hnojení dusíkem je dneska úplně stejné jako v 80. letech. Hnojení fosforem tolik ne, protože fosfor je drahý a vydrží v půdě docela dlouho, zatímco dusičnany se velmi rychle vypláchnou.

Organické bio hnojivo je vyráběno smícháním stájových odpadů z chovu skotu, prasat a rostlinné výroby, následně anaerobně fermentováno v bioplynových stanicích, poté usušeno a slisováno do granulí. Při procesu sušení je zbaveno klíčivých semen plevelů a choroboplodných zárodků.

Vysoký účinek pro úrodnost půdy má obohacení humusem a stabilizaci jejího pH. Vysoký obsah živin je vázán na organickou hmotu a nedochází k ztrátě živin vyplavováním. Na rozdíl od klasického hnoje je možné fermentovaná granulovaná hnojiva používat nejen na podzim, ale i na jaře a během celého vegetačního období. Jiným známé bio hnojivo je založeno na dusík fixujících bakteriích jako Rhizobium, Cynaobacteria. Používají se i různé bio stimulanty.

Ke snížení spotřeby průmyslových hnojiv, snížení environmentální zátěže, včetně vodní eutrofikace mohou sloužit hnojiva s řízenými uvolňováním živin. Lovochemie, a.s., je Největším výrobcem hnojiv v ČR je Lovochemie a.s. V současné době je hlavním zaměřením Lovochemie, a.s. výroba a prodej dusíkatých a vícesložkových hnojiv v pevné i kapalné formě.

Jako příklad řešeného projektu v ČR jsou Nové formulace agrochemikálií na bázi polyhydroxybutyrátu (PHB) společností Nafigate. 5)

Nové formulace hnojiv a pesticidů s prodlouženým účinkem jsou založeny na nosiči a povlaku z PHB. Granule nebo pelety s PHB tvoří matici pro účinné agrochemikálie, které se z ní uvolňují do půdy postupně a rovnoměrně v čase. Díky nové formulaci jsou hnojiva a pesticidy zadržovány v půdě delší dobu, což umožní snížení celkového množství agrochemikálií potřebných k výživě plodin a ochraně rostlin. Užívání hnojiv vede k jejich splachování z polí do vodních ekosystémů a nadměrnému růstu řas a sinic. Hnojiva s prodlouženým účinkem zajistí dostatek živin pro rostliny, zatímco se sníží kontaminace okolních vod. Aplikace pesticidů postřikem často vyžaduje použití vysokých dávek, které jsou pro rostliny toxické. Nové formulace jsou šetrnější nejen k životnímu prostředí, ale i k samotné plodině. Díky prodlouženému efektu se sníží četnost dávek a forma granulí či tablet usnadní manipulaci.

Polyhydroxybutyrát patří do skupiny polyhydroxyalkanoátů je biodegradabilní a biokompatibilní přírodní polymer. To znamená, že se rozkládá v přírodních podmínkách, aniž by docházelo k uvolňování toxických látek. V půdě se degraduje za působení mikroorganismů a je zcela neškodný stejně jako případné meziproducty rozkladných procesů. Bakterie postupně v půdě zpracují PHB na oxid uhličitý a vodu. Rozklad PHB v půdě prostřednictvím mikroorganismů je také mechanismem jeho účinku. Matrice (granule nebo peleta) z PHB, která nese pesticid nebo hnojivo, se v půdě pomalu odbourává. Jak bakterie narušují strukturu polymeru PHB, dochází k uvolňování agrochemikálie.

Již byly testovány formulace na bázi PHB vyvinuté pro herbicid metribuzin, fungicid tebuconazol a hnojiva močovinu a dusičnan amonný. Pelety a granule jsou často doplněné o výplň z přírodního materiálu jako je rašelina, dřevo nebo jíl, které urychlují degradaci. Typ výplně, tvar a velikost matrice a poměr jednotlivých složek určují, jak rychle se bude chemikálie z matrice uvolňovat – zda několik týdnů nebo až několik měsíců. Lze tak připravit formulaci „na míru“ konkrétním potřebám. Jednotlivé formulace byly testovány v laboratoři v půdních mikro ekosystémech.

K nasazení těchto řešení do praxe je třeba vyřešit několik důležitých problémů:

- Kvalita, cena a dostupnost PHB – technologie výroby PHB ovlivňuje jeho finální vlastnosti v několika procesních krocích. Zejména použitá metoda extrakce řídí čistotu a molekulovou hmotnost výstupního polymeru. Tyto vlastnosti jsou klíčové pro jeho další použití a vhodnost pro návazné aplikace. PHB pro coating hnojiv nemusí dosahovat čistoty potřebné třeba pro plastikářské nebo medicínské nebo kosmetické aplikace. Jeho molekulová hmotnost však musí vyhovovat požadavkům na roztoky s filmotvornou schopností a dostačujícími mechanickými a bariérovými vlastnostmi finálního povlaku.
- Rozpouštědlový systém pro coating PHB je klíčový z pohledu dopadu technologie výroby takových hnojiv na životní prostředí. Protože za normálních podmínek je pravým rozpouštědlem PHB pouze chloroform a některá další chlorovaná rozpouštědla, jejichž použití je z ekologického důvodu nevhodné, je třeba hledat systém ekologičtějších rozpouštědel fungujících za jiných podmínek a tyto aplikovat i při procesu nanášení coatingu.
- Vlastní technologie coatingu PHB na pelety s účinnými agrochemikáliemi je komplikovaný v tom, že agrochemikálie jsou termicky nestabilní nad teplotami tavení PHB. Nelze proto použít taveninu ani tepelného sintrování prášku PHB. V případě

použití rozpouštědel je třeba dořešit regeneraci rozpouštědla, otestovat jeho stabilitu a samozřejmě reprodukovatelnost vlastností produktu.

- Je nutná optimalizace kinetiky uvolňování agrochemikálií těchto produktů na míru potřeb dané vegetace a testování ve vegetačních a polních testech tak, aby se prokázal pozitivní dopad na kvalitu a výnos pěstované plodiny

## Organická hnojiva

Rostoucí tlak na snížení používání chemických hnojiv znamená, že organická hnojiva budou ještě více využívána. Jedním z cílů EU je dosáhnout podílu 25 procent ploch obhospodařovaných v režimu ekologického zemědělství. Snížování počtu chovaných hospodářských zvířat je proto podle zemědělců dvojsečné.

Organické bio hnojivo je vyráběno smícháním stájových odpadů z chovu skotu, prasat a rostlinné výroby, následně anaerobně fermentováno v bioplynových stanicích, poté usušeno a slisováno do granulí. Při procesu sušení je zbaveno klíčivých semen plevelů a choroboplodných zárodků. Na rozdíl od klasického hnoje je možné fermentovaná granulovaná hnojiva používat nejen na podzim, ale i na jaře a během celého vegetačního období. Další známé bio hnojivo je založeno na dusík fixujících bakteriích jako Rhizobium, Cynaobacteria. Používají se i různé bio stimulanty

Vysoký účinek pro úrodnost půdy má obohacení humusem a stabilizaci jejího pH. Vysoký obsah živin je vázán na organickou hmotu a nedochází k ztrátě živin vyplavováním.

U hnojení organickými hnojivy se nedodržují technologické postupy, selský rozum a hospodaření. Často je problém skladování, kdy dochází k obrovským ztrátám ve formě všech třech plynů (oxidu uhličitého, metanu i oxidu dusného). Hnůj se má zaorat do několika hodin, ale to se často neděje. Hnůj se často nechá ležet, než za dva tři dny dojede traktor. Podstatná část dusíku a uhlíku tak unikne do vzduchu, protože hnůj není zapravený do půdy.

Hospodářská zvířata mají v zemědělském systému zcela zásadní úlohu, a tou je výroba organických hnojiv, jako je hnůj, kejda a podobně. Tím, že se snížily stavy hospodářských zvířat, tak klesla i produkce organických hnojiv na polovinu, ale do půdy se jich dostává ještě méně, protože se část zpracovává v bioplynových jednotkách. Pro uchování půdy v dobrém stavu a kondici je jí třeba živiny zase vracet. Nedostatek hnojiv tak ještě více přispívá k další degradaci půd. Za větší problém než metanové emise, považujeme právě nedostatek organické hmoty.

## Problém metan

Metan v atmosféře má až 84x větší oteplovací efekt za období asi dvaceti let než nejznámější skleníkový plyn na světě, a tedy oxid uhličitý.

Zdroji metanových emisí jsou fosilní paliva, odpad a zemědělství. Celosvětově zhruba jednu třetinu emisí metanu vyprodukovaných lidskou aktivitou má na svědomí chov dobytka. Podle dat EU je se zemědělstvím spojeno 53 % emisí metanu, za které může lidská činnost (za dalších 26 % může odpad a za 19 % energetika.)

Jeden z přísadků do krmiva – přípravek Boaver, který má omezit u krav tvorbu emisí metanu, už byl v listopadu 2021 schválen orgánem EU pro potraviny. Nyní jej ještě musí schválit EU a pak může být uveden na trh. Dosavadní proces se týká krav chovaných na mléko, přičemž EU je druhý největší producent mléka na světě. Stejný přípravek už byl schválen, a to i pro skot na maso v Brazílii, což je v hovězím mase leader. Přípravek Boaver může emise snížit o 30 %, uvádí jeho výrobce.

Emise metanu by mohlo snížit lepší krmení hospodářských zvířat kvalitními a dobře stravitelnými jetelo-travními směsmi nebo správným skladováním hnoje a jeho používání. Strategie EU Farm to Fork nicméně o zemědělci zmiňovaném snižování počtu hospodářských zvířat přímo nemluví. Zdůrazňuje naopak nutnost snížit podíl chemických hnojiv a antimikrobiálních látek, což jsou například antibiotika používaná k léčbě zvířat.

Zabezpečení dostatečného množství potravin pro existující a budoucí populaci v našem regionu, je jedním z klíčových cílů z hlediska udržitelnosti životní úrovně, hospodářského růstu, potravinové soběstačnosti a také národní bezpečnosti. Poptávka po potravinách má rostoucí charakter, a to nejen díky zvyšování lokální spotřeby, ale i kvůli exportu potravin do jiných, rychle se rozvíjejících částí světa. Výměra zemědělské půdy v regionu nemá potenciál dalšího růstu. Naopak, dochází k relativně dramatickému snižování výměry zemědělské půdy využíváním na jiné než zemědělské aktivity, anebo k pěstování plodin na jiné než potravinářské účely. Příkladem je výstavba průmyslových zón v okolí měst nebo produkce biopaliv ze zemědělských produktů. Z těchto důvodů není možné zabezpečit dostatek potravin extenzivním způsobem hospodaření na zemědělské půdě a je nevyhnutelné zvyšovat hektarové výnosy zemědělských plodin. Jednou ze základních podmínek zvyšování výnosů zemědělské produkce je zabezpečení dostatečného množství živin pro potřeby výživy jednotlivých zemědělských plodin, a to bez negativního dopadu na kvalitu půdy, vody, ovzduší a také zdravotního stavu obyvatel. Důležité je také zaměření na snižování ztráty živin do okolního prostředí, mimo jiné s ohledem na kvalitu ovzduší a vody. Účinným nástrojem ke snižování ztrát živin je zaměření se mimo jiné na nejlepší způsoby hnojení, šíření podpůrných technologií a služeb či podporu vyspělých hnojiv zaměřených na určité plodiny, to vše spojené s metodami chytrého zemědělství, novými nástroji a daty v reálném čase.

### **Přípravky na ošetření rostlin – pesticidy**

Evropská komise v rámci své strategie Z farmy na vidličku slíbila snížit do roku 2030 používání pesticidů na polovinu. Cíl by měl být právně závazný na evropské úrovni. Členské státy ovšem rozhodnou, jaké cíle si samy stanoví.

Přípravků na ošetření rostlin, jak se oficiálně nazývají pesticidy, se v Česku ročně prodá za více než sedm miliard korun. Patří tam herbicidy – na ochranu proti plevelům, fungicidy – proti houbovým patogenům a plísním a insekticidy nebo zoocidy proti živočišným škůdcům. Dají se rozdělit na chemické syntetické, které jsou totožné s pesticidy, a další biologické přípravky, které ve skutečnosti pesticidy nejsou. Aktuálně Evropská komise směřuje ve velké míře k nahrazování syntetických pesticidů za biologické prostředky ochrany

Trh si dělí asi osm velkých nadnárodních výrobců, největší jsou německý BASF, švýcarská Syngenta a americká Corteva. Dalším hráčem na poli pesticidů je německá společnost Bayer, která vlastní od roku 2018 americkou firmu Monsanto. Ta v sedmdesátých letech minulého století objevila herbicid glyfosát, o jehož další používání už byl několikrát sveden boj i na „půdě“ Evropské unie. Česko zakázalo používání glyfosátu od začátku roku 2019 na předsklizňovou aplikaci u plodin pro potravinářské účely, tedy primárně na obiloviny a veškerou řepku.

Až 95 procent pesticidů se do tuzemska dováží, místním výrobcem podle Výzkumného ústavu rostlinné výroby je pouze Draslovka Kolín. Malý výrobce nemá prostředky na náklady spojené s výrobou registrovaných pesticidů. Ty se pohybují v desítkách milionů za jednu účinnou látku – od vývoje po zavedení do praxe.

Významným výrobcem surovin pro agrochemikálie v ČR je Borsodchem MCHZ Ostrava, který vyrábí např. ethylcyklohexylamin – je hlavní surovinou pro syntézu herbicidu s názvem Cycloat. Ethylcyklohexylamin přispívá ke zvýšení úrody např. cukrové řepy nebo špenátu, neboť se hojně používá k hubení plevelu a trav. Dalším jejich významným výrobkem je diethyl oxalát – jedna ze surovin pro výrobu fungicidu Strobilurinu, který je účinnou složkou přípravku Flint. Flint se používá k ochraně rostlin proti houbovému onemocnění ovocných dřevin, které se projevuje bílými a zdánlivě moučnatými skvrnami na různých částech těl rostlin (květy, plody, listy, atd).

Do vývoje pesticidů už firmy nedávají peníze, konkurují jim geneticky modifikované organismy. Regulace Evropské unie týkající se pesticidů postupně snižuje manévrovací prostor velkým výrobcům a zhoršuje jim hospodaření. Ti proto raději, než do vývoje nových pesticidů vkládají peníze do výzkumu a vývoje geneticky modifikovaných organismů. Dalším trendem je příklon k biologickým přípravkům na ochranu rostlin a obecně snižování množství pesticidů nalinkované GND. Spotřeba pesticidů se v nejbližších letech razantně snižovat nebude, zejména u komodit ekonomicky atraktivních jako pšenice, kukuřice, cukrovka, nebo řepka.

Počasi negativně ovlivnilo prodej fungicidů, tedy postřiků proti plísním. V tomto případě je pro výrobce pesticidů špatným počasím sucho, protože v něm se plísním nedaří. Pokles zaznamenaly u Bayeru i herbicidy, což jsou látky na hubení plevelu, a to kvůli poklesu ploch, na nichž se pěstuje cukrová řepa. Naopak dobré tržby si Bayer za předloňský rok pochvaloval u kukuřičných herbicidů či insekticidů používaných na hubení hmyzu.

Největší chemický koncern na světě, německá společnost BASF, dosáhla v agrobyznysu v Česku v roce 2020 podle výroční zprávy tržeb 915 milionů korun. Agrární divize BASF nabízí na českém trhu portfolio, které zahrnuje kromě pesticidů také přípravky pro ekologické zemědělství, mořidla osiv a osiva jako taková, Do značné míry ale závisejí na počasí v dané sezóně a na plodinové skladbě v rámci daného pěstebního roku.

Kromě čtyř světových výrobců patří k velkým hráčům na tuzemském trhu rovněž společnosti Adama a FMC Agro Česká republika. FMC Agro, vlastněné nizozemskou FMC Chemicals, vykázalo za rok 2020 tržby 514 milionů. Velcí dodavatelé na tuzemský trh jsou asociace CropLife Česká republika neboli sdružení výrobců pesticidů. Ta se prezentuje jako organizace představující „udržitelná řešení v ochraně rostlin“ a jako svůj hlavní předmět činnosti uvádí „koordinovaný postup a ochranu zájmů členů sdružení ve vztahu k orgánům a institucím státní správy a samosprávy v ČR“. Jinými slovy jde o lobbistickou organizaci, která spadá pod stejnojmennou centrálu v Bruselu.

Lobbing je pro výrobce pesticidů důležitý, protože v posledních letech čelí rostoucí regulaci ze strany Evropské unie. Ta tlačí na omezení používání pesticidních přípravků obecně, ale zároveň přibývají na seznamu zakázaných pesticidů další a další přípravky s tím, jak jde vývoj dopředu a prokazují se jejich negativní účinky – ať už na lidské zdraví nebo na životní prostředí. V následujících letech lze očekávat, že bude docházet k úbytku dalších účinných látek, a tak i přípravků, které se v zemědělství používají. Podobně je na tom výrobce Corteva, kdy EU neobnovila registraci přípravku chlorpyrifos a firma jej loni přestala vyrábět. Chlorpyrifos-methyl byl nejúčinnějším řešením proti kněžici mramorované (ploštice původem z Asie), která se Evropou rychle šíří. Zemědělci tím přišli o klíčový nástroj, jak svou úrodu ochránit. Podle expertů, především hydrologů, je ale problém, že i když je nějaký pesticid zakázán, neznamená to, že je od něj životní prostředí vyčištěno. Pesticidy či jejich metabolity (zmutovaná účinná látka daného pesticidu) se totiž ve vodě či v půdě objevují i desítky let poté, co jsou zakázané. Výrobci ale zároveň hledají cesty, kde mizející byznys vykryt. Jednou z možností, jak chemické pesticidy nahradit, jsou bio přípravky. Jedná se o řešení založená na přírodních mechanismech, jako jsou mikroorganismy, rostlinné extrakty nebo například feromony. V nabídce již je řada nových prostředků především pro ochranu ovoce a zeleniny. Vzhledem k jejich obecně nižší účinnosti se zatím jedná více o společenskou poptávku než o poptávku ze strany našich zákazníků ochránit úrodu.

Změna klimatu přináší nové hrozby pro zdraví rostlin. Výzva udržitelnosti vyžaduje opatření k lepší ochraně rostlin před nově se objevujícími škůdci a chorobami a inovace zejména v prostředcích na ochranu rostlin. Nové inovativní techniky, včetně biotechnologie a vývoje biologických produktů, mohou hrát roli při zvyšování udržitelnosti za předpokladu, že jsou bezpečné pro spotřebitele a životní prostředí a zároveň jsou přínosem pro společnost jako celek. Mohou také urychlit proces snižování závislosti na pesticidech. Udržitelné potravinové systémy také spoléhají na bezpečnost semen a jejich rozmanitost. Zemědělci potřebují mít přístup k řadě kvalitních semen pro odrůdy rostlin přizpůsobené tlakům změny klimatu.

Celková spotřeba přípravků na ochranu rostlin aplikovaných na zemědělskou půdu klesla v roce 2018 v porovnání s předchozím rokem o devět procent. Spotřeba účinné látky glyfosát dokonce o 25 %. Podle údajů Eurostatu patří ČR mezi země s nejnižší spotřebou pesticidů. K poklesu přispěly zejména restrikce ze strany EU, především evropský zákaz používání některých neonikotinoidů (spojovaných s negativními dopady na opylovače) a národní zákaz používání glyfosátu k urychlení dozrávání a vysušování obilovin a řepky.

EU v rámci své strategie Z farmy na vidličku slíbila snížit do roku 2030 používání pesticidů na polovinu. Cíl by měl být právně závazný na evropské úrovni. Členské státy ovšem rozhodnou, jaké cíle si samy stanoví

V povrchových vodách se nachází pesticidy v 95 % objektů, v podzemních vodách v 60 % a z toho ve čtyřiceti procentech případů nadlimitně. V podzemních vodách se objevují i rezidua pesticidů, které se dnes už nepoužívají, protože se prakticky nerozkládají, ale objevují se i ty moderní. Například metazachlor, herbicid používaný do řepky a obilí.

Zpráva MŽP uvádí, že v roce 2019 bylo v povrchových vodách nalezeno celkem 161 pesticidů a jejich metabolitů, z toho 38 látek bylo nalezeno ve více než pěti procentech vzorků. Nejčastěji nacházenými byly metabolity herbicidů používaných pro ošetření řepky (v současnosti povolené: metazachlor, dimethachlor, pethoxamid, nebo již zakázané: alachlor, acetochlor), kukuřice (povolené: metolachlor, terbuthylazin, pethoxamid, a zakázané: atrazin, acetochlor), řepy (chloridazon), popřípadě totální herbicid glyfosát a jeho metabolit AMPA.

Biopesticidy doposud zaujímající jen jednotky % z rodiny chemických pesticidů, které jsou významným ekologickým polutantem.

Biopesticidy spadají do hlavních kategorií:

- transgenní rostliny, biochemické a mikrobiální.

Transgenní rostliny se díky genovému vybavení samy chrání před škůdci, z mikrobiálních je to např. *Bacillus thuringiensis*, který produkuje protein, který zabíjí různý hmyz. Benefity biopesticidů jsou pozoruhodné: jsou v podstatě stejně účinné jako chemické, zejména pro ovoce a zeleninu, jsou méně škodlivé, působí specificky často i v malých množstvích a jsou rozložitelné.

