



Nové cesty od obnovitelných zdrojů energie k bezfosilním palivům

- \\ Česká republika je životně závislá na dovozu energie.
- \\ Současná roční energetická potřeba činí přibližně 480 terawatthodin.
- \\ Přes 80 % nyní zajišťují fosilní zdroje – uhlí, ropa a zemní plyn – což je střednědobě i dlouhodobě neudržitelné.
- \\ Nahrazení jak vlastních, tak dovážených fosilních zdrojů nízkoemisními a obnovitelnými znamená revoluční změnu energetické koncepce.
- \\ Klíčová bude především schopnost elektrickou energii dlouhodobě ukládat. Zásadní je využití katalytických technologií, které mění elektrickou a světelnou energii na energii chemických vazeb.
- \\ Česká republika by měla urychleně podpořit základní i aplikovaný výzkum vodíkových technologií a výroby alternativních paliv na bázi uhlíku, které se jeví jako vysoce perspektivní a pro přechod od fosilních paliv na bezemisní zdroje zcela zásadní.



Vzhledem k omezené dostupnosti primárních energetických zdrojů a výrazné průmyslové orientaci je Česká republika životně závislá na dovozu energie. V současnosti používané zdroje jsou navíc dominantně fosilního charakteru a jejich budoucí využití bude regulováno a ekonomicky znevýhodněno na evropské úrovni. Náhrada jak vlastních, tak dovážených fosilních zdrojů nízkoemisními a obnovitelnými, jak je popsána ve Vnitrostátním plánu v oblasti energetiky a klimatu¹, změni revolučním způsobem energetickou koncepci České republiky. S ohledem na energetickou bezpečnost a časový nesoulad mezi produkcí obnovitelné energie a její potřebou, je nutné vyvinout technologie pro dlouhodobé ukládání energie. Dlouhodobé ukládání energie (v řádu týdnů či měsíců) stejně jako interkontinentální transport zatím nejsou dostatečně podporovány současnou technologickou infrastrukturou.

Tento AVex identifikuje klíčové oblasti, v nichž v globálním měřítku technologie nedosahují úrovně nezbytné k bezpečnému přechodu na bezfosilní energetický model. Zároveň popisuje aktivity, jimiž Česká republika může získat konkurenční výhodu – zejména ve vývoji vodíkových technologií a výroby alternativních paliv, které jsou dosud zahrnuty ve strategických dokumentech na národní² i evropské úrovni pouze rámcově.

Pro technologicky pokročilou civilizaci je nezbytný přístup ke zdrojům energie, které nezávisí na geopolitických, meteorologických i klimatických výkyvech a dlouhodobých zvratech. Takové zdroje energie jsou tzv. resilientní (v širším smyslu odolné) a pro každou moderní společnost jsou přinejmenším stejně důležité jako dostupnost potravin, bezpečnost či dosažitelnost vodních zdrojů.

SOUČASNÁ ENERGETICKÁ KONCEPCE

Současná roční energetická potřeba České republiky přesahuje 480 terawattodin (1 TWh / terawattodina = 10⁹ kWh / kilowattodina). Tuto potřebu pokrývá energetický systém primárně fosilními zdroji (uhlí, ropa, zemní plyn).

Česká republika není energeticky soběstačná a její potřeby pokrývají domácí zdroje (uhlí) jen z menší části; z větší části je zabezpečuje dovoz (ropa, zemní plyn). Výsledný energetický mix doplňuje elektrina z jaderných elektráren (6 %) a energie obnovitelných zdrojů a odpadů (do 13 %)³.

Bezpečnost energetického systému zajišťují energetické rezervy⁴ (zhruba 10 % celoroční potřeby), které tvoří zemní plyn (35 TWh) a ropa (23 TWh). Tyto rezervy doplňují existující těžbu uhlí a jsou postačující pro provoz klíčové infrastruktury během krizových situací.

HDP České republiky. Žádné z nich však neumožňuje produkci dle potřeby. Solární energetika navíc vykazuje principiální časový nesoulad mezi produkcí energie a její potřebou během ročního cyklu.⁶

Tento nesoulad lze částečně minimalizovat v případě nízkoemisních zdrojů, které však mají omezenou regulovatelnost v krátkodobé časové škále (dnů či týdnů). Provoz jaderných zdrojů může být dále limitován dostupnou kapacitou vodních zdrojů pro chlazení v období sucha.

