

Bezuhlíková perspektiva budoucnosti

3.5.2024 - | Fakulta strojní ČVUT v Praze

V dalším dílu seriálu článků k výročí 160 let počátku strojařského vzdělávání v ČR, připravili odborníci z Ústavu energetiky a Ústavu procesní a zpracovatelské techniky Fakulty strojní ČVUT v Praze článek, který se věnuje dekarbonizaci energetiky a průmyslu ve vazbě na Green Deal 2050, což je v současnosti jedním z hlavních celospolečenských a politických témat.

Problematika se často nekriticky zužuje na elektrifikaci či vodíkové technologie s vazbou na obnovitelné zdroje energie (ve zkratce OZE), je však potřeba si uvědomit, že potenciál těchto obnovitelných zdrojů je v ČR omezený z důvodu relativně nepříznivých podnebných a geografických podmínek.

Je také potřeba zmínit, že nejvýznamnějším OZE v ČR je paradoxně biomasa, tedy ve svém původu typicky pevný biologický materiál, který musí podstoupit další transformace k zisku užitečné formy energie, které jsou zatížené účinnostmi nezbytných přeměn. Její podíl na výrobě elektřiny z OZE v ČR je cca 50 %, na výrobě tepla v centralizovaných systémech pak cca 90 %. Zvyšování míry jejího využívání se začíná dostávat do střetu s jejím dostupným potenciálem a potravinovou bezpečností.

V médiích se vyskytující pejorativní výklad zkratky OZE jako „občasné zdroje energie“ pro ostatní druhy OZE, typicky zužované na solární a větrnou energii, je ve svém důsledku relativně přiléhavý a reflektuje velkou, obtížně predikovatelnou variabilitu těchto druhů OZE a jejich omezený potenciál. Zvyšování podílu OZE na úkor stabilních zdrojů jako prostředek dekarbonizace zejména ve výrobě elektřiny pak nutně znamená vnášení vyššího podílu prvku nestability, který je nutné kompenzovat záložními (fosilními) zdroji, akumulací, popř. importem.

Pokud je skutečně celospolečenským cílem snižovat emise CO₂ do ovzduší, bez ohledu na různá dogmata, je možné k problematice přistoupit i jiným způsobem, aniž by bylo nutné vzdát se dostupných a stabilních energetických zdrojů. CO₂ ve své podstatě pochází z oxidace všech paliv na bázi uhlovodíků (jiná, vyjma výše zmíněného vodíku, ani neexistují), ale také z některých průmyslových procesů, jako je např. výroba cementu.

Smyslem dekarbonizačních technologií z tohoto pohledu je v určité fázi konverze paliva na užitečnou energii nebo v průmyslovém procesu oxid uhličitý zachytit, zpracovat, a následně uložit (CCS), a tím zabránit jeho uvolnění do atmosféry, popřípadě jej dále využít jako surovinu, například pro výrobu chemikálií nebo syntetických paliv (CCU). CO₂ může při energetických konverzích vznikat relativně velké množství. Například z 1 kg severočeského hnědého uhlí vznikne jeho spálením přibližně 1,6 kg CO₂, z 1 m³N zemního plynu je to přibližně 0,7 kg. Jako průmyslový příklad lze vzít výrobu páleného vápna v cementárnách, kde z 1 kg vstupní suroviny (vápence) vznikne přibližně 2,2 m³N CO₂ (4,3 kg). Jestliže se např. ročně v ČR energeticky využije cca 2,5 mil. tun hnědého uhlí, znamená to vypuštění do ovzduší asi 2 mil. m³N CO₂, což odpovídá hodnotě asi 3,9 mil. tun.

Fakulta strojní se k tomuto celospolečenskému cíli ve své každodenní vědecko-výzkumné i vzdělávací činnosti staví odpovědně a takovým způsobem, aby společnosti dokázala poskytnout technologie i lidské zdroje. Příkladem může být vznik centra Bio-CCS/U v roce 2018, které bylo jedinou integrovanou výzkumnou platformou, jež se v ČR systematickému výzkumu v oblasti CCS/CCU věnovala, a zahrnovalo další partnery mimo fakultu i univerzitu.