- Bio-insekticidy, bio-fungicidy a bio-nematicidy (proti parazitickým červům))

jsou rostoucím artiklem a je jich dostupných již asi 700 druhů. Globální trh biopesticidů byl v roce 2017 asi 3,2 miliard USD a vzhledem ke snadnější jejich registraci jde o rychle rostoucí trh. 6)

Přenos této strategie na národní úrovni by měl vycházet ze specifik jednotlivých zemí. Snížit o stejné procento používání přípravků na ochranu rostlin a jejich účinných látek v ČR jako ve Francii, Německu či Nizozemsku, kde je hektarové zatížení zemědělské půdy nepoměrně větší, by bylo likvidační.

Zabezpečení potravinové soběstačnosti v současné době radikálně ovlivněné extrémním nárůstem cen energií, hnojiv a dalších materiálů, dopady války na Ukrajině, pokračujícím růstem populace ve světě, dopady klimatických změn, se stává jedním ze základních pilířů strategie udržitelnosti.

Evropská komise v souvislosti s ruskou invazí na Ukrajinu schválila ČR program státní podpory primárních zemědělských výrobců v objemu 20,2 milionu eur, tedy 500 milionů korun. Program je v souladu s dočasným krizovým rámcem státní podpory, který Komise přijala 23. března 2022. Pomoc je určena malým a středním podnikům působícím v zemědělské prvovýrobě, které ovlivnil nárůst cen elektřiny, krmiv a pohonných hmot kvůli současné geopolitické krizi související se sankcemi. Na druhé straně roste nebezpečí nedostatku potravin zejména v Africe a Asii, extrémně zvyšuje jejich ceny i v Evropě a spolu s rostoucím nedostatkem vody a prohlubujícím dopadům klimatických změn je vážným rizikem budoucího vývoje, které není dostatečně zohledněno v opatřeních EU.

V CM SUSCHEM CZ jsou definovány následující hlavní směry budoucího vývoje:

- změna struktury zemědělských plodin (snížení požadavku na dusíkatá hnojiva)
- zvýšení podílu geneticky upravovaných plodin (snížení požadavku na pesticidy)
- vývoj chemikálií pro lepší zadržování vody v krajině
- vývoj chytrých hnojiv s malým dopadem na životní prostředí
- vývoj vyspělých hnojiv zaměřených na určité plodiny
- výzkum zaměřený na nechemické způsoby ochrany rostlin

Hlavní výzvy pro český chemický VaV a inovativní investice:

- Vývoj biopesticidů nové generace a bio agrochemikálií k ochraně zemědělských plodin
- Komercializace hnojiv s řízeným uvolňováním živin
- Vývoj bio hnojiv Vývoj  
bio-hnojiva (dusík fixující rhizobiální bakterie jako Rhizobium, Cynaobacteria, a půdní bio-stimulanty). Od užití bio-hnojiv si slibujeme snížení environmentální zátěže, zejména vodní eutrofizace
- změna struktury zemědělských plodin (snížení požadavku na dusíkatá hnojiva)
- vývoj chemikálií pro lepší zadržování vody v krajině
- vývoj chytrých hnojiv s malým dopadem na životní prostředí
- vývoj vyspělých hnojiv zaměřených na určité plodiny
- výzkum zaměřený na nechemické zvýšení podílu geneticky upravovaných plodin (snížení požadavku na pesticidy)
- Rozvoj robotizace a digitalizace v zemědělstvím sektoru s cílem řešit nedostatek pracovních sil a zefektivnění výroby

Zdroje:

- 1) *Strategie EU Farm to Fork COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS, COM (2020) 381 final Brussels, 20.5.2020*
- 2) *Strategický plán Společné zemědělské politiky pro období 2023-2027, MZe 28.1.2022*
- 3) *CM SUSCHEM CZ 2020*
- 4) *Ulbricht P.: Výroba minerálních hnojiv, podkladová studie pro CM SUSCHEM CZ, 2020*
- 5) *Mynářová L.: Nové formulace agrochemikálií na bázi PHB, příspěvek pro SVA 5, Nafigate 2022*
- 6) *Kumar S.: Biopesticides: A Need for Food and Environmental Safety. Biofertil Biopestici 2012, 3:4DOI: 10.4172/2155-6202.1000e107*

## 5.5. Jaderná energetika

Jaderná energetika je jedním ze základních pilířů Energetické strategie ČR, získala v EU dočasně statut obnovitelných zdrojů elektřiny. V současné době představuje cca 37–40 % výroby elektřiny v ČR a do budoucna se počítá s podílem 46–58 %. Návrh aktualizované Státní energetické koncepce ČR (SEK) by měl být zpracován za dva roky. V rámci aktualizace SEK



v jaderné oblasti vidíme zapojení malých modulárních reaktorů jako jedno z nových důležitých témat, včetně podpory jejich vývoje.

Český chemický VaV se již dlouhodobě v této oblasti angažuje.

Hlavní výzvy pro českou jadernou energetiku:

- Dostavba JE Dukovany, popř. výstavba dalších jaderných zdrojů
- Vybudování úložiště jaderného odpadu
- Komerencializace malých modulárních reaktorů (podrobněji v kap. 5.9.)
- Zpracování jaderného odpadu
- Zřejmě až po roce 2060 zvládnutí jaderné fúze

Malé jaderné reaktory (SMR) – viz kap. 5.9.

Patří mezi ně například lehkovodní malé reaktory chlazené a moderované vodou, vysokoteplotní plynem chlazené malé reaktory, malé reaktory pracující s rychlými neutrony, modulární reaktory chlazené roztavenými solemi. Zajištění stabilních dodávek do české energetické soustavy vyžaduje rychlé zavedení nových jaderných technologií. Podobnou cestu hledají v řadě zemí. 1)2)3)

KEPCO E&C, které je součástí skupiny KHNP, podepsalo memorandum o porozumění s českým jaderně výzkumným ústavem ÚJV Řež. Jihokorejský zájemce o dodávku jaderné technologie pro novou elektrárnu Dukovany II tím znovu potvrdil zájem o spolupráci s českými společnostmi. Cílem memoranda je podpora technické spolupráce na základním a detailním návrhu reaktoru APR1000 tak, aby splňoval přísné evropské požadavky na jadernou bezpečnost.

- Jaderné reaktory čtvrté generace. 4)

Cílem těchto systémů je efektivnější využití jaderného paliva, snížení produkce jaderného odpadu a vyhovět velice přísným bezpečnostním podmínkám. Mezinárodní fórum pro IV. generaci vytypovala 6 nejperspektivnějších reaktorových systémů. Palivový cyklus může být otevřený nebo uzavřený. Druhý zmíněný by zahrnoval přepracování a recyklaci uranu, plutonia a minoritních aktinidů, čímž by došlo k redukci jaderného odpadu, a tak k šetření uranových zásob. Vysokoteplotní systémy mohou být využity na výrobu jak elektřiny, tak tepla pro petrochemický průmysl či výrobu vodíku. Cílem systémů je také vyšší účinnost a nové využití jaderné energie. Komerční využití takovýchto systémů se očekává kolem roku 2030) Nové generace reaktorů by měly přijít do komerčního provozu ještě v první polovině tohoto století.

- **Nové palivo pro jaderné elektrárny 5)6)**

Hledání alternativních paliv pro jaderné elektrárny je iniciováno současnou nestabilitou trhu s uranem, rostoucími cenami, závislosti na omezeném počtu dodavatelů uranu a rostoucím počtu investičních záměrů na výstavbu nových jaderných elektráren. Ve světě je nyní ve výstavbě 50 nových jaderných reaktorů, z nichž většina je v Číně. 120 dalších již má své závody dokončené a o více než 300 dalších se uvažuje. Tyto investiční aktivity mají zásadní vliv na další růst cen uranu. Hlavní producenti uranu jsou Kazachstán, Kanada a Austrálie.

Jedním z nadějných řešení jsou tzv. thoriové reaktory, které jsou příslibem jako alternativa uranu v sektoru jaderné energetiky. Očekává se, že světové energetické potřeby prudce porostou díky růstu populace a vyšší poptávce ze strany rozvojových zemí, díky čemuž jsou thoriové reaktory stále atraktivnější.

Palivo pro tento typ reaktorů se vyrábí z thoria, což je prvek, který se vyskytuje v přírodě daleko hojněji než uran a lze jej dokonce levně získat i z mořské vody. Generuje přitom více energie než obohacený uran a produkuje menší množství odpadu. Jaderné reaktory nové generace s thoriem jako zdrojem paliva mohou být jedním z nejúčinnějších způsobů dekarbonizace v energetickém sektoru.

Thorium se však nemůže rozštěpit a vytvořit jadernou řetězovou reakci jako uran. Pokud je však bombardován neutrony z energetického paliva, které je štěpné – jako uran-235 nebo plutonium-239 – přemění se na uran-233. Proces vytváří energii a po svém zahájení je soběstačný; štěpení uranu-233 přemění další thorium v okolí na stejné jaderné palivo.

Existuje mnoho složitějších procesů, ale tento vztah mezi thoriem a štěpnými materiály slouží jako základ pro technologii v thoriových reaktorech.

Jako příklad lze uvést nové palivo od společnosti Clean Core Thorium Energy využívající thorium a obohacený uran. Toto palivo se nazývá Advanced Nuclear Energy for Enriched Life (ANEEL). ANEEL má velmi vysokou míru vyhoření paliva, což významně snižuje množství radioaktivního odpadu. Vyžaduje však nasazení v jiných typech reaktorů, než máme v ČR.

Thor Energy byla první, kdo zahájil výrobu energie prostřednictvím thoria, ale nyní čelí konkurenci firem v jaderném průmyslu po celém světě. Například Indie, která má největší zásoby přírodního thoria, se zajímá o jadernou energii na bázi thoria již po celá desetiletí. Jaderní vývojáři v zemi navrhli pokročilý těžkovodní reaktor, který je speciálně zaměřen na využití thoria jako paliva. Také Čína je významným hráčem ve vývoji thoriových reaktorů. A na podzim 2021 oznámila, že je připravena zahájit testování experimentálního jaderného reaktoru na thorium. Čína doufá, že budování komerčního jaderného energetického průmyslu založeného na thoriu jí pomůže splnit její cíl nulových emisí uhlíku do roku 2060.

Reaktory na bázi thoria se však stále potýkají s ekonomickou životaschopností. Uran těžil z desetiletí výzkumu, vývoje a infrastruktury díky jeho dvojím aplikacím ve zbraních a energetice během studené války. Tento výzkum umožnil zemím vytvořit velkou znalostní základnu, díky níž je energie na bázi uranu snazší možností.

S tím v podstatě souhlasí i prezident České nukleární společnosti Daneš Burket, který na náš dotaz odpověděl:

„Thoriové reaktory jsou z pohledu využití štěpného materiálu velmi důležité ne-li klíčové pro zajištění udržitelnosti jaderné energetiky. Bohužel se obávám, že kromě vybraných zemí (Indie, Austrálie) se této alternativě věnuje velmi málo pozornosti, takže se obávám, že jejich komerční nasazení je v nedohledu – určitě ne dříve než po roce 2040.“

Výzvy pro chemický výzkum v ČR:

- Vývoji malých jaderných modulárních reaktorů (viz kap. 5.9.)
- Využití vyhořelého jaderného paliva

Cílem přepracování vyhořelého paliva je separace uranu a plutonia od štěpných produktů, jejich recyklace a opětovné použití v palivovém cyklu. Přepracování vyhořelého paliva je náročný proces jak z hlediska technologie, tak z hlediska bezpečnosti. Vyhořelé palivo i jeho vodné roztoky jsou během procesu vysoce radioaktivní. Proto se v přepracovacích závodech používají zařízení, která jsou vysoce provozně spolehlivá a dálkově ovladatelná, ale zároveň mají snadnou údržbu. Přepracováním lze znovu získat palivo pro výrobu energie v jaderném reaktoru. Další výhodou je snížení radioaktivity a objemu radioaktivního odpadu, který bude třeba uložit v hlubinném úložišti. Vyhořelé jaderné palivo je možné přepracovat pomocí řady metod. Příkladem jsou procesy REDOX, BUTEX, TRIGLY a především PUREX, nejvíce používaný jak v minulosti, tak současně. Tyto metody slouží na extrakci plutonia a uranu, jejich recyklaci (např. v směsném oxidickém palivu, tzv. MOX) a opětovnému užití v palivovém cyklu. Z toho vyplývá, že recyklací se ušetří přírodní uran.

Typický průběh přepracování je následující. Po přijetí paliva následuje rozstříhání jeho povlakového materiálu na kratší kusy, dále je rozpuštěno v kyselině dusičné, čímž se oddělí složky paliva a pouzdra palivových elementů. Vzniklý roztok se čistí ve speciální jednotce, tuhé částičky jsou odstraněny odstředěním a filtrací. Dalším krokem je určení množství štěpného materiálu ve vyčištěném roztoku a separace uranu a plutonia od vysoce radioaktivních štěpných produktů a aktinidů. Získaný uran a plutonium se čistí, zkoncentrují, konvertují na oxidy a uskladní. Stejně tak se zkoncentrují a uskladní štěpné produkty.

Aby mohl být uran znovu použit jako palivo, musel by být obohacen, ale v současné době není třeba obohacovat přepracovaný uran vzhledem k dostatečným zásobám přírodního uranu. V dnešní době je stále levnější použít palivo jednorázově. Přepracováním paliva vznikají další radioaktivní odpady – kapalné, kovové a plynné odpady.

Koncepce nakládání s radioaktivními odpady a vyhořelým palivem v ČR – vychází především ze strategie přímého uložení v hlubinném úložišti, které je považováno za bezpečné, nejekonomičtější řešení. Do jeho zprovoznění bude vyhořelé palivo skladováno v přípovrchových úložištích – meziskladech.

Vybudovat centrálního hlubinné úložiště jaderného odpadu v Česku má stát 100–150 miliard korun, mělo by být hotové nejpozději r. do roku 2065.

Návrh projektu: Zpracování vyhořelého jaderného paliva

Cíl: prozkoumat možnosti zpracování vyhořelého jaderného paliva s cílem výrazného snížení celkové radioaktivity a poločasu rozpadu klíčových izotopů, nezhoršení možností konzervace a dlouhodobého uložení, nezhoršení toxicity a rizik pro životní prostředí.

Posouzení ekonomické efektivity separačního procesu.

Předpokládá se kombinace fyzikálních (využití neutronových toků v zatím v ČR neinstalovaných rychlých jaderných reaktorech) a chemických metod (prvková separace, recyklace).

Cílem je ověření potenciálu přepracování jaderného paliva v ČR.

Jsou řešeny další projekty v ČR jako:

- Vývoj zařízení pro separaci vzácných plynů z helia

- Technologie čištění plynu a těsnění spojů pro pokročilé aplikace v jaderné i nejaderné energetice
- Vývoj materiálů pro pokročilé jaderné reaktory a další energetické aplikace

#### Jaderná fúze 7)

Evropská cestovní mapa pro realizaci fúzní energetiky předpokládá, že první prototyp fúzní elektrárny na bázi tokamaku, pracovně nazývaný DEMO, bude zprovozněn v letech 2050–2060.

V jeho vývoji bude hrát zásadní roli úspěch v současné době budovaného výzkumného fúzního reaktoru ITER, který má za úkol prokázat, že lze technologicky realizovat uvolňování energie jadernou fúzí. Tokamak ITER je jedním z největších vědeckých projektů v dějinách lidstva. Předpokládá se spuštění zkušebního reaktoru v roce 2025 a dosažení plných parametrů kolem roku 2035. Fúzní výkon reaktoru by měl dosáhnout 500 MW.

V ČR klíčovou roli má Ústav fyziky plazmatu Akademie věd ČR (ÚFP). Významným milníkem pro rozvoj českého fúzního výzkumu v oblasti jaderné fúze byl vstup ČR do Evropského společenství pro atomovou energii EURATOM v roce 1999, který výrazně rozšířil možnosti mezinárodní spolupráce. Významným přínosem české vědy bylo zprovoznění nového tokamaku COMPASS Upgrade, který byl zahrnut jako budoucí evropské fúzní zařízení pro testování technologie tekutých kovů. Projekt zařadil ČR mezi země v čele celosvětového fúzního výzkumu a poskytne významnou perspektivu nové generaci českých i zahraničních vědeckých pracovníků. Jako příklad může sloužit nově vybudovaná Laboratoř horkého plazmatu a fúzní techniky, zkráceně PlasmaLab@CTU na Fakultě jaderné a fyzikálně inženýrské ČVUT v Praze (FJFI).

Významnou část tuzemských aktivit tvoří také materiálový výzkum, v jehož rámci se čeští vědci podílejí na vývoji nových pokročilých materiálů pro fúzní aplikace.

Další zajímavé aplikace v Centru výzkumu Řež je zařízení HELCZA (High Energy Load Czech Assembly), které je určeno pro testování materiálů komponent fúzního reaktoru ITER.

V ČR se výzkumem řešícím výše uvedené výzvy zabývají:

Centrum výzkumu Řež s.r.o.

Laboratoř termojaderné fúze ČVUT Praha

Fakulta elektrotechnická ČVUT Praha (např. Využití vyhořelého jaderného paliva)

VŠCHT Praha

Ústav fyziky plazmatu Akademie věd ČR (ÚFP) Praha

Vědci z Fyzikálního ústavu Akademie věd pomáhají studovat nestability v plazmatu, Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská ČVUT se zase podílí na nezbytném vzdělávání. Odborníků na fúzi je totiž celosvětově nedostatek.

V pátek 2. září 2022 Rada pro výzkum, vývoj a inovace (RVVI) projednala mimo další stav projektu experimentálního zařízení COMPASS-U: Tokamak pro špičkový výzkum jaderné fúze. RVVI dlouhodobě a kontinuálně považuje podporu výzkumu v oblasti energetiky, vč. výzkumu termojaderné fúze, za jednu z klíčových priorit výzkumných aktivit a jejich financování v ČR. **8)**

Zdroje:

1. <https://www.svetenergie.cz/cz/energetika-zblizka/jaderne-elektrarny/jaderna-elektrarna-podrobne/male-a- mikro-reaktory/vyklad>
2. <https://www.sujb.cz/aktualne/detail/male-modularni-reaktory-jak-je-vidi-sujb>
3. <https://www.hybrid.cz/vyvoj-malych-modularnich-reaktoru-zrychluje-nuscale-pripravuje-prvni-projekt/>
4. What is Uranium Investing , Investing News Network duben 2022
5. Are Thorium Reactors the Future of Nuclear Energy? Investing News Network inn@investingnews.com 8.7.2022
6. What is Uranium Investing News Network 2022
7. [Evropská cestovní mapa pro realizaci fúzní energetiky](#)
8. Tiskové sdělení Rady pro výzkum, vývoj a inovace - Úřadu vlády ČR 2. 9. 2022

## 5.6. Průmyslové biotechnologie – nezastupitelná alternativa nových možností a udržitelnosti v chemickém průmyslu

Průmyslové biotechnologie zahrnuje celou řadu nových možností, jak řešit výzvy pro zajištění udržitelnosti jako jsou biokatalyzátory, bioreaktory, biopaliva, nová pokročilá léčiva a biofarmaka. Vyvinout biokatalyzátory, které budou lepší, rychlejší a lacinější než běžné chemické katalyzátory. Biologická produkce metanolu z odpadního metanu. Komeracionalizace biorafinerií 2. generace a vývoj koncepcí biorafinerie 3. generace Šlechtění a kultivace nových typů mikroorganismů pro účinné a selektivní realizace nových chemických produktů pro potravinářství, zemědělství, kosmetiku, agrochemikálií a další odvětví.

Průmyslová biotechnologie zahrnuje praxi využívání buněk k výrobě produktů užitečných v průmyslu. Enzym je protein, který katalyzuje nebo urychluje chemickou reakci. Hlavní výhodou enzymů ve srovnání s dalšími katalyzátory je jejich stereoregio- a chemoselektivita a specifita. Biotechnologické procesy mohou mít potenciál v produkci energie, zvláště pak v náhradě obnovitelných rostlinných biomas využívaných jako zdroj potravy, To bude záviset na schopnosti enzymů degradovat celulózu rostlinné biomasy a na vytvoření metod, jak recyklovat nebo likvidovat spotřebovanou biomasu.

V biotechnologii chemického a farmaceutického průmyslu se hojně využívá fermentačních pochodů, biotransformace perkurzorů a biosyntéza léčiv rekombinantními organismy. Příklady fermentace a biotransformace, které se provádí v průmyslovém měřítku jsou produkce aminokyselin, léčiv a jejich perkurzorů, potravin a kosmetiky, agrochemikálií a rozličných dalších chemikálií. Biotechnologické procesy se používají téměř exkluzivně k syntéze speciálních jemných chemikálií vysoké hodnoty pro asymetrickou syntézu chirálních látek.