Je třeba rovněž zdůraznit, že změna energetické koncepce zahrnuje opuštění paliv, která lze s přijatelnými náklady transportovat na velké vzdálenosti a používat k vytváření dlouhodobých strategických energetických rezerv. Ty v současnosti zajišťují přes 80 % energetických potřeb společnosti.

Předpokládaná energetická koncepce 2020–2035

Současná energetická koncepce není dlouhodobě udržitelná.

Česká republika má omezené portfolio primárních surovinových energetických zdrojů, z nichž je v současné době masivně využíváno uhlí a v omezeném rozsahu i uran⁴. Tyto zdroje jsou dostatečně a přesně známy a byly by v principu schopny podporovat energetický systém ve střednědobém horizontu. Je však vysoce pravděpodobné, že těžba uhlí a jeho energetické využití přestanou být ekonomicky výhodné již před rokem 2030 především z důvodu nízké ekologické přijatelnosti⁵.

Tato skutečnost staví Českou republiku do nebezpečné pozice takřka úplné závislosti na importu energie, a to i v případě, že dojde k mobilizaci alternativních nízkoemisních a obnovitelných energetických zdrojů.

Kompletní pokrytí energetické potřeby České republiky těmito zdroji by znamenalo buď instalaci asi 48 GW výkonu v jaderných elektrárnách, nebo instalaci více než 3000 km² solárních elektráren. Obě uvedená technologická řešení jsou mimořádně nákladná a vyžadují alokaci investic v rozsahu násobků ročního

Produkcce elektřiny z nefosilních (obnovitelných a nízkoemisních) zdrojů je v současnosti jedinou veřejně diskutovanou alternativní strategií nahrazující fosilní paliva jako energetický zdroj pro koncové technologie⁷. Energetické řešení, které spoléhá na elektrickou energii (zejména obnovitelnou) má ve srovnání se současným energetickým řešením s distribuovanými primárními zdroji jen zanedbatelnou resilienci (odolnost vůči výkyvům v geopolitice, počasí nebo klimatu).

Akumulace energie

Obnovitelné a většina nízkoemisních zdrojů poskytují energii ve formě elektřiny. Elektrickou energii nelze uskládat ve velkých objemech ani transkontinentálně přepravovat a v případě obnovitelných a nízkoemisních zdrojů ani efektivně regulovat.

Obnovitelné zdroje – pokud mají plnit důležitou roli primárního energetického zdroje – musí být doplněny o technologie akumulace⁸. Aby se kompenzoval rozdíl mezi produkcí elektrické energie a její spotřebou v různých ročních obdobích, musí existovat dostatečně efektivní výroba alternativních paliv a platformových chemikálií⁸. Těmito alternativními palivy se rozumí energeticky bohaté

sloučeniny založené na uhlíku či dusíku, které jsou připraveny s pomocí obnovitelné energie. Technologie pro takové výroby však nyní nejsou dostupné.

Akumulační systémy by měly (v pořadí sestupné důležitosti)⁸:

- i) podporovat přímou akumulaci elektrické energie
- ii) umožnit lokální (tj. distribuované) použití nezávislé na síti
- iii) být založeny na široce dostupných surovinách, aby bylo možné je masově používat
- iv) mít vysokou hustotu energie (objemovou i hmotnostní)
- v) být využitelné jako surovina v dalších technologických oborech

Bohužel, žádný z uvažovaných alternativních systémů nesplňuje všechna kritéria. Dostatečně účinnou přímou akumulaci elektrické energie dovolují pouze dva typy chemických systémů: bateriové systémy a alternativní paliva (viz výše), která zahrnují v tomto kontextu i vodík (a navazující systém vodíkového hospodářství). Jejich masivní praktické využití je proto podmíněno významným technologickým pokrokem, který je nutno podpořit specifickými aktivitami v oblasti vědy a výzkumu.



BATERIOVÉ SYSTÉMY

Bateriové systémy jsou vyvíjeny desítky let. Nejpokročilejší Li-iontové systémy jsou komerčně dostupné a jejich masivní nasazení se v nejbližší budoucnosti předpokládá zejména v osobní dopravě. Z hlediska stabilizace nového bezfosilního energetického konceptu jsou však bateriové systémy málo perspektivní, především z důvodu jejich velmi nízké energetické hustoty (viz kritérium iv), která neumožňuje ukládání relevantních objemů energie. Představují tak pouze vynucené řešení nezbytné ke krátkodobé stabilizaci sítě.