Ačkoliv původní realizační fáze centra skončila v roce 2023, výstupy, které v rámci něj vznikly, znamenaly výrazný posun v úrovni technologií CCU. Jedním z nejvýznamnějších úspěchů v realizaci

experimentálních zařízení je fluidní oxyfuel spalovací systém, označovaný pracovním jako „Golem“. Jde o technologii, která umožňuje získat přímo prakticky čistý CO₂ z energetické konverze biomasy i jiných paliv v rámci jednoho procesu. **Systém, navržený a zrealizovaný výzkumným týmem Bio-CCS/U, je jediným v ČR, a patří mezi několik málo velkých výzkumných infrastruktur i v evropském kontextu.** Se svojí velikostí 0,5 MW tepelného příkonu umožňuje validaci laboratorních výsledků na pilotní úroveň, která je ověřovacím předstupněm pro skutečnou realizaci.

Dekarbonizační aktivity pak navázaly v podobě dalších projektů. V oblasti post-combustion technologií, tedy těch určených pro zachycení CO₂ až po realizaci energetické konverze paliva, je to například nízkoteplotní adsorpce. Tyto technologie mají potenciální výhodu v tom, že je lze ke stávajícím energetickým nebo průmyslovým provozům připojit, aniž by bylo do větší míry nutné zasahovat do původní technologie. Významnou nevýhodou je pak to, že pracují s odpadním plynem, kterého je obecně relativně velké měrné množství ve vztahu k množství použitého paliva, a zároveň je v něm relativně nízká koncentrace CO₂, která typicky nepřekračuje přibližně 15 obj. %, ale velmi často je i podstatně nižší. To vyžaduje sofistikované přístupy k jeho separaci, často vyžadující kombinaci různých technologií.

Významným příspěvkem Fakulty strojí je realizace experimentálního VPSA adsorbéru na úrovni TRL5, který umožňuje proces zkoumat v reálném měřítku s reálným odpadním plynem, a výsledky tak umožní využít v praxi.

Současné výsledky výzkumu a vývoje nabízejí možnosti, jak efektivně snížit množství emitovaného CO₂ prostřednictvím technologií pro jeho zachyt a využití (Carbon Capture and Utilization, CCU). Jen pro představu, roční emise CO₂ do ovzduší z energetiky a zpracovatelského průmyslu se v Česku v roce 2022 pohybovaly okolo 95•106 tun.

Primárním emitentem CO₂ v Česku je energetika s podílem 48 %, následuje doprava se 17 %, zpracovatelský a stavební průmysl s 15 %, budovy s 10 %, zemědělství se 6 % a technologie zpracování odpadu se 4 %. Zachycený emisní CO₂ lze jako surovinu transformovat pomocí různých chemických, elektrochemických, fotochemických nebo biochemických procesů na pokročilá biopaliva (např. metan, etanol a butanol), zelené chemické látky (např. močovinu, metanol a kyselinu mravenčí) nebo stavební materiály (různé typy uhličitánů). Jakákoliv technologie zachytu a využití emitovaného CO₂ se skládá ze tří technologických celků – zachyt CO₂, transformace CO₂ na biopalivo a zelené chemikálie, separace a zušlechťení produktů. Je nutné si uvědomit, že emitovaný CO₂ je pouze jednou z chemických složek spalin a průmyslových odpadních plynů. Současná technická praxe nabízí možnosti zachytu CO₂ pomocí absorpce, PSA adsorpce, kryogeniky nebo membránové separace, vše v úrovni technické vyspělosti TRL > 6. Cena zachytu CO₂ se běžně pohybuje v desítkách až stovkách eur za tunu CO₂ v závislosti na jeho obsahu v emisním plynu a požadované čistotě CO₂.

Chemická transformace CO₂-to-X, biochemická transformace CO₂-to-X a mineralizace CO₂ patří mezi perspektivní technologie využití emisního CO₂ v průmyslovém měřítku. V kontextu chemické transformace molekula CO₂ reaguje s potřebnými ekvivalenty vodíku, a vzniká tak metan, metanol, kyselina mravenčí, močovina nebo syntézní plyn pro následnou Fischer-Tropsch reakci výroby leteckého paliva (Sustainable Air Fuel).