V nápojovém a potravinovém průmyslu se biotechnologie již široce využívá, a to především v krocích, které vyžadují enzymy a mikroorganismy. To zahrnuje zejména průmysl mléčných výrobků, produkci syrových uzenin, pečení, výrobu alkoholických nápojů, přísad do potravin jako např. vitamíny, aminokyseliny či organické kyseliny a přípravu enzymů. Navíc se biotechnologie uplatňuje stále více v analýze potravin. Tradičně se k produkci enzymů využívají bakterie, kvasinky a houby. Aplikace biotechnologických procesů si získává celosvětovou pozornost i v papírenském průmyslu. Ve většině případů se aplikují kombinace biotechnologie, chemických a fyzikálních postupů. Důležité příklady zahrnují např. následující:

biopulpace dřevěných hoblin (pomocí hub), vylepšování odvodňovacích vlastností, odbarvování.

V textilním průmyslu se biotechnologické postupy mohou aplikovat na následující procesy: předmývání látek, srážení škrobu, bio-barvení při zpracování denimových látek, zlepšování fixace barvy ve vláknech, modifikace povrchu dalších vymývatelných produktů. Potenciál pro aplikaci biotechnologie v kožedělném oboru spočívá v enzymatickém odstranění chlupů, konverzi odpadních látek z produkce kůže na látky, které lze využít ještě dále.

Biotechnologický průmysl udělal skok ve vývoji během posledních 25 let. Je jedním z výzkumně nejintenzivnějších odvětví na světě a typické je, že jde o malé či středně velké podniky zakládané výzkumnými pracovníky ze sféry akademické či průmyslové. Biotechnologické firmy obvykle vyvíjejí a prodávají nové technologie, služby či produkty ze všech odvětví biologických věd. Většina z nich se vyznačuje zaváděním novinek, flexibilitou a rychlostí. Ale také se spoléhají na vládní iniciativy a na klíčové vztahy s akademickou obcí, finančním světem a rizikovým kapitálem anebo, v mnoha případech, s velkými farmaceutickými firmami. Biotechnologické podniky jsou často v regionálních „klastrech“, které umožňují těsnou interakci s dalšími firmami, výzkumnými ústavami a klinikami.

Pro biotechnologický průmysl je charakteristické vysoké riziko. K tomu přispívá třeba okolnost, že jen zlomek testovaných látek se osvědčí jako léčivo, vysoké náklady na prověřování bezpečnosti a zdlouhavé registrační řízení.

U biomasy lze předpokládat použití udržitelných surovin, které nejsou vhodné pro potraviny. Vzhledem k tomu, že biomasa je omezený zdroj, který využívají i jiná odvětví, např. bioenergie a biopaliva, úvahy se omezují na dostupná rezidua jako dřevo a lesní zbytky, vedlejší produkty ze zemědělství, komunální odpad, průmyslové zbytky a zbytky z jiných oblastí.

Základní podklady pro tuto SVA poskytli odborníci z Ústavu chemických procesů AV ČR 1).

V úvodu svého příspěvku upozornili na skutečnost, že zatím co veřejnost sleduje dopady takových událostí jako jsou války, migrace, teroristické akce, stoupající aktivity hackerských úsilí rozvracet společnost a podobných negativ, do značné míry se upozadují problémy, které jsou s těmito srovnatelné tím, že zdánlivě skrytě a neagresivně, ale rychlým tempem mohou přivést celou společnost do stavu, kdy rozvinuté i rozvíjející se ekonomiky se octnou v bodu, kdy již základní potřeby nebudou stačit, pro téměř exponenciálně stoupající nárůst populace. Voda, potraviny, energie, půda, suroviny pro výrobu komodit, a nakonec ani dýchací vzduch a zdravé životní prostředí nemusí být relativně brzy samozřejmostí. Rozvinuté informační technologie tento stav nezachránějí.

Před lidskou populací tak dnes stojí výzva udržet potřebný rozvoj všech segmentů průmyslu. Udržitelný rozvoj společnosti je zjevně nejobtížnější výzvou, které lidstvo kdy čelilo. Dosažení udržitelnosti vyžaduje řešení mnoha základních problémů na místní, regionální a globální úrovni. Na všech úrovních musí věda a technologie hrát zásadní roli při dosahování udržitelnosti, ale stejně důležitá jsou politická rozhodnutí, podpořená společenskou podporou a koordinovanými politickými přístupy, což se bohužel prozatím ne vždy chápe a k tomu chybí i globální nadhled a vize budoucnosti.

Teoretický postoj k zamezení takového stavu vypadá zdánlivě prostě: musí se snížit výstupy odpadů, aby se dále nekontaminovaly zásoby vody ve všech jejích podobách, půdy a ovzduší, k tomu najít potravinové zdroje s vysokou produktivitou i na ubývajících plochách zemědělských půd, dále najít nové dostatečné zdroje obnovitelné energie a nové materiály, které by nahradily ty neobnovitelné, zejména minerální. Všechny tyto segmenty v podstatě doposud významně saturuje nezastupitelným způsobem chemický a energetický průmysl, metalurgie, strojírenství, zemědělství, ale jejich materiálová, surovinová základna, jak jsme na ní doposud zvyklí, bude ubývat. Obrovskou pozitivní obnovitelnou roli může hrát již v blízkém budoucnu biotechnologický průmysl, využívající obnovitelné přírodní zdroje bio-rafinacním způsobem. Nastupující nové průmyslové oblasti jako jsou mikroelektronika, telekomunikace, informační technologie, a právě biotechnologie vyžadující méně intenzivně stávajících a možných zdrojů ve srovnání s tradičními sektory průmyslu, ale samy o sobě udržitelnost zajistí, jen budou-li ekonomicky schůdné, environmentálně kompatibilní a vstřícné sociálně. Modely publikované autory zejména ze zemí OECD jsou teoretické vypracované, ale zatím čekají na reálné ověření a potvrzení (OECD Action Plan on the Sustainable Development Goals).

2)

## **Role biotechnologie v chemickém průmyslu**

Role biotechnologie v těchto budoucích plánech je podstatná a rozprostřená v podstatě do čtyř různých oblastí (Gavrilescu a Chisti,): (viz práce 3).

Nová odvětví genetické inženýrství, proteinové inženýrství, metabolické inženýrství, jejich náplň zvolna se naplňující na základě intenzivního vědního přístupu v posledních letech, a čtvrtá oblast, známá jednoduše jako biopcesy, které již po dekády se prakticky prezentují dopady, např. v oblasti fermentačních výrob, biopalivech, bioremediacích, přípravě biopotravin atd., tedy všude, kde se uplatňují procesní reakce, na příklad biokatalýza.

Genetické inženýrství zde zjednodušeně uvažujeme jako proces, využívající rekombinantní DNA technologii pro změny genetického setu genů organismu. Proteinovým inženýrstvím rozumíme procesy přípravy užitečných a cenných proteinů. Metabolické inženýrství chápeme jako praktickou optimalizaci a regulační procesy uvnitř buněk za účelem produkci určitých substancí těmito buňkami biomasy.

Biokatalýza biologickými katalyzátory, enzymy, podporovaná ko-faktory, je odvěký základ mnohých biotechnologických procesů, kdy lidstvo v dnešní podobě ještě neexistovalo, a na Zemi se miliony let utvářel život jako takový. Je to především fotosyntéza, složitý biochemický proces, při kterém se mění přijatá energie světelného záření na energii chemických vazeb. Využívá se tak světelného, např. slunečního, záření k syntéze energeticky bohatých organických sloučenin – cukrů – a to z jednoduchých anorganických látek – především oxidu uhličitého (CO<sub>2</sub>) a vody za účasti pigmentu chlorofylu, absorbentu záření. Fotosyntéza má zásadní význam pro život na Zemi. Fotosyntéza probíhá v chloroplastech zelených rostlin a mnohých dalších eukaryotických organismů (různé řasy), ale také v buňkách sinic a některých dalších bakterií. V jednom z kroků fotosyntézy je to právě enzym rubisco aktivující oxid

uhlíčitý, nejrozšířenější protein na Zemi. Fotosyntéza, která funguje dodnes jako první pilíř biotechnologie a vytváří biomasu, kterou exploatujeme biorafinací, a která poskytuje zdroj uhlíku pro mikroorganismy jako pro druhý pilíř biotechnologie, které již byly ostatně známé a aplikované ve starověku např. při výrobě vína a chleba.

Využití biokatalyzátorů pro chemickou výrobu pokrývá dnes vysoce vyvinutá aplikovaná věda. Enzymy i celé buňky se využívají pro katalýzu organických reakcí, snad nejobecnější případ je kvasinkami zprostředkovaná transformace cukrů na alkoholy. Nejvíce využívanou skupinou biokatalyzátorů jsou lipázy, hydrolyzující tuky na mastné kyseliny, nebo pro syntézu esterů a amidů z nich, což se využívá v potravinářství, syntéze chemikálií a produkci biopaliv. Jako enzymové katalyzátory se hojně aplikují proteázy, celulózy a amylázy, pro hydrolýzu proteinů, celulózy a škrobu. Co je na těch katalyzátorech podstatné? Zajišťují dobré výtěžky, vysokou selektivitu žádaného produktu. Zmíněné proteinové inženýrství se v současnosti bez biokatalýzy neobejde.

Chemický průmysl produkuje obrovské množství produktů, jako jsou základní a speciální produkty z různých surovin včetně rafinace ropy, papíru a celulózy, získávání kovů, pigmentů a syntetických hnojiv a pesticidů, barev, plastů, farmak, produktů osobní péče. Chemický průmysl zasahuje tak do textilního a automobilového průmyslu a do řady dalších sektorů. Chemické speciality se zaměřují na adheziva, katalyzátory, aditiva do plastů, produkty osobní péče jako jsou mýdla, detergenty, kosmetika, zubní pasty, ochranné prostředky proti slunečnímu záření, z farmak pak léčiva všech kategorií.

Biotechnologie se uplatňuje ve všech těchto sektorech specifickým způsobem, a to již po několik dekád vyvinutých procesů, jako jsou alkoholy jako etanol a butanol, antibiotika, aminokyseliny, vitaminy, průmyslové enzymy, a platformní chemikálie, jako ethylen glykol, kyselina jantarová, 5-hydroxy-methyl-furfural (5-HMF), kyselina mléčná, levulinová, glutamová, citronová, fenoly, aj.). Nejvíce vyráběných komodit v milionech a stovkách tisíců tun/rok byly v minulých dekádách podle Gavrilescu a Chisti 3): uvádějí příklady udržitelných alternativ pro chemické procesy v průmyslovém měřítku ročních produkcí některých komodit, na příklad: bioethanol (26, 000 000), L-glutamová kyselina (1,000 000), Citronová kyselina (1,000 000), l-lysin (350.000) a kyselina mléčná (250.000). Je jasné, že bez rozhodujícího příspěvku mikroorganismů by tyto syntézy nebylo vůbec možné procesovat.

## **Příspěvek mikroorganismů v průmyslové biotechnologii a chemii**

Je evidentní, že život na Zemi bez mikroorganismů není možný. Průmyslově se využívají již přes 100 let. Diverzita všech enzymů je obrovská a jejich metabolické dráhy, jsou-li všechny známé, jsou velmi rozličné. V posledních letech byl učiněn pokrok ve znalostech v rekombinantní DNA, který přinesl mnohé změny do průmyslové mikrobiologie. Byly modifikovány biosyntetické dráhy pomocí metabolického inženýrství a získány nové metabolity, zlepšena selektivita a aktivita enzymů, a aplikace geneticky modifikovaných mikroorganismů přináší nové možnosti získávání chemických látek. Užití mikroorganismů v chemii není žádný nový vynález, jak jsme zmínili v úvodu. Cíleně aplikované bakterie a fungi jsou již dnes využívány k produkci chemikálií, farmak a parfémů již dekady. Tyto reakce, často nazývané jako biotransformace, mají řadu výhod nad konvenčními chemickými reakcemi. Zejména jsou vysoce účinné a selektivní, nenákladné pro produkci syntetických analogů, získávaných chemickou cestou.



Mikrobiálně katalyzovaná biotransformace mají zejména významný potenciál pro výrobu strukturně různých organických látek s komplexní strukturou, jako jsou třeba sesquiterpenoidy, flavonoidy, steroidy, saponiny. Katalyzují chemo-regio-a stereospecifické hydroxylace různých substrátů, které jsou jinak extrémně nesnadně být produkovány chemicky. V tzv. zelené chemii, biotransformace jsou důležitou chemickou metodou pro udržitelné průmyslové procesy viz 4)

Enzymové biokatalyzátory se uplatňují u více než 500 produktů (Demain a Adrio, 5) Uplatňují se v potravinářství, výrobě detergentů, v textilním, kožedělném a papírenském průmyslu. Odhad objemu obchodu s enzymy ve světě v roce 2000 činil cca 2 miliardy USD. Jsou to zejména procesy: bakteriální glukóza izomeráza, kvasinková invertáza a laktáza, a alfa-galaktosidáza, proteázy.

Produkují sekundární metabolity jako antibiotika, pesticidy, růstové faktory pro rostliny i živočichy, antiinfekční látky a antibiotiky zejména rody *Streptomyces* a vláknitými mikrohoubami. Globální trh s antibiotiky byl v roce 2000 kolem 35 miliard USD. V protirakovinových prostředcích to je nejúspěšnější taxol, původně nalezený v rostlinách, ale produkován houbou *Taxomyces andreanae*. Světový trh je opět v jednotkách miliard USD. Jsou to i statiny, proti-cholesterové prostředky, produkované ve výši 15 miliard USD, např. compactin, jako produkt fungi *Penicillium brevicompactum*. Jsou to i imunosupresiva, umožňující transplantaci orgánů, jako cyclosporin z plísně *Tolypocladium inflatum*. Dále celá řada bioinsekticidů na bázi *Bacillus thuringiensis*, které jsou údajně až 800 000krát účinnější než chemický pyrethroid. Z primárních metabolitů je to zejména monosodium glutamát, kterého se vyrábí kolem miliardy kg/rok fermentací *Corynebacterium* and *Brevibacterium*. Za zmínku stojí i produkce vitaminů, např. B12, průmyslově vyráběný pomocí *Propionibacterium shermanii* nebo *Pseudomonas denitrificans*, kterého se vyrábí ročně za 70 milionů USD, nebo kyseliny citronové z *Aspergillus niger* za 2 miliardy USD/rok.

Bezpečně vede etanol, získávaný fermentačně z cukrů, nebo polysacharidů depolymerizovaných na cukry, v případě hexóz pomocí *Saccharomyces cerevisiae* a *Kluyveromyces fragilis* nebo *Candida sp.* z laktózy, nebo pentózy. Jeho zamýšlené užití jako motorové palivo je sice ekologické, ale prozatím velmi drahé. Také technologie rekombinantní DNA má v současnosti jisté úspěchy v úspěšné konverzi na etanol, zkouší se bakterie *Zymomonas* a anaerobní *Clostridium thermocellum* k přímé konverzi odpadní celulózy na etanol. Proteázy, lipázy, amylázy, oxidázy, peroxidázy a celulózy jsou přidávány do detergentů. Proteázy v pracích detergentech činí asi 25 % ceny ze všech produkováných enzymů.

Mikroorganismy jsou v biotransformačních procesech extrémně účinné. Jako příklad prvního úspěšného procesu, konkurujícímu chemickému v petrochemii, je považovaná konverze akrylonitrilu na akrylamid a produkce nikotinamidu, vitaminu B3, užitím *Rhodococcus rhodochrous*, který na rozdíl od chemického procesu, nedává vedlejší produkty.

V posledních letech to je zejména rekombinantní DNA technologie, která využívá různé průmyslové mikroorganismy, např. *E. coli*, *B. subtilis*, *S. cerevisiae*, *Pichia pastoris*, *Hansenula polymorpha*, a *Aspergillus* and *Trichoderma* jako rekombinantní host pro řadu farmak, jako jsou inzulin (hormon snižující hladinu cukru v krvi), interferony (proteiny v protivirové obraně), vakcíny proti hepatitidě B, interleukiny (protizánětlivé cytokiny), ale i výroba etanolu, aminokyselin, xantanu, apod. geneticky manipulovanými mikroorganismy 5)).

Specifickou třídou s možností produkce lipidů (potenciálně využitelných pro biopaliva a bioaktivní látky) jsou mikrořasy. V odborné literatuře je jim v tomto směru předpovídána značná úspěšnost. Mikrořasy obsahují relativně značný obsah lipidů, u některých vyšlechtěných kmenů to může být až 30-40 % jejich hmotnosti. Otevírá to možnost využít lipidy mikrořas známou technologií pro přípravu metylesterů mastných kyselin jako motorového biopaliva. Předpokládá se přitom kultivace řas nejspíše autotrofně na otevřených bazénech, cirkulačních otevřených bioreaktorech typu „běžecké dráhy“, nebo na otevřených plošinách, na kterých teče vrstva řasové suspenze o výšce do cca 6 mm. Donátorem uhlíku je atmosférický oxid uhličitý. Optimismus závěru takových publikovaných sdělení o perspektivě mikrořas pro výrobu motorových biopaliv je však třeba korigovat ekonomickým pohledem: maximální produktivita lipidů dosahovaná na neúčinnějších plošinových reaktorech, které byly předmětem našich výzkumů, dosahuje koncentrace mikrořas kolem 20 g sušiny řas/m<sup>2</sup> plošiny /den, přičemž např. v zemích Střední Evropy je doba sklizně za rok asi 150 dní. Při obsahu lipidů v sušině mikrořas kolem 30 % lze odhadnout plochy takových otevřených bioreaktorů, které by musely být enormní, přičemž výrobní cena za 1 kg takových mikrořas se pohybuje mezi 300-1000 Kč. Ekonomicky je tento způsob zatím neúnosný. Možností by byla heterogenní kultivace některých vybraných kmenů mikrořas ve velkých aerobních uzavřených bioreaktorech-fermentorech, kde zdrojem uhlíku může být např. odpadní glycerol z procesu transesterifikace, kde koncentrace mikrořas dosahuje během cca 5-6 dní až 80-100 g/litr. Je však třeba zvládnout striktní dodržení sterility takových reaktorů. Nicméně, jsou technické předpoklady pro možnou budoucí výrobu motorových biopaliv z řas i touto technologií a její optimalizaci. V současnosti asi 2 zahraniční společnosti provozují tyto typy kultivací ve fermentorech objemu cca 10 m<sup>3</sup> za účelem získání omega-3- nenasycených mastných kyselin jako výživových doplňků. Rozhodující tedy bude chemicko-inženýrské řešení takových bioreaktorů.

Jaký je význam biotechnologie pro chemii v současnosti a v budoucnosti?

Úspěchy a pokrok genetického inženýrství překonaly možnosti tradiční biotechnologie s neupravenými mikroorganismy. Světové chemické společnosti jako Monsanto a Du Pont na nové biotechnologie v posledních letech v řadě výrobků, jako pesticidy, produkty osobní péče apod., již zcela přešly a zvolna opouštějí zaměření na petrochemii. Jistě nelze tradiční petrochemickou výrobu zcela opustit, jsou prověřené a zaběhnuté, ale postupně je snaha nahrazovat chemikálie na bázi petrochemických zdrojů produkty bio-rafinace. Někteří autoři dospěli k závěru, že je možné v podstatě všechny chemické sloučeniny získané na bázi petrochemických surovin nahradit produkty bio-rafinace z biomasy 6) Současně však připomínají, že to závisí na prioritách společenského mínění, již zvyklého na pohodlnou konzumaci výrobků na bázi fosilních zdrojů, kterých chemický průmysl využívá asi 10 % současných zásob. Takové výrobky, vyrobené ekologickými technologiemi, mohou být i dražší. Taková náhrada není jistě otázkou překotných změn, ale příprava včetně důkladných analýz přechodu je nezbytná a měla by začít. Je to zejména obrovský nárůst plastů v posledních letech (až 100 kg/hlavu/rok ve státech s vyspělou ekonomikou), které jsou založeny na exploataci fosilních surovin, který bude udržovat konzumaci fosilních zdrojů nadále, protože plasty jsou hlavním driverem poptávky po ropě 7). Na druhé straně, hromadění odpadních plastů je celosvětový velký problém, stejně jako obava z růstu CO<sub>2</sub>, které musí být co nejrychleji řešeny. Některé plasty lze připravovat i biotechnologicky (např. poly-alkanoáty), ale cesta k jejich masovému nasazení je ještě daleká.

Co je nutné učinit, aby bio-katalýza, o jejíž přednostech se nepochybuje, byla skutečně v chemických technologiích plně využitelná?

Enzymatické procesy mají sice jasné výhody ve srovnání s jejich chemickými alternativami, a je třeba zintenzivnit výzkum, aby byly i cenově kompetitivní v rozsáhlém chemickém průmyslu. Je třeba investovat do vědy a výzkumu v udržitelných technologiích 8).

Byly identifikovány kroky, které musí bio-katalýza dosáhnout, aby se plně uplatnila v udržitelném chemickém průmyslu, jako např. vývoj biokatalyzátorů účinnějších a lacinějších než jejich chemické srovnatelné katalyzátory, musí být kompatibilní i se solventy a zvýšit vědní poznání v molekulárním působení enzymů, aby se mohly modelovat a konstruovat nové specifické biokatalyzátory. Opět je nutno zdůraznit nutnost nalézt nové bio-degradovatelné plasty, některé kroky, jako biologicky zvládnutý proces biokonverze akrylonitrilu na kyselinu akrylovou na poly-akrylamid je nadějným příkladem.