Bateriové systémy jsou z podstaty nevhodné k zajišťování krizových energetických rezerv, a to i za předpokladu, že se urychleně podaří vyvinout tzv. post-lithiové technologie (baterie s Si anodami, Na baterie atp.). K pokrytí kapacity současných kritických energetických rezerv ČR by bylo třeba instalovat bateriové úložiště o hmotnosti 365 milionů tun, což je mimo ekonomické i ekologické možnosti ČR.

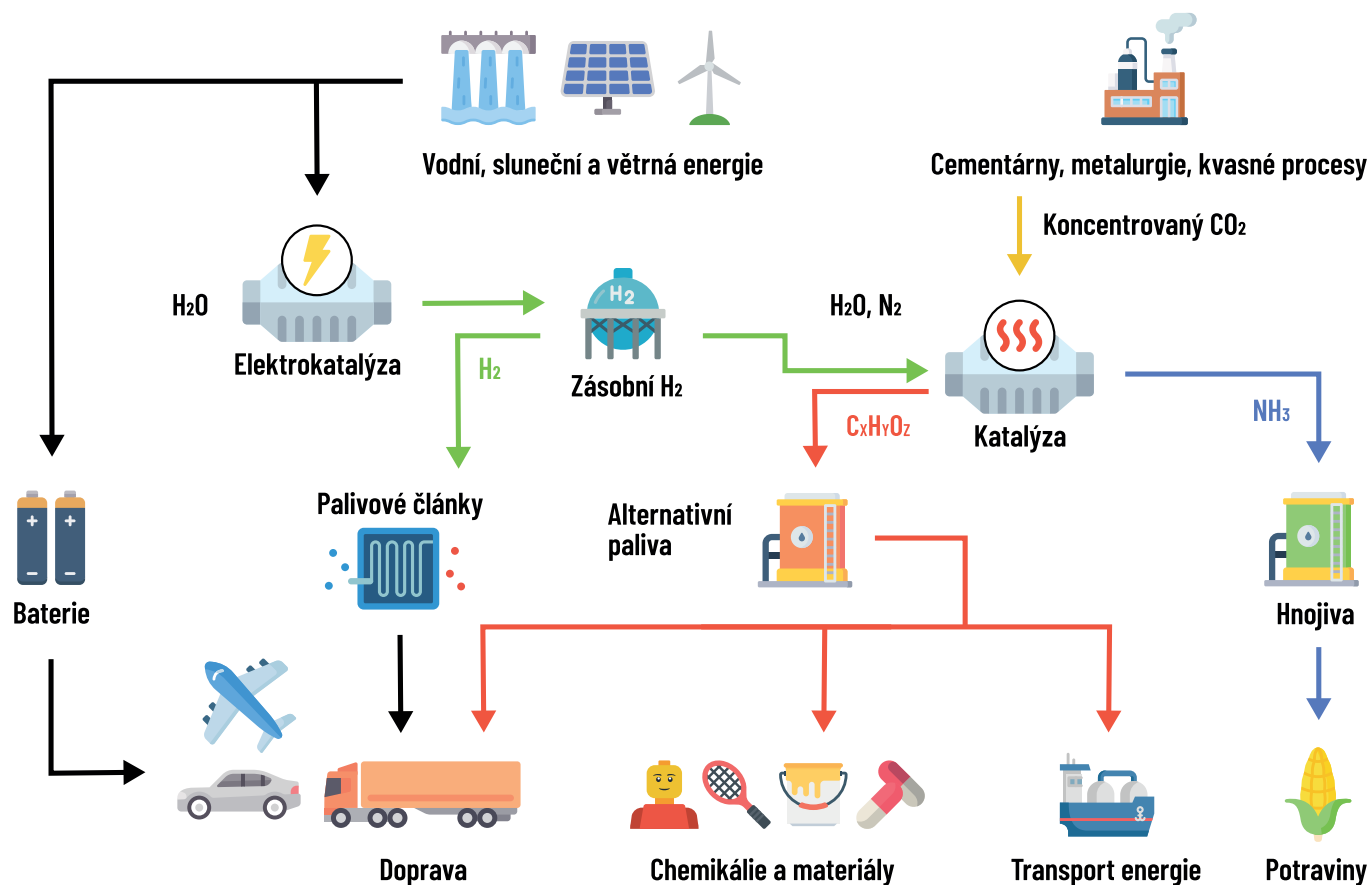
Je třeba vést v patnrosti, že osobní silniční přeprava, v níž je aplikace bateriových systémů nejpokročilejší, představuje pouze 15 % energetické spotřeby ČR. Proto její elektrifikace sama o sobě nepovede k průlomové změně energetické koncepce (a řešení jejich environmentálních dopadů). Z těchto důvodů lze mít za to, že bateriové systémy nemají potenciál, aby se staly klíčovým technologickým řešením umožňujícím novou energetickou koncepci.