Chemická transformace CO₂-to-X se v současné době pohybuje na úrovni technické vyspělosti TRL7. Za zmínku stojí technologie The Jupiter 1000 (25 Nm³.h–1 e-metan, Fos-sur-Mer, Francie), ETL technology (100 000 t.r–1 e-metanol, Anyang, Čína) nebo SAF Neste Corporation (100 000 t SAF ročně, Rotterdam, Nizozemsko). Rozvoji chemických CO₂-to-X technologií v průmyslovém měřítku však brání nízká konverze CO₂-to-X, nedostatek demonstračních zařízení, nedostatek pobídek ke snižování emisí CO₂ a vysoké výrobní náklady. Biochemická transformace CO₂-to-X je založena na fotosyntetické fixaci 1,83 t CO₂ do 1 t mikrořas, které jsou nejčastěji kultivovány v korytových,

deskových nebo v trubkových fotobioreaktorech. Typickými mikrořasovými produkty jsou biooleje, proteiny, bioetanol, bioplyn, biovodík, zelené chemikálie, přísady, potraviny a krmiva, hnojiva a paliva v závislosti na druhu řas a čistotě zpracovávaného CO₂. Jedná se však o energeticky velmi náročnou technologii, která má zároveň velké nároky na zastavěnou plochu. Demo ukázkou TRL7 biochemické konverze CO₂-to-etanol je LanzaTech (80•106 l EtOH.r-1, Ghent, Belgie). Posledním perspektivním směrem koncepce CO₂-to-X je minerální karbonizace. Jedná se o proces, při kterém CO₂ reaguje s přírodními rudními minerály za vzniku minerálních uhličitů, jako je uhličitan vápenatý a uhličitan hořečnatý, které nacházejí své uplatnění ve stavebnictví. K fixaci 1 t CO₂ je zapotřebí 1,6-3,7 t typového minerálu. Průmyslová aplikace mineralizace CO₂ je však limitována nízkou reakční rychlostí, spotřebou a energetickou náročností zpracování minerálů na velikost do 100 µm.

Výše uvedené CO₂-to-X transformace jsou považovány za perspektivní směry zpracování emisního CO₂ v průmyslovém měřítku. Je třeba si uvědomit, že ne všechny zmíněné způsoby transformace jsou univerzálně použitelné. Vhodná volba zpracovatelské linky CO₂-to-X musí být udržitelná v kontextu dekarbonizace a cirkulární ekonomiky. Vlastní řešení musí být založeno na vícekritériálních rozhodovacích procesech. Tj. zda lze laboratorní nebo poloproduční výsledky výzkumu a vývoje transformovat do úrovně technologické připravenosti TRL 8-9 (systém ověřený v provozním prostředí) při místních klimatických podmínkách, energetické a průmyslové infrastruktuře, a legislativě.

Výzkumný tým Ústavu procesní a zpracovatelské techniky Fakulty strojní významně přispívá k experimentálnímu výzkumu a průmyslovému vývoji technologií CO₂-to-X, a to zejména k strojně-technologickému řešení reaktorů a bioreaktorů (experimentální analýza a modelování přenosu hybnosti, tepla a hmoty v chemických reaktorech, bioreaktorech a fotobioreaktorech pracujících při standardních i extrémních podmínkách, návrh efektivních míchacích systémů, statické a dynamické směšovače). Významný příspěvek je i v oblastech výzkumu hybridních technologií zachytu CO₂ (vzájemné kombinace adsorpce, absorpce a membrána v TRL4), drcení a mletí (účinný princip rozpojování, analýza rozpojovací energie a konfigurace mlýnu), a projektování zpracovatelských linek CO₂-to-X (bilancování, dynamické modelování a technicko-ekonomické posouzení).

prof. Ing. Jan Hrdlička, Ph.D., jan.hrdlicka@fs.cvut.cz, Ústav energetiky Fakulty strojní ČVUT v Praze

doc. Ing. Lukáš Krátký, Ph.D., lukas.kratky@fs.cvut.cz, Ústav procesní a zpracovatelské techniky Fakulty strojní ČVUT v Praze

<https://www.fs.cvut.cz/aktuality/2619-212/bezuhlikova-perspektiva-budoucnosti>