Dalším problémem, který je třeba řešit, jsou biopesticidy, které řešíme v kap. 5.4. Doposud zaujímají jen jednotky % z rodiny chemických pesticidů, které jsou významným ekologickým polutantem.9). Podobně známe bio-hnojiva (dusík fixující rhizobiální bakterie jako *Rhizobium*, *Cynobacteria*, a půdní bio-stimulanty). Od užití bio-hnojiv si slibujeme snížení environmentální zátěže, zejména vodní eutrofizace.

Významně se začíná uplatňovat tzv. bio-pulping. Jde o ošetření dřevních štěpek lignin – degradujícími fungi před rozvlákněním dřeva. Významně snižuje energetické výdaje na mechanické a chemické rozvláknění pro separaci celulózy od ligninu, zlepšuje kvalitu papíru a významně snižuje environmentální dopady, spojené s průmyslem papíru a celulózy. Zejména je enzymová technika platná při recyklaci potiskovaného papíru, kdy odstraňuje tisk a barvy.

Rozhodující role při remediaci půd a vod patří bio-remediacím, které tvoří vlastní vědní a aplikační disciplínu environmentálního inženýrství. Je to zaběhnutá technika, aplikovaná po desítky let na dekontaminaci komunálních i průmyslových vod bakteriálním mixem v aerobním i anaerobním modu.

Poslední problémy s pandemií COVID-19 však vyvolávají nová řešení dekontaminace vod, do kterých se vir dostává a může tak představovat jednu z cest jeho mobility a šíření v populaci. Jedinou metodou, jak takový vir zde ničit, je dezinfekce na bázi dezinfekčních procesů, např. chloru a jeho sloučenin, nebo pokročilých oxidačních procesů, jako užití hydrogen peroxidu. Tyto dezinfekční produkty však vyvolávají tvorbu např. tri-halogenmetanů nebo organických oxidačních meziproductů, většinou chemicky ani neidentifikovatelných, které jsou karcinogenní a mutagenní. Jednou z potenciálních možností, které je nutno rychle vyvíjet, by mohly být i mikrobiální degradace v tzv. membránových bioreaktorech, a i zde je otevřený prostor k dalšímu výzkumu a rychlým aplikacím.

Aplikace biotechnologií v řadě průmyslových sektorů, zvláště v chemickém, přináší ekonomické a environmentální výhody v méně nákladných řešeních, zvýšení kvality produktů, tvorbu zcela nových produktů, přičemž jde o environmentálně zdravější operace. Hlavní hnací síla uvádění biotechnologie do chemického průmyslu je ekonomická výhodnost (ne prozatím vždy splnitelný cíl, ale je předmětem intenzivního řešení) a již řečená jediná možnost splnění fenoménu udržitelnosti. Industriální biotechnologie je příležitost, jak změnit cesty výroby

energie, chemikálií a jiných žádaných produktů. Genově manipulovaná bio-katalýza umožní nové využití –recyklaci spotřebovaných produktů, dříve nemožné a přípravu nových produktů. Společnost musí být postupně přesvědčena, že genové manipulace odpovědně vedené na vysokém stupni vědního poznání, jsou užitečné, a možná, že v budoucnu jediné možné, jak se vypořádat s rostoucí populací, zejména v rozvíjejících se zemích, a při zvyšujících se životních nárocích. Nepochybně, biotechnologie umožní, aby i zcela nezastupitelný chemický průmysl, se v blízké budoucnosti stal zdravější a kompatibilní s nároky na zdravou planetu Zemi.**10)**

Příklady potenciálních aplikací průmyslových biotechnologií

- Metanol z biomasy – řešeno v kap. 5.1. d
- Bioplyn

Plyn v tuzemsku v současné době pochází výhradně z fosilních zdrojů. Do určité míry je možné ho nahradit biometanem, který se získává technologickou úpravou bioplynu. K produkci bioplynu přitom u nás dochází už po desetiletí – vyrábí se zpracováním biologicky rozložitelných materiálů v bioplynových stanicích, například kalů z čistíren odpadních vod, bioodpadů, statkových hnojiv nebo cíleně pěstovaných energetických plodin.

Bioplynové stanice se podílejí na výrobě elektrické energie z obnovitelných zdrojů v ČR 23 %, což je nezanedbatelný podíl. Ročně vyrobí elektrickou energii v objemu 2526 GWh. Aktuálně se jich na našem území nachází téměř 580. Řada z nich byla postavena v dotačním boomeru kolem roku 2011, kdy vznikl na území ČR rekordní počet přesahující stovku staveb. S postupným zastaráváním technologií a možnostmi nových řešení na trhu, které bioplynovým stanicím dokáží výrazně zoptimalizovat provoz, se očekává jejich modernizace a snižování nákladů.

Zemědělské družstvo v Litomyšli se jako jedno z prvních v České republice rozhodlo pro změnu technologie využití bioplynu, který produkuje ve své bioplynové stanici. Namísto výroby pouze elektrické energie a tepla bude družstvo bioplyn čistit na biometan. Ten bude zároveň vtlačet do stávající plynárenské rozvodné sítě. Součástí nového projektu je i stavba čerpací stanice na stlačený zemní plyn (CNG) v přilehlém areálu v obci Dolní Újezd. Prostřednictvím této stanice bude družstvo vyrobený biometan používat k pohonu svých vozidel a zároveň ho nabídne i veřejnosti. Celou investici za více než 50 milionů korun zrealizují společnosti Hutira Brno a Hutira green gas.

Pro úsporu nákladů bioplynových stanic je tedy důležité celkové nastavení řídicího systému a propojení řízení jednotlivých technologií. Tím lze dosáhnout snížení provozních nákladů a zefektivnit tak výrobu elektrické energie a tepla. Sledováním a vyhodnocením vhodných provozních dat je také možné snížit servisní náklady a případné ztráty při neočekávaných odstávkách prostřednictvím plánované údržby nebo výměny jednotlivých částí technologie. Při optimalizaci je tedy velmi důležitá úzká spolupráce a propojení dodavatele technologií a výrobce řídicího systému, a to ideálně v podobě full servisu, kdy se provozovatel se všemi problémy obrací na jednu společnost a konkrétní zodpovědnou osobu. „Máme s tímto modelem výborné zkušenosti. U řady zákazníků jsme takto dosáhli zvýšení komfortu obsluhy

bioplynových stanic, snížení poruchovosti a zjednodušení detekce závad i zvýšení rychlosti jejich odstranění. Dalším bonusem ve vývoji nových technologií pro zvýšení efektivity bioplynových stanic je možnost využití nových IoT technologií pro bezdrátový sběr, přenos a analýzu dat. Provozovatelé mohou například sledovat chod souvisejících technologií, hladiny ve vzdálených nádržích nebo zabezpečení areálu, a získat tak centralizované informace dostupné jak na operátorském stanovišti, tak případně na tabletu či chytrém telefonu.

V zájmu zvýšení kapacity výroby bioplynu v EU a podpory jeho přeměny na biometan činí odhadované investiční potřeby v daném období 37 miliard EUR.

## **Bio suroviny pro výrobu motorová paliva**

Technopark Kralupy se společně s Ústavem technologie ropy a alternativních paliv VŠCHT Praha zapojil do řešení nového projektu BioMates, který je financován z Rámcového programu pro výzkum a inovace EU Horizont 2020. Projekt BioMates je zaměřen zpracování nepotravinové biomasy na chemické meziprodukty, které by byly využitelné v konvenčních procesech zpracování ropy. Vývoj procesu, který by umožňoval rentabilní a decentralizované zpracování zbytků z rostlinné výroby a nepotravinové biomasy, jako jsou například sláma a vytrvalé traviny je klíčovou aktivitou celého projektu. Cílem projektu je, aby biosložky z tohoto zpracování biomasy dosahovaly takových vlastností, aby byly slučitelné se současnou surovinovou základnu pro výrobu motorových paliv a mohly tak být zpracovány společně ve stávajících rafinériích, které jsou uzpůsobena na zpracování fosilních surovin. Vzniklé hybridní palivo by i přes vysoký obsah biosložek mohlo být využíváno v běžných spalovacích systémech.

Hlavním úkolem VŠCHT je společně s dalším českým účastníkem, firmou RANIDO, s.r.o., vývoj a testování vhodného katalytického systému pro výše popsané využití. Vedle VŠCHT a RANIDO je do řešení projektu zapojen Fraunhofer Institute for Environmental, Safety, and Energy Technology UMSICHT, Německo (koordinátor projektu), Centre for Research & Technology Hellas / CERTH – Chemical Process & Energy Resources Institute / CPERI, Řecko, Imperial College London, Velká Británie, Institut für Energie – und Umweltforschung Heidelberg GmbH, Německo, Hydrogen Efficiency Technologies (HyET) B.V., Nizozemí a BP Europa SE, Německo.

Název projektu: Reliable Bio-based Refinery Intermediates

Dalším významným krokem k zabezpečení požadavků EU na využívání plynu jako udržitelného paliva je rekonstrukce stávajících bioplynových stanic na výrobu bioplynu.

Návrh témata pro českou chemickou VaV:

- mikrobiálně katalyzovaná biotransformace
- mikrobiální degradace v membránových bioreaktorech
- geneticky upravované obilniny (pař. Odolné vůči suchu)
- dekontaminace odpadních vod
- rozkládání netříděných plastových odpadů pomocí termických a chemických metod

- optimalizace výroby motorových biopaliv z řas
- vyvinout pokročilé procesy čištění biologicky dekontaminovaných vod

**Zdroje:**

- 1) Hanika J., Kaštánek F.: *Podkladová studie Průmyslové biotechnologie – nezastupitelná alternativa nových možností a udržitelnosti v chemickém průmyslu.*
- 2) *Better Policies for 2030 – An OECD Action Plan on the Sustainable Development Goals* <http://www.oecd.org/dac/Better%20Policies%20for%202030.pdf>.
- 3) Gavrilescu M., Chisti Y.: *Biotechnology—a sustainable alternative for chemical industry. Biotechnol. Advances* 23 (2005) 471-499
- 4) Arturo Cano-Flores, Javier Gómez, Iker S. Escalona-Torres, Benjamín Velasco-Bejarano: *Microorganisms as Biocatalysts and Enzyme Sources. Open access peer-reviewed chapter. Published: January 16th 2020, DOI: 10.5772/intechopen.90338*
- 5) Arnold L. Demain, Jose L. Adrio: *Contributions of Microorganisms to Industrial Biology Mol. Biotechnol.* 38 (2008) 41-55
- 6) Roddy D.J.: *Biomass in petrochemical world. Interface Focus.* 2013 Feb 6; 3(1): 20120038.
- 7) Wörsdörfer M. *The Future of Petrochemicals. Mechthild Wörsdörfer, Director of Sustainability, Technology and Outlooks IEA7 December 2018, Brussels – EU Refining*
- 8) *Materiál New Biocatalysts: Essential Tools for a Sustainable 21st Century Chemical Industry (www.eere.energy.gov/biomass/pdfs/biocatalysis\_roadmap.pdf*
- 9) Kumar S.: *Biopesticides: A Need for Food and Environmental Safety. Biofertil Biopestici* 2012, 3:4DOI: 10.4172/2155-6202.1000e107
- 10) *Studie dopadů balíčku Fit for 55 na hospodářství ČR–Závěrečná zpráva Deloitte, srpen 2022*

## 5.7. Cirkulární ekonomika

Zacházení s odpady, čištění vzduchu a odpadních vod, efektivní provozování technologií s minimalizací výskytu odpadů, využívání odpadů pro materiálové využití, např. chemická recyklace, Green chemistry – efektivní využívání technologií s minimalizací výskytu odpadních vod a možností jejich zpětného využití. - čištění vzduchu, fotokatalytické nátěry, recyklace ohrožených surovin to jsou významné aspekty uplatnění principů cirkulární ekonomiky v ČR. V rámci MSV byl založen hotspot České cirkulární ekonomiky, který má za cíl implementaci cirkulární ekonomiky do českého prostředí. Existuje rovněž nevládní nezisková organizace Institut cirkulární ekonomiky 1).

Rozdíl mezi cirkulární a lineární ekonomikou dokumentuje obr. č.16



Podle Globálního partnerství pro statistiku elektronického odpadu, což je koalice OSN, Světové zdravotnické organizace (WHO) a dalších institucí, se množství elektronického odpadu, které představuje nebezpečí pro zdraví a životní prostředí, do roku 2030 zvýší celosvětově na 75 milionů tun z 53,6 milionu tun v roce 2019. Elektroodpad obsahuje 69 prvků periodické tabulky. Tyto materiály můžeme díky recyklaci vrátit do výroby a významně tak snížit produkci skleníkových plynů

## Recyklace solárních článků 2)

Německo zažilo největší boom solární energetiky mezi lety 2009-2011. Což znamená, že zhruba kolem roku 2029 by se ve skladištích tamních recyklačních dvorů začaly hromadit stovky tisíc tun solárních panelů. Inženýři Fraunhoferova institutu ve spolupráci s recyklační společností proto vyvinuli metodu, která komplexně řeší materiálovou návratnost. A dokáže i z křemíkových polovodičů získat surovinu pro tvorbu nových solárních článků.

Hmotnost všech momentálně instalovaných solárních panelů v Německu se blíží 5 milionům tun. Tento údaj, názorně dokládající narůstající popularitu OZE, současně demonstruje váhu problému, s nímž se v dohledné době budou potýkat specializovaná recyklační zařízení. Nejen v Německu, ale i ve světě, kde se hmotnost solárních instalací blíží dalším 55 milionům tun. Solární panely sice nabízí čistou energii, ale jejich životní cyklus se zatím bohužel nedal považovat za zcela uzavřený nebo dlouhodobě provozně udržitelný. Tři objemově nejpatrnější komponenty solárních panelů – sklo, hliník a plasty – sice recyklovat umíme, ale pořád tu ještě zůstával velmi výrazný podíl nezpracovaného křemíku, strategických nedostatkových surovin jako je lithium, kobalt, mangan.

Křemík je surovinou pro výrobu polovodičů solárních článků, s jejíž materiálovou návratností se dosud příliš neoperovalo. Současná německá instalovaná kapacita solárních panelů, oněch 5 milionů tun fotovoltaiky, tak mimo jiné znamená i 150 000 t jakostního křemíku, který by přišel po skončení životnosti solárních panelů vniveč. A právě to nyní inženýři Fraunhoferova

institutu mění. V partnerské spolupráci mezi vývojáři z Centra pro křemíkovou fotovoltaiku CSP a techniky z oddělení Systému solární energetiky ISE, v návaznosti na německý recyklační gigant Reiling GmbH & Co. KG, se podařilo vyvinout metodu procesního zpracování křemíku, znovu-použitelného pro výrobu nových solárních panelů.

Princip recyklace solárních článků tkví v separaci fragmentů solárních článků, oddělených během mechanického drcení. Následuje třístupňové chemické „mokrý“ čištění, při němž jsou například odstraňovány stopy povrchových filmů. Takto ošetřený křemík je pak zpracováván do podoby ingotů (buď monokrystalické nebo kvazi-monokrystalické), z nichž se pak „krájí“ plátky (salámky, wafers), které je možné znovu využít při výrobě dalších solárních panelů bez dalších příměsí a dodatečných doplňků jakostního křemíku.

Inženýři Fraunhoferova institutu z tohoto recyklátu vytvořili nové PERC (Passivated Emitter and Rear Cell) solární články. Jejich konverzní efektivita během zkoušek dosahovala 19,7 %, což je sice pod hranicí 22,2 %, které nyní dosahují úplně nové PERC solární články, ale je to výrazně nad limitem efektivit, s níž dnes pracují staré solární panely. Materiál, získaný recyklací, tedy potvrdil svou hodnotu. Stal se opět surovinou. Velký přínos německých inženýrů tkví hlavně v tom, že přišli s metodou recyklace křemíku škálovatelnou na reálná měřítka průmyslové recyklace. V laboratoři se totiž dá dokázat mnohé, ale ne vždy takové procesy dávají ekonomický smysl v reálné praxi. Výhodou vyvinutého přístupu je to, že je užitečný a cenově dostupný i v kapacitním provozu a je již plně odzkoušený. Navržené procesní zpracování umožňuje recyklaci všech typů krystalických křemíkových modulů, bez ohledu na jejich typ konstrukce, původ, výrobce. Je to metoda technicky univerzální. TRL 7-8.

### **Recyklace baterií 3)**

Když lithium-iontová baterie dosáhne konce své životnosti, podstoupí baterie mechanickou metodu předběžné úpravy, při které vznikne černý materiál obsahující lithium, nikl, mangan, kobalt a nežádoucí nečistoty, jako je fluorid. Tyto nečistoty mohou způsobit významné problémy s korozí a kontaminací v následných krocích hydrometalurgického zpracování.

Předmětem výzkumu je nalézt dostupnou techniku ke snížení kontaminace fluoridy na konzistentní úroveň, která by umožnila efektivnější integraci černé hmoty do navazujícího hydrometalurgického procesu zpracování.

Podle studie Evropské federace pro dopravu a životní prostředí by více než pětina lithia a také přes 60 % kobaltu potřebného k výrobě baterie mohla v roce 2035 pocházet z recyklace.

### **Recyklace lopatek větrných turbín 4)**

Turbíny se z většiny skládají z betonu a oceli (90-95 %), zbytek tvoří kovy, PVC, elektro šrot, mechanické kapaliny a kompozitní materiály. Většina součástí větrné turbíny – včetně věže, převodovky a generátoru je vyrobena z materiálů, které jsou již dnes jednoduše recyklovatelné. Z hlediska recyklace a následného opětovného využití představují jedinou výzvu lopatky rotoru. Ty se vyrábí z vyztuženého sklolaminátu či uhlíkového vlákna, tedy kompozitních materiálů, které je technologicky složité recyklovat. Na rozdíl od termoplastů není tyto složité polymery možné roztavit.



Životní cyklus větrné turbíny je přibližně 20-25 let. A odhaduje se, že do roku 2023 bude třeba v Evropě odmontovat přibližně 14 000 lopatek větrných turbín. Přibližně 85 % větrných turbín je již recyklovatelných. Tradičně se průmysl vypořádává se zbytky větrných turbín jejich ukládáním na skládky nebo spalováním v cementárnách – a spalování skleněných vláken také není pro životní prostředí dobré. Od roku 2020 společnost Veolia přeměňuje lopatky větrných turbín GE Renewable Energy na surovinu pro použití při výrobě cementu, čímž nahrazuje uhlí, písek a jíl potřebné k výrobě cementu. Výsledkem je snížení emisí CO<sub>2</sub> o 27 %.

## Recyklace elektroniky 5)

V ČR ročně vzniká více jako 90 tisíc tun elektroodpadu. Při recyklaci elektroodpadu nejde však o znovuvyužití základních desek a dalších součástek, nýbrž o to dostat z nich cenné materiály jako jsou cenné kovy. Nejen že je získání těchto surovin finančně výhodné, ale sníží se tím částečně i nutnost těžby. Například vytěžení zlata a mědi z elektroodpadu je až 13x levnější než těžba z přírodních zdrojů. Recyklací ochráníme životní prostředí před nebezpečnými látkami a ulehčíme těžebnímu průmyslu. Vzhledem k tomu, že elektronika obsahuje řadu materiálů a součástek je proces recyklace mnohastupňový a náročný.

Hlavním cílem je získat zpět drahé kovy. To se provádí buď extrakcí v tavenině, kyanidovým louhováním, sulfáto-nitrátovou cestou a elektrolýzou. Jedná se o poměrně náročné technologie, které často nejsou příliš ekologicky šetrné.

Chytré telefony jsou zdrojem mnoha znovu využitelných materiálů. Jeden chytrý telefon obsahuje cenné kovy v hodnotě zhruba 20 korun. Recyklací jednoho milionu mobilních telefonů je možné získat až 16 tun mědi, 350 kg stříbra, 34 kg zlata a 1,5 kg paladia. Míra opětovného získání použitých kovů činí více než 90 %. Konkrétně jde o 99 % u mědi, 98 % u zlata a 90 % u stříbra, paladia a platiny.

Z každého milionu recyklovaných mobilních telefonů lze získat zpět 16 000 kg mědi, 350 kg stříbra, 24 kg zlata a 14 kg palladia. Elektronický odpad je v některých ohledech dokonce bohatší než tradiční těžba: např. v tuně smartphonů je 100x více zlata než v tuně zlaté rudy

Recyklací plastových odpadů se zabýváme v kapitole 5.3.

Jedním z praktických příkladů aktivit v ČR je Centrum CirkTech, které se zaměřuje na lithium a technologie pro cirkulární ekonomiku. 6)

VŠCHT Praha otevřela 24. června 2021 nové výzkumné centrum CirkTech, které se zabývá výzkumem pokročilých mechanických a chemických procesů pro cirkulární ekonomiku. Prvním úkolem bude ověření vlastní patentované technologie na získávání nedostatkového kovu lithia. Centrum je součástí Technoparku Kralupy a sídlí v areálu společnosti Lafarge Cement v Čížkovicích nedaleko Lovosic. Jeho klíčovým zařízením je experimentální rotační pec.

VŠCHT vybudovala CirkTech z vlastních prostředků ve výši 40 milionů korun, roční provozní náklady se mají pohybovat kolem 20 milionů. CirkTech plánuje v první fázi úzkou spolupráci se společnostmi Lafarge Cement, a.s. Čížkovice, ČEZ, a.s., Geomet s.r.o., VÚHU, a.s. Most, ale i s Ústeckým krajem nebo Univerzitou J. E. Purkyně.

V současném světě se rychle prosazují principy cirkulární ekonomiky, která produkuje minimum odpadů a udržuje zdroje co nejdéle v oběhu. Jde o byznys model budoucnosti. Cirkulární ekonomika má nahradit stávající lineární systém „vytěžit-vyrobít-vyhodit“ modelem hospodářství, kde se už při navrhování výrobků počítá s jejich recyklovatelností nebo remanufacturingem a téměř veškerý odpad nachází nějaké využití. Hlavní brzda rozvoje cirkulární ekonomiky v ČR – skládkování – bude podle zákona o odpadech nahrazeno do roku 2030 spalováním a recyklací.

VŠCHT Praha dlouhodobě patří mezi vedoucí vědecko-výzkumné instituce v oblasti chemicko-fyzikálních technologií se zaměřením na bezodpadové a ekologické technologie v rámci projektů cirkulární ekonomiky. Kromě špičkových vědců a výzkumných pracovníků odborně pokrývajících celou oblast cirkulární ekonomiky mají k dispozici také unikátní zařízení, které dokáže ověřit nové technologie v poloprovozním měřítku, a výzkumné zázemí předních vysokoškolských ústavů, včetně unikátní rotační pece v Čížkovicích.

## Lithium

Technologie je ve zkušebním provozu od května 2021. Prvotním cílem je ověřit v poloprovozním měřítku vlastní patentovanou technologii InCeMet. Podstata technologie spočívá v synergické integraci metalurgického postupu s cementářskou výrobou pro ekonomicky efektivní získávání lithia (a dalších hodnotných složek lithných slíd) společně s ceněnými nízkoalkalickými slínky nebo nedostatkovou granulovanou struskou, které jsou surovinami cementářských výrob. Postup je krytý 2 národními patenty a mezinárodním patentem. Intenzivně jednáme se společnostmi ČEZ, a.s. a Geomet s.r.o., pro které je technologie zajímavá s ohledem na plánovanou těžbu lithných rud a realizaci ekologické technologie pro získávání a přepracování tolik ceněného lithia.

Technologie přináší také univerzální bezodpadový postup vhodný především pro získávání kovů z různých velkoobjemových odpadů (plasty, keramika, popílků apod.), je použitelná pro ekologickou recyklaci různých kovů nebo využití druhotných surovin, jako jsou například elektrářské popílků, na komerční výrobky.

Výhodou je, že technologii bude možné aplikovat ve stávajících velkokapacitních cementářských pecích bez nutnosti zásadních technologických úprav. V blízké budoucnosti se chtějí zaměřit na zpracování různých odpadů, které jsou dnes spalovány nebo skládkovány, především kovonosných materiálů

Aktuálně připravované projekty centra CirkTech

- Procesy spojené se získávání lithia ( $\text{Li}_2\text{CO}_3$ ) a jeho následným zpracováním (2021–2022)
- Recyklace Li baterií
- Získávání kovů z druhotných surovin (odpadů)
- Využití elektrářských popílků jako zdrojů kovů a suroviny pro vysokopecní strusku
- Zpracování severočeských jíílů – zdroje kovů a vysokopecní strusky
- Likvidace/přepracování odpadů a studium vlivu těchto procesů na výsledný cementářský slínek a životní prostředí
- Procesní inženýrství – vytváření bilančních modelů a jejich zpětná verifikace v praxi pro nejrůznější materiály a provozní podmínky

#### Další výzkumná témata

- Procesy spalování různých paliv
- Recyklace – zpracování solárních panelů
- Emise – sledování emisí a jejich snižování
- Výzkum odpařování těkavých škodlivin a těžkých kovů v rotační peci
- Možnost odstraňování těkavých škodlivin ze suroviny vysokoteplotním výpalem
- Experimentální výpaly různých druhů slínku

Návrh výzkumných témat pro českou chemickou VaV:

1. Poloprovozní ověření technologie získávání lithia a jeho následné zpracování

2. Vývoj technologií pro recyklaci baterií

3. Vývoj technologie recyklace solárních článků

4. Vývoj technologie získávání vzácných kovů z recyklace elektroniky

5. V rámci strategie transformace zařadit konkrétní úkoly cirkulární ekonomiky

#### Zdroje:

1) Institut cirkulární ekonomiky (*incien.org*) 9. 5. 2022

2) Punathil L. a kol.: *Recovery of Pure Silicon and Other Materials from Disposed Solar Cells International Journal of Photoenergy, Volume 2021, Article ID 5530213*  
<https://doi.org/10.1155/2021/5530213>

3) *RecycLiCo Battery Materials Receives Funding for Feasibility Study on Black Mass Material from End-of-Life Lithium-ion Batteries, Investing News Network August 17.2022*

4) *FACT SHEET RECYKLACE VĚTRNÝCH TURBÍN, TAČR* [https://hub.cirkularnicesko.cz/wp-content/uploads/2020/01/12\\_info\\_recyklace\\_vetrnych\\_turbin.pdf](https://hub.cirkularnicesko.cz/wp-content/uploads/2020/01/12_info_recyklace_vetrnych_turbin.pdf)

5) Bolt CH. *Electronics Recycling: Get Rid of Old Electronics Environmental Conservation Company Green Citizen 2021-10-03*

6) Petrák M.: *Příspěvek k SVA o zaměření Centra CirkTech, březen 2022*

## 5.8. Průmysl 4.0.

Záměry v oblasti klimatických změn, bezpečnosti ve využívání chemikálií, rostoucí deficit kriticky ohrožených surovin a vody, ale také rostoucí populace vyžadují zásadní urychlení technologického vývoje na vyšší technologické úrovni a zcela nové koncepce.

Čtvrtá průmyslová revoluce – Průmysl 4.0 je označení pro současný trend digitalizace, s ní související automatizace výroby, využívání umělé inteligence, ale také změn obchodních modelů, změn na trhu práce. Využívání digitalizace, robotizace, umělé inteligence,

nových obchodních modelů a dalších nástrojů průmyslu 4.0 je nutností v dnešním hyperkonkurenčním prostředí. Průmysl 4.0 se všemi svými nástroji významným způsobem mění ekonomiku, způsob našeho myšlení i našeho života. Koncept průmyslu 4.0 tedy nepředstavuje pouze vznik a používání nových technologií, nýbrž úplně novou filozofii transformující celou společnost.

V ČR již v roce 2016 byla schválena vládou Iniciativa Průmysl 4.0 **1)** a v roce 2018 Program digitální Česko. **2)**

Současné trendy Průmyslu 4.0:

- Uplatnění umělé inteligence – díky IoT budou veškeré senzory, kamery, vysílače zařízení a čtečky kódů komunikovat a do jisté míry řídit výrobu samy, roli hrají velká data, jejich zpětné využívání a efektivní recyklace znalostí.
- Systémové inženýrství – spolupráce a propojení více inženýrských profesí při výrobě komplexního výrobku
- Robotizace
- Reverzní inženýrství – 3D skenování výrobku a jeho převod z reálné podoby do 3D modelu
- Aditivní výroba – podporující end-to-end vizi Průmyslu 4.0 ve výrobě prototypů díky 3D tisku a aditivní výrobě
- Změna business modelů – servitizace – propojování výrobní činnosti s poskytováním služeb zákazníkům.

Co přináší digitalizace:

- Zkrácení času potřebného k uvedení nového výrobku na trh a větší diferenciaci a vyšší flexibilitu produkce podle potřeb jednotlivých zákazníků bez ztráty kvality.
- Vyšší kvalitu a prodloužení životnosti výrobků – k zajištění vysoké kvality výrobků a splnění právních požadavků musí firmy zavést takové systémy řízení kvality, které umožní zpětné vysledovat výrobní procesy a dohledat informace o výrobku
- Zvýšení efektivity – nejen produkty musí být šetrné k životnímu prostředí. Trvale udržitelná musí být také výroba. S tím souvisí zvyšování energetické a materiálové účinnosti a efektivita průmyslové výroby. To představuje významnou konkurenční výhodu.
- Změnu business modelu – Digitalizace umožňuje chemickým společnostem shromažďovat rozsáhlá data, která lze vyhodnotit a využít ke zlepšení provozních procesů a budování nových obchodních modelů.
- Zvyšování bezpečnosti.

Uplatnění konceptu Průmysl 4.0 v chemickém průmyslu je mimořádné. Podrobněji se tímto tématem zabýváme v Aktualizované CM SUSCHEM CZ. Obvykle mluvíme o konceptu Chemistry 4.0. Ten zahrnuje digitální procesy, přepracování designu, recyklace, snižování dopadu na životní prostředí, odstraňování zbytků a další. **4)**

Investice do digitalizace mají zásadní význam pro růst všech průmyslových firem bez ohledu na jejich velikost nebo odvětví. Je to velká příležitost pro MSP, jak to prokázaly některé firmy se zavedenou aditivní výrobou při pandemii a operativně byly schopné přinést na trh potřebné výrobky.

Navrhovaná opatření pro českou VaV:

- Zapracování Chemistry 4.0 do dlouhodobé strategie transformace.  
To se týká nejenom výrobních podniků, ale i vysokých škol a výzkumných pracovišť s respektováním jejich specifik.
- Podpora těch českých firem, které mají úspěchy s vývojem a implementací moderních řídicích systémů (např. společnost ZAT a.s. Příbram, Easy Software Praha a další)
- Přehodnotit studijní programy na vysokých školách
- Rozvoj aplikací digitalizace a umělé inteligence při vývoji nových materiálů pro AM
- Podporovat vytváření klastrů mezi řešiteli výzkumných úloh a potenciálními investory, zejména z oblasti inovativních MSP
- V souvislosti s digitalizací a automatizací výroby je třeba se zaměřit na provozní a počítačovou bezpečnost.
- Zvyšování energetické a materiálové účinnosti procesních technologií

Zdroje:

1. Iniciativa Průmysl 4.0, schválená vládou v roce 2016
2. Program digitální Česko schválený vládou ČR 3. října 2018
3. Welcome to chemistry 4.0 Sponsored <https://www.chemistryworld.com> › 4013370.article Mar 29, 2021
4. Aktualizovaná Cestovní mapa průmyslové modernizace a zavádění pokročilých technologií v chemickém průmyslu ČR.SUSCHEM CZ listopad 2022

## 5.9. 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 zaznamatelné v chemickém průmyslu. Intenzifikace procesů jsou účinným nástrojem pro udržení konkurenceschopnosti nejenom chemických výroby, 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, přívětivé z pohledu ochrany životního prostředí. Různé chemické procesy využívá nejenom chemický průmysl, ale také řada dalších odvětví jako energetika, vodní hospodářství, farmacie, zpracování odpadů, potravinářský průmysl a další. Aplikace využívající nejrůznějších fyzikálně-chemických procesů patří mezi hot topic současné vědy a výzkumu a je jedním z KETs technologií. Hlavním požadavkem současné doby je snižování energetické a materiálové náročnosti výroby. Více jako 85 % chemických procesů využívá katalyzátory. V průmyslové chemii se realizují především exotermní procesy a využití reakčního tepla nabízí mnoho možností úspor. Chemické procesy jsou jednou z klíčových znalostních domén a česká VaV se touto problematikou intenzivně zabývá. Mezi špičková pracoviště v tomto oboru patří Ústav chemických procesů AV ČR, v. v. i., ale také VŠCHT Praha, ORLEN UniCre Ústí nad Labem a další. Jsou řešeny otázky v oblasti chemického inženýrství, fyzikální chemie, chemické

technologie a biotechnologie, katalyzátorů, petrochemie, cirkulačních technologií pro zpracování odpadů na bázi biomasy a plastových odpadů.

Za pozitivní trend považujeme, že řada projektů je řešena ve spolupráci s konkrétními budoucími uživateli z průmyslu.<sup>1)</sup>

## Optimalizace procesů

Jednou ze základních cest ke zvýšení konkurenceschopnosti a udržitelného rozvoje jsou procesy intenzifikace stávajících výrobních procesů v chemickém průmyslu, energetice, farmacii a v dalších odvětvích. Jejich cílem je výrazné zvýšení efektivity 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 hraje 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.

Optimalizace surovin a výrobních technologií může přinést zvýšení cirkulace, je součástí postupné náhrady fosilních surovin. (viz kap. 5.7.)

Jedním z řešení, které by se mohlo vypořádat s vysokou spotřebou energie, je zvýšení rekuperace tepla v průmyslových procesech a jeho přesměrování tam, kde je potřeba (integrace procesů tepla a elektřiny). Příkladem je zpětné získávání odpadního tepla napodobující přirozené chemické reakce v místě výroby polyolefinů.

Snížení spotřeby materiálů může přinést vývoj procesů, které fungují v bezvodých médiích, stejně jako snížení a rekuperace škodlivých rozpouštědel a činidel používaných ve výrobních procesech.

Silný a mnohonásobný dopad může být generován podporou implementace stávajících procesů (např. integrace procesů s rozpouštědlem) nebo optimalizací a intenzifikací procesů, podpořenou vyčerpávající in-line implementací zcela nových chemických řešení PAT (Process Analytical Technologies).

Další skupinu optimalizačních řešení představují substituce nebezpečných procesů. Procesy, které jsou ze své podstaty nebezpečné, lze zcela nahradit nebo upravit. To může pomoci řešit také zvýšení bezpečnosti, snížení prašnosti a emisí.

Podrobně jsme tuto oblast zpracovali v Strategické výzkumné agendě IV včetně přehledu doposud řešených projektů a technických základů možností intenzifikace procesů a zařízení. 2). Přínos Průmyslu 4.0 (zejména digitalizace, IOT, zpracování velkých dat atd) je podrobně diskutováno v kap.5.8.

Úroveň připravenosti technologie (TRL) popisují stupeň vyspělosti technologie. Systém klasifikuje technologie na škále od 1 „dodržované základní principy“ do 9 „systémové práce v provozním prostředí“.

V CM SUSCHEM CZ jsou uvedeny očekávané přínosy z realizace řešených projektů. Jako příklad lze uvést:2)

- Snížení spotřeby neobnovitelných primárních surovin až o 20 % ve srovnání se současnou spotřebou zvýšením výtěžků chemických a fyzikálních transformací a / nebo použitím sekundárních surovin (prostřednictvím optimalizovaných recyklačních procesů) a obnovitelných surovin
- Nové bio založené produkty v průměru sníží emise CO<sub>2</sub> nejméně o 50 % ve srovnání s jejich fosilními alternativami
- Rekuperace 15% ztrát tepla a s tím spojené snížení nákladů na energii a emisí CO<sub>2</sub> prostřednictvím optimalizace procesu
- O 10 až 20% nižší výrobní čas a 10 % méně of gradů prostřednictvím senzorů a použitím nejlepších žáruvzdorných materiálů.

V chemickém průmyslu je optimalizace metodou, která se snaží vyřešit problém minimalizace nebo maximalizace účelové funkce, která spojuje proměnnou pro optimalizaci s konstrukčními a provozními proměnnými. Kritéria pro analýzu funkce ekonomického cíle zahrnují splnění procesních kritérií, omezení podmínek návrhových rovnic a respektování limitů proměnných. Většina problémů v chemickém inženýrství má mnoho řešení. Optimalizace souvisí s výběrem možnosti, která je nejlepší v řadě účinných možností, ale je jediná, která se nejvíce blíží ekonomickému optimálnímu výkonu a provozu.3)

Příklady z ČR:

Orlen Unipetrol úspěšně zavedl výrobu dicyklopentadienu z lehkého pyrolyzních benzinů. Technologii vyvinuli výzkumní pracovníci ORLEN Unipetrolu ve spolupráci s Vysokou školou chemicko-technologickou v Praze v rámci dlouhodobého strategického projektu efektivního využití vedlejších produktů ethylenové jednotky. Nový produkt má vyšší přidanou hodnotu a otvírá další možnosti pro rozvoj výroby udržitelných polymerních materiálů, pryskyřic a chemických specialit s širokým uplatněním (včetně optických vláken, speciálních čoček, lékařských komponent, automobilových komponent).

Spolchemie řešila změnu vstupní suroviny pro výrobu epichlorhydrinu používaného pro přípravu epoxidových pryskyřic. Doposud se vyráběl z omezeného fosilního zdroje – propylenu. Nový postup vychází z glycerínu, který vzniká při výrobě bionafty. Tak se podařilo připravit světově první a zatím jedinou epoxidovou pryskyřici certifikovaná v environmentálním systému EPD (LCA) Environdec.

Současně se snížily dopady na životní prostředí a uhlíková stopa. Tento projekt je součástí konceptu Zelená Spolchemie.

Modernizací technologie výroby titanové běloby v Precheza a.s. bylo dosaženo intenzifikace výroby o 280 % na stávajících kalcinačních pecích.

## **Pokročilá zařízení a aparáty**

Touto problematikou se podrobně zabýváme v SVA SUSCHEM CZ 4. 1). Doplnění si vyžádalo zejména zařazení Jaderné energetiky do současné SVA a zařízení související s postupnou elektrifikací chemického průmyslu.

## Malé jaderné reaktory

Jak bylo uvedeno v kap. 5.5. světový vývoj v řadě zemí se orientuje na SMR s významnou finanční podporou státu (např. USA, Velká Británie, Kanada, Japonsko, Jižní Korea, Čína, Polsko, Litva a další).

SMR (small modular reactors, malé modulární reaktory) jsou většinou definovány jako sériově vyráběné reaktory s výkonem do 300 MW a s poloměrem ochranné zóny do 300 metrů. Za SMR se většinou nepovažují reaktory, fungující v jaderných ponorkách.

Vzhledem k jejich velikosti se nabízí umístění do průmyslových závodů jako hlavního a spolehlivého energetického zdroje. SMR mohou být využity pro výrobu elektřiny, tepla, nebo vhodného energetického nosiče, například vodíku – výroba vodíku může být využívána např. pro regulaci výkonu SMR.

Obecně se očekává vysoká míra recyklace vyhořelého jaderného paliva – vyhořelé palivo bude možné dále energeticky využívat v tzv. rychlých reaktorech (ať již budou splňovat definici malého jaderného reaktoru, nebo ne), čímž dojde k produkci energie i k mnohonásobnému snížení radioaktivity suroviny. Další výhodou rychlých reaktorů je možné využití neradioaktivních izotopů uranu a thoria, a tedy mnohonásobné zvětšení dostupné suroviny pro jaderné reaktory.

## Srovnání SMR a velkých jaderných reaktorů

Mezi výhody SMR patří sériová výroba v továrně a výrazně jednodušší převoz modulů a následně jejich bezproblémové sestavení na místě.

- Charakteristickým znakem SMR je jejich rozčlenění na moduly, které se z větší části konstruují již ve výrobním závodě a na místě instalace zdroje se jednoduše pospojují do funkčního celku.
- Modularita pomůže významně zkrátit dobu výstavby – komponenty budou na lokalitu dopraveny již jako celky a na místě pouze propojeny. A to je důležité i z hlediska zajištění kvality, kdy výroba v ideálních podmínkách tovární haly zajišťuje snazší dosažení kvality než kompletace z jednotlivých součástí na staveništi.
- Dalším důležitým aspektem SMR je možné prodloužení palivové kampaně na několik let až desetiletí a přesunutí operací spojených s výměnou paliva do specializovaných závodů. Modul reaktoru by se kvůli výměně odvezl do závodu a v elektrárně by se



nahradil jiným – s novým palivem. SMR poskytují vyšší míru bezpečnosti, obvykle s prvky tzv. inherentní bezpečnosti, s cílem omezit zónu havarijního plánování, ideálně na hranici elektrárny. SMR aplikují zejména pasivní bezpečnostní systémy, potřebnost aktivních bezpečnostních systémů je minimalizována.

Při umístění SMR na plovoucí platformu mohou vznikat plovoucí jaderné elektrárny, použitelné v oblastech poblíž mořského pobřeží. Uvažuje se rovněž o umístění modulů na železniční vagony nebo na kamiony, kterými by se jaderné zdroje a technologie dopravily do míst, kde bylo postavení jaderné elektrárny doposud nemyslitelné. Své výhody budou mít i stacionární zdroje založené na malých modulárních reaktorech. Většina nebo část jaderné technologie může být umístěna pod zem včetně kontejnmentu. Podobný jaderný zdroj bude možné umístit například do lokality vyřazené uhelné elektrárny.

### **Vyvíjené SMR 4, 5)**

Mezinárodní Agentura pro Atomovou energii vydala v roce 2020 ucelený, celosvětový přehled projektů SMR. Z více než 70 projektů pouze jeden byl zrealizován a je komerčně využíván (KLT-40 S – Rusko), dva projekty mají charakter výzkumných projektů (HTR-10 v Číně a HTTR v Japonsku) a dva projekty jsou v realizační fázi (CAREM v Argentině a HTR-PM v Číně). Všechny zbylé projekty, včetně dvou z ČR, jsou v různých fázích návrhů, eventuálně posuzovány dozornými orgány.

Zkušenosti ze zahraničních projektů SMR ukazují, že dotažení koncepčních projektů SMR do realizační fáze trvá řádově desítky let (CAREM – od roku 1984 do roku 2023, kdy se počítá s uváděním do provozu, KLT-40 S – od roku 1998 do května 2020, kdy byl zahájen provoz, NuScale-USA – od roku 2003 do roku 2027, kdy by první reaktor měl být uveden do komerčního provozu).

Nejdále ve vývoji SMR pokročily firmy z jaderných mocností, jejichž vlády pokrok v oblasti jaderných technologií různými způsoby přímo podporují. Týká se to USA, Ruska, Číny, Francie i Velké Británie. Technologie SMR vyvíjí rovněž Kanada, Jižní Korea, Indonésie, Argentina a Saudská Arábie.

Na jaře loňského roku udělilo ministerstvo energetiky USA kalifornské společnosti Oklo povolení k zahájení testů rychlého neutronového mikroreaktoru Aurora s výkonem 1,5 MW. V srpnu 2020 se SMR další americké firmy NuScale Power stal prvním a zatím jediným projektem tohoto druhu na světě, který obdržel osvědčení národního úřadu pro jadernou bezpečnost, že splňuje všechny jeho bezpečnostní požadavky.

NuScale Power předpokládá, že první elektrárnu složenou z dvanácti samostatných modulů, z nichž každý bude mít výkon 77 MW, spustí v Idaho v roce 2027. Loni v listopadu oznámil britský premiér Boris Johnson vládní program zelené průmyslové revoluce, v jehož rámci byl zřízen fond pokročilých jaderných technologií ve výši 385 milionů GBP (13,5 miliardy korun), z nichž polovina je určena na podporu SMR.

V březnu 2021 slíbila kanadská vláda \$45 milionů (téměř jednu miliardu korun) na podporu vývoje 300 MW solného reaktoru společnosti Moltex Energy Ltd. a kanadský federální regulátor v současné době přezkoumává zhruba deset dalších návrhů SMR.

V dubnu 2021 schválila první projekt SMR o výkonu 125 MW také čínská vláda. Modul, který vychází z domácí technologie ACP 1000 má být v jaderné elektrárně Čchang-ťiang v provincii Chaj-nan uveden do provozu dokonce už v roce 2026.

Francouzský energetický gigant EDF je lídrem národního francouzského konsorcia, které vyvíjí lehkovodní reaktor 170 MW navržený tak, aby se mohl stát náhradou středně velkých elektráren na fosilní paliva.

## **Rozdělení SMR 6) 7)**

SMR je možné rozdělit podle několika kritérií, podle pracovního oběhu například takto:

### **1. LEHKOVODNÍ MALÉ REAKTORY CHLAZENÉ A MODEROVANÉ OBYČEJNOU VODOU**

Do této skupiny spadá většina malých reaktorů, vycházejících z osvědčených projektů tlakovodních (PWR) a varných (BWR) reaktorů. Jedná se dnes o nejvyspělejší technologii, známou z provozovaných velkých reaktorů, která je doplněna o prvky pasivní bezpečnosti a využívá v určité míře zjednodušení a integraci komponent primárního okruhu do prostoru tlakové nádoby.

### **2. VYSOKOTEPLTNÍ PLYNEM CHLAZENÉ MALÉ REAKTORY**

Skupina perspektivních reaktorů, umožňujících kromě výroby elektřiny dodávku vysoko potenciálního tepla pro potřeby průmyslových aplikací, výrobu vodíku nebo kogeneraci.

### **3. MALÉ REAKTORY PRACUJÍCÍ S RYCHLÝMI NEUTRONY**

Inovativní návrhy a koncepce rychlých reaktorů chlazených sodíkem, roztaveným kovem nebo plynem.

### **4. MALÉ MODULÁRNÍ REAKTORY CHLAZENÉ ROZTAVENÝMI SOLEMI**

Specifická skupina reaktorů využívající pokročilé technologie účinného chlazení aktivní zóny směsí tekutých (obvykle fluoridových) solí.

#### **Udržitelnost**

- co nejefektivnější využití jaderného paliva, které je k dispozici
- možné využití thoria a plutonia z jaderných zbraní jako alternativních jaderných paliv
- minimalizace množství radioaktivního odpadu
- generace jaderného odpadu jen s pokud možno krátkou dobou poločasu rozpadu

Při využití pokročilých palivových cyklů a intenzivní recyklaci paliva, pomocí metod, které jsou vyvíjeny, se předpokládá, že množství odpadu pro konečné uložení bude možné snížit o několik řádů.

#### **Hospodárnost**

- nižší náklady oproti jiným druhům zdrojů energie (při zohlednění celého produkčního cyklu)
- srovnatelné finanční a technické riziko s ostatními druhy zdrojů energie
- hospodárné využití tepelné energie k výrobě vhodných energetických produktů, tj. konverze uhlí na uhlovodíky a výroba vodíku
- hospodárné využití tepelné energie k dálkovému vytápění

#### Bezpečnost

- vysoké bezpečnostní standardy
- velmi nízká pravděpodobnost těžkých poškození reaktorů
- eliminace potřeby externího nouzového zásobování energií
- pokud možno neatraktivní zdroj pro odcizení nebo zneužití štěpného materiálu
- pro provoz by nemělo být nutné obohacování uranu
- maximální úroveň zabezpečení proti teroristickým útokům
- kontejnment by měl být naplněn inertním plynem, pro vyloučení možnosti požáru

### Vývoj SMR v ČR

ÚJV Řež je od roku 2010 zapojena v mezinárodním projektu vysokoteplotního reaktoru ALLEGRO s rychlým spektrem neutronů, chlazeného heliem. Řeší se s maďarskými, slovenskými a polskými partnery na jedné straně a francouzskou společností CEA na straně druhé. Další projekt HeFASTo, heliem chlazený rychlý reaktor, je v podstatě koncovou energetickou realizací demonstrátoru ALLEGRO. Centrum výzkumu Řež pracuje na vývoji konceptu Energy Well od roku 2017. Jde o návrh malého modulárního vysokoteplotního reaktoru s nízkým výkonem kolem 20 MWt, chlazeného tekutými solemi.

Další práce probíhají například ve firmě Czechatom ze skupiny Witkowitz.

Oblast základního výzkumu je soustředěna především do FJFI ČVUT Praha, popřípadě do VŠCHT Praha.

### Jaderné reaktory čtvrté generace

Mezinárodní fórum pro IV. generaci (GIF) je výzkumné sdružení s cílem výzkumu a vývoje budoucích jaderných elektráren. Tyto jaderné elektrárny takzvané čtvrté generace (GIV) by měly splňovat vysoké nároky na bezpečnost, udržitelnost a hospodárnost. První by měly být schopny provozu od roku 2030. Ne všechny SMR splňují požadavky GIV, např. některé vyvíjené SMR lze považovat za jaderné reaktory páté generace.

#### Pohled velké energetické firmy

ČEZ v současné době pracuje i na malých modulárních reaktorech a na tom, abychom byli schopni někdy kolem roku 2040 začít stavět i tyto malé modulární reaktory. Byť v případě některých ze spojení malé modulární platí jenom to modulární, to malé rozhodně neplatí

#### SMR v Státní energetické koncepci (SEK)

SEK s jádrem počítá na obecné úrovni jako se součástí energetického mixu a například obsahuje i výběr další lokality pro nový jaderný zdroj. O malých reaktorech nijak nehovoří, a to ani v oblasti Věda, Výzkum a Inovace. V rámci aktualizace SEK tedy v jaderné oblasti vidíme zapojení malých modulárních reaktorů jako jedno z nových důležitých témat, včetně podpory jejich vývoje.

Pohled Státního úřadu pro jadernou bezpečnost, SÚJB 8)

SÚJB považuje a bude považovat SMR za jaderné zařízení, obdobně jako jakékoli jiné zařízení obsahující energetický nebo výzkumný jaderný reaktor, nezávisle na jeho tepelném nebo elektrickém výkonu. Z tohoto důvodu je nutno při návrhu SMR vycházet ze všech legislativních požadavků kladených na jaderné zařízení. To se týká i jednotlivých správních řízení pokrývajících celý životní cyklus jaderného zařízení, od jeho umístění, přes výstavbu, uvádění do provozu, provoz až po vyřazení z provozu. Nelze proto předpokládat, že dojde k jakémukoli zmírnění legislativních požadavků a výraznému zrychlení správních řízení. Právě naopak! Všechny zkušenosti z provozu stávajících zařízení, včetně využití zpětné vazby z nehod typu Fukušima nebo Černobyl, musí být v projektech SMR zohledněny.

Pohled prezident České nukleární společnosti:

„Vnímáte jako velkou překážku rozvoje SMR skutečnost, že produkují měrně větší množství (resp. aktivitu) jaderných odpadů? (kvůli odlišné geometrii aktivní zóny SMR) nebo to do značné míry vyřeší očekávaný budoucí rozvoj rychlých reaktorů a jejich schopnost přepracovat vyhořelé jaderné palivo?“

„K první části otázky – nemyslím si, že by to byl problém a ani jsem nezaznamenal, že by tuto otázku někdo příliš řešil nebo považoval za problém. Osobně si nemyslím, že SMR jsou efektivním zdrojem výroby elektřiny (a vychází to i z fyzikálních a technických faktů) – tím jsou velké zdroje. Malé reaktory jsou vhodným řešením pro odlehlejší oblasti se slabou infrastrukturou nebo mohou posloužit jako zdroje zásobování teplem ve městech, ale neměly by být chápány jako zdroje, které v budoucnu nahradí velké elektrárny.

Druhá část otázky – ano, rychlé reaktory mohou zajistit uzavření palivového cyklu a do budoucna udržitelnost jaderné energetiky.

Iniciace VaV projektu

Provedení předběžné studie proveditelnosti možností a omezení umístění SMR v areálu středně velkého chemického podniku (cca 1000 zaměstnanců) s dostatečnou spotřebou elektrické a tepelné energie. Bezpečnostní aspekty (ochranná zóna jaderného reaktoru vs. zóny havarijního plánování chemického podniku), výkon SMR vs. potřeba podniku (elektřina, teplo), kvalita dodávek energie (teplota a tlak vyvíjené páry), likvidace odpadů z provozu SMR, logistické aspekty (doprava nového a odvoz dožitého zařízení, závoz jaderného paliva), chlazení SMR vč. zvážení možností využití existujících chladících systémů, způsoby regulace

výkonu SMR např. formou akumulace energie ve vodíku, nebo jiném energetickém nosiči. Náklady cca 30 mil. Kč, 3 roky.

S komerčním nasazením reaktoru se počítá hlavně v souvislosti s růstem poptávky po masové výrobě vodíku a také s potřebou zpracování nahromaděného vyhořelého paliva z lehkovodních reaktorů, tedy výhledově po roce 2040. V současné době už probíhá vývoj reaktoru v rámci tzv. před konceptní fáze, prostor pro vstup strategického investora se očekává po roce 2025.

Další práce probíhají například ve firmě Czechatom ze skupiny Witkowitz.

Oblast základního výzkumu je soustředěna především do ČVUT Praha, popřípadě do VŠCHT Praha.

Spolupráce s podnikatelskou sférou v oblasti SMR:

ČEZ v současné době pracuje i na malých modulárních reaktorech a na tom, abychom byli schopni někdy kolem roku 2040 začít stavět i tyto malé modulární reaktory.

MPOWER Engineering, a.s. vývoj komponent pro rychlé reaktory a pro aplikaci v jaderné fúzi  
ESTCOM CZ a.s. Materiály pro pokročilé jaderné reaktory a další energetické aplikace (vývoj keramických a kovových konstrukčních materiálů s cílem dosáhnout lepší odolnosti; porovnání odolnosti vysokoteplotních slitin dodaných ze sléváren se stejnými slitinami vyrobenými z vratu materiálu po výrobě vysokoteplotních komponent metodou vytavitelného modelu).

ALVEL, a.s.- Výzkum a vývoj technologie povrchových úprav povlakových trubek palivových elementů jaderných reaktorů pro zvýšení jejich odolnosti v provozních i havarijních podmínkách a při dlouhodobému skladování.

Škoda JS sleduje situaci v oblasti SMR a je připravena zapojit se do jejich vývoje.

Centrum výzkumu Řež získalo začátkem roku 2020 na malý jaderný reaktor Energy Well patent od Úřadu pro ochranu průmyslového vlastnictví. V blízké budoucnosti pak plánuje postavit a uvést do provozu experimentální smyčku simulující nejadernou část zařízení, na níž budou vyvíjeny a testovány technologie zajišťující přenos energie z reaktoru.

Polské Národní agentuře pro atomovou energii byly předloženy dvě žádosti o posouzení technologie malých modulárních reaktorů. Žádost výrobce mědi a stříbra KGHM Polska Miedz SA vychází z návrhu elektrárny VOYGR SMR od společnosti NuScale, zatímco žádost společnosti Orlen Synthos Green Energy počítá s reaktorem BWRX-300 od společnosti GE Hitachi Nuclear Energy. Obě společnosti počítají se spuštěním nového SMR do roku 2029.

Společnost Ontario Power Generation Ioni vybrala návrh jaderného ostrova BWRX-300 pro nasazení v areálu JE Darlington, kde by podle ní mohl být první kanadský komerční SMR dokončen již v roce 2028.

## **Elektricky vyhřívaný katalyzovaný reaktor 9)**

Dá se předpokládat, že elektricky vyhřívaná krakovací jednotka nebude nový závod, ale spíše konverze stávajícího konvenčního systému. Tím se ekonomické srovnání liší od ostatních technologií, Emisní faktor takového zařízení závisí na energetickém mixu

Hlavním technologickým problémem je zajistit přenos tak vysoké množství energie v poměrně malém prostoru reaktoru.

Společnosti BASF, SABIC a Linde podepsaly společnou dohodu o vývoji a demonstraci řešení pro elektricky vyhřívané parní krakování pece. Partneri již společně pracovali na konceptech využití obnovitelné elektřiny namísto fosilních paliv, které se obvykle používají pro proces vytápění. S tímto inovativním přístupem zaměřeným na jeden z klíčových procesů petrochemického průmyslu se strany snaží nabídnout slibné řešení, které významně přispěje ke snížení emisí CO<sub>2</sub> v chemickém průmyslu.

K řešení tohoto vývoje třeba spojit rozsáhlé know-how z vývoje chemických procesů spolu s dlouholetými zkušenostmi a znalostmi v provozu etylénových jednotek s odbornými znalostmi ve vývoji a stavbě technologií parních krakovacích pecí.

Tento technologický skok bude milníkem na cestě k nízkoemisnímu chemickému průmyslu. Nejde jen o vývoj zcela nového konceptu elektrického ohřevu pro etylénové jednotky, ale také o prokázání spolehlivosti klíčových komponent pro použití v tomto typu vysokoteplotních reaktorů. Důležitým předpokladem pro včasné rozšíření a průmyslovou implementaci této technologie bude investiční podpora a konkurenceschopné ceny obnovitelné energie. Je to součást procesu elektrifikace chemického průmyslu.

Výše uvedení společníci vyhodnocují výstavbu multi megawattové demonstrační elektrárny v závodě BASF v Ludwigshafenu, která by měla být spuštěna již v roce 2023, s výhradou kladného rozhodnutí o financování, a požádaly o finanční granty v Evropském inovačním fondu a Nový program financování německého spolkového ministerstva životního prostředí Dekarbonizace v průmyslu.

Jedním z náročných vývojových úkolů je konstrukce nového typu krakovacího reaktoru, kde na poměrně malém prostoru potřebujeme předat velké množství tepla.

Potřebné investice do elektricky vyhřívaného reaktoru byly odhadují na 250 €/t jako HSV.

Lze očekávat, že technologie bude připravena k použití kolem roku 2035, do masové aplikace se zřejmě uplatní kolem roku 2049. TRL 7-8.

Materiál SChP Opportunities and Challenges Brought by Fit for 55 to the Chemical Industry – the Czech Example z r. 2020 **10**) zmiňuje i další potřebné investice na elektrifikaci chemického průmyslu. V rámci současné protijaderné politiky a politiky dodávek zemního plynu se očekávají problémy i v dodávkách elektřiny a jejich nestabilita, spojená s dopadem na cenu a následné oslabení konkurenceschopnosti chemické výroby v ČR. Rozhodnutí o elektrifikaci chemického průmyslu významně ovlivní budoucí vývoj. Celková spotřeba chem. průmyslu v ČR je 80 TWh, požadavek na elektrifikaci představuje 12-15 TWh s přicházejícím tlakem na odstavení uhelných elektráren (např. v Litvínově). Prioritní investice podniků budou zaměřeny na přebudování energetického sektoru, což významně ovlivní především vývoj v oblasti dodávek plynu. Při současném vývoji cen elektřiny a nedostatku zdrojů OZE není elektrifikace českého chemického průmyslu v dohledné době ekonomicky přijatelná.

Výzvy pro český chemický VaV:

a.) Ve střednědobém horizontu

- Vývoj membránových bioreaktorů a chemicko-inženýrské řešení bioreaktorů. Jednou z potenciálních možností, které je nutno rychle vyvíjet, by mohly být i mikrobiální degradace v tzv. membránových bioreaktorech
- Vývoj účinnějších separačních procesů jako jsou destilace, membránové separace, filtrační nanomateriály
- Progresivní návrhy syntetických postupů samotných, mikro procesních technologií, integrace a intenzifikace procesů kombinovaných s novými katalytickými koncepty a technologiemi „in silico“
- Vývoj elektrolyzérů o vyšší kapacitě (300-500 MW)  
Jako příklad lze uvést společný vývoj Orlenu Unipetrolu s Technickou univerzitou v Košicích
- Vývoj molekulární katalýzy  
Tento relativně nový výzkumný obor bylo původně ovlivněn katalytickým systémem, který na rozdíl od klasických chemických reakcí využívá nekovalentní interakce, jako je plynová vazba, interakce kation-pi a hydrofobní síly k dramatickému urychlení rychlosti reakce nebo umožnění vzniku mimořádně selektivních reakcí. V důsledku toho, že enzymy jsou strukturálně sofistikované a obtížně se mění, molekulární katalyzátory nabízejí jednodušší model pro lokalizaci faktorů podílejících se na účinnosti přirozeného působení supermolekuly.
- Dokončit dlouholetý vývoj malých jaderných reaktorů
- V rámci energetické a nízkouhlíkové transformace chemického průmyslu je uvažován vývoj intenzifikace procesů pomocí molekulární katalýzy
- Vývoj nových bezpečnější kontejnerů pro jaderný odpad z SMR

b.) V dlouhodobém horizontu

- Elektricky vyhřívaný reaktor
- Jaderná fuze (po roce 2060)

Zdroje:

- 1) *Strategická výzkumná agenda SUSCHEM CZ 4, 2019*
- 2) *Cestovní mapa průmyslové modernizace a zavádění pokročilých technologií v chemickém průmyslu, 2021*
- 3) *Customer oriented process development and optimization:*  
<https://www.genosynth.com/process-optimization>
- 4) <https://www.svetenergie.cz/cz/energetika-zblizka/jaderne-elektrarny/jaderna-elektrarna-podrobne/male-a-mikro-reaktory/vyklad>
- 5) <https://www.energy.gov/ne/advanced-small-modular-reactors-smrs>
- 6) <https://www.hybrid.cz/vyvoj-malych-modularnich-reaktoru-zrychluje-nuscale-pripravuje-prvni-projekt/>
- 7) *Advanced Small Modular Reactors Office of Nuclear Energy Reactor Technologies,*  
<https://www.energy.gov/ne/advanced-small-modular-reactors-smrs>
- 8) <https://www.sujb.cz/aktualne/detail/male-modularni-reaktory-jak-je-vidi-sujb>
- 9) *Roadmap Chemie 2050, Eine Studie von DECHEMA und FutureCamp für den VCI. 2019*
- 10) *Souček, Reiss, Suchý, Behenský: Opportunities and Challenges Brought by Fit for 55 to*

## 6. Předpokládané výdaje a zdroje

Desítky miliard EUR v loňském roce a biliony EUR v nadcházejících letech, to jsou plánované investice do velké tranzice na bezemisní a digitální ekonomiku. Musí se na ní podílet EU, vlády, banky, soukromý sektor a společně hledat řešení.

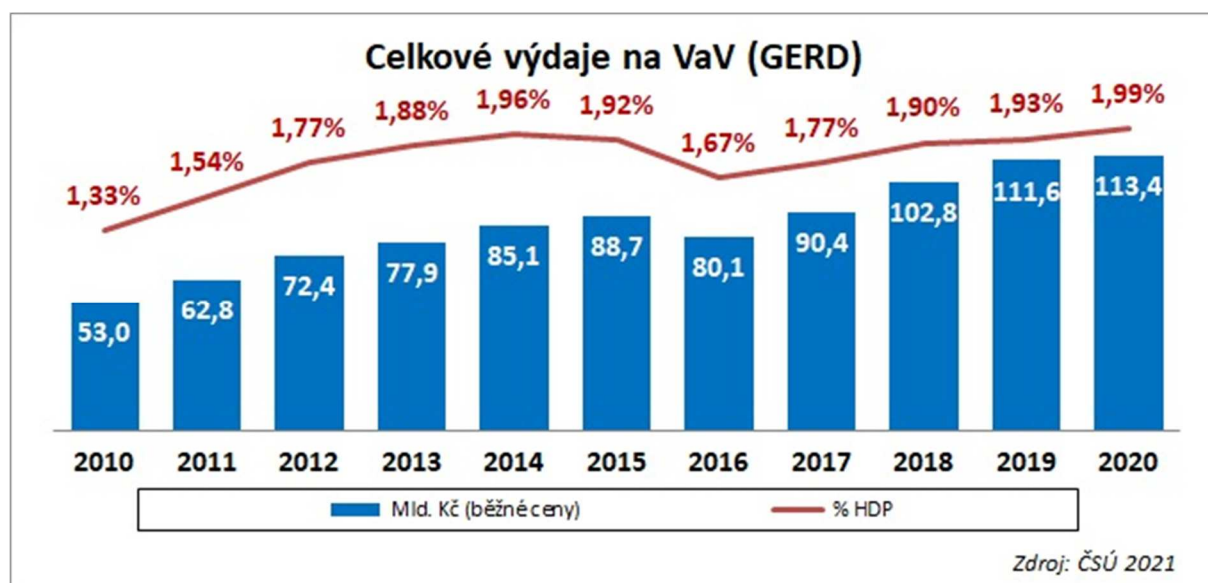
### 6.1. Výdaje na výzkum a vývoj

I když uvažujeme, že některé špičkové technologie pro realizaci transformace budou zakoupeny ze zahraničí, v lepším případě v rámci mezinárodní spolupráce ve výzkumu a vývoji, bez mobilizace české VaV a její orientace na prioritní úkoly nelze dosáhnout požadovaných cílů. Je evidentní, že budou podporovány zejména úlohy aplikovaného výzkumu zaměřené na dosažení cílů Fit for 55, Strategie udržitelnosti chemických látek, naplňování Vodíkové strategie, zabezpečení udržitelnosti zemědělství a další při zachování potřebné podpory základního výzkumu.

V CM SUSCHMEM CZ 1) byly potřebné výdaje na výzkum v letech 2021-2030 jen pro chemický průmysl odhadnuty na 30 mld Kč, z toho 70 % z veřejného sektoru a 8 % z prostředků EU. Kromě toho se uvažuje s 11,4 mld Kč na vývoj nanotechnologií a 54,2 mld Kč pro oblast biotechnologií. Dlouhodobě sledovaným ukazatelem v rámci mezinárodního srovnání je podíl výdajů na výzkum na HDP.

Dosavadní vývoj zdrojů pro výzkum a vývoj v ČR je znázorněn na obr.č. 17

Obrázek č.17 Vývoj celkových výdajů na VaV v ČR





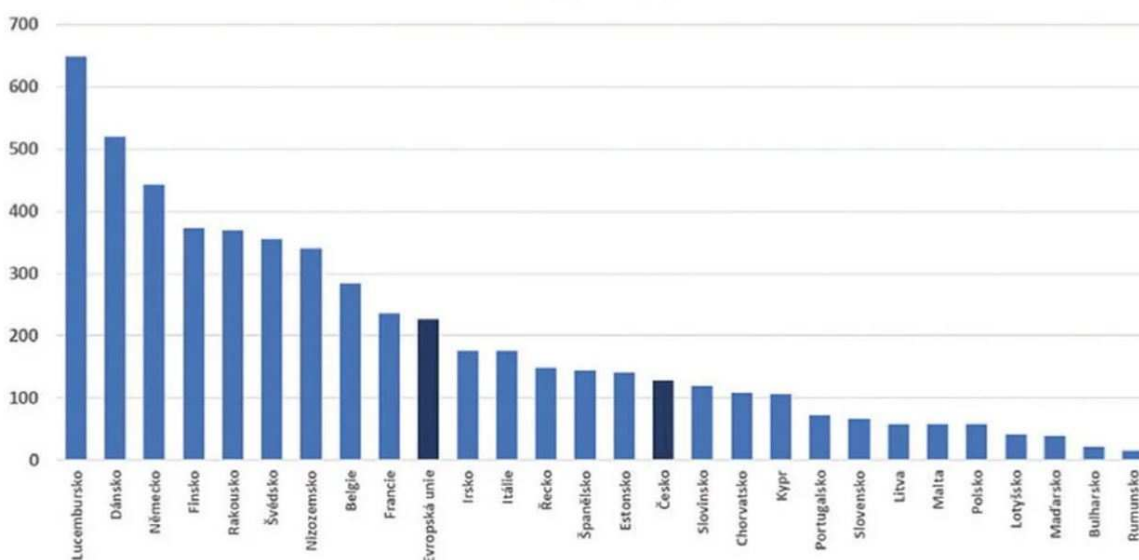
Absolutní výše celkových výdajů na výzkum v roce 2020 činila 113,4 mld. Kč, tj. 1,99 % HDP. K dlouhodobému růstu celkových výdajů na VaV v ČR přispívá zejména trvalý růst podnikatelských zdrojů, v roce 2020 činily 69,1 mld. Kč, tj. téměř 2,2krát více, než tomu bylo v roce 2011. Veřejné zahraniční zdroje byly ve výši 7,2 mld. Kč. 2)

Strukturální fondy EU jsou prostřednictvím jednotlivých operačních programů jedním ze stěžejních veřejných zahraničních zdrojů finanční podpory aktivit spojených s VaVal. Z pohledu českého výzkumu a vývoje jsou aktuálně nejvýznamnější především Operační program Podnikání a inovace pro konkurenceschopnost a Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání. Dalšími veřejnými zahraničními zdroji je i jiná podpora z rozpočtu EU (jedná se především o rámcové programy – aktuálně CERN, ILL, ESA, NATO, OECD, OSN, WHO, Norské fondy aj.) Po skončení projektů OP VaVpl došlo k výraznému snížení dotací z EU pro výzkum a vývoj v ČR. Neuspokojivá je účast českých výzkumných organizací a týmů v rámcovém programu Horizont 2020 + a European Innovation Council (EIC).

Pro období do roku 2050 pro výzkum a vývoj v chemickém průmyslu ČR byly předběžně oceněny požadované finanční zdroje na 114 mld Kč.

Srovnání ČR s ostatními státy EU v objemu alokovaných financí na výzkum a vývoj v roce 2020 ukazuje obrázek č.18 ČR je pod průměrem EU.

**Objem financí alokovaných zeměmi EU na výzkum a vývoj 2020 (v eurech na osobu)**



Z hlediska zdrojů financování výzkumu lze uvést:

Na výzkum, vývoj a inovace může ČR čerpat v rámci Národního programu obnovy 12,5 mld Kč. EU požaduje, aby tyto prostředky byly vynaloženy na projekty:

- výzkum a vývoj pokročilých materiálů pro aplikace v energetice, stavebnictví, mobilitu, zdravotnictví, zemědělství a elektroniku;
- výzkum, vývoj a zavádění nízkouhlíkových a nízko environmentálních opatření s dopadem na procesy chemické a materiálové výroby;
- výzkum a vývoj inovativních obchodních modelů k zajištění efektivnějšího využívání chemikálií a jiných zdrojů.

Ze státního rozpočtu

RVVI 20.5.2022 schválila finální materiál Návrh výdajů státního rozpočtu ČR na výzkum a vývoj na rok 2023 s výhledem na léta 2024 a 2025. Celkové objemy výdajů jsou navrženy takto:

- na r. 2023 celkem 39,32 mld. Kč
- na r. 2024 celkem 43,66 mld. Kč,
- na r. 2025 celkem 45,22 mld. Kč

Stále uvažujeme, že se podaří dosáhnout politického cíle – zvýšení výdajů státního rozpočtu na vědu a výzkum ve výši 3 % HDP do roku 2030.

Příklady probíhajících programů na podporu výzkumu:

V kompetenci TAČR:

- Program Národní centra kompetence (podpora budování stabilní a dlouhodobé základny aplikovaného výzkumu)
- Program TREND (výsledky s potenciálem pro konkurenceschopnost – nové produkty, výrobní postupy a služby – program MPO ČR)
- Program DELTA 2 (mezinárodní spolupráce v aplikovaném výzkum)

V kompetenci MŠMT:

- Program INTER-EXCELLENCE II (s dobou trvání 2021-2029) podpoří mezinárodní projekty v kategoriích základního i aplikovaného výzkumu) Celkové náklady projektů za dobu trvání programu dosáhnou 4 178 mil. Kč, z toho 3 766 mil. Kč (tj. 90 %) tvoří výdaje ze státního rozpočtu.

Podnikatelská sféra.

- V roce 2020 vynaložila podnikatelská sféra na VaV 69 mld Kč a je zájem, aby se nadále podíl podnikatelské sféry zvyšoval.

Vzhledem k významu chemického průmyslu pro českou ekonomiku jsou výdaje na chemický výzkum dlouhodobě nedostatečné. V roce 2021 chemický průmysl vytvořil přidanou hodnotu ve výši 150,4 mld Kč, podíl výdajů na výzkum činil pouze 1,89 %.

## 6.2. Výdaje na modernizaci stávající výrobní základny chemického průmyslu ČR

Potřebné investiční výdaje na modernizaci stávající výrobní základny chemického průmyslu ČR do roku 2050 a v SVA 5 navrhované inovace nebyly dosud komplexně odhadnuty.

V CM SUSCHEM CZ 1) je uvedeno, že do roku 2030 bude potřeba 455 mld Kč mld pro investice. Např. Orlen Unipetrol předpokládá, že do roku 2030 bude muset na transformaci vynaložit 35 mld Kč.

Ne všechny uvažované modernizační a inovační technologie budou založeny na vlastním výzkumu, řadu ověřených technologií a speciálních zařízení bude nutno dovézt. O realizaci strategických investic rozhodují majitelé výrobních firem, z nichž významnou část tvoří zahraniční majitelé. Důvodně lze předpokládat, že do roku 2050 přesáhnou potřebné investice 1 bilion Kč v závislosti na naplňování uvažovaných projektů, ale také na disponibilních zdrojích. Cefic v Economic Analysis of the Impacts of the Chemicals Strategy for Sustainability z prosince 2021 uvádí, že postupné zavádění Strategie udržitelných chemických látek si vyžádá zvýšení poměru CAPEX k obratu v období 2023–2040 oproti základní linii v průměru o 2–5 %, což je způsobeno především dodatečnými investičními požadavky na substituci nebo přeformulování výrobků a výrobních procesů. Podobně se odhaduje, že poměr OPEX k obratu se za stejné období zvýší oproti základní linii v průměru o 1,5 % až 3 % v důsledku zvýšených regulačních požadavků a případně vyšších provozních výdajů.<sup>3)</sup>

Existuje studie předpokládaných investičních výdajů na vytvoření adekvátních pracovních míst jako náhrada za zaniklá místa vlivem zelené transformace ekonomiky. V adaptivním modelu ve výchozím scénáři byly potřebné prostředky odhadnuty až na 216,9 miliard Kč v letech 2023–2030. Studie je zpracována ve třech úrovních scénáře, které uvažují se ztrátou o 11 0328 až 32 450 pracovních míst. Celková zátěž pro veřejné rozpočty v letech 2023 až 2030 byla odhadnuta v rozmezí 43,4 miliard Kč až 216,9 miliard Kč závislosti na zvolené míře participace podniků.<sup>4)</sup> Při realizaci opatření balíčku Fit for 55 jsou největší investice očekávány v oblasti snižování spotřeby a instalace FVE. Kumulované investice v tomto scénáři za období do roku 2030 představují celkem 1 581 mld. Kč, Touto výpočetní metodou tudíž vychází dopad balíčku Fit for 55 z pohledu investic 568 mld. Kč.<sup>5)</sup>

V období 2026–2050 uvažuje SVA 5 s postupnou realizací některých velkých inovačních investic v ČR. Jedná se např. o výstavbu velké továrny na baterie (náklady 4–6 mld Kč), s výstavbou velkých zdrojů zeleného vodíku (náklady jen v Litvínově 1,5 mld Kč), s výstavbou malých modálních jaderných reaktorů a další. Pokud by se realizoval záměr těžby a zpracování lithia spolu s výrobou baterií dosáhly by investice podle první studie proveditelnosti až 50 mld Kč.

Zdroje pro zajištění financování transformace chemického průmyslu ČR

Zdroji pro potřebné investice pro modernizaci českého chemického průmyslu a naplnění cílů transformace se podrobněji zabýváme v rámci CM SUSCHEM CZ.1). Podle Ročenky 2021 o vývoji chemického průmyslu v ČR v roce 2021 dosáhly investice 32,8 mld Kč (104,2 % proti roku 2020) při produkci 636,6 mld Kč.<sup>5)</sup>

Potřeba investic na modernizaci a inovace výrobní základny českého chemického průmyslu v období 2021-2030 byla předběžně odhadnuta ve výši 455 mld Kč. Ne všechny uvažované modernizační a inovační technologie budou založeny na vlastním výzkumu, řadu ověřených technologií a speciálních zařízení bude nutno realizovat dovozem. O realizaci strategických investic rozhodují majitelé výrobních firem, z nichž významnou část tvoří zahraniční majitelé. Důvodně lze předpokládat, že do roku 2050 přesáhne tato potřeba 1 bilion Kč.

Mezi zásadní zdroje financování potřebných inovačních investic patří:

- Národní plán obnovy:

Operační program Technologie a aplikace pro konkurenceschopnost, celková alokace 81,5 mld Kč

Priorita 1 Posilování výkonnosti podniků v oblasti výzkumu, vývoje a inovací a jejich digitální transformace – 31,1 mld Kč

Priorita 2 Rozvoj podnikání a konkurenceschopnosti MSP – 10 mld Kč

Priorita 4 - Posun k nízkouhlíkovému hospodářství

Specifický cíl 4.1 - Podpora energetické účinnosti a snižování emisí skleníkových plynů (13 mld. Kč)

Specifický cíl 4.2 - Podpora energie z obnovitelných zdrojů (6,6 mld. Kč)

Specifický cíl 4.3 - Rozvoj inteligentních energetických systémů, sítí a skladování na místní úrovni (7,6 mld. Kč)

Specifický cíl 4.4 - Posílení biologické rozmanitosti, zelené infrastruktury v městském prostředí a snížení znečištění (elektromobilita, vodík) (1,8 mld. Kč)

Snižování energetické náročnosti/zvyšování energetické účinnosti výrobních a technologických procesů. Podpora transformace stávajících výroben elektřiny z bioplynu na výrobu biometanu a výstavba nových výroben biometanu (čištění bioplynu na kvalitu zemního plynu, jeho karburace, měření kvality biometanu, komprese a přenos dat), a to včetně jejich připojení na plynárenské sítě anebo místní infrastrukturu

Podpora výstavby zařízení na výrobu pokročilých biopaliv.

Podpora fotovoltaických elektráren, včetně akumulace elektrické energie, na podnikatelských budovách včetně přístřešků (např. pro automobily, stavební techniku, skladování materiálu.

Alokace – 5 mld. Kč.

V souvislosti s narůstajícím suchem v ČR byla v rámci Národního plánu obnovy vyhlášena výzva Úspora vody v průmyslu. Podporovanými aktivitami jsou:

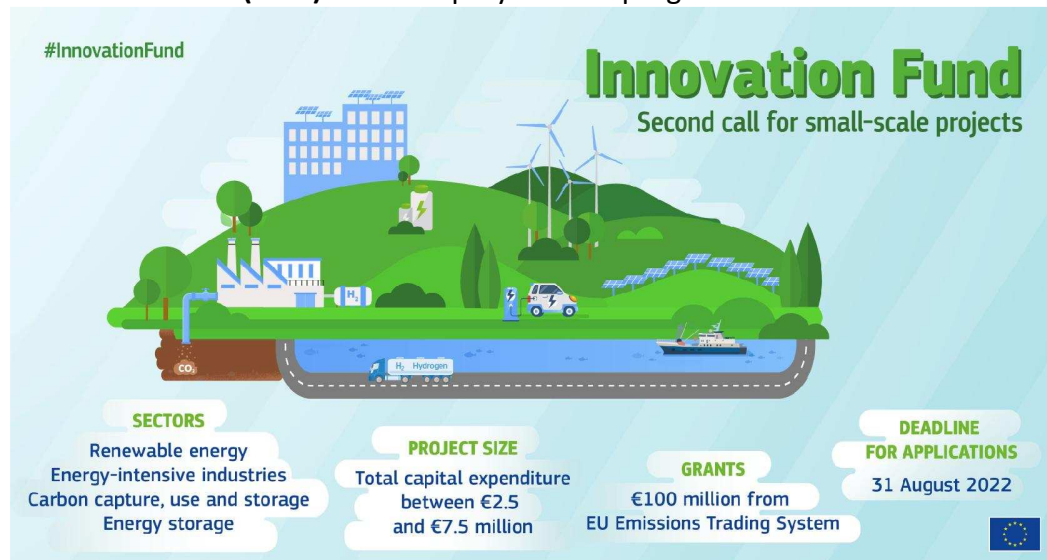
- Úspora spotřeby vody v rámci hospodaření podniku zvýšením účinností rozvodů
- Úspora spotřeby vody v rámci hospodaření podniku snížením spotřeby technologií při zachování jejich produktivity
- Úspora spotřeby vody využitím dešťové vody v rámci hospodaření podniku
- Úspora spotřeby vody recyklací nebo cirkulací vody v rámci hospodaření podniku

MPO zveřejnilo podmínky dotační výzvy na podporu cirkulárních řešení v podnicích, která je vyhlášena v rámci **Národního plánu obnovy**. Cílem výzvy je podpořit urychlení přechodu na oběhové hospodářství v České republice. Výše podpory

- Maximálně 40 % z celkových nákladů

- Minimálně 1 mil. Kč a max. 20 mil. Kč
- Operační PROGRAM SPRAVEDLIVÁ transformace 2021-2027 jde o Karlovarský, Ústecký a Moravskoslezský kraj (tzv. uhelné regiony). Celková alokace na programové období je **1,64 mld. EUR** (cca 42 mld. Kč).

**Inovační fond EU (MŽP)** celoevropský dotační program EU s alokací až 25 miliard eur



Obrázek č. 18

Podporuje inovativní, nízkouhlíkové technologie.

a) Malé projekty s celkovou kapitálovou náročností od 2,5 mil eur do 7,5 mil eur – dotace až 60 % celkových kapitálových nároků.

b) Velké projekty s celkovou kapitálovou náročností nad 7,5 mil eur – dotace až 60 % dodatečných a provozních nároků kapitálových

Co podporuje tento fond vyplývá z výše uvedeného obrázku č.17

V červenci 2022 Evropská Komise vyhlásila výsledky výzvy pro velké projekty (CAPEX od 7,5 mil EUR) s celkovou alokací 1,5 miliardy EUR). Komise vybrala celkem 17 projektů z 139 přihlášek, z nichž 3 pocházely z ČR. Bohužel ani jeden z nich s přihláškou neuspěl.

Celkově nejvíce podpory získaly:

- 1) CCU/S (zachycení a ukládání uhlíku);
- 2) Výroba biopaliv (většinou syntetických);
- 3) Výroba vodíku (např. 400 MWh elektrolyzér v Nizozemsku);
- 4) Výroba či inovace úložišť energie.

Lze očekávat, že vzhledem k nynější situaci bude Komise v příštích výzvách upřednostňovat výrobu energie/biopaliv v co největších objemech. Podporu dostanou projekty, které lze spustit prakticky okamžitě a budoucím žadatelům se doporučuje soustředit se na připravenost svých projektů.

ČR a řada dalších států prosazuje zařazení geografické polohy na seznam kritérií při hodnocení udělení dotace projektům. V případě úspěchu by Inovační fond byl spravedlivěji rozdělen mezi všechny státy EU (což se nyní neděje)

**Modernizační fond (Státní fond životního prostředí ČR)** cca 31 mld. Kč do roku 2030, určen zejména pro obce. Primárním cílem Modernizačního fondu je snížení produkce CO<sub>2</sub> a energetické úspory, přechod z fosilních paliv na biomasu bez kogenerace

- program OPŽP.

OPŽP 2021-2027 má šest specifických cílů:

- 1. Energetické úspory – alokace v rámci programu: 12,2 mld. Kč
- 2. Obnovitelné zdroje energie – alokace v rámci programu: 7 mld. Kč
- 3. Adaptace na změnu klimatu – alokace v rámci programu: 10,2 mld. Kč
- 4. Vodovody a kanalizace – alokace v rámci programu: 14,1 mld. Kč
- 5. Oběhové hospodářství – alokace v rámci programu: 7,1 mld. Kč
- 6. Příroda a znečištění – alokace v rámci programu: 10,6 mld. Kč

V aktuálním harmonogramu je podpora mimo jiné na chemickou recyklaci.

Operační program Životní prostředí (OPŽP) pro období 2021-2027 rozdělí mezi žadatele 61 miliard korun v rámci 28 výzev. Nejvíce peněz půjde na zajištění přístupu k vodě a hospodaření s vodou (14,1 miliardy korun) a do projektů zvyšování energetické účinnosti a snižování emisí skleníkových plynů (12,2 mld. Další finance poputují na ochranu přírody včetně zeleně ve městech (10,6 mld.) a adaptace na změnu klimatu a prevenci katastrof (10,2 mld.). Investice budou směřovat také do odpadového hospodářství (7,1 mld.) a na výstavbu nových obnovitelných zdrojů (7 mld).

Studie ČVUT „Capital Raising Strategy for Czechia“ z roku 2020 upozorňuje na skutečnost, že současný systém nefinanční a finanční podpory, ani nastavení parametrů tohoto systému, nevede ani k dostatečnému rozvoji projektů GND a OZE tak, aby byly nejen splněny cíle do roku 2030, ani k transformaci celé hospodářství směrem k účinnému nízkouhlíkovému systému. Průměrná roční výše investic do sektoru dodávek energie z obnovitelných zdrojů potřebná ke splnění klimatických a energetických cílů pro rok 2030, je podle této studie 690 milionů EUR.<sup>6)</sup>

### **Zapojení bank**

Banky na současnou finanční krizi nesmírně vydělávají. Jejich zapojení do systému financování transformace jde spíše cestou zvyšování svého kapitálu (reakce na požadavek EU) formou vypisování

různých emisí dluhopisů nebo investičních fondů. Zájem na trhu o tento typ finančního instrumentu je obecně silný, protože klienti hledají cesty k eliminaci dopadů neustále rostoucí inflace. Tak např.

HSBC v ČR připravila dvě emise zelených dluhopisů pro jednu realitní společnost, každou v objemu 750 milionů eur. Také Raiffeisenbank vydala zelené dluhopisy v hodnotě 350 mil EUR

Emise dluhopisů by měly být v souladu s principy ICMA Green Bond, které definují kategorie zelených projektů, na které mohou být finanční prostředky z těchto dluhopisů využity. Podobně ČEZ vydal zelené dluhopisy.

### **Příklad podpory velkých podniků**

ORLEN Unipetrol nabízí spolupráci startupům, malým a středně velkým firmám v rámci investičního programu v hodnotě desítek milionů. Rafinérská a petrochemická skupina ORLEN Unipetrol a společnost ORLEN UniCRE výzkumně vzdělávací centrum pořádají první ročník akceleračního a investičního programu ChemTechNext zaměřeného na budoucnost nejen chemického průmyslu. Startupy, malé a středně velké podniky mohou díky tomuto programu získat příležitost k rozvoji svých nápadů nebo se podílet na realizaci jiných a současně dosáhnout i na financování.

*Zdroje:*

- 1) *Cestovní mapa průmyslové modernizace a zavádění pokročilých technologií v chemickém průmyslu, SUSCHEM CZ, 2021,*
- 2) *Analýza stavu výzkumu, vývoje a inovací v ČR a jejich srovnání se zahraničím v roce 2020, RVVI 2021*
- 3) *Economic Analysis of the Impacts of the Chemicals Strategy for Sustainability, CEFIC 12.2021*
- 4) *Peterka a kol.: Studie proveditelnosti a dopadu Zelené dohody pro Evropu a dekarbonizaci průmyslu do chemického sektoru ČR – s akcentem na zaměstnanost, konference Podpora sociálního dialogu v chemickém průmyslu ČR, Praha 2020*
- 5) *Ročenka 2021 o vývoji chemického průmyslu v ČR, SCHP ČR*
- 6) *Valentová, Dunovski, Knápek: Capital Raising Strategy for Czechia Buildings and renewable energy Supply, ČVUT únor 2021*

## **7. Horizontální témata**

Dosažení klimatické neutrality, cirkulace, zdravých potravinových systémů a udržitelnosti v zemědělství, dopravě, stavebnictví, balení, elektronických zařízeních, tepelných izolací a také dokončení přechodu na obnovitelné zdroje energie patří k největším výzvám, kterým dnes lidstvo čelí. OECD odhaduje, že celosvětová spotřeba zdrojů vzroste do roku 2040 až o 40 % a do roku 2060 téměř o 90 % 1). Protože většina klíčových surovin, které evropský chemický průmysl potřebuje, se vyrábí mimo Evropu, zažívá evropský průmysl rychle rostoucí globální konkurenci při zajišťování přístupu ke zdrojům. Pandemie COVID-19 a zejména válka na Ukrajině zasáhla evropské hodnotové řetězce a ukázala jejich křehkost a slabiny. Zdůraznila závislost Evropy na jiných regionech a zdůraznila naléhavou potřebu urychlit dvojitý přechod a řešit zranitelnost našich hodnotových řetězců

Jedním z nejdůležitějších nástrojů pro potřebnou transformaci je vývoj pokročilých materiálů a pokročilých technologií. Nejde jen o to, že některé dnes používané materiály jsou již na svém technickém maximu (např. křemík pro mikroelektroniku) nebo k jejich výrobě je potřeba řady vzácných surovin (CRM). Naopak vědci postupným zvládnutím manipulace s atomy jsou schopni připravit zcela nové materiály. Digitalizace (např. mikroelektronika), energetické

technologie a technologie mobility se budou stále více komplikovat, což bude vyžadovat kratší a agilnější vývojové cykly. To bude vyžadovat intenzivní úsilí ve vývoji pokročilých materiálů a nové moderní přístupy ke snížení nákladů na uvedení na trh a na snížení doby uvedení na trh. To vyžaduje rozšířit mezioborovou, a hlavně mezinárodní spolupráci a spojit dosud roztříštěné síly.

Problematika pokročilých materiálů a technologií je podrobně rozebrána ve Strategické agendě IV 2).

Navzdory tomu, že chemický průmysl ČR charakterizuje řada známých velkých společností, většinu chemického odvětví tvoří malé a střední podniky. Ty se často vyznačují větší odvahou k inovacím jak v oblasti pokročilých materiálů, tak nových technologiích. MSP čelí společným výzvám, jsou obzvláště vystaveny dvojí transformaci, vysokým cenám energií a materiálů, rozkolísaným dodávkám, drahému financování. Mají problém získat kvalitní pracovní sílu a čelí tlakům zaměstnanců na zvyšování platů. Tohle všechno dopadá na MSP, a ještě dopadat bude. Často jsou závislé na jednotlivých chemických produktech a omezených portfoliích. Přístup k finančním prostředkům EU a ČR na inovace je pro MSP také složitější, a to z administrativních důvodů a personálních důvodů. Přitom MSP se podílejí na HDP ze 40 %. MSP mají obvykle přístup k méně příznivým výpůjčním podmínkám než větší průmyslová odvětví a jsou často vystaveny většímu riziku selhání, zejména pokud se pokoušejí být průkopníky v oblasti nových produktů a procesů. Požadavky na podávání zpráv v rámci takového financování mohou být rovněž obtížné a pokyny pro taxonomii složité. Lepší pomoc místních a regionálních orgánů by rovněž mohla umožnit vyšší míru úspěšnosti přístupu MSP k veřejnému financování. Byl předložen návrh vytvoření fondu pro chemické a střední podniky na míru, podporovaného konsorciem všech hlavních komerčních bank EU, aby bylo možné podporovat investice MSP, které jsou páteří ekonomiky.

Akceptujeme nové paradigma „Safe-and-Sustainable-by-Design“, včetně zřízení podpůrné sítě a rozvoje kritérií, kterými se bude řídit vývoj „chemií zítřka“. Bude důležité zajistit, aby byl přístup navržen tak, aby umožnil většině průmyslu úspěšně zvládnout tento přechod a nadále dodávat výkonné produkty. Bezpečnost produktu musí být potvrzena v rané fázi vývoje produktu. Na základě databáze REACH a dalších nástrojů existuje příležitost vyvinout nástroje prediktivní toxikologie pro urychlení testování chemické bezpečnosti při minimalizaci testování na zvířatech a pro podporu přechodu na méně nebezpečné chemické látky tam, kde je to technicky a ekonomicky možné, zejména s ohledem na zvýšený oběh chemických látek a potřebu snížit spotřebu energie, surovin a vody.

Samotný zákaz nebo omezení používání chemikálií na základě jejich nebezpečných vlastností nebere v úvahu úplný obraz. Může to být dokonce kontraproduktivní vůči cílům udržitelnosti. Namísto toho musí posouzení udržitelnosti produktu zohlednit celý životní cyklus a v maximální možné míře zahrnovat cirkulaci (včetně trvanlivosti), účinnost zdrojů, spotřebu energie, vody a půdy, příspěvek ke snížení emisí skleníkových plynů a další hlavní společenské potřeby, kromě informací o nebezpečnosti, použití a expozici. Různé hodnotové řetězce mohou vyžadovat různá kritéria. Toto hodnocení by mělo vycházet z metodik hodnocení udržitelnosti produktů, které již evropské chemické společnosti vedly. Kromě funkčních požadavků a bezpečnosti by při rozhodování o náhradě mělo být klíčovým prvkem jakéhokoli alternativního hodnocení posouzení udržitelnosti. Kromě snížení celkové ekologické stopy by tato strategie měla přispět k posílení bezpečné recyklace a opětovného použití materiálů, aby



se udržely v oběhovém hospodářství, a to řešením „starších látek“, zkoumáním inovativních digitálních řešení a norem pro sledování těchto látek podél hodnotových řetězců a umožňují výrobu vysoce kvalitních recyklovaných materiálů. Kromě toho musí chemická strategie pro udržitelnost jít ruku v ruce s iniciativou pro udržitelné produkty.

EU klade značný důraz na „nebezpečné“ látky bez náležitého zvážení použití a expozice. Například vysoce výkonné a odolné materiály, jako jsou materiály potřebné pro pobřežní větrné turbíny, často spoléhají na perzistentní chemikálie. Důležité je, že takové chemikálie nejsou emitovány na úroveň, která by nyní nebo v budoucnu způsobovala škody, nerozkládaly se a mohly být na konci své životnosti recyklovány

První prioritou budoucí chemické strategie pro udržitelnost by proto měla být práce na potřebách zlepšení identifikovaných v těchto přezkumech a kontrolách způsobilosti: zefektivnění tam, kde je to možné, za účelem dosažení větší konzistence a odstranění duplicit, řešení některých problémů s implementací s cílem konsolidovat stávající regulační základ (zejména REACH) a zintenzivnění vymáhání, zejména u dovozu, spolu se zajištěním vymahatelnosti regulačních opatření

Právní předpisy o chemických látkách musí podporovat a umožňovat přechod k oběhovému hospodářství a měly by odrážet různé způsoby recyklace. Aby se umožnila výroba vysoce kvalitních recyklovaných materiálů, jsou zapotřebí řešení, která řeší obavy týkající se nebezpečných látek, které by mohly být překážkou mechanické recyklace. Recyklátoři by měli mít dostatek informací, aby jejich pracovníci mohli bezpečně fungovat. Je třeba podporovat jednotný trh s odpady a různé předpisy musí podporovat rychlé rozšiřování trhů s druhotnými surovinami prostřednictvím chemické recyklace-

Při vývoji nové látky čelí chemický průmysl velké regulační nejistotě ohledně možného zákazu nebo omezení. Toto odvětví vyžaduje vysoké kapitálové výdaje na počáteční investice a často zvýšené investiční náklady na úpravu svých operací a výrobních procesů. V mnoha případech vyžaduje dovybavení velkých zařízení, dlouhodobé plánování a velké kapitálové investice. Regulační nejistota spolu s pomalými schvalovacími postupy pro průmyslové areály následně zvyšuje investiční rizika. V rámci strategie pro udržitelnost v chemické oblasti Komise po konzultaci se zúčastněnými stranami v současné době vypracovává strategický plán výzkumu a inovací v oblasti chemických látek a materiálů. Navrhujeme přijmout rámec EU pro regulační systém, který by pomohl otestovat potenciální průlomové technologie a zajistil, že bezpečné a udržitelné chemické látky a materiály budou mít výhodu na trzích. Nedostatek údajů, nejistota regulace a vysoké kapitálové výdaje, kterým čelí průmysl, zvyšují riziko pro inovativní společnosti v chemickém odvětví. Bezpečná a předvídatelná návratnost investic by zvýšila investice průmyslu do inovativních produktů a podpořila trh s bezpečnými a udržitelnými produkty podle návrhu.3).

Dalším významnou oblastí, která vyžaduje zásadní zlepšení je povolování staveb v ČR. Dosavadní praxe několika let schvalování je v zásadním rozporu s naléhavostí požadavků na rychlé řešení dopadů války na Ukrajině a zavádění nových zásadních inovací. 4)

Prezident SChP ČR Ing. Cingr navrhuje zásadně změnit systém využívání emisních povolenek, které jsou dnes předmětem aktivit různých spekulantů. Navrhuje, aby v systému, kde by ten, kdo vytváří emise, nakupoval povolenky podle současného modelu a peníze, které za ně utratí, by byly vázány pro účely jeho investic do ekologizace výroby. Podobně jako je tomu u skládek, kde musíte povinně ukládat peníze, které můžete použít pouze vy a pouze na budoucí rekultivaci takové skládky. Vytváříte si fond, abyste skládku uvedl do stavu, který neohrožuje

životní prostředí. Takový systém by umožnil masivně snižovat emise v relativně krátké době a nezvyšoval by cenu elektřiny. 5).

Pro mnohé společnosti ze zpracovatelského průmyslu, včetně průmyslu chemického, je velmi důležitým tématem cena energií. Společnosti nejsou schopny si zvýšené ceny vstupů přenést do nákladů. Mnohé menší společnosti fungují jen díky setrvačnosti majitelů a jejich ochotě financovat ztráty z jiných zdrojů.

Další problém je „chemofobie“ určité části společnosti, která je do značné míry vytvářena významnými médii, rizika z úniku chemických látek jsou často zveličována bez hlubší znalosti skutečných rizik. S tím souvisí i nízký počet absolventů chemických oborů a obtížné získávání kvalifikovaných pracovníků pro chemický průmysl především v příhraničních regionech ČR, i přes nadprůměrně atraktivní podmínky ve srovnání s provozy, nevyžadující kvalifikovaný personál.

Je nutné si uvědomit, že chemický průmysl funguje jako neviditelná podpora mnoha různých oblastí, včetně zemědělství a farmacie, a že produkce chemických látek je motivována potřebou dalších jejich využití pro uspokojování mnohdy nenahraditelných lidských potřeb. Například až do objevu syntézy amoniaku na počátku 20. století byl hladomor poměrně běžným jevem, o významu syntetických léků pro zdraví populace není nutné se detailně rozepisovat. Chemický průmysl je také nezastupitelný v prakticky všech pokročilých a nízkoemisních technologiích pro získávání energie. Například při dostatečném množství levné a nízkoemisní energie je možné zajistit dostatek kvalitních paliv z dvou naprosto běžných surovin, oxidu uhličitého a vody, vyrobená paliva jsou minimálně stejně kvalitní, jako běžná ropná paliva.

*Zdroje :*

1) *Pracovní dokument útvarů Evropské komise (2022) - Aktualizovaný hloubkový přezkum strategických závislostí Evropy*

2) *Strategická výzkumná agenda IV, SusChem CZ duben 2019*

3) *Souček I.: Current activities of the Association of the Chemical Industry of the Czech Republic – plenární přednáška na 9. Mezinárodní chemicko-technologické konferenci v Mikulově, 26.4.2022*

4) *Studie dopadů balíčku Fit for 55 na hospodářství ČR, závěrečná zpráva Deloitte srpen 2022*

5) *Roadmap Chemie 2050, Eine Studie von DECHEMA und Future Camp für den VCI. 2019*

6) *Cingr P.: Agrofert magazin jaro 2022, str. 19-20*

## 8. Závěr

Na všech úrovních musí věda a technologie hrát zásadní roli při dosahování udržitelnosti, ale stejně důležitá jsou politická rozhodnutí, podpořená společenskou podporou a koordinovanými politickými přístupy, což se bohužel prozatím ne vždy chápe a k tomu chybí i globální nadhled a vize budoucnosti.

Paradoxem dnešní doby je skutečnost, že zatímco ceny energií raketově rostou, řada koncepcí k naplnění cílů GND je založena na dostatku levné elektrické energie.

Navíc podmínky v jednotlivých státech EU k naplnění cílových ukazatelů GND jsou diametrálně odlišné (např. při naplnění podílu OZE na celkovém energetickém mixu).

Proto je tak důležité, aby omezené lidské kapacity a zdroje českého chemického průmyslu byly soustředěny na nadějně projekty, dále se posilovala mezinárodní spolupráce ve výzkumu a byly účelně využívány i dosažené výsledky evropského výzkumu a vývoje.

Naše Strategie českého chemického průmyslu do roku 2050 počítá s posuzováním potenciálu komerčně nabízených technologií a technologií s vysokým TRL. K tomu budeme potřebovat odborně zdatné týmy jak z výzkumu, tak průmyslu.

Investice do nových inovativních technologií rozhodně mají smysl, nejen pro byznys, ale i pro celou společnost. Výhodnost investice se zatím stále hodnotí klasickou účetní závěrkou a finanční analýzou. To se však v nejbližších letech výrazně promění, protože do hry vstupují takzvaná kritéria ESG a taxonomie.

Lze důvodně předpokládat, že vysoké ceny energií, omezení dodávek plynu, Strategie udržitelnosti chemikálií a další restrikce ze strany EU vyvolají zastavení některých výrob chemikálií v ČR jak to vidíme již dnes např. v Kolíně (zastavení výroby kyanidu draselného), v oblasti průmyslových hnojiv a dalších pro ekonomiku ČR důležitých chemických látek. To však bude mít dopad nejenom do objemu chemické výroby v ČR, ale zejména na navazující průmyslová odvětví jako je automobilový průmysl, zemědělství a další odvětví. Navíc se bude zvyšovat závislost na dovozu potřebných chemických látek mimo EU, ale také to významně spolu s pokračující digitalizací ovlivní strukturu zaměstnanosti v chemickém průmyslu ČR.

Je zásadní budovat vztahy se zahraničními partnery, vytvářet dlouhodobé vazby se špičkovými vědeckými pracovišti a posilovat mezinárodní spolupráci včetně zvyšování účasti českých výzkumných organizací a týmů v rámcovém programu Horizont 2020, resp. Horizont Evropa (zejména u aktivit ERC, partnerství a schémat v rámci EIC). Pro ČR je klíčové, aby efektivně zacílila své kapacity výzkumu, vývoje a inovací a dokázala reagovat na dynamický vývoj ve společnosti včetně rychlého rozvoje nových technologií, především však na tzv. velké společenské výzvy. Je potřeba věcně vymezit priority ke zvýšení odolnosti společnosti a motivovat poskytovatele k podpoře specificky zaměřených výzkumných programů relevantních pro oblasti definovaných hrozeb s celospolečenským dopadem. Události spojené s pandemií COVID-19, zejména však dopady války na Ukrajině, budou mít zásadní vliv na směřování systému VaVal a prioritizaci podpory jednotlivých oborů i multidisciplinárních týmů směrem k odvrácení dalších hrozeb.

Hlavní cíl SusChem CZ – udržitelnost českého chemického průmyslu – si vyžádá další finance pro aplikovaný výzkum a na inovační investice. Hrozící výpadek plynu a neustálé zvyšování ceny elektřiny nutí velké firmy omezovat výrobu, nebo rovnou uvažovat o změně paliva nebo přenesení výroby mimo EU. Bez mimořádně efektivních inovací bude náročné udržet konkurenceschopnost českého chemického průmyslu. Narušení stávajících dodavatelských řetězců a cenových relací významně narušuje dosavadní obchodní modely. Mimořádné úkoly stojí také před odborným školstvím, aby včas vychovalo potřebné odborníky pro realizaci Průmyslu 4.0, cirkulární ekonomiky a uplatňování zcela nových obchodních modelů.

## 9. Seznam vybraných použitých zkratk

AM	Aditivní výroba
ASSB	All-solid-state-batteries (pevnolátkové baterie)
CAPEX	Capital expenditures
CEFIC	The European Chemical Industry Council
CCS	Zachycování a ukládání uhlíku
CCU	Zachycování a využití uhlíku
CM	Cestovní mapa průmyslové modernizace a zavádění pokročilých technologií v chemickém průmyslu ČR
CRM	Customer relationship management
EIC	European Innovation Council
ERA	Evropský výzkumný prostor
ERC	Evropský výzkumná rada
ESG	Environmental, Social, and Governance
FCC	Fluidní katalytické krakování
FT	Fischer-Tropsch syntéza
GND	Zelený nový úděl
GMO	Geneticky upravované látky
GRA	The Generic Risk Approach
IEA	Mezinárodní energetická agentura
IoT	internet věcí
MND	Moravské naftové doly
MSP	Malé a střední podniky
LSB	Lithium surné baterie
MEB	Modulární platforma pro elektromobily
MSP	Malé a střední podniky
NRIS3	Národní strategie inteligentní specializace
OPEX	Operating expenses
OP VaV	Operační program Výzkum a vývoj pro inovace
OZE	Obnovitelné zdroje energie
PCB	Polychlorované bifenyly
PFAS	Per – a polyfluoroalkylované látky
PHB	Polyhydroxybutyrát
PEM	Proton-Exchange-Membrane
PEM	Polymer Electrolyte Membrane
POX	Parciální oxidace
REACH	Nařízení EU k registraci, evaluaci a autorizaci chemických látek
RIS3	Výzkumná a inovační strategie pro inteligentní specializaci
RVVI	Rada pro výzkum, vývoj a inovace
REPowerEU	plán EU pro cenově dostupnější, bezpečnější a udržitelnější energii
SIRA	Strategické inovační a výzkumné agend
SMR	Malé modulární reaktory

SSbD	Safe and Sustainable by Design
SVA	Strategická výzkumná agenda
SVHC	Potenciálně nebezpečné chemické látky
SVHC	Látky vzbuzující mimořádné obavy
SusbD	Udržitelné-by-design
REE	Prvky vzácných zemin
R&D	Výzkum a vývoj
RFF	Recovery and Resilience Facility
RVVI	Rada pro výzkum, vývoj a inovace
TP	Technologická platforma
TRL	Úroveň technologické připravenosti