VODÍK

Vodík a na něj navázaný technologický ekosystém splňuje většinu kvalitativních kritérií s výjimkou dostatečné objemové hustoty energie. V důsledku těkavosti pak může negativně přispívat ke skleníkovému efektu.⁹ Proto je z principu málo vhodný pro interkontinentální transport a dlouhodobé skladování energie. Tyto nevýhody kompenzuje široká škála možného použití. Lze jej buď zpětně konvertovat na elektřinu (palivové články), tepelnou energii (spalování). Je rovněž klíčovým komponentem výroby nových chemických vektorů (alternativní paliva, hnojiva, metalurgie), které jsou vhodné k transportu i dlouhodobému skladování energie. I když vodík sám o sobě nebude s největší pravděpodobností finálním energetickým vektorem budoucnosti, jeho efektivní výroba je nutnou podmínkou masivní integrace obnovitelných energetických zdrojů do energetické koncepce.

Vodík je běžnou a nutnou komoditou v chemickém průmyslu. Environmentálně přijatelná elektrolytická výroba vodíku se masově nevyužívá především kvůli vysokým provozním nákladům a závislosti na materiálech, např. na bázi platinových kovů (platiny, iridia a ruthenia), nebo pokročilých polymerních membrán. Například anody pro kyselou elektrolyzu vody závisí na sloučeninách iridia, které je jedním z nejméně zastoupených prvků v zemské kůře. Celosvětová využitelná roční produkce iridia je schopna zajistit instalaci zhruba 1 GW elektrolytického výkonu (jen asi 3 % celkové roční energetické potřeby ČR). Rovněž absence vhodných polymerních elektrolytů pro alkalické prostředí je zásadním omezením vývoje elektrolyzérů pro elektrolyzu vody v alkalickém prostředí. Absence vhodných materiálů kriticky omezuje implementaci vodíkových technologií. Vývoj nových materiálů pro výrobu vodíku, založený na pochopení využívaných chemických procesů na atomární úrovni, je proto klíčovou výzvou pro současnou vědu a výzkum.



Jak se chemické technologie zapojí do celkové energetické koncepce: katalytické technologie zprostředkovávají převod elektrické energie do dalších finálních aplikací. Ty pak produkuje, co společnost potřebuje: spotřební materiály, potraviny, dopravu.

Katalytické technologie: budoucnost ukládání energie

Kapalná paliva připravená z vodíku a oxidu uhličitého – zejména alkoholy a uhlovodíky – jsou jediným vhodným řešením pro transport a dlouhodobé ukládání energie¹⁰. Alternativní paliva mohou využívat existující infrastruktury dálkového transportu, skladování, distribuce a koncového použití⁸.

Zásadní technickou výzvou výroby alternativních paliv je záchyt a koncentrace oxidu uhličitého (v budoucnu jediného volně využitelného zdroje uhlíku) na úroveň nutnou pro průmyslovou výrobu¹⁰. Koncentrace CO₂ v atmosféře (400 ppm – částic na jeden milion celku) ale nedosahuje úrovně vyžadované chemickými technologiemi. Proto bude třeba systematicky využívat možného synergického navázání výroby alternativních paliv na technologie produkující oxid uhličitý ve vysokých koncentracích typu výroby stavebních hmot (cementárny), kvasných procesů popřípadě v přechodném období i na ostatní (zejména chemické) výroby.

Cyklické uhlíkové hospodářství

Současný energetický koncept sice produkuje značné objemy CO₂, obvykle však v místech s nízkou dostupností vodíku. Proto napojení vodíkových technologií na technologie produkující koncentrovaný CO₂ představuje nutný krok k uzavření uhlíkového cyklu, v němž je CO₂ cennou chemickou surovinou. Kompletní uzavření uhlíkového cyklu pak nezbytně vyžaduje zavedení technologií záchytu atmosférického CO₂. Tyto technologie zatím představují značnou technologickou výzvu.

Obdobně komplikovaná je i vlastní výroba alternativních paliv. Stávající katalytické procesy převádějící oxid uhličitý a vodík na kapalná paliva jsou velmi málo efektivní. Na výrobu jednotkového množství alternativního paliva je třeba vynaložit několiknásobek jeho energetického obsahu⁷. Zvýšení materiálové a energetické efektivity těchto technologií je proto klíčovou prioritou, pokud mají tyto procesy stabilizovat energetický systém založený na obnovitelných a nízkoemisních energetických zdrojích.

Reakce vedoucí ke kapalným alternativním palivům jsou v principu známy. V průmyslovém měřítku jsou však z energetického i materiálového hlediska značně neefektivní, což omezuje jejich použití jen k výrobě kriticky potřebných produktů¹¹⁻¹³. Pokud by tyto procesy měly sloužit k zajištění energetické bezpečnosti, je nezbytně výrazně zlepšit jejich energetickou bilanci (poměr vložené a uskladněné energie).

Všechny tyto technologie jsou založeny na tzv. syntézním plynu (směs H₂ a CO) a v současné době není znám jediný technologicky relevantní katalytický proces, který by umožňoval přímou (tzn. jednokrakovou) konverzi CO₂ na kapalná paliva. Výroba alternativních paliv v rámci bezfosilní energetické koncepce proto nutně vyžaduje zvládnutí technologie výroby syntézního plynu – buď rozkladem methanu (připraveného z CO₂ a vodíku) – nebo například (elektro)katalytickou redukcí CO₂ a následné nízkoenergetické konverze syntézního plynu na kapalná produkty (vysoce účinný „analog Fischer-Tropschovy syntézy“).

Přímá konverze CO₂ na methanol (případně kapalně uhlovodíky) představuje z hlediska materiálové a tím i energetické efektivity výrazně vhodnější řešení. Zcela nové katalytické technologie přímé konverze CO₂ tak představují ideální řešení a jejich vývoj je klíčovou výzvou pro rozvoj technologií alternativních paliv.

CO₂CZ

Jde o sdružení akademických a průmyslových subjektů zastřešené Svazem chemického průmyslu, jehož cílem je podpora základního a aplikovaného výzkumu v oblasti cirkulárních uhlíkových technologií (záchyt a využití CO₂) a jejich aplikační přenos do průmyslové praxe.



ECO&STOR

Je multidisciplinární projekt v rámci operačního programu MŠMT JAK - Špičkový výzkum. Projekt je zaměřen na vývoj technologií pro dlouhodobé ukládání elektrické energie a integruje základní a aplikovaný výzkum pokrývající celý technologický cyklus transformace a ukládání energie od výpočetního designu klíčových materiálů, jejich syntézu a aplikační implementaci.

ZÁVĚRY

Probíhající změna energetického konceptu zásadním způsobem promění fungování České republiky a život jejích obyvatel. Postupný odklon od fosilních paliv je klíčovou výzvou pro celou společnost a její zvládnutí je zásadní pro další chod společnosti. Jedinou možnou strategickou reakcí České republiky je v současné době intenzivní investice do vývoje nových technologií ukládání energie založených na (elektro)katalytických technologiích za maximální veřejné podpory. Je třeba zdůraznit, že tyto technologie jsou vysoce multidisciplinární a jejich úspěšný vývoj vyžaduje synergické přístupy v rámci účelových konsorcií (například typu projektu Eco&Stor) nebo zájmových sdružení typu CO₂CZ.

- Cílenou podporou základního a aplikovaného výzkumu a průmyslové implementace zejména v oblasti vodíkových technologií a alternativních paliv by Česká republika mohla získat konkurenční výhodu.
- Z tohoto pohledu se Česká republika nachází v relativně dobré pozici díky dlouhodobě kvalitnímu základnímu i aplikovanému výzkumu v katalytických a elektrokatalytických oborech.
- Výzkumná základna je zároveň schopná synergicky spolupracovat s chemickým průmyslem, který je mimořádně motivován k defosilizaci a integraci obnovitelných zdrojů energie z důvodu zachování rentability.
- Tyto aspekty vytvářejí postačující záruky účelnosti veřejné podpory.

AVEX 1/2024: NOVÉ CESTY OD OBNOVITELNÝCH ZDROJŮ ENERGIE K BEZFOSILNÍM PALIVŮM, ÚNOR 2024

Přehled použité literatury: <https://www.avcr.cz/cs/veda-a-vyzkum/avex/>

AVex je nezávislé a nestranné expertní stanovisko, které Akademie věd České republiky připravuje pro legislativní potřeby zákonodárců Poslanecké sněmovny a Senátu Parlamentu České republiky.

Připravila: Akademie věd ČR, odborným garantem je Ústav fyzikální chemie J. Heyrovského AV ČR.

Odpovědná redaktorka: Markéta Růžičková, e-mail: avex@kav.cas.cz, <http://www.avcr.cz/cs/veda-a-vyzkum/avex/>, foto: ITER, EUROfusion, Shutterstock.

Kontaktní osoby: prof. Ing. Petr Krtil, CSc., Ústav fyzikální chemie J. Heyrovského AV ČR, e-mail: petr.krtil@jh-inst.cas.cz,

Mgr. Jiří Dědeček, CSc., DSc., Ústav fyzikální chemie J. Heyrovského AV ČR. Text vznikl za podpory programu Strategie AV21 „Udržitelná energetika“.

Literatura – AVex 1/2024

1. https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/strategicke-a-koncepcni-dokumenty/2023/10/Aktualizace_NKEP_10_2023_final.pdf
2. https://www.mpo.cz/assets/cz/podnikani/ris3-strategie/dokumenty/2022/1/RIS3-Strategie_A_RIS3-Strategie_.pdf
3. <https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/statistika/energeticke-bilance/2021/12/SEB-2010-2020.pdf>
4. <https://www.mpo.cz/assets/dokumenty/44988/50560/583032/priloha001.pdf>
5. <https://www.cez.cz/cs/o-cez/vyrobni-zdroje/uhelne-elektrarny-a-teplarny>
6. <https://www.energy-charts.info/?l=en&c=CZ>
7. Schlögl, R., Chemical energy storage enables the transformation of fossil energy systems to sustainability, *Green Chemistry*, Vol. 23, 2021, 1584–1593.
8. Norskov, J. K., Latimer, A., Dickens, C. F. (Eds.), Research needs towards sustainable production of fuels and chemicals. ENERGY-X consortium, 2019, <https://cordis.europa.eu/project/id/820444/results>
9. Sand, M., Skeie, R. B., Sandstad, M. *et al.* A multi-model assessment of the Global Warming Potential of hydrogen. *Commun Earth Environ* 4, 203 (2023). <https://doi.org/10.1038/s43247-023-00857-8>
10. Grim, R. G., Huang, Z., Guarnieri, M. T., Ferrell, J. R., Tao, L., Schaidle, J. A., Transforming the carbon economy: challenges and opportunities in the convergence of low-cost electricity and reductive CO₂ utilization, *Energy and Environmental Science*, Vol. 13, 2020, 472–494
11. Mac Dowell, N., Fennell, P. S., Shah, N., Maitland, G. C., The role of CO₂ capture and utilization in mitigating climate change, *Nature Climate Change*, Vol. 7, 2017, 243–249;
12. Yu, C.-H., Huang, C.-H., Tan, C.-S., A Review of CO₂ Capture by Absorption and Adsorption, *Aerosol and Air Quality Research*, Vol. 12, 2012, 745–769
13. Reuss, M., Grube, T., Robinius, M., Preuster, P., Wasserscheid, P., Stolten, D., Seasonal storage and alternative carriers: A flexible hydrogen supply chain model, *Applied Energy*, Vol. 200, 2017, 290–302
14. Schlögl, R., The Revolution Continues: Energiewende 2.0, *Angewandte Chemie International Edition*, Vol. 54, 2015, 4436–